

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1459 (05/2000)

Criterios de protección aplicables a los sistemas de teledifusión del servicio móvil aeronáutico y técnicas de reducción de la interferencia para facilitar la compartición con los servicios de radiodifusión por satélite geoestacionario y móvil por satélite geoestacionario en las bandas de frecuencias 1 452-1 525 MHz y 2 310-2 360 MHz

Serie M

Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos



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 el Anexo 1 a 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 <http://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, 2011

© UIT 2011

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 M.1459*, **

CRITERIOS DE PROTECCIÓN APLICABLES A LOS SISTEMAS DE TELEMEDIDA DEL SERVICIO MÓVIL AERONÁUTICO Y TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LA INTERFERENCIA PARA FACILITAR LA COMPARTICIÓN CON LOS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE GEOESTACIONARIO Y MÓVIL POR SATÉLITE GEOESTACIONARIO EN LAS BANDAS DE FRECUENCIAS 1 452-1 525 MHz Y 2 310-2 360 MHz

(Cuestión UIT-R 62/8)

(2000)

Cometido

En esta Recomendación se facilita información acerca de los criterios de protección requeridos para los sistemas de telemetida aeronáutica en las bandas de frecuencias 1 452-1 525 MHz y 2 310-2 360 MHz y posibles técnicas de reducción de la interferencia para facilitar la compartición con los servicios de radiodifusión por satélite geoestacionario y móvil por satélite geoestacionario.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en la Región 2, las atribuciones de frecuencia al servicio móvil aeronáutico para la telemetida tienen un estatuto primario en la banda 1 435-1 525 MHz y tienen prioridad respecto a otros servicios móviles según las disposiciones del número S5.343 del RR;
- b) que la CAMR-92 adoptó una atribución adicional en la banda 1 429-1 535 MHz, con carácter primario, al servicio móvil aeronáutico para Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania, en utilización exclusiva para la telemetida aeronáutica, según las condiciones del número S5.342 del RR;
- c) que conforme a lo decidido en la CMR-95, en Estados Unidos de América, las estaciones de telemetida del servicio móvil aeronáutico tienen estatuto primario en la banda 2 300-2 390 MHz y tienen prioridad respecto a otros servicios móviles, según el número S5.394 del RR;
- d) que en Canadá, las estaciones de telemetida del servicio móvil aeronáutico tienen estatuto primario en la banda 2 300-2 483,5 MHz y tienen prioridad respecto a otros servicios móviles según el número S5.394 del RR;
- e) que en Francia, las asignaciones de frecuencias a las estaciones de telemetida del servicio móvil aeronáutico tienen estatuto primario en la banda 2 310-2 360 MHz y tienen prioridad respecto a otros servicios móviles según el número S5.395 del RR;
- f) que en Europa, los futuros equipos de telemetida a bordo de aeronaves deben sintonizarse principalmente en la gama de frecuencias 2 300-2 400 MHz;
- g) que la banda 1 492-1 525 MHz se ha atribuido al SMS (espacio-Tierra) en la Región 2, teniendo en cuentas las disposiciones de los números S5.348 y S5.348A del RR;
- h) que la CAMR-92 atribuyó la banda 1 452-1 492 MHz con carácter primario al SRS radiodifusión sonora digital (DSB) (véase la Nota 1) y al servicio de radiodifusión (DSB), cumpliendo las disposiciones de los números S5.345 y S5.347 del RR;
- j) que en la CAMR-92 se efectuó una atribución adicional en Estados Unidos de América, India y México de la banda 2 310-2 360 MHz al SRS (DSB) y al servicio de radiodifusión (DSB) con carácter primario, según el número S5.393 del RR;
- k) que la CAMR-92 adoptó una atribución alternativa en la banda 1 452-1 525 MHz con carácter primario para los servicios fijo y móvil en Estados Unidos de América, de conformidad con el número S5.344 del RR;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en noviembre de 2010.

- l) que la CMR-95 adoptó para Japón en la banda 1 492-1 525 MHz un umbral de coordinación de $-150 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ en toda banda de 4 kHz y todos los ángulos de llegada, a fin de proteger los servicios móviles terrestres especializados, de conformidad con el número S5.348A del RR;
- m) que se precisa la coordinación según el número S9.11A del RR y la Resolución 528 (CAMR-92);
- n) que en las Resoluciones 528 (CAMR-92) y 213 (Rev.CMR-95) se invita al UIT-R a realizar los estudios necesarios antes de la próxima CMR competente;
- o) que se han iniciado en el UIT-R estudios adicionales para determinar la probabilidad de interferencia en las estaciones de teledifusión del servicio móvil aeronáutico que pudiese dar lugar a valores menos estrictos de la protección y que se espera que dichos estudios continúen;
- p) que las estaciones de teledifusión del servicio móvil aeronáutico tienen una amplia gama de características y algunas tienen criterios de protección menos estrictos que las que figuran en el *recomienda*,

recomienda

1 que los valores necesarios para la protección de los sistemas de teledifusión del servicio móvil aeronáutico en la banda 1 452-1 525 MHz, compartida con los satélites OSG del SRS (DSB) o del SMS, se determinen de la siguiente manera (véase la Nota 4):

