

Recomendación UIT-R S.2157-0 (09/2023)

Serie S: Servicio fijo por satélite

Procedimientos para la evaluación de la interferencia causada por un sistema de satélites no geoestacionarios a un conjunto global de los enlaces de referencia genéricos de satélites geoestacionarios en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz (espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio)

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <https://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2024

© UIT 2024

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R S.2157-0

Procedimientos para la evaluación de la interferencia causada por un sistema de satélites no geoestacionarios a un conjunto global de los enlaces de referencia genéricos de satélites geoestacionarios en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz (espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio)

(2023)

NOTA – Con la aprobación de esta Recomendación no debe interpretarse que el UIT-R haya expresado opiniones directas o indirectas a favor de cualquiera de los métodos incluidos en el Informe de la RPC sobre el punto 7, tema G del orden del día de la CMR-23¹.

Cometido

Esta Recomendación proporciona procedimientos para la evaluación de la conformidad de cualquier sistema de órbita no geoestacionaria (no OSG) con el número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) a fin de garantizar la protección de las redes de satélites de órbita geoestacionaria (OSG) en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz (espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio).

Palabras clave

Interferencia admisible de una sola fuente, degradación de la calidad de funcionamiento del enlace, codificación y modulación adaptativas, enlaces de referencia genéricos OSG, disponibilidad y eficacia espectral, desvanecimiento por precipitación

Abreviaturas/Glosario

ACM Codificación y modulación adaptativas (*adaptive coding and modulation*)

DFPE Densidad de flujo de potencia equivalente

FDA Función de distribución acumulativa

FDP Función de densidad de probabilidad

Recomendaciones e Informes de la UIT conexos

Recomendación UIT-R P.618 – Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio

Recomendación UIT-R S.1503 – Descripción funcional que ha de utilizarse en el desarrollo de herramientas informáticas para determinar la conformidad de redes de satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite con los límites contenidos en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones

Recomendación UIT-R S.2131 – Método para determinar los objetivos de calidad de funcionamiento para trayectos digitales ficticios de referencia que utilizan codificación y modulación adaptativas

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que las redes del servicio fijo por satélite (SFS) en órbita geoestacionaria (OSG) y no geoestacionaria (no OSG) pueden funcionar en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz

¹ Nota de la Secretaría: Esta Nota se eliminará tras la CMR-23.

(espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio);

b) que la CMR-19 ha adoptado los números **22.5L** y **22.5M**, en los que se especifican los límites de una sola fuente y límites combinados aplicables a los sistemas del SFS no OSG en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz (espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio) para proteger las redes OSG que funcionan en las mismas bandas de frecuencias,

reconociendo

a) que el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) ha elaborado una metodología, recogida en la Recomendación UIT-R S.1503, para obtener la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) generada por cualquier sistema del SFS no OSG considerado;

b) que, según los cálculos basados en la Recomendación UIT-R S.1503, la verificación de la interferencia de la dfpe causada en todo el mundo por cualquier sistema no OSG puede realizarse mediante un conjunto de balances de enlaces de referencia genéricos OSG, cuyas características tengan en cuenta el despliegue global de redes OSG y sean independientes de cualquier ubicación geográfica específica;

c) que la Resolución **769 (CMR-19)** trata de la protección de las redes OSG contra las emisiones combinadas de sistemas no OSG,

recomienda

que se consideren los procedimientos especificados en los Anexos 1 y 2 al evaluar la conformidad de cualquier sistema no OSG con el número **22.5L** del Reglamento de Radiocomunicaciones a fin de garantizar la protección de las redes de satélites OSG en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz (espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio).

Anexo 1

Procedimiento de la Oficina para verificar la conformidad de los sistemas del SFS no OSG con el número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz (espacio-Tierra), 39,5-42,5 GHz (espacio-Tierra), 47,2-50,2 GHz (Tierra-espacio) y 50,4-51,4 GHz (Tierra-espacio)

En este Anexo se describe el procedimiento para validar el cumplimiento de la interferencia admisible de una sola fuente causada por un sistema de satélites no OSG a redes de satélites OSG utilizando los parámetros de los enlaces de referencia genéricos OSG del Anexo 1 a la Resolución **770 (CMR-19)** y para calcular los efectos de las interferencias utilizando la última versión de la Recomendación UIT-R S.1503. El procedimiento para determinar el cumplimiento con la interferencia admisible de una sola fuente se basa en los siguientes principios.

Principio 1: Las dos fuentes de degradación de la calidad de funcionamiento del enlace variables en el tiempo que se han de tener en cuenta en la verificación son el desvanecimiento del enlace (debido a la lluvia), conforme a las características del enlace de referencia OSG genérico descritas en la Resolución **770 (CMR-19)**, y la interferencia causada por un sistema no OSG. La relación C/N total en el ancho de banda de referencia para una determinada portadora es:

$$C/N = C/(N_T + I) \quad (1)$$

siendo:

- C: potencia de la señal deseada (W) en el ancho de banda de referencia, que varía en función de los desvanecimientos y de la configuración de la transmisión
- N: potencia de ruido (W) en el ancho de banda de referencia
- N_T : potencia de ruido total del sistema (W) en el ancho de banda de referencia
- I: potencia de la interferencia que varía con el tiempo (W) en el ancho de banda de referencia generado por otras redes.

