

Recomendación UIT-R S.2158-0 (09/2023)

Serie S: Servicio fijo por satélite

Metodología para examinar la conformidad de las estaciones terrenas aeronáuticas en movimiento que se comunican con estaciones espaciales geoestacionarias del servicio fijo por satélite en la banda de frecuencias 27,5-29,5 GHz con un conjunto de límites preestablecidos de dfp en la superficie de la Tierra

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.2158-0

Metodología para examinar la conformidad de las estaciones terrenas aeronáuticas en movimiento que se comunican con estaciones espaciales geoestacionarias del servicio fijo por satélite en la banda de frecuencias 27,5-29,5 GHz con un conjunto de límites preestablecidos de dfp en la superficie de la Tierra

(2023)

Cometido

La presente Recomendación proporciona una metodología que la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT puede utilizar para examinar las características de las estaciones terrenas aeronáuticas en movimiento (ETEM-A) que se comunican con redes de satélites geoestacionarios y determinar su conformidad con los límites de densidad de flujo de potencia especificados en la Parte II del Anexo 3 a la Resolución **169 (CMR-19)** del Reglamento de Radiocomunicaciones.

Palabras clave

ETEM aeronáutica, ETEM-A, OSG, dfp, metodología

Abreviaturas/Glosario

ETEM-A Estación terrena aeronáutica en movimiento

OSG Órbita geoestacionaria

Recomendaciones e Informes de la UIT conexos

Recomendación UIT-R P.676 – Atenuación debida a los gases atmosféricos y efectos conexos

Informe UIT-R M.2221 – Viabilidad del funcionamiento del servicio móvil por satélite en determinadas bandas de frecuencias

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la CMR-19 adoptó, en el marco de la Resolución **169 (CMR-19)** del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), los límites de densidad de flujo de potencia (dfp) aplicables a las estaciones terrenas aeronáuticas en movimiento (ETEM-A) que se comunican con estaciones espaciales geoestacionarias de los sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) en la gama de frecuencias 27,5-29,5 GHz, a fin de garantizar la protección de los servicios terrenales;
- b) que, a tenor del *resuelve* 1.2.5 de la Resolución **169 (CMR-19)**, la Oficina examinará las características de las ETEM-A que se comunican con satélites del SFS OSG con respecto a la conformidad con los límites de dfp en la superficie de la Tierra especificados en la Parte II del Anexo 3 a dicha Resolución y publicará los resultados del examen en cuestión en la BR IFIC;
- c) que, al no disponer de una metodología adecuada, la Oficina no podía llevar a cabo el examen indicado en el *considerando b)*;
- d) que, en virtud de la Resolución **169 (CMR-19)**, la CMR-19 invitó al UIT-R a llevar a cabo los estudios pertinentes para determinar una metodología a los efectos del examen mencionado en el *considerando b)*,

reconociendo

que, en *el resuelve* 1.2.4 de la Resolución **169 (CMR-19)**, se estipula que «las disposiciones de la presente Resolución, incluido el Anexo 3, definen las condiciones para la protección de los servicios terrenales frente a la interferencia inaceptable de las ETEM aeronáuticas y marítimas de los países vecinos en la banda de frecuencias 27,5-29,5 GHz; no obstante, siguen siendo válidos los requisitos de no causar interferencia inaceptable a los servicios terrenales a los que se ha atribuido la banda de frecuencias y que funcionen de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones, ni reclamar protección contra los mismos»,

recomienda

1 que se considere la posibilidad de utilizar la metodología especificada en el Anexo para calcular la dfp producida por las emisiones de las ETEM-A que se comunican con satélites del SFS OSG en la superficie de la Tierra y evaluar el cumplimiento de los límites de dfp especificados en la Parte II del Anexo 3 a la Resolución **169 (CMR-19)**;

2 que las siguientes Notas se consideren parte integrante de la presente Recomendación.

NOTA 1 – Para la aplicación de esta Recomendación debe tenerse en cuenta el *reconociendo* anterior.

NOTA 2 – Para la utilización de un ancho de banda de emisión menor que el ancho de banda de referencia, esta metodología es aplicable siempre que la administración notificante confirme que la ETEM-A explota una única emisión dentro del ancho de banda de referencia. De no existir tal confirmación, esta metodología no sería aplicable.

NOTA 3 – El resultado del examen debe publicarse de acuerdo con el formato especificado en el Anexo.

