



Departamento de Servicios Espaciales

LÍMITES DE LA DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA EQUIVALENTE (dfpe)

1 Introducción

La Resolución **85 (CMR-03)** trata de la aplicación del Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones para la protección de las redes de sistemas geoestacionarios del servicio fijo por satélite y del servicio de radiodifusión por satélite contra los sistemas de satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite.

La citada Resolución **85 (CMR-03)** solicita a la Oficina que examine si las asignaciones de frecuencia a:

- a) los sistemas de satélites del SFS no OSG cumplen los límites de dfpe que figuran en los Cuadros **22-1A, 22-1B, 22-1C, 22-1D, 22-1E, 22-2** y **22-3** del Artículo **22** del RR;
- b) estaciones terrenas concretas de gran tamaño (bajo ciertas condiciones) requieren la coordinación en virtud del número **9.7A** del RR con respecto a cualquiera de los sistemas de satélites no geoestacionarios existentes que utilizan los umbrales de coordinación del Apéndice **5** del RR; o
- c) sistemas de satélites del SFS no OSG requieren la coordinación en virtud del número **9.7B** del RR con respecto a toda estación terrena de gran tamaño (bajo ciertas condiciones) que utilice los umbrales de coordinación del Apéndice **5** del RR.

La aplicación de estas disposiciones se basa en la verificación de la dfpe producida por los sistemas de satélites no geoestacionarios.

Este documento proporciona información básica sobre la aplicación de los límites de dfpe centrándose en situaciones reglamentarias que implican la compartición entre sistemas del SFS no OSG y sistemas del SFS/SRS OSG.

2 Sistemas de satélites no geoestacionarios

Los sistemas de satélites no geoestacionarios (no OSG) son ideales para proporcionar comunicaciones en tiempo real con cobertura mundial. Los sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) no OSG suelen proporcionar servicios de banda ancha de alta velocidad y, en particular, conectividad a Internet, a los hogares y oficinas del mundo entero, incluidas las ubicaciones a las que no se puede llegar con satélites geoestacionarios. Un sistema de satélites no OSG típico consiste en una o varias estaciones espaciales situadas en órbita terrestre baja o media y las estaciones de

cabecera. Las cabeceras conectan con las redes terrenales para ofrecer a todos los usuarios acceso a las redes públicas o privadas.

Habida cuenta de la escasez de frecuencias adecuadas y con objeto de aprovechar las actuales infraestructuras, los sistemas del SFS no OSG están compartiendo el espectro de frecuencias con los sistemas del SFS OSG y del servicio de radiodifusión por satélite (SRS). A fin de optimizar la utilización del espectro disponible, se requieren disposiciones reglamentarias tales como los límites de dfpe del Artículo 22 para facilitar la compartición entre los sistemas del SFS OSG y del SFS no OSG.

Actualmente, se han presentado a la Oficina numerosos sistemas no OSG para su coordinación y notificación. Todos ellos tienen diferentes parámetros de constelación y geometría de la órbita.

La mayoría de los sistemas tiene un gran número de satélites, que va desde decenas hasta varios miles. Incluso en un solo sistema de satélites, numerosos satélites podrían transmitir de forma simultánea a una zona geográfica en particular. Esta situación obliga a considerar lo siguiente a la hora de calcular la interferencia de una red no OSG a otra estación fija en tierra o en la OSG:

- no se dispone de información previa acerca de la ubicación de las estaciones interferentes;
- debido al constante movimiento de la fuente interferente en relación con una estación receptora fija, deben estudiarse las propiedades estadísticas de la interferencia;
- podría haber numerosas estaciones interferentes transmitiendo simultáneamente, aumentando de esa forma el nivel de interferencia combinada.

Estos factores hacen necesario encontrar criterios adecuados para medir la interferencia causada por el SFS no OSG al SFS OSG.

3 ¿Qué es la dfpe?

El concepto de dfpe fue adoptado por la CMR-97 para facilitar la introducción de los sistemas no OSG en el servicio fijo por satélite en ciertas bandas Ku y Ka compartidas con el SFS OSG.