Principio 2: El cálculo de la eficiencia espectral se centra en los sistemas de satélites que utilizan la codificación y modulación adaptativas (ACM) mediante el cálculo de la degradación del caudal como función de la C/N , que varía de acuerdo con los efectos de la propagación y de la interferencia en el enlace del satélite a largo plazo.

Principio 3: Durante un episodio de desvanecimiento en sentido descendente, si las portadoras tienen la misma polarización, la portadora interferente se atenuará en la misma medida que la portadora deseada. Como resultado de este principio, se tiende a subestimar ligeramente los efectos de la interferencia del enlace descendente.

Implementación del algoritmo de verificación

Para determinar si una red del SFS no OSG cumple el número **22.5L** del Reglamento de Radiocomunicaciones, se deben utilizar los parámetros de los enlaces de referencia genéricos OSG descritos en el Anexo 1 a la Resolución **770 (CMR-19)**, como se indica en el siguiente algoritmo.

En el análisis paramétrico se proporciona una gama de valores en la sección 2 de los Cuadros 1 y 2 del Anexo 1 a la Resolución **770 (CMR-19)** para cada uno de los siguientes parámetros:

- variación de la densidad de p.i.r.e.
- ángulo de elevación (grados)
- altura de la lluvia (m)
- latitud (grados)
- intensidad de lluvia del 0,01% (mm/hr)
- altitud de la estación terrena (m)
- temperatura de ruido de la estación terrena (K) o temperatura de ruido del satélite (K), según proceda.

Se debe generar un conjunto de enlaces de referencia genéricos OSG, utilizando un valor de cada caso de servicio de la sección 1 de los Cuadros 1 y 2 del Anexo 1 a la Resolución **770 (CMR-19)**, así como un valor de cada parámetro del análisis paramétrico de la sección 2 de los Cuadros 1 y 2. Con este conjunto de enlaces de referencia genéricos OSG, se procederá del modo siguiente:

*La frecuencia que debe utilizarse en los siguientes pasos, excepto en el paso 2, es 37,5 GHz para el sentido espacio-Tierra y 47,2 GHz para el sentido Tierra-espacio. La frecuencia f_{GHz} , que se debe utilizar en el paso 2 se determina aplicando la metodología de la Recomendación UIT-R S.1503 a las frecuencias notificadas del sistema no OSG y a las bandas de frecuencias a las que se aplica el número **22.5L** del Reglamento de Radiocomunicaciones.*

Para cada uno de los enlaces de referencia genéricos OSG

{

Paso 0: Determinar si este enlace de referencia OSG genérico es válido y seleccionar el umbral apropiado.

Si el enlace de referencia OSG genérico es válido, entonces

{

Paso 1: Calcular la función de densidad de probabilidad (FDP) del desvanecimiento debido a la lluvia que se ha de utilizar en la convolución

Paso 2: Utilizar la Recomendación UIT-R S.1503 para obtener la FDP de la dfpe del sistema del SFS no OSG

Paso 3: Realizar una convolución modificada (espacio-Tierra) o una convolución (Tierra-espacio) con la FDP del desvanecimiento debido a la lluvia y con la FDP de la dfpe. Con esta convolución se obtiene la FDP de C/N y C/(N_T+I)

Paso 4: Utilizar las FDP de C/N y C/(N_T+I) para determinar si se cumple el número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones

}

}

Si el sistema no OSG que se está examinando cumple el número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones con respecto a todos los enlaces de referencia genéricos OSG, la conclusión de la evaluación es favorable; de lo contrario, la conclusión es desfavorable.

Cada uno de estos pasos se describe con mayor detalle para los procedimientos espacio-Tierra y Tierra-espacio en los Adjuntos 1 y 2 al presente Anexo, respectivamente.

Adjunto 1 al Anexo 1

Etapas aplicables al sentido espacio-Tierra en las bandas de frecuencias 37,5-39,5 GHz y 39,5-42,5 GHz para determinar el cumplimiento con el número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones

Al aplicar los siguientes pasos, se determina el efecto de la interferencia de una sola fuente del sistema no OSG sobre la disponibilidad y la eficiencia espectral de un enlace de referencia OSG genérico. Se utilizan los parámetros de los enlaces de referencia genéricos OSG del Anexo 1 a la Resolución 770 (CMR-19), considerando todas las permutaciones paramétricas posibles, junto con la dfpe correspondiente a la configuración geométrica más desfavorable de la versión más reciente de la Recomendación UIT-R S.1503. El resultado de la Recomendación UIT-R S.1503 es un conjunto de estadísticas de interferencia que genera un sistema no OSG. Posteriormente, se utilizan estas estadísticas de interferencia para determinar los efectos de la interferencia en cada enlace de referencia OSG genérico.