Anexo

Metodología para examinar la dfp producida en la superficie de la Tierra por las emisiones de una ETEM-A que se comunica con satélites del SFS OSG y su conformidad con los límites de dfp preestablecidos

1 Consideraciones generales

A continuación figura la descripción funcional de una metodología para examinar el funcionamiento de una ETEM-A que se comunica con redes de satélites OSG y su conformidad con los límites de dfp especificados en la Parte II del Anexo 3 a la Resolución **169 (CMR-19)**.

2 Parámetros de la ETEM-A necesarios para el examen

Para realizar el examen pertinente de la ETEM-A y su conformidad con respecto a los límites de dfp, se requieren los siguientes parámetros:

- nombre de la red de satélites;
- longitud de los satélites OSG;
- límites de latitud de la zona de servicio OSG;
- límites de longitud de la zona de servicio OSG;

- ganancia de cresta de la antena de la ETEM-A;
- densidad de potencia y ancho de banda de la ETEM-A, según se indica en el Cuadro 1;
- máscara de atenuación del fuselaje expresada como función del ángulo por debajo del horizonte de la ETEM-A, de acuerdo con los Informes o del Recomendaciones UIT-R correspondientes.

3 Metodología de examen

3.1 Introducción

Las ETEM-A pueden funcionar en diferentes ubicaciones definidas por latitud, longitud y altitud. Esta metodología permite determinar la potencia máxima permitida, P_j , para una ETEM-A transmisora que se comunica con una red de satélites del SFS OSG, a fin de garantizar el cumplimiento de los límites de dfp preestablecidos para proteger los servicios terrenales, en todas las posiciones, respecto de un conjunto definido de gamas de altitud. La metodología permite obtener la P_j teniendo en cuenta las pérdidas y la atenuación pertinentes en la geometría considerada.

Seguidamente, se compara la P_j calculada con la gama de potencias de emisión notificadas de la ETEM-A. Los valores de potencia de emisión mínima y máxima, $P_{\min_emission,j}$ y $P_{\max_emission,j}$, de la ETEM-A se calculan a partir de los datos incluidos en la información de notificación del Apéndice 4 de la red de satélites OSG con la que se comunica la ETEM-A y de las características de la propia ETEM-A.

Las ETEM-A se evalúan en una serie de gamas de altitud predefinidas para establecer una serie de niveles de P_j .

Al realizar el examen, la Oficina de Radiocomunicaciones debe aplicar esta metodología a la gama de altitudes definida, con miras a determinar si la ETEM-A que se comunica con una determinada red de satélites OSG cumple los límites de dfp preestablecidos para proteger los servicios terrenales.

3.2 Parámetros y geometría

Partiendo de una hipotética red del SFS OSG, en el Cuadro 1 *infra* se proporciona un ejemplo de las emisiones que se incluyen en un Grupo asociado a la clase «UO» de estaciones terrenas que transmiten en la banda de 27,5-29,5 GHz. Los Cuadros 2 a 4 incluyen supuestos adicionales y la Fig. 1 ilustra la geometría utilizada en el examen.

CUADRO 1

**Ejemplo de un grupo de emisiones de ETEM-A
(con referencia a los campos de datos pertinentes del Apéndice 4 del RR)**

Número de emisión	C.7.a Designación de la emisión	Ancho de banda de emisión (MHz)	C.8.c.3 Densidad de potencia mínima (dB(W/Hz))	C.8.a.2/C.8.b.2 Densidad de potencia máxima (dB(W/Hz))
1	6M00G7W--	6,0	-69,7	-66,0
2	6M00G7W--	6,0	-64,7	-61,0
3	6M00G7W--	6,0	-59,7	-56,0

CUADRO 2

Supuestos adicionales del ejemplo

ID	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
1	Asignación de frecuencias	f	29,5	GHz
2	Ancho de banda de referencia de la máscara de dfp	BW_{Ref}	1,0 o 14,0, dependiendo de la altitud examinada	MHz
3	Longitud de los satélites OSG	OSG_{lon}	13,0	grados E
4	Límites de latitud de la zona de servicio OSG	GSO_{srvLat}	(23,55, 63,55)	grados N
5	Límites de longitud de la zona de servicio OSG	GSO_{srvLon}	(-9,72, 30,28)	grados E
6	Ganancia de cresta de la antena de la ETEM-A	G_{max}	37,5	dBi
7	Diagrama de ganancia de la antena de la ETEM-A	—	Conforme a la Rec. UIT-R S.580 (véase C.10.d.5.a)	