- para los satélites OSG visibles desde cualquier estación receptora de teledifusión aeronáutica, el valor de protección corresponde a una d_{fp} en la estación receptora de teledifusión, en cualquier banda de 4 kHz para todos los métodos de modulación de:
- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|------|------------------------------------|
| -181,0 | dB(W/m ²) | para | $0^\circ \leq \alpha \leq 4^\circ$ |
| $-193,0 + 20 \log \alpha$ | dB(W/m ²) | para | $4^\circ < \alpha \leq 20^\circ$ |
| $-213,3 + 35,6 \log \alpha$ | dB(W/m ²) | para | $20^\circ < \alpha \leq 60^\circ$ |
| -150,0 | dB(W/m ²) | para | $60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ |

donde α es el ángulo de llegada (grados sobre el plano horizontal);

2 que los valores necesarios para la protección de los sistemas de teledifusión del servicio móvil aeronáutico en la banda 2 310-2 360 MHz, compartida con el SRS (DSB), se determinen de la siguiente manera (véase la Nota 4):

- para los satélites OSG visibles desde cualquier estación receptora de teledifusión aeronáutica, el valor de la protección corresponde a una d_{fp} en la estación receptora de teledifusión, en cualquier banda de 4 kHz, para todos los métodos de modulación, de:
- | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|-------------------------------------|
| -180,0 | dB(W/m ²) | para | $0^\circ \leq \alpha \leq 2^\circ$ |
| $-187,1 + 23,66 \log \alpha$ | dB(W/m ²) | para | $2^\circ < \alpha \leq 11,5^\circ$ |
| -162 | dB(W/m ²) | para | $11,5^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ |

donde α es el ángulo de llegada (grados sobre el plano horizontal);

3 que los métodos de cálculo y las técnicas de reducción de la interferencia que figuran en los Anexos 1 y 2 pueden utilizarse, cuando sea el caso, para determinar la probabilidad de interferencia en los sistemas de teledifusión del servicio móvil aeronáutico.

NOTA 1 – DSB se refiere a la radiodifusión de audio digital según los números S5.345 y S5.393 del RR.

NOTA 2 – El ejemplo de cálculo utilizado para obtener los valores de protección que figura en el Anexo 1 representa un caso más desfavorable. Las técnicas de reducción de la interferencia que figuran en el Anexo 2 pueden servir para mejorar la compartición.

NOTA 3 – Como se han de considerar los aspectos de la seguridad de la vida humana al examinar los sistemas de teledifusión móvil aeronáutica y la utilización eficaz del espectro atribuido por la CAMR-92 al SRS (sonora) no parece ser posible, se señala la atención sobre los estudios que se están realizando en el marco de la Cuestión UIT-R 204/10 (véase la Recomendación UIT-R BO.1383).

NOTA 4 – Se insta a las administraciones a suministrar información al UIT-R sobre los objetivos de prestaciones y disponibilidad para el servicio móvil aeronáutico de teledifusión, con vistas a desarrollar una adecuada Recomendación UIT-R.

ANEXO 1

Cálculo de los niveles de la dfp de interferencia en los sistemas de teledida del servicio móvil aeronáutico procedente de las emisiones de satélites OSG

1 Introducción

Los análisis y resultados que figuran en los puntos siguientes del presente Anexo tienen por objeto calcular la interferencia causada a los sistemas de teledida móviles aeronáuticos.

2 Deducción de los valores

El desarrollo indicado a continuación puede utilizarse de manera general, pero los valores numéricos se refieren a la banda 1 452-1 525 MHz.

2.1 Características del sistema de teledida

Las características generales del sistema figuran en el Informe de la RPC a la CAMR-92 y son las indicadas a continuación. Las operaciones de teledida y telemando aeronáuticos se utilizan para las pruebas en vuelo de vehículos espaciales tripulados y no tripulados. Los vehículos se ensayan hasta sus límites de diseño, lo que hace que la seguridad del vuelo dependa de la fiabilidad de la información recibida en tiempo real. Durante las pruebas realizadas hasta los límites de diseño, las pérdidas de la intensidad de la señal pueden ser superiores a 30 dB, debido a la existencia de nulos en el diagrama de antena de la aeronave causados por los cambios en la actitud de ésta.

C/N requerida:	9-15 dB
Potencia del transmisor:	2-25 W
Tipo de modulación:	MIC/MF
Longitud del trayecto de transmisión:	hasta 320 km
Temperatura de ruido del sistema receptor:	200-500 K
Ganancia de la antena receptora:	20-41 dB

Niveles del primer lóbulo lateral de la antena receptora para dos antenas:

10 m (diámetro):	20 dBi (ganancia de antena)
	2,4° (desde el centro)
2,44 m (diámetro):	7-14 dBi (ganancia de antena)
	10° (desde el centro)

Se emplean diversos diámetros de antena, comprendidos entre los límites de 20-41 dB. Se utilizan las polarizaciones circulares levógira y dextrógira, así como la lineal.

Las asignaciones de canales se efectúan en incrementos de 1 MHz. Las emisiones típicas tienen una anchura de banda de 1, 3 y 5 MHz y hay asignaciones más anchas para el vídeo y otras mediciones complejas.

El espacio aéreo máximo para un emplazamiento de recepción de teledida se define como un cilindro con un radio horizontal de 320 km alrededor del emplazamiento, en el que el extremo inferior viene determinado por la visibilidad y el superior por una altitud de 20 km. El espacio aéreo mínimo para una misión particular se define como un cilindro vertical con un radio de 20 km dentro del espacio aéreo máximo, con los mismos extremos inferior y superior que el dicho espacio aéreo máximo.

Se emplea un seguimiento continuo en RF conforme a técnicas de exploración monopulso y cónica.