Paso 0: Verificación del enlace de referencia OSG genérico y selección del umbral de C/N

Se llevarán a cabo los siguientes pasos para determinar si el enlace de referencia OSG genérico es válido y, si lo es, cuál de los umbrales $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr,i}$ debe utilizarse. Se supone que $R_s = 6\,378,137$ km,

$R_{geo} = 42\,164$ km, $k_{dB} = -228,6$ dB(J/K) y $c = 2,99792458 \times 10^5$ km/s.

Cabe destacar que el término «función de distribución acumulativa» comprende también el concepto de función de distribución acumulativa complementaria, según el contexto.

- 1) Calcular la ganancia de pico de la antena de estación terrena en dBi utilizando:
para $20 \leq D/\lambda \leq 100$

$$G_{m\acute{a}x} = 20 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 7,7 \quad \text{dBi}$$

para $D/\lambda > 100$

$$G_{m\acute{a}x} = 20 \log \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 8,4 \quad \text{dBi}$$

- 2) Calcular la distancia del trayecto oblicuo en km utilizando:

$$d_{km} = R_s \left(\sqrt{\frac{R_{geo}^2}{R_s^2} - \cos^2(\epsilon)} - \text{sen}(\epsilon) \right)$$

- 3) Calcular las pérdidas de trayecto en espacio libre en dB utilizando:

$$L_{fs} = 92,45 + 20 \log(f_{GHz}) + 20 \log(d_{km})$$

- 4) Calcular la potencia de la señal deseada en el ancho de banda de referencia en dBW teniendo en cuenta las pérdidas adicionales del enlace:

$$C = p.i.r.e. + \Delta p.i.r.e. - L_{fs} + G_{m\acute{a}x} - L_o$$

- 5) Calcular la potencia de ruido total en el ancho de banda de referencia en dBW/MHz utilizando:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra} + M_{ointer}$$

- 6) Para cada umbral $(C/N)_{Thr,i}$, obtener el margen disponible para las precipitaciones para ese caso en dB:

$$A_{rain,i} = C - N_T - \left(\frac{C}{N} \right)_{Thr,i}$$

- 7) Si para cada umbral $(C/N)_{Thr,i}$ el margen $A_{rain,i} \leq A_{mín}$, entonces este enlace de referencia OSG genérico no es válido.

- 8) Para cada uno de los umbrales $(C/N)_{Thr,i}$ para los que $A_{rain,i} > A_{mín}$, llevar a cabo el paso 9.

- 9) Utilizando el modelo de precipitación del Anexo 2 a la presente Recomendación y los valores seleccionados de intensidad de lluvia, la altura de la estación terrena, la altura de la lluvia, la latitud de la estación terrena, el ángulo de elevación, la frecuencia y el margen del desvanecimiento debido a la lluvia calculado y suponiendo polarización vertical, se calcula el porcentaje de tiempo asociado, $p_{rain,i}$.

- 10) Si para cada umbral $(C/N)_{Thr,i}$ el porcentaje de tiempo asociado no se encuentra en la gama:

$$0,01\% \leq P_{rain,i} \leq 10\%$$

este enlace de referencia OSG genérico no es válido.

- 11) Si por lo menos uno de los umbrales cumple los criterios en los pasos 7 y 10, entonces se utiliza en el análisis el umbral $(C/N)_{Thr}$ más bajo que cumpla esos criterios.

NOTA – $A_{mín}$ es 3 dB.

Paso 1: Generación de la FDP del desvanecimiento debido a precipitaciones

La FDP del desvanecimiento debido a las precipitaciones debe generarse utilizando el Anexo 2 a la presente Recomendación a partir de los valores seleccionados de la intensidad de lluvia, la altura de

la estación terrena, la latitud de la estación terrena, la altura de la lluvia, el ángulo de elevación y la frecuencia (recogidos en el Cuadro 2 del Anexo 2) y suponiendo polarización vertical, de la forma siguiente:

- 1) Calcular la profundidad del desvanecimiento máximo $A_{rain}(p)$ utilizando $p = p_{mín}$, teniendo en cuenta que $p_{mín}$ se facilita en el Anexo 2.
- 2) Generar un conjunto de N sectores de 0,1 sectores de ancho del desvanecimiento debido a las precipitaciones A_{rain} entre 0 dB y el valor redondeado a 1 dígito a la derecha del separador decimal de $(A_{rain}(p_{mín}))+0,1$ dB.
- 3) Para cada uno de los sectores, determinar la probabilidad asociada p para generar una función de distribución acumulativa (FDA) de A_{rain}

$$FDA_n = \text{Probabilidad de que } A_{rain} \geq ((n-1) * 0,1) \text{ dB} \quad \text{para } n < N$$

$$FDA_n = 0\% \quad \text{para } n = N$$

con $n = 1, 2, 3, \dots, N$.