CUADRO 3

Supuestos adicionales definidos en la metodología

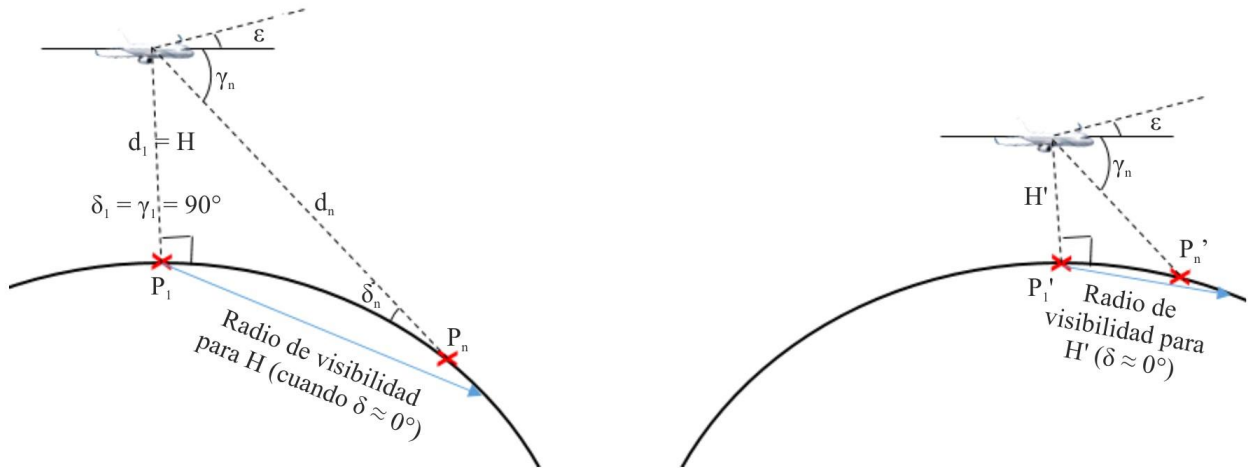
ID	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
8	Ángulo mínimo de elevación de la ETEM-A hacia el satélite OSG	ε	10	grados
9	Atenuación atmosférica	L_{atm}	Calculado con la Rec. UIT-R P.676 (véase la Nota siguiente)	dB
10	Ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica en la superficie de la Tierra	δ	Especificado por los conjuntos preestablecidos de límites de dfp, variable de 0° a 90°	grados
11	Altitud mínima de examen	H_{min}	0,01	km
12	Altitud máxima de examen	H_{max}	15,0	km
13	Separación de la altitud de examen ¹	H_{step}	1,0	km
14	Atenuación del fuselaje	L_f	Calculado en base a Informes o Recomendaciones UIT-R (véase el Cuadro 4)	dB

NOTA – La atenuación atmosférica se calcula con ayuda de la Recomendación UIT-R P.676, utilizando la atmósfera media anual de referencia mundial definida en la Recomendación UIT-R P.835.

¹ El cuarto valor de altitud (H_4) calculado de acuerdo con este H_{step} se fija en 2,99 km para facilitar el examen del cumplimiento de los dos conjuntos de valores de dfp predefinidos indicados en los Cuadros 5 y 6.

FIGURA 1

Geometría para el examen del cumplimiento para dos altitudes de ETEM-A diferentes



S.2158-01

CUADRO 4

Modelo de atenuación del fuselaje

$L_{fuse}(\gamma) = 3,5 + 0,25 \cdot \gamma$	dB	para	$0^\circ \leq \gamma \leq 10^\circ$
$L_{fuse}(\gamma) = -2 + 0,79 \cdot \gamma$	dB	para	$10^\circ < \gamma \leq 34^\circ$
$L_{fuse}(\gamma) = 3,75 + 0,625 \cdot \gamma$	dB	para	$34^\circ < \gamma \leq 50^\circ$
$L_{fuse}(\gamma) = 35$	dB	para	$50^\circ < \gamma \leq 90^\circ$

Notas:

- Este modelo de atenuación del fuselaje se basa en las mediciones realizadas a 14,2 GHz (véase la Fig. 3.6-14 del Informe UIT-R M.2221).
- Los Cuadros 5 y 6 se han extraído de la Parte II del Anexo 3 de la Resolución **169 (CMR-19)**. El ancho de banda de referencia para los conjuntos de límites de dfp incluidos en los Cuadros 5 y 6 son 1 MHz y 14 MHz, respectivamente.