Se dan dos diámetros de antena de 2,44 m y 10 m. La Fig. 1 muestra los valores de la ganancia medida para tres antenas de 2,44 m. Como estas antenas siguen a un vehículo en movimiento, de forma que la ganancia de la antena hacia un satélite OSG es variable, hay una ganancia de lóbulo lateral y de lóbulo posterior que se rebasa o no el 50% del tiempo. El diagrama compuesto indicado a continuación se desarrolla sobre la base de ganancias de antena comprendidas entre 29 dB y 41,2 dB.

$$G(\theta) = 41,2 + 20 \log \left(\frac{\sin 1,952 \theta}{1,952 \theta} \right) \quad \text{dBi} \quad \text{para } 0^\circ \leq \theta \leq 0,94^\circ \quad (1a)$$

$$G(\theta) = 35,1 - 20 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } 0,94^\circ < \theta \leq 3,82^\circ \quad (1b)$$

$$G(\theta) = 29 + 20 \log \left(\frac{\sin 0,479 \theta}{0,479 \theta} \right) \quad \text{dBi} \quad \text{para } 3,82^\circ < \theta \leq 5,61^\circ \quad (1c)$$

$$G(\theta) = 27,27 - 18,75 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } 5,61^\circ < \theta \leq 12,16^\circ \quad (1d)$$

$$G(\theta) = 34,05 - 25 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } 12,16^\circ < \theta \leq 48^\circ \quad (1e)$$

$$G(\theta) = -8 \quad \text{dBi} \quad \text{para } 48^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad (1f)$$

Los valores del ángulo θ de 1,952 y 0,479 van en radianes.

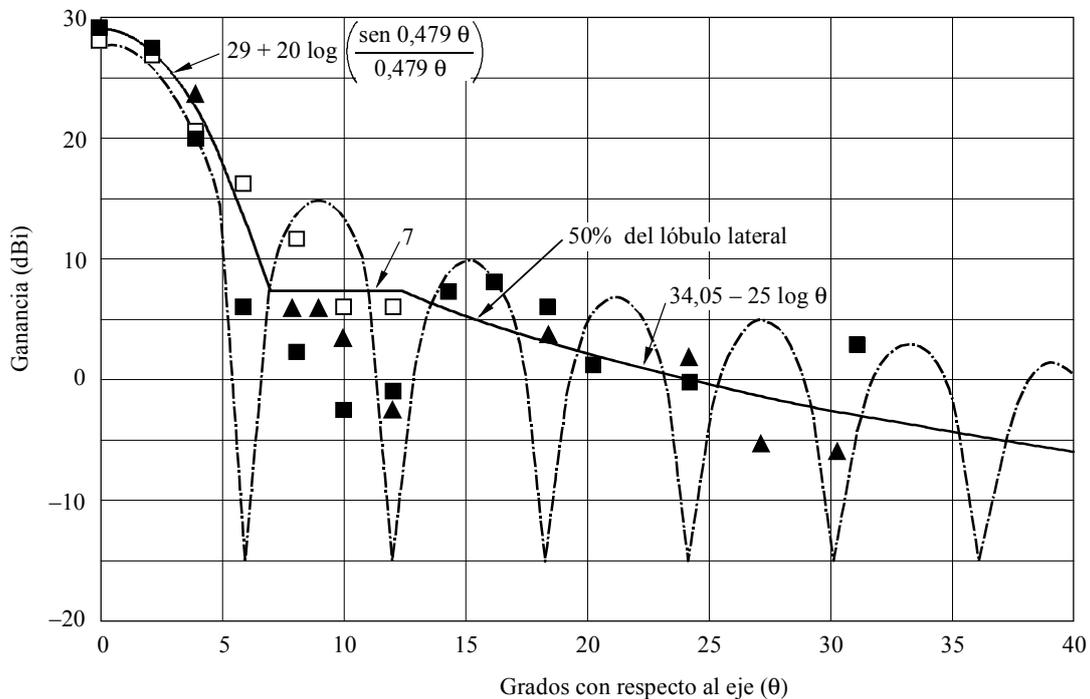
Las antenas transmisoras de teledirigida se montan en aeronaves y, en el caso ideal, serán radiadores isótropos que cubren todos los posibles ángulos de radiación hasta la estación receptora de teledirigida. No obstante, en la práctica, las múltiples reflexiones y el bloqueo debidos a la aeronave dan lugar a grandes variaciones en el diagrama de ganancia. Las reflexiones múltiples se traducen por lo general en una distribución de desvanecimientos de Raleigh y las funciones de ganancia medidas demuestran que es éste el caso, aproximadamente, tal como se representa en la Fig. 2. Utilizando dicha Figura para un caso cercano al más desfavorable, incluyendo los efectos de propagación, la probabilidad (proporción del tiempo), P_1 , de que una determinada ganancia, G_1 , no se rebase puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_1(G \leq G_1) = (1 - e^{-3,46 G_1})^{1,25} \quad (\text{número real}) \quad (2)$$

Se observan distribuciones correspondientes a un exponente de $(-5G_1)$.