- 4) Para cada uno de los sectores, convertir esta FDA en una FDP de A_{rain}

$$FDP_n = \frac{FDA_n - FDA_{n+1}}{100} \quad \text{para } n < N$$

$$FDP_n = 0\% \quad \text{para } n = N$$

donde: $\sum_{n=1}^N FDP_n = 1$

Para garantizar la coherencia con los resultados de la Recomendación UIT S.1503 se debe utilizar un tamaño de sector de 0,1 dB. Cada sector de la FDA incluye la probabilidad de que el desvanecimiento debido a las precipitaciones sea de por lo menos A_{rain} dB. Cada sector de la FDP incluye la probabilidad de que el desvanecimiento debido a las precipitaciones se encuentre entre A_{rain} y $A_{rain} + 0,1$ dB.

Paso 2: Generación de la FDP de la dfpe

Se debe utilizar la Recomendación UIT-R S.1503 para determinar la FDA de la dfpe a partir de los parámetros del SFS no OSG y de la frecuencia, el tamaño de la antena y el diagrama de ganancia de la antena de estación terrena. La FDA de la dfpe se calculará para la configuración geométrica más desfavorable a partir de la Recomendación UIT-R S.1503. La FDA de la dfpe estará compuesta por N sectores separados por 0,1 dB.

La FDA de la dfpe se convertirá entonces en una FDP, de la manera siguiente:

- 1) Garantizar que el porcentaje de tiempo es del 100% para los primeros sectores de la FDA de dfpe y del 0% para los últimos sectores
- 2) Para cada uno de los sectores, convertir esta FDA en una FDP de la dfpe

$$FDP_n = \frac{FDA_n - FDA_{n+1}}{100} \quad \text{para } n < N$$

$$FDP_n = 0 \quad \text{para } n = N$$

donde: $\sum_{n=1}^N FDP_n = 1$

Cada sector de la FDA de la dfpe incluye la probabilidad de una dfpe de X dB W/m² como mínimo en el ancho de banda de referencia. Cada sector de la FDP incluye la probabilidad de que la dfpe se encuentre entre X y $X + 0,1$ dB.

Paso 3: Creación de las FDA de C/N y C/(N+I) mediante la convolución modificada de la FDP del desvanecimiento debido a las precipitaciones con la FDP de la dfpe

Para el enlace de referencia OSG genérico, las FDP de C/N y C/(N+I) se deben generar utilizando los pasos siguientes para realizar la convolución discreta modificada:

Inicializar las distribuciones de C/N y C/(N+I) con el tamaño de sector de 0,1 dB

Calcular el área efectiva de una antena isótropa para la longitud de onda λ utilizando:

$$A_{ISO} = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

Calcular la potencia de la señal deseada teniendo en cuenta las pérdidas de enlace adicionales y la ganancia de antena en el borde de cobertura:

$$C = p.i.r.e. + \Delta p.i.r.e. - L_{fs} + G_{m\acute{a}x} - L_o$$

Calcular la potencia de ruido del sistema utilizando:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra}$$

Para cada valor de A_{rain} en la FDP de desvanecimiento por precipitaciones

{

Calcular la potencia de la señal deseada con desvanecimiento utilizando:

$$C_f = C - A_{rain}$$

Calcular la C/N utilizando:

$$\frac{C}{N} = C_f - N_T$$

Actualizar la distribución de C/N con estas C/N y la probabilidad asociada con este A_{rain}

Para cada valor de dfpe en la FDP de dfpe

{

Calcular la interferencia proveniente de la dfpe teniendo en cuenta el desvanecimiento debido a las precipitaciones utilizando:

$$I = EPFD + G_{peak} + A_{iso} - A_{rain}$$

Calcular el ruido más la interferencia utilizando:

$$(N_T + I) = 10 \log(10^{N_T/10} + 10^{I/10})$$

Calcular la C/(N+I) utilizando:

$$\frac{C}{N+I} = C_f - (N_T + I)$$

Identificar el sector de C/(N+I) pertinente para este valor de C/(N+I)

Incrementar la probabilidad de este sector con el producto de las probabilidades de este desvanecimiento debido a las precipitaciones y la dfpe

}

}

Paso 4: Utilizar las distribuciones de C/N y $C/(N+I)$ con los criterios del número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones

A continuación, se utilizan las distribuciones de C/N y $C/(N+I)$ para comprobar los criterios de disponibilidad y de eficiencia espectral del número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones, como sigue:

Paso 4A: Comprobar el incremento de la indisponibilidad

Utilizando el umbral $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$ seleccionado para el enlace de referencia OSG genérico, determinar lo siguiente:

$U_R =$ Suma de las probabilidades de todos los sectores para los que $C/N < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

$U_{RI} =$ Suma de las probabilidades de todos los sectores para los que $C/(N+I) < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