CUADRO 5

Máscara de dfp de obligatorio cumplimiento para altitudes de hasta 3 km

$dfp(\delta) = -136,2$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	para	$0^\circ \leq \delta \leq 0,01^\circ$
$dfp(\delta) = -132,4 + 1,9 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	para	$0,01^\circ < \delta \leq 0,3^\circ$
$dfp(\delta) = -127,7 + 11 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	para	$0,3^\circ < \delta \leq 1^\circ$
$dfp(\delta) = -127,7 + 18 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	para	$1^\circ < \delta \leq 12,4^\circ$
$dfp(\delta) = -108$	(dB(W/(m ² · 1 MHz)))	para	$12,4^\circ < \delta \leq 90^\circ$

CUADRO 6

Máscara de dfp de obligatorio cumplimiento para altitudes superiores a 3 km

$dfp(\delta) = -124,7$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	para $0^\circ \leq \delta \leq 0,01^\circ$
$dfp(\delta) = -120,9 + 1,9 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	para $0,01^\circ < \delta \leq 0,3^\circ$
$dfp(\delta) = -116,2 + 11 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	para $0,3^\circ < \delta \leq 1^\circ$
$dfp(\delta) = -116,2 + 18 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	para $1^\circ < \delta \leq 2^\circ$
$dfp(\delta) = -117,9 + 23,7 \cdot \log \delta$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	para $2^\circ < \delta \leq 8^\circ$
$dfp(\delta) = -96,5$	(dB(W/(m ² · 14 MHz)))	para $8^\circ < \delta \leq 90,0^\circ$

3.3 Algoritmo de cálculo

En esta sección se describe paso a paso la aplicación de la metodología de examen.

INICIO

i) Para cada altitud de ETEM-A, es necesario generar tantos ángulos δ_n (ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica) como sea necesario para verificar el cumplimiento del conjunto aplicable de límites de dfp. Los N ángulos δ_n deben estar comprendidos entre 0° y 90° y tener una resolución compatible con la granularidad de los límites de dfp predefinidos. Cada uno de los N ángulos δ_n corresponderá a otros tantos N puntos en el suelo.

ii) Para cada altitud $H_j = H_{min}, H_{min} + H_{step}, \dots, H_{max}$:

a) Se fija la altitud de la ETEM-A a H_j .

b) Se calculan los ángulos por debajo del horizonte, $\gamma_{j,n}$, visto desde la ETEM-A para cada uno de los N ángulos δ_n generados en i) utilizando la siguiente ecuación:

$$\gamma_{j,n} = \arccos \left(\frac{R_e \cdot \cos(\delta_n)}{(R_e + H_j)} \right) \quad (1)$$

siendo R_e el radio medio de la Tierra.

c) Se calcula la distancia, $D_{j,n}$, en km, para $n = 1, \dots, N$ entre la ETEM-A y el punto en el suelo que se haya probado:

$$D_{j,n} = \sqrt{R_e^2 + (R_e + H_j)^2 - 2 R_e (R_e + H_j) \cos(\gamma_n - \delta_n)} \quad (2)$$

d) Se calcula la atenuación del fuselaje, $L_{f,j,n}$ (dB) con $n = 1, \dots, N$, aplicable a cada uno de los ángulos $\gamma_{j,n}$ calculados en b) *supra*.

e) Se calcula la absorción gaseosa, $L_{atm,j,n}$ (dB) con $n = 1, \dots, N$ aplicable a cada una de las distancias $D_{j,n}$ calculadas en c) *supra*, utilizando las secciones pertinentes de la versión más reciente de la Recomendación UIT-R P.676.

iii)

a) Para cada altitud $H_j = H_{min}, H_{min} + H_{step}, \dots, H_{max}$, y cada ángulo por debajo del horizonte $\gamma_{j,n}$, se calcula la potencia máxima de emisión en el ancho de banda de referencia $P_{j,n}(\delta_n, \gamma_{j,n})$ para el que se cumplen los límites de dfp, utilizando el siguiente algoritmo:

$$P_{j,n}(\delta_n, \gamma_{j,n}) = pfd(\delta_n) + 10 \log_{10}(4\pi(D_{j,n} \cdot 1\,000)^2) + L_{f,j,n} + L_{atm,j,n} - Gtx(\gamma_{j,n} + \varepsilon)$$

siendo $Gtx(\gamma_{j,n} + \varepsilon)$ la ganancia de la antena transmisora con un ángulo tomado respecto del eje de puntería, formado por la suma de los ángulos $\gamma_{j,n}$ y un ángulo de elevación mínima, ε , de 10 grados según se define en el Cuadro 3.