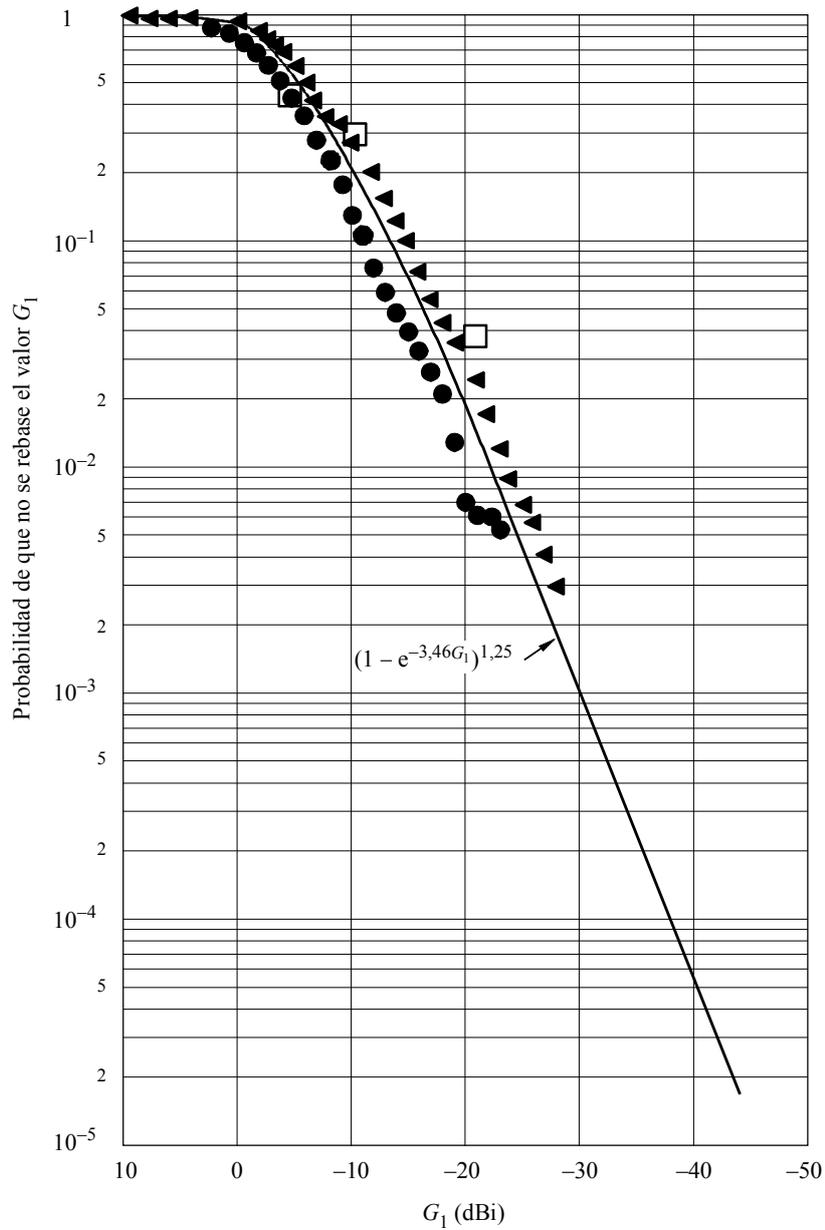
La relación C/N recibida y la potencia de la portadora, C , a la salida de la antena receptora de teledirigida son proporcionales a esta función.

FIGURA 1
 Datos medidos con antenas de 2,44 m de diámetro



- Emplazamiento 1
- ▲ Emplazamiento 2
- Emplazamiento 3

FIGURA 2
 Ganancias de la antena transmisora de teledirigida a bordo de aeronave, G_1



- Antena de tipo N.º 1
- ▲ Antena de tipo N.º 2
- Antena de tipo N.º 3

1459-02

2.2 Interferencia procedente de satélites OSG

2.2.1 Función tiempo-ganancia de interferencia

Si se supone que la antena de teledirigida puede apuntar hacia cualquier punto de su hemisferio de visibilidad, la probabilidad acumulada, P_2 , de que un satélite a una altitud geostacionaria se encuentre dentro de un radio de θ , visto desde la estación receptora de teledirigida es:

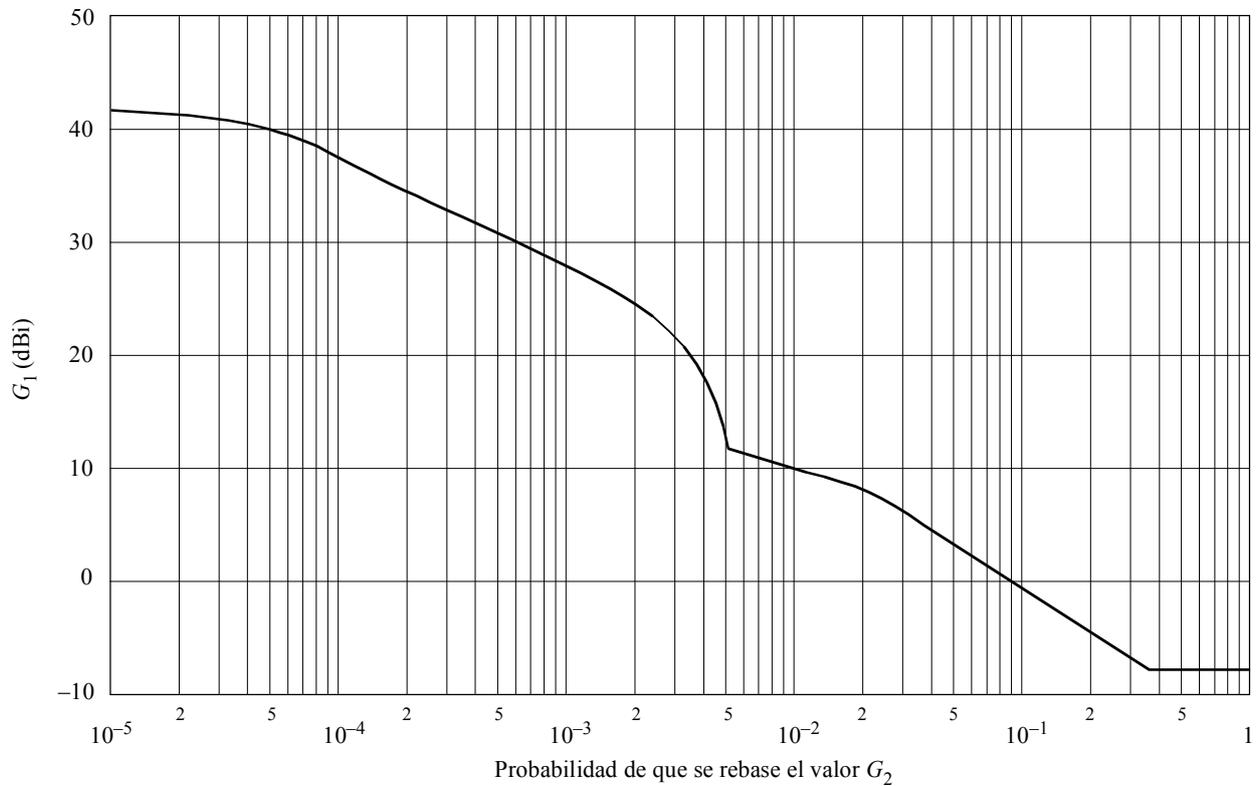
$$P_2 = (1 - \cos \theta) \quad \text{para} \quad 0 \leq \theta \leq \pi/2 \quad (3)$$