La condición que hay que verificar para el cumplimiento es:

$$U_{RI} \leq 1,03 \times U_R$$

Paso 4B: Comprobar la disminución de la eficiencia espectral promedio ponderada en el tiempo

Determinar la eficiencia espectral promedio ponderada en el tiempo a largo plazo, SE_R , suponiendo precipitación únicamente mediante:

Establecer $SE_R = 0$

Para todos los sectores en la FDP de C/N por encima del umbral $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

{

Se debe utilizar la ecuación (3) del Anexo a la Recomendación UIT-R S.2131-1 para convertir la C/N en una eficiencia espectral

Incrementar SE_R con la eficiencia espectral multiplicada por la probabilidad asociada con esa C/N

}

Determinar la eficiencia espectral promedio ponderada en el tiempo a largo plazo, SE_{RI} , suponiendo precipitación e interferencia mediante:

Establecer $SE_{RI} = 0$

Para todos los sectores de la FDP de $C/(N+I)$ por encima del umbral $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

{

Se debe utilizar la ecuación (3) del Anexo a la Recomendación UIT-R S.2131-1 para convertir la $C/(N+I)$ en una eficiencia espectral

Incrementar SE_{RI} con la eficiencia espectral multiplicada por la probabilidad asociada con esa $C/(N+I)$

}

La condición que hay que verificar para el cumplimiento es:

$$SE_{RI} \geq SE_R * (1 - 0,03)$$

Adjunto 2 al Anexo 1

Pasos del algoritmo que se aplican en el sentido Tierra-espacio en las bandas de frecuencias 47,2-50,2 GHz y 50,4-51,4 GHz para determinar el cumplimiento con el número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones

Al aplicar los siguientes pasos, se determina el efecto de la interferencia de una sola fuente del sistema no OSG sobre la disponibilidad y la eficiencia espectral de un enlace de referencia OSG genérico. Se utilizan los parámetros de los enlaces de referencia genéricos OSG del Anexo 1 a la Resolución 770 (CMR-19), considerando todas las permutaciones paramétricas posibles, junto con la dfpe correspondiente a la configuración geométrica más desfavorable de la versión más reciente de la Recomendación UIT-R S.1503. El resultado de la Recomendación UIT-R S.1503 es un conjunto de estadísticas de interferencia que genera un sistema no OSG. Posteriormente, se utilizan estas estadísticas de interferencia para determinar los efectos de la interferencia en cada enlace de referencia OSG genérico.

Paso 0: Verificación del enlace de referencia OSG genérico y selección del umbral de C/N

Se llevarán a cabo los siguientes pasos para determinar si el enlace de referencia OSG genérico es válido y, si lo es, cuál de los umbrales debe utilizarse. Se supone que $R_s = 6\,378,137$ km, $R_{geo} = 42\,164$ km, $k_{dB} = -228,6$ dB(J/K) y $c = 2,99792458 \times 10^5$ km/s.

Cabe destacar que el término «función de distribución acumulativa» comprende también el concepto de función de distribución acumulativa complementaria, según el contexto.

- 1) Calcular la distancia del trayecto oblicuo en km utilizando:

$$d_{km} = R_s \left(\sqrt{\frac{R_{geo}^2}{R_s^2} - \cos^2(\epsilon)} - \sin(\epsilon) \right)$$

- 2) Calcular las pérdidas de trayecto en espacio libre en dB utilizando:

$$L_{fs} = 92,45 + 20 \log(f_{GHz}) + 20 \log(d_{km})$$

- 3) Calcular la potencia de la señal deseada en el ancho de banda de referencia en dBW teniendo en cuenta las pérdidas adicionales del enlace y la ganancia de antena en el borde de cobertura:

$$C = p_{ire} + \Delta p_{ire} - L_{fs} + G_{m\acute{a}x} - L_o + G_{rel}$$

- 4) Calcular la potencia de ruido total en el ancho de banda de referencia en dBW/MHz utilizando:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{MHz} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra} + M_{ointer}$$

- 5) Para cada umbral $(C/N)_{Thr,i}$, obtener el margen de precipitación para ese caso en dB:

$$A_{rain,i} = C - N_T - \left(\frac{C}{N} \right)_{Thr,i}$$

- 6) Si para cada umbral $(C/N)_{Thr,i}$ el margen $A_{rain,i} \leq A_{mín}$, entonces este enlace de referencia OSG genérico no es válido.
- 7) Para cada uno de los umbrales $(C/N)_{Thr,i}$ para los que $A_{rain,i} > A_{mín}$, llevar a cabo el paso 8.
- 8) Utilizando el modelo de precipitación del Anexo 2 y los valores seleccionados de intensidad de lluvia, la altura de la estación terrena, la altura de la lluvia, la latitud de la estación terrena, el ángulo de elevación, la frecuencia y el margen del desvanecimiento debido a las

precipitaciones calculado y suponiendo polarización vertical, se calcula el porcentaje de tiempo asociado, $p_{rain,i}$.