b) Se calcula la P_j mínima para todos los valores calculados en el paso anterior,

$$P_j = \text{Min} (P_{j,n}(\delta_n, \gamma_{j,n}))$$

El resultado de este paso es la potencia máxima en el ancho de banda de referencia que puede utilizar una ETEM-A para garantizar el cumplimiento de los límites de dfr establecidos en el Cuadro 5 o el Cuadro 6, según proceda, respecto de todos los ángulos δ_n con la altitud H_j y la elevación indicada en el Cuadro 3. Se contará con una P_j para cada altitud H_j considerada.

El resultado del paso b) se resume en el Cuadro 7 siguiente:

CUADRO 7

Valores de P_j calculados

H_j (Altitud) (km)	P_j (Potencia máxima en el ancho de banda de referencia que se puede utilizar en la elevación mínima) (dB(W/BW))
0,01	Por determinar
1,0	Por determinar
2,0	Por determinar
2,99	Por determinar
4,0	Por determinar
5,0	Por determinar
6,0	Por determinar
7,0	Por determinar
8,0	Por determinar
9,0	Por determinar
10,0	Por determinar
11,0	Por determinar
12,0	Por determinar
13,0	Por determinar
14,0	Por determinar
15,0	Por determinar

c) Para cada altitud $H_j = H_{min}, H_{min} + H_{step}, \dots, H_{max}$, y cada emisión de los grupos de emisiones objeto de examen, se calculan las potencias mínima y máxima de emisión en el ancho de banda de referencia:

$$P_{\text{min_emission},j} = \text{Densidad de potencia mínima (Emisión, dBW/Hz)} + 10 * \log_{10}(BW)$$

$$P_{\text{max_emission},j} = \text{Densidad de potencia máxima (Emisión, dBW/Hz)} + 10 * \log_{10}(BW)$$

BW en Hz es:

$$BW_{Ref} \text{ si } BW_{Ref} = 1 \text{ MHz}$$

$$BW_{Ref} \text{ si } BW_{Ref} = 14 \text{ MHz y } BW_{emission} \geq BW_{Ref}$$

$$BW_{emission} \text{ si } BW_{Ref} = 14 \text{ MHz y } BW_{emission} < BW_{Ref}$$

- d) Para cada emisión de los grupos de emisiones objeto de examen, se comprueba si existe al menos una altitud H_j en la que:

$$P_{\max_emission,j} > P_j > P_{\min_emission,j}$$

Los resultados de esta comprobación se ilustran en el Cuadro 8 siguiente.

CUADRO 8

Ejemplo de comparación entre P_j y ($P_{\min_emission,j}$; $P_{\max_emission,j}$)

Número de emisión	C.7.a Designación de la emisión	Ancho de banda de emisión (MHz)	C.8.c.3 Densidad de potencia mínima (dB(W/Hz))	C.8.a.2/C.8.b.2 Densidad de potencia máxima (dB(W/Hz))	Altitud mínima H_j (km) para la que $P_{\max_emission,j} > P_j > P_{\min_emission,j}$
1	6M00G7W--	6,0	-69,7	-66,0	Por determinar
2	6M00G7W--	6,0	-64,7	-61,0	Por determinar
3	6M00G7W--	6,0	-59,7	-56,0	Por determinar

- e) Una vez aplicada la prueba detallada en iii) d) a todas las emisiones del grupo objeto de examen, tras eliminar las emisiones que no hayan superado el examen, los resultados de la Oficina para ese grupo se considerarán favorables; en caso contrario, el resultado será desfavorable (esto es, ninguna emisión ha superado el examen).
- iv) El resultado de este método debería incluir, como mínimo:
- los parámetros resultantes presentados en el Cuadro 7;
 - los resultados del examen de cada grupo;
 - en caso de que algunas emisiones superen el examen y otras no lo hagan, se generará un grupo nuevo que incluya únicamente la emisión o emisiones que superaron el examen.