El ángulo, θ , de la ecuación (1) es el mismo que el de la ecuación (3). Así pues, combinando las ecuaciones (1) y (3), pueden desarrollarse funciones que relacionen la probabilidad (parte del tiempo) de que la ganancia de la antena receptora de teledirigida, G , hacia el satélite sea igual o superior a un valor determinado, G_2 , como se representa en la Fig. 3.

La relación, I/N , recibida y la potencia de interferencia, I , son proporcionales a las funciones representadas en la Fig. 3.

En el caso de un satélite OSG, el ángulo de llegada de la interferencia en la estación receptora de teledirigida es fijo. El único elemento aleatorio es el de las variaciones de puntería de la antena receptora de teledirigida. Los ensayos de vehículos a bordo de aeronaves suelen restringirse a zonas sobre el agua o en tierra deshabitada, a fin de evitar peligros para la vida humana o los bienes, en caso de fallo catastrófico del vehículo que se ensaya, con lo que se limitan los ángulos de acimut en dichas pruebas. También hay límites mínimos en las variaciones del ángulo de puntería en acimut y elevación de la antena receptora de teledirigida que se definen por el espacio aéreo mínimo del § 2.1.

FIGURA 3
Probabilidad de la ganancia de la antena receptora de teledirigida, G_2



1459-03

2.2.2 Análisis de la relación C/I

Como la ecuación (2) es proporcional a, C , y las funciones de la Fig. 3 son proporcionales a, I , puede determinarse que la probabilidad de la relación, C/I , es proporcional a:

$$P((C/I) \geq (C/I)_c) \propto [(P_1(G' \leq G_1))/(P_2(G'' \leq G_2))] \quad (4)$$

en donde $(C/I)_c$ es un valor elegido.

Los corchetes indican la función de probabilidad acumulada conjunta. Las funciones, C e I , son independientes, pues proceden de fuentes independientes. Las integraciones indicadas se realizaron para varias gamas limitadas de, P_2 , que, a su vez, corresponden a zonas de estereoradianes limitadas, S , cuando el satélite se encuentra en el espacio aéreo mínimo definido en el § 2.1. Estas integraciones pueden expresarse de la siguiente manera:

$$P_3(\Delta G \geq G_2/G_1) = [(P_2(G'' \geq G_2))/(P_1(G' \leq G_1))] \quad (5)$$

El término (C/I) de la ecuación (4) se expresa normalmente en relación con la (C/N) , y como lo más importante es la pérdida de disponibilidad, se expresa en relación al umbral $(C/N)_T$, de la siguiente manera:

$$(C/I) \geq (C/N)_T (P_4/P_3) \quad (6)$$

en donde:

P_4 : probabilidad asociada a $(C/N)_T$ que se fija en un valor igual a $P(\Delta G)$

P_3 : probabilidad asociada a (C/I) .

La relación (P_4/P_3) es análoga y numéricamente igual al criterio (I/N) . La no disponibilidad admisible, P , se basa en la relación $C/(N + I)$, de forma que $P(\Delta G) = P - P_3$, lo que se traduce en:

$$P(\Delta G) = P/(I/N + 1) \quad (7)$$

No es necesario relacionar el término, ΔG , con la dfp. En primer lugar, se determina una dfp cuando la antena de teledirigida apunta hacia el satélite.

$$dfp \leq \frac{k T B(I/N)}{(\lambda^2/4\pi) G_0} \quad W/(m^2 \cdot B) \quad (8)$$

donde:

k : constante de Boltzmann

T : temperatura de ruido (K)

B : anchura de banda (Hz)

$G_0 = 13\,183$ (41,2 dB).