- 9) Si para cada umbral $(C/N)_{Thr,i}$ el porcentaje de tiempo asociado no se encuentra en la gama:

$$0,01\% \leq p_{rain,i} \leq 10\%$$

este enlace de referencia OSG genérico no es válido.

- 10) Si por lo menos uno de los umbrales cumple los criterios en los pasos 6 y 9, entonces se debe utilizar en el análisis el umbral $(C/N)_{Thr}$ más bajo que cumpla esos criterios.

NOTA – $A_{mín}$ es 3 dB y la ganancia de antena relativa al pico hacia la estación terrena, $G_{rel} = -3$ dB.

Paso 1: Generación de la FDP del desvanecimiento debido a precipitaciones

La FDP del desvanecimiento debido a las precipitaciones debe generarse utilizando el Anexo 2 a la presente Recomendación a partir de los valores seleccionados de la intensidad de lluvia, la altura de la estación terrena, la latitud de la estación terrena, la altura de la lluvia, el ángulo de elevación y la frecuencia y suponiendo polarización vertical, de la forma siguiente:

- 1) Calcular la profundidad del desvanecimiento máximo $A_{rain}(p)$ utilizando $p = p_{mín}$, teniendo en cuenta que $p_{mín}$ se facilita en el Anexo 2.
- 2) Generar un conjunto de N sectores de ancho de 0,1 dB entre 0 dB y el valor redondeado a 1 dígito a la derecha del separador decimal de $(A_{rain}(p_{mín})+0,1$ dB.
- 3) Para cada uno de los sectores, determinar la probabilidad asociada p para generar una función de distribución acumulativa (FDA) de A_{rain}

$$FDA_n = \text{Probabilidad de que } A_{rain} \geq ((n-1) * 0,1) \text{ dB} \quad \text{para } n < N$$

$$FDA_n = 0\% \quad \text{para } n = N$$

con $n = 1, 2, 3, \dots, N$.

- 4) Para cada uno de los sectores, convertir esta FDA en una FDP de A_{rain}

$$FDP_n = FDA_n - FDA_{n+1} \quad \text{para } n < N$$

$$FDP_n = 0\% \quad \text{para } n = N$$

donde: $\sum_{n=1}^N FDP_n = 100\%$

Para garantizar la coherencia con los resultados de la Recomendación UIT S.1503 se debe utilizar un tamaño de sector de 0,1 dB. Cada sector de la FDA incluye la probabilidad de que el desvanecimiento debido a las precipitaciones sea de por lo menos A_{rain} dB. Cada sector de la FDP incluye la probabilidad de que el desvanecimiento debido a las precipitaciones se encuentre entre A_{rain} y $A_{rain} + 0,1$ dB.

Paso 2: Generación de la FDP de la dfpe

Se debe utilizar la Recomendación UIT-R S.1503 para determinar la FDA de la dfpe a partir de los parámetros del SFS no OSG y de la frecuencia, el tamaño de la antena y el diagrama de ganancia de la antena de estación terrena. La FDA de la dfpe se calculará para la configuración geométrica más desfavorable de la Recomendación UIT-R S.1503.

La FDA de la dfpe se convertirá entonces en una FDP:

Paso 3: Creación de las FDA de C/N y C/(N+I) mediante la convolución de la FDP del desvanecimiento debido a la precipitación con la FDP de la dfpe

Para el enlace de referencia OSG genérico, las FDP de C/N y C/(N+I) se deben generar utilizando los pasos siguientes para realizar la convolución discreta:

Inicializar las distribuciones de C/N y C/(N+I) con el tamaño de sector de 0,1 dB

Calcular el área efectiva de una antena isótropa para la longitud de onda λ utilizando:

$$A_{ISO} = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

Calcular la potencia de la señal deseada teniendo en cuenta las pérdidas de enlace adicionales y la ganancia de antena en el borde de cobertura:

$$C = eirp + \Delta eirp - L_{fs} + G_{max} - L_o + G_{rel}$$

Calcular la potencia de ruido del sistema utilizando:

$$N_T = 10 \log(T \cdot B_{MHZ} \cdot 10^6) + k_{dB} + M_{ointra}$$

Para cada valor de A_{rain} en la FDP de desvanecimiento por precipitaciones

{

Calcular la potencia de la señal deseada con desvanecimiento utilizando:

$$C_f = C - A_{rain}$$

Calcular la C/N utilizando:

$$\frac{C}{N} = C_f - N_T$$

Actualizar la distribución de C/N con estas C/N y la probabilidad asociada con este A_{rain}

Para cada valor de $dfpe$ en la FDP de $dfpe$

{

Calcular la interferencia proveniente de la $dfpe$:

$$I = EPFD + G_{peak} + A_{iso}$$

Calcular el ruido más la interferencia utilizando:

$$(N_T + I) = 10 \log(10^{N_T/10} + 10^{I/10})$$

Calcular la C/(N+I) utilizando:

$$\frac{C}{N+I} = C_f - (N_T + I)$$

Identificar el sector de C/(N+I) pertinente para este valor de C/(N+I)