La CMR-97 adoptó límites «estrictos» (que no deben sobrepasarse nunca) para las emisiones procedentes de sistemas no OSG y los definió de forma distinta a la densidad de flujo de potencia (DFP). La definición de la CMR-97 de densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) tiene en cuenta la combinación de las emisiones procedentes de todos los satélites no geoestacionarios en dirección a cualquier estación terrena OSG, teniendo presente la directividad de la misma antena OSG. Estos límites estrictos permiten a los sistemas de SFS no OSG compartir frecuencias con los sistemas OSG y proteger a los mismos sin que ello exija la coordinación individual con todos los sistemas del mundo.

El Artículo 22 del RR define la dfpe como sigue:

22.5C.1 La densidad de flujo de potencia equivalente se define como la suma de las densidades de flujo de potencia producidas en una estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios situada en la superficie de la Tierra o en la órbita de los satélites geoestacionarios, según el caso, por todas las estaciones transmisoras de un sistema de satélites no geoestacionarios, teniendo en cuenta la discriminación fuera del eje de una antena receptora de referencia que se supone apuntada en su dirección nominal. La densidad de flujo de potencia equivalente se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$dfpe = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4 \pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,máx}} \right]$$

siendo:

- N_a : número de estaciones transmisoras del sistema de satélites no geoestacionarios que son visibles desde la estación receptora geoestacionaria considerada situada en la superficie de la Tierra o en la órbita de los satélites geoestacionarios, según el caso
- i : índice de la estación transmisora considerada en el sistema de satélites no geoestacionarios
- P_i : potencia de radiofrecuencia a la entrada de la antena de la estación transmisora, considerada en el sistema de satélites no geoestacionarios (dBW) en la anchura de banda de referencia
- θ_i : ángulo formado por el eje de puntería de la estación transmisora considerada situada en el sistema de satélites no geoestacionarios y la dirección de la estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios
- $G_i(\theta_i)$: ganancia de la antena de transmisión (expresada como relación) de la estación considerada en el sistema de satélites no geoestacionarios en dirección de la estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios
- d_i : distancia (m) entre la estación transmisora considerada en el sistema de satélites no geoestacionarios y la estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios
- φ_i : ángulo que forman el eje de puntería de la estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios y la dirección de la estación transmisora i -ésima considerada en el sistema de satélites no geoestacionarios
- $G_r(\varphi_i)$: ganancia (expresada como relación) de la antena receptora de la estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios en dirección de la estación transmisora i ésima considerada en el sistema de satélites no geoestacionarios
- $G_{r,máx}$: máxima ganancia (expresada como relación) de la antena de la estación receptora del sistema de satélites geoestacionarios
- $dfpe$: densidad de flujo de potencia equivalente calculada (dB(W/m²)) en la anchura de banda de referencia. (CMR-2000)