Esta dfp se asocia a un valor de $(\Delta G)_m$ para un valor de $P(\Delta G)$. Para G_0 , sólo C es variable y entonces, C/I viene dado por la ecuación (2). La función $(\Delta G)_m$ se representa muy aproximadamente por la expresión:

$$(\Delta G)_m = 45\,000/P(\Delta G)^{1,25} \quad (9)$$

La dfp de la ecuación (8) puede aumentarse por $(\Delta G)_m/(\Delta G)$. Y entonces:

$$dfp \leq \frac{k T B(I/N)}{G_0(\lambda^2/4\pi)} \times \frac{(\Delta G)_m}{(\Delta G)} \quad P(\Delta G)_m = P(\Delta G) \quad W/(m^2 \cdot B) \quad (10)$$

2.2.3 Repercusión en el diseño del enlace de teledirigida

Los análisis muestran que el valor de, P , la no disponibilidad del enlace de teledirigida, no afecta significativamente a los valores de la dfp. Dichos valores de la dfp vienen determinados principalmente por el valor de la I/N . La repercusión en el enlace de teledirigida, medida en términos de la disminución del alcance utilizado, R , para un valor determinado de P , en función de la (I/N) , puede determinarse a partir de la ecuación (7), pues $R^2 \propto 1/(N + I)$ para una potencia de transmisor fija. La Fig. 4 representa la disminución del alcance utilizable en función de la I/N . La repercusión en el diseño del enlace de teledirigida es más aguda para valores de la (I/N) superiores a 1 (0 dB), porque el enlace debe diseñarse de forma que se supere la interferencia, más que el ruido interno. Se considera que el valor práctico máximo es aproximadamente de 0,5 (-3 dB), siendo convenientes los valores inferiores a éste.

2.2.4 Márgenes de interferencia

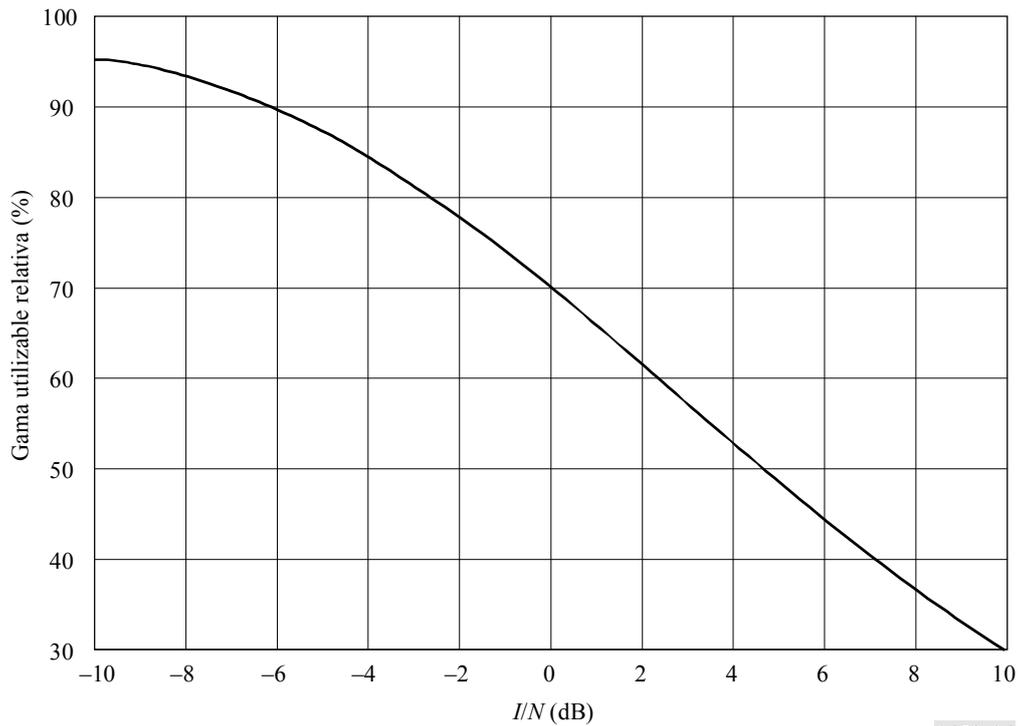
Sobre la base de los factores indicados en el § 2.2.3, parecen apropiados para este caso los márgenes agregados siguientes: el ruido total es la suma del ruido interno, N_I , más la interferencia procedente de los satélites, I_S , más la interferencia procedente de las fuentes terrenales, I_T . La interferencia agregada admisible procedente de los satélites y de las fuentes terrenales es:

$$I_S = 0,25 (N_I + I_S + I_T) \quad (11)$$

$$I_T = 0,10 (N_I + I_S + I_T) \quad (12)$$

A partir de aquí, el margen agregado, I/N , de la interferencia procedente de los satélites es 0,3846 ó -4,15 dB, y el de la procedente de las fuentes terrenales es 0,1538 ó -8,13 dB. Como la dfp no es especialmente sensible a P , se selecciona un valor intermedio de P de 0,005 para la evaluación numérica, lo que se traduce en un valor de $P(\Delta G)$ de 0,003611 a partir de la ecuación (7).