Incrementar la probabilidad de este sector con el producto de las probabilidades de este desvanecimiento debido a las precipitaciones y la $dfpe$

}

}

Paso 4: Utilizar las distribuciones de C/N y C/(N+I) con los criterios del número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones

A continuación, se utilizan las distribuciones de C/N y C/(N+I) para comprobar los criterios de disponibilidad y de eficiencia espectral del número 22.5L del Reglamento de Radiocomunicaciones, como sigue:

Paso 4A: Comprobar el incremento de la indisponibilidad

Utilizando el umbral $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$ seleccionado para el enlace de referencia OSG genérico, determinar lo siguiente:

$$U_R = \text{Suma de las probabilidades de todos los sectores para los que } C/N < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$$

$$U_{RI} = \text{Suma de las probabilidades de todos los sectores para los que } C/(N+I) < \left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$$

La condición cuyo cumplimiento hay que verificar es:

$$U_{RI} \leq 1,03 \times U_R$$

Paso 4B: Comprobar la disminución de la eficiencia espectral promedio ponderada en el tiempo

Determinar la eficiencia espectral promedio ponderada en el tiempo a largo plazo, SE_R , suponiendo precipitación únicamente mediante:

Establecer $SE_R = 0$

Para todos los sectores en la FDP de C/N por encima del umbral $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

{

Se debe utilizar la ecuación (3) del Anexo a la Recomendación UIT-R S.2131-1 para convertir la C/N en una eficiencia espectral

Incrementar SE_R con la eficiencia espectral multiplicada por la probabilidad asociada con esa C/N

}

Determinar la eficiencia espectral promedio ponderada en el tiempo a largo plazo, SE_{RI} , suponiendo precipitación e interferencia mediante:

Establecer $SE_{RI} = 0$

Para todos los sectores de la FDP de $C/(N+I)$ por encima del umbral $\left(\frac{C}{N}\right)_{Thr}$

{

Se debe utilizar la ecuación (3) del Anexo a la Recomendación UIT-R S.2131-1 para convertir la $C/(N+I)$ en una eficiencia espectral

Incrementar SE_{RI} con la eficiencia espectral multiplicada por la probabilidad asociada con esa $C/(N+I)$

}

La condición cuyo cumplimiento hay que verificar es:

$$SE_{RI} \geq SE_R * (1 - 0,03)$$

Anexo 2

Cálculo de estadísticas de desvanecimiento debido a precipitaciones

Las estadísticas a largo plazo del desvanecimiento debido a precipitaciones que deben utilizarse vienen dadas por las ecuaciones siguientes:

$$\begin{array}{ll}
 A_{rain}(p_{min}) & \text{para } 0\% \leq p \leq p_{min} \\
 A_{rain}(p) & \text{para } p_{min} < p \leq p_1 \\
 A_{rain}(p_1)(\log_{10}(p) - 1)/(\log_{10}(p_1) - 1) & p_1 < p \leq p_{max} \\
 0 \text{ dB} & p_{max} < p \leq 100\%
 \end{array}$$

donde p_{max} es una probabilidad de desvanecimiento debido a la lluvia superior a 0 dB (véase el parámetro de 2.9 en los Cuadros 1 y 2 del Anexo 1 a la Resolución **770 (CMR-19)**); $A_{rain}(p)$ se calcula como se indica en el número 2.2.1.1. de la Recomendación UIT-R P.618-13; y p_1 y p_{min} se indican en el Cuadro 1 para el sentido espacio-Tierra OSG ($F = 37,5$ GHz) y en el Cuadro 2 para el sentido Tierra-espacio GSO ($F = 47,2$ GHz); el índice de lluvias y las condiciones de lluvia conexas para los dos sentidos figuran en el Cuadro 3.

CUADRO 1

 p_1 y p_{min} que se deben utilizar en el sentido espacio- Tierra (enlace descendente)

Índice	P_1 (%)	p_{min} (%)									
1	2,4116	0,002233	15	2,27683	0,001509	29	2,5255	0,001016	43	2,1999	0,001004
2	2,43056	0,002184	16	2,132474	0,002155	30	2,5531	0,001021	44	2,22281	0,001006
3	2,45185	0,002007	17	2,15401	0,002046	31	2,24996	0,002127	45	2,24985	0,001
4	2,17104	0,004299	18	2,17912	0,001918	32	2,26854	0,002023	46	2,53394	0,001595
5	2,1888	0,004098	19	2,62353	0,001001	33	2,28952	0,001914	47	2,5582	0,001529
6	2,20875	0,003859	20	2,692	0,001006	34	2,14671	0,002772	48	2,58521	0,001417
7	2,072122	0,005539	21	2,8211	0,001015	35	2,16454	0,002648	49	2,20414	0,003914
8	2,08942	0,005269	22	2,37672	0,001007	36	2,184672	0,002505	50	2,22922	0,003662
9	2,10884	0,005003	23	2,43951	0,001006	37	2,56214	0,001013	51	2,25721	0,003423
10	2,46476	0,001003	24	2,5431	0,001004	38	2,59324	0,001005	52	2,05972	0,005707
11	2,48883	0,001012	25	2,276	0,001	39	2,62902	0,001013	53	2,08493	0,005346
12	2,5169	0,001008	26	2,33666	0,001003	40	2,30243	0,001005	54	2,113093	0,004968
13	2,22858	0,001696	27	2,43675	0,001007	41	2,3264	0,001			
14	2,25085	0,001597	28	2,50513	0,001055	42	2,35466	0,001008			