FIGURA 1

Geometría para el cálculo de la dfpe en el enlace descendente

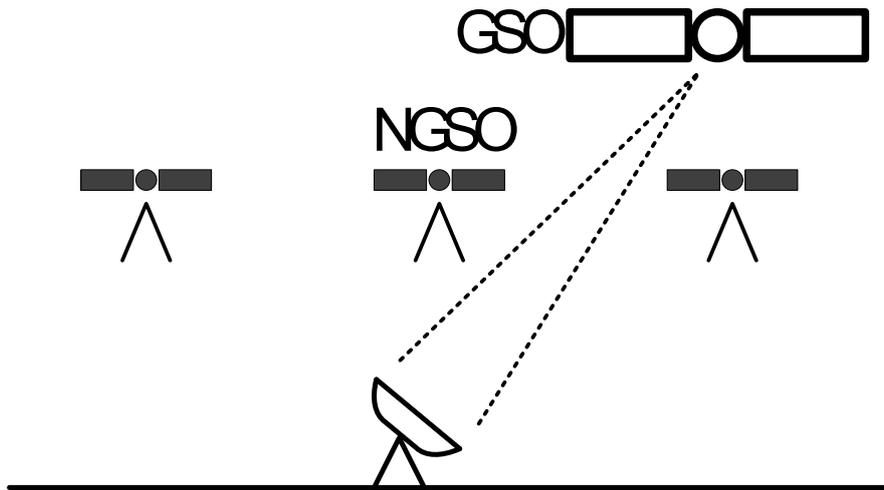


FIGURA 2

Geometría para el cálculo de la dfpe en el enlace ascendente

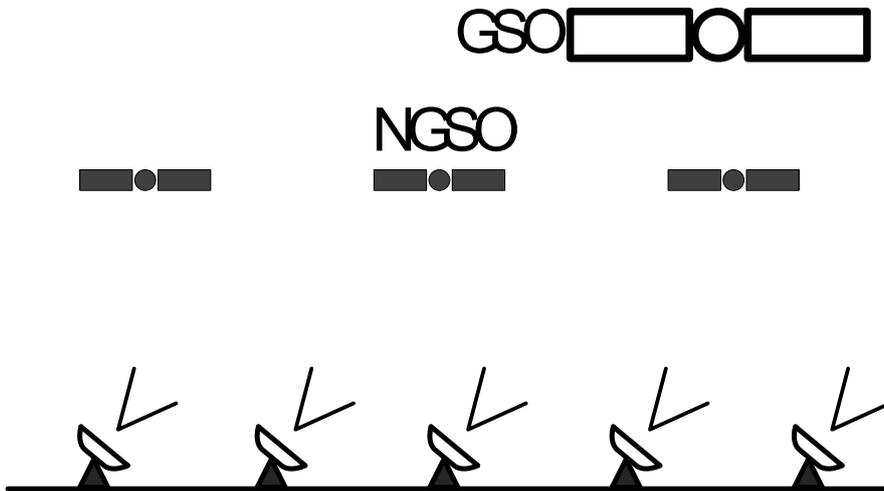
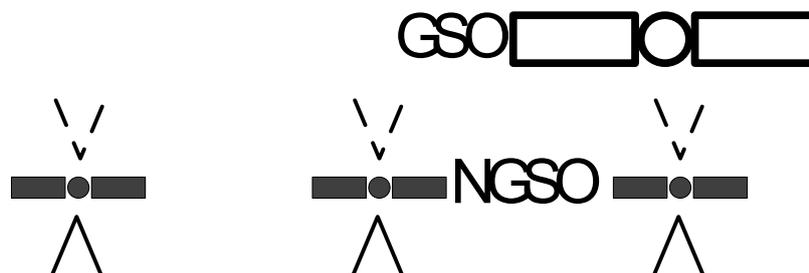


FIGURA 3

Geometría para el cálculo de la dfpe en el trayecto entre satélites



Al igual que la dfp, la dfpe se calcula en la antena receptora; no obstante, a diferencia de la dfp se tiene en cuenta la puntería de la antena con respecto a cada una de las fuentes de interferencia.

Es decir, cuando una antena recibe potencia, dentro de su anchura de banda de referencia, procedente simultáneamente de varios transmisores situados a distintas distancias, en diversas direcciones y con diferentes niveles de dfp incidente, la dfpe es equivalente a la dfp que si se recibiera procedente de un solo transmisor en el campo lejano de la antena y en dirección de máxima ganancia, produciría la misma potencia a la entrada del receptor que la recibida realmente de la combinación de los diversos transmisores.

Este concepto permite un conocimiento muy limitado de los parámetros de los sistemas de recepción. De hecho, a fin de caracterizar la interferencia para la clase específica del sistema receptor sólo se necesita conocer el diagrama de antena de referencia, el tamaño de la antena y la máxima ganancia de la antena asociada. El Artículo 22 contiene los contornos de los límites para un cierto número de configuraciones de estaciones terrenas receptoras, incluidos tamaños de antena comprendidos entre 30 cm y 5 m, y hasta 15 metros para el caso especial de la banda 3 700-4 200 MHz.