FIGURA 4
Disminución de la gama utilizable en función de I/N



1459-04

2.2.5 Valor mínimo de S en función del ángulo de llegada, α

El valor mínimo de S , puede determinarse a partir del radio mínimo de un círculo en el que normalmente se realizan los ensayos en aeronaves (véase la Fig. 5). El valor S en función de α se determina de la siguiente manera. El ángulo de elevación de llegada es:

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{h}{d} - \frac{d}{2r} \right) \quad \text{rad} \quad (13)$$

El ángulo incremental de llegada, $\Delta\alpha$, para el acimut de puntería de la antena de teledirigida es:

$$\Delta\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{h}{d-a} - \frac{d-a}{2r} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{h}{d+a} - \frac{d+a}{2r} \right) \quad \text{para } d \geq a \quad \text{rad} \quad (14a)$$

$$\Delta\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{d+a}{h} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{d-a}{h} \right) \quad \text{para } d < a \quad \text{rad} \quad (14b)$$

La tangente del ángulo para el acimut, β , es:

$$\beta = 2 \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{a \cos \alpha}{d} \right) \quad \text{rad} \quad (15)$$

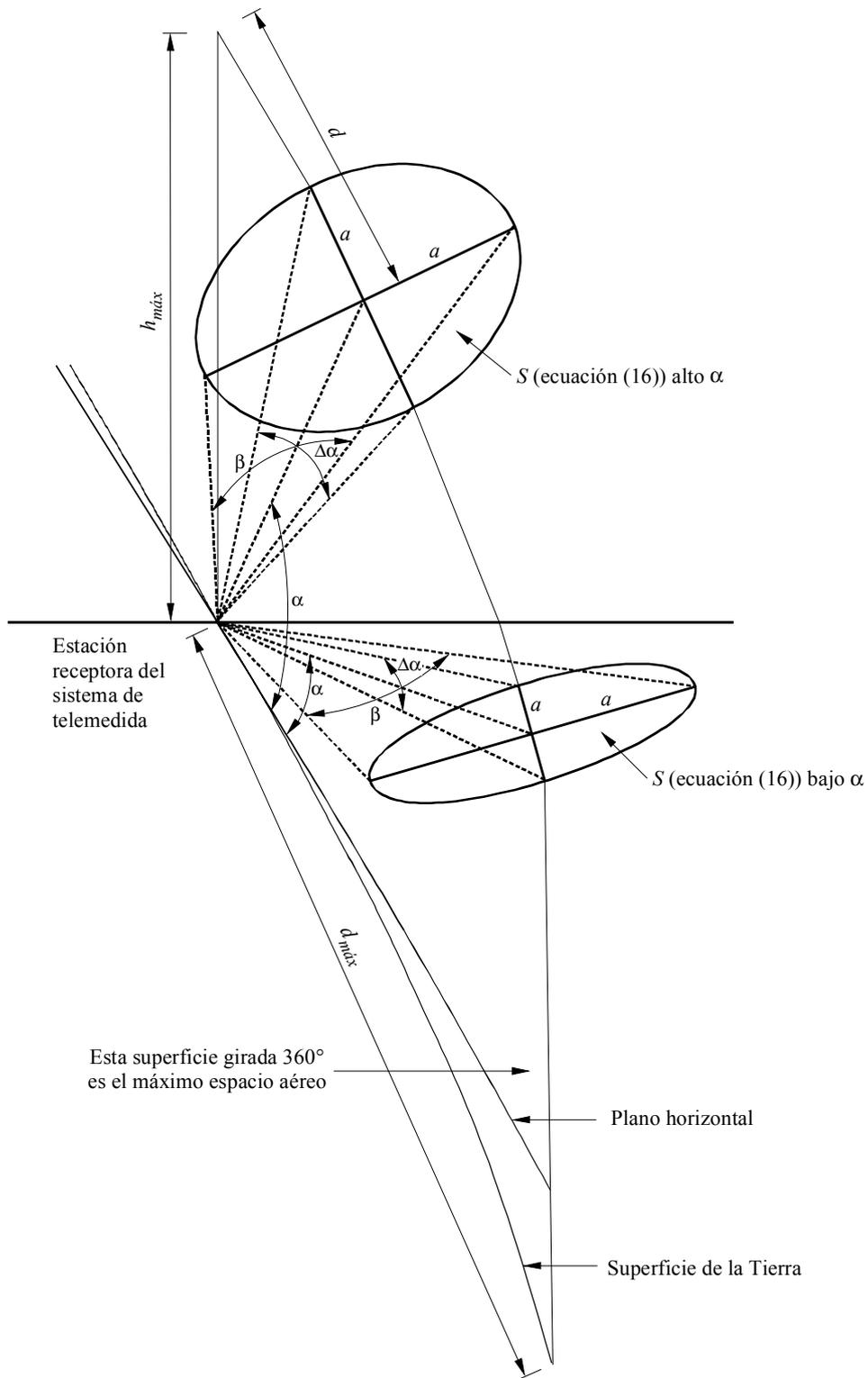
De donde S es:

$$S = \pi/4 (\beta) (\Delta\alpha) \quad \text{estereoradianes} \quad (16)$$

siendo:

- h : altitud de la aeronave = 20 km
- d : distancia de la superficie a la aeronave = 320 km (como máximo)
- r : radio de la Tierra = 6 378 km
- a : radio mínimo de los circuitos de vuelo = 20 km.

FIGURA 5
Geometría para los cálculos de S en satélites OSG



β (ecuación (15))
 $\Delta\alpha$ (ecuación (14))
 α (ecuación (13))

2.2.6 dfp en función del ángulo de llegada

– Escala de la dfp debida a, S

La dfp admisible aumenta con S , que crece con el ángulo de llegada, α . La dfp en función de S , puede calcularse utilizando la ecuación (16), junto con el valor de, ΔG , para las funciones S , obtenidas en el § 2.2.5, con $P(\Delta G) = 0,003611$ que, a su vez, se utilizan en la ecuación (10). El valor mínimo de S , es 0,001262 estereoradianes.