CUADRO 2

p_1 y p_{min} que se deben utilizar en el sentido Tierra-espacio (enlace ascendente)

Índice	P_1 (%)	p_{min} (%)									
1	2,33455	0,002786	15	2,20921	0,001796	29	2,44635	0,001235	43	2,131202	0,001002
2	2,35384	0,002625	16	2,066286	0,002558	30	2,4716	0,001185	44	2,155341	0,001001
3	2,37551	0,002469	17	2,08869	0,002422	31	2,1799	0,002555	45	2,183783	0,001003
4	2,1054	0,005082	18	2,1148	0,002274	32	2,199252	0,002421	46	2,4509	0,002042
5	2,123611	0,004846	19	2,54793	0,00101	33	2,22109	0,002291	47	2,47605	0,001865
6	2,144072	0,004584	20	2,6164	0,001009	34	2,07934	0,003305	48	2,50405	0,001724
7	2,010594	0,006442	21	2,7466	0,001009	35	2,098044	0,003155	49	2,13059	0,004723
8	2,0284	0,006179	22	2,3119	0,001003	36	2,119153	0,002987	50	2,15691	0,004433
9	2,048392	0,005855	23	2,3766	0,001002	37	2,47937	0,001004	51	2,18624	0,004149
10	2,38588	0,001116	24	2,48305	0,001007	38	2,5116	0,00101	52	1,988883	0,00683
11	2,4105	0,001048	25	2,21479	0,001002	39	2,5486	0,001013	53	2,01554	0,006349
12	2,4392	0,001007	26	2,27762	0,001005	40	2,23144	0,001003	54	2,045274	0,005903
13	2,159292	0,002035	27	2,38105	0,001003	41	2,25648	0,001006			
14	2,18234	0,001915	28	2,42572	0,001315	42	2,28598	0,001003			

CUADRO 3

Índice de lluvia y condiciones de lluvia correspondientes

Índice de lluvia	ε	h_{rain}	Lat	$R_{0,01}$	h_{ES}	Índice de lluvia	ε	h_{rain}	Lat	$R_{0,01}$	h_{ES}
1	20	5 000	0	10	0	28	55	5 000	0	10	0
2	20	5 000	0	10	500	29	55	5 000	0	10	500
3	20	5 000	0	10	1 000	30	55	5 000	0	10	1 000
4	20	5 000	0	50	0	31	55	5 000	0	50	0
5	20	5 000	0	50	500	32	55	5 000	0	50	500
6	20	5 000	0	50	1 000	33	55	5 000	0	50	1 000
7	20	5 000	0	100	0	34	55	5 000	0	100	0
8	20	5 000	0	100	500	35	55	5 000	0	100	500
9	20	5 000	0	100	1 000	36	55	5 000	0	100	1 000
10	20	3 950	30	10	0	37	55	3 950	30	10	0
11	20	3 950	30	10	500	38	55	3 950	30	10	500
12	20	3 950	30	10	1 000	39	55	3 950	30	10	1 000
13	20	3 950	30	50	0	40	55	3 950	30	50	0
14	20	3 950	30	50	500	41	55	3 950	30	50	500
15	20	3 950	30	50	1 000	42	55	3 950	30	50	1 000
16	20	3 950	30	100	0	43	55	3 950	30	100	0
17	20	3 950	30	100	500	44	55	3 950	30	100	500
18	20	3 950	30	100	1 000	45	55	3 950	30	100	1 000
19	20	1 650	61,8	10	0	46	90	5 000	0	10	0
20	20	1 650	61,8	10	500	47	90	5 000	0	10	500
21	20	1 650	61,8	10	1 000	48	90	5 000	0	10	1 000
22	20	1 650	61,8	50	0	49	90	5 000	0	50	0
23	20	1 650	61,8	50	500	50	90	5 000	0	50	500
24	20	1 650	61,8	50	1 000	51	90	5 000	0	50	1 000
25	20	1 650	61,8	100	0	52	90	5 000	0	100	0
26	20	1 650	61,8	100	500	53	90	5 000	0	100	500
27	20	1 650	61,8	100	1 000	54	90	5 000	0	100	1 000