4 Dfpe en el Reglamento de Radiocomunicaciones

Actualmente, la dfpe es ampliamente utilizada en el Reglamento de Radiocomunicaciones en los siguientes casos:

- 1) Límites estrictos de dfpe en los sistemas de satélites del SFS no OSG para proteger el SFS/SRS OSG en el Artículo 22.
- 2) Límites umbrales de coordinación dfpe aplicables al SFS no OSG y al SFS OSG con arreglo a los números 9.7A y 9.7B.
- 3) Límites de dfpe para sistemas de diferentes servicios de radiocomunicaciones que utilizan la órbita de los satélites no geostacionarios a fin de proteger las estaciones de radioastronomía en un cierto número de bandas de frecuencias. Véanse las Resoluciones 739 (Rev.CMR-15), 741 (Rev.CMR-15) y 743 (CMR-03).
- 4) Protección de los sistemas del servicio de radionavegación aeronáutica contra la dfpe producida por redes y sistemas del servicio de radionavegación por satélite en la banda de frecuencias 1 164-1 215 MHz. Véase la Resolución 609 (Rev.CMR-07).

Sin embargo, únicamente en los dos primeros casos es necesario que la Oficina compruebe si las asignaciones de frecuencia a un sistema no OSG son conformes a los límites establecidos en el Artículo 22.

Para ello, la CMR-2000 solicitó a la Oficina que alentase a las administraciones a desarrollar el programa informático de validación de la dfpe que debería emplear la propia Oficina para establecer las conclusiones en aplicación del Artículo 22 y de los números 9.7A y 9.7B.

5 Programa informático de validación de la dfpe

La metodología del programa informático de validación de la dfpe se basa en la Recomendación UIT-R S.1503-2. Dicha Recomendación contiene una descripción detallada de los datos necesarios para determinar los límites de dfpe y los umbrales de coordinación contenidos en el Artículo 22 y el Apéndice 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

La metodología es compleja y, para aumentar la confianza en cualquier herramienta informática, la Oficina considera que serían necesarias al menos dos implementaciones independientes de la Recomendación UIT-R S.1503. En consecuencia, dos empresas de desarrollo de programas

informáticos comerciales han desarrollado herramientas de dfpe para verificar el cumplimiento del Artículo 22 o los requisitos de coordinación en virtud de los números 9.7A y 9.7B.

En 2016, la Oficina finalizó las herramientas informáticas con arreglo a la Recomendación UIT-R S.1503-2.

Pueden encontrarse todos los detalles del programa informático de validación de la dfpe que utilizará la Oficina para llevar a cabo su examen de acuerdo con la Resolución 85 (CMR-03) en la dirección: <http://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd>

La mayoría de la información necesaria para verificar el programa informático está contenida en la base de datos SRS. No obstante, debido a las complejas configuraciones de las diversas constelaciones no OSG es difícil simular las configuraciones de tráfico exactas en los parámetros de transmisión de los sistemas.

Para ello, la Recomendación UIT-R S.1503-2 establece un concepto de contornos de dfp/p.i.r.e. producida por las estaciones de red no OSG interferentes. El contorno tiene en cuenta todas las características de las disposiciones específicas de los sistemas no OSG.

Estos contornos pueden contener una gran cantidad de datos. A fin de que las administraciones sometan los datos del contorno de forma electrónica y con objeto de que la herramienta informática de dfpe emplee los datos presentados directamente, la Oficina ha desarrollado un formato XML para los contornos de dfp y de p.i.r.e.

El programa informático de validación de la dfpe se integra en el programa informático GIBC de la BR para realizar exámenes de manera continua similares a los actuales exámenes de los módulos de dfp del Apéndice 8 del programa GIBC.

Para obtener más orientación técnica, sírvase consultar la Guía del usuario (disponible en línea en la dirección <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd>) y los materiales del taller dedicados a la validación de la DFPE.

Si tiene alguna pregunta técnica, póngase en contacto con la Oficina de Radiocomunicaciones en la dirección epfd-support@itu.int.

6 Proceso de examen de la DFPE

En la Carta Circular [CR/414](#), de fecha 6 de diciembre de 2016, figuran los detalles del proceso de examen de la DFPE para casos que recibieron anteriormente conclusiones favorables calificadas. Los resultados del examen y los datos presentados para el examen pueden consultarse aquí: <https://www.itu.int/ITU-R/go/space-epfd-data>.