– Escala de la dfp debida al margen de exceso

Habrà alguna distancia, d_0 , entre la estación receptora de teledida y la aeronave en la que se rebase generalmente la disponibilidad deseada. Así pues, se dispone de un margen de exceso que podría utilizarse para aumentar la dfp admisible. El valor de d_0 puede determinarse a partir de:

$$d_0 = \left\{ \frac{P G_a G_0}{1758 k T B M f^2 (C/N)_T} \right\}^{0,5} \quad \text{km} \quad (17)$$

siendo:

P : potencia de la aeronave (W) = 4

G_a : valor mediano de la ganancia de antena de la aeronave = 0,2

G_0 : ganancia de la antena receptora de teledida = 800

M : margen de disponibilidad requerida = 300

f : frecuencia (MHz) = 1 500

k : constante de Boltzmann

T : temperatura de ruido (K) = 250

B : anchura de banda (Hz) = 3×10^6

$(C/N)_T$: valor umbral = 32.

Se considera que los valores nominales de cada parámetro enunciados son los más adecuados para determinar d_0 . La solución de la ecuación (17) con estos valores da lugar a una d_0 de 40 km.

El ángulo de llegada, α , se determina mediante la distancia, d y la altura de la aeronave, h y es:

$$\alpha = \text{arc sen } (h/d) \quad (18)$$

De la ecuación (18), puede determinarse α , en función de d , para valores de d , comprendidos entre d_0 y h . El margen de exceso, M_e , que puede utilizarse para aumentar la dfp es:

$$M_e = (d_0/d)^2 \quad (19)$$

Se supone que el valor máximo de h , es de 20 km. Utilizando estos valores, se calcula M_e , en función de α . Puede expresarse una formulación casi exacta de esta función en forma de factor de escala de la dfp, dfp_e , de la siguiente manera:

$$dfp_e = 1 \quad \text{para} \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \quad (20a)$$

$$dfp_e = 1 + 0,066 (\alpha - 30) \quad \text{para} \quad 30^\circ < \alpha \leq 62,5^\circ \quad (20b)$$

$$dfp_e = 4 \text{ sen}^2 \alpha \quad \text{para} \quad 62,5^\circ < \alpha \leq 90^\circ \quad (20c)$$

2.2.7 Contribuciones múltiples

Cuando el valor de S , es muy pequeño, los niveles de interferencia en los lóbulos laterales y en el lóbulo posterior procedentes de satélites similares en la OSG serán insignificantes comparados con el nivel del lóbulo principal. A medida que S aumenta las contribuciones de los lóbulos laterales y posterior se hacen estadísticamente significativas y se tienen en cuenta para cada uno de los satélites en el § 2.2.1. Por tanto, las contribuciones múltiples dependen principalmente del número de satélites OSG en la cobertura estereoradian limitada de la antena de teledida, S .

En primer lugar, se supone que la superficie, S' , es circular y que su diámetro, δ , está alineado con la OSG, y en segundo lugar, se supone que hay N satélites igualmente separados por un ángulo, Δ y que cada uno produce niveles iguales de dfp en la antena de teledida.

Cuando δ es igual a Δ , es posible que haya dos contribuciones, pero la probabilidad es próxima a 0. Cuando δ es igual a 2Δ , la probabilidad de dos contribuciones es próxima a 1, mientras que la probabilidad de tres contribuciones es próxima a 0, y así sucesivamente. De esta manera, para una probabilidad de 0,5 aproximadamente:

$$\delta = (N - 0,5)\Delta \quad \delta \text{ y } \Delta, \text{ grados} \quad (21)$$

La zona S' es:

$$S' = (\pi/4) \delta^2 \quad \text{estereoradianes} \quad \delta, \text{ rad} \quad (22)$$

A partir de este modelo, puede aproximarse bastante el valor de N mediante la fórmula:

$$N = 70(S')^{0,5}/\Delta \quad \text{para} \quad \Delta^2/4 \ 900 \leq S' \leq 1,938 \quad (23)$$

Como $N \geq 1$, $S' \geq \Delta^2/4 \ 900$, y como el valor mínimo «máximo» de S del § 2.2.5 es 1,938, el valor de N de la ecuación (23) se limita a esta gama. Así pues, N se encuentra comprendido entre la gama $1 \leq N \leq ((90/\Delta) \ 0,5)$.

La escala para una sola fuente, dfp_{es} , es función del valor agregado, dfp_{ea} , mediante la relación:

$$dfp_{es} = dfp_{ea}/N \quad (24)$$

2.3 Valores de la dfp para una sola fuente

Del análisis anterior pueden obtenerse valores de la dfp para una sola fuente interferente. Dichos valores de la dfp obtenidos en los puntos siguientes son aplicables a los sistemas de telemedida móvil aeronáutica. Los valores de los parámetros de los sistemas de telemedida son los siguientes:

- T : temperatura de ruido de la estación receptora = 250K
- B : anchura de banda de referencia = 4 kHz
- λ : longitud de onda = 0,2 m
- I/N : relación interferencia/ruido = 0,3846
- $P(\Delta G)$: probabilidad de ganancia diferencial = 0,003611.

Utilizando estos valores junto con el de ΔG en función de S , el margen de exceso y el factor de contribución múltiple para una Δ de 45° , da lugar a la función que se presenta en la Fig. 6. También se muestran en dicha Figura los valores de la dfp en función del ángulo de llegada que pueden aproximarse por las expresiones:

$$dfp \leq -181,0 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad \text{para} \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 4^\circ \quad (25a)$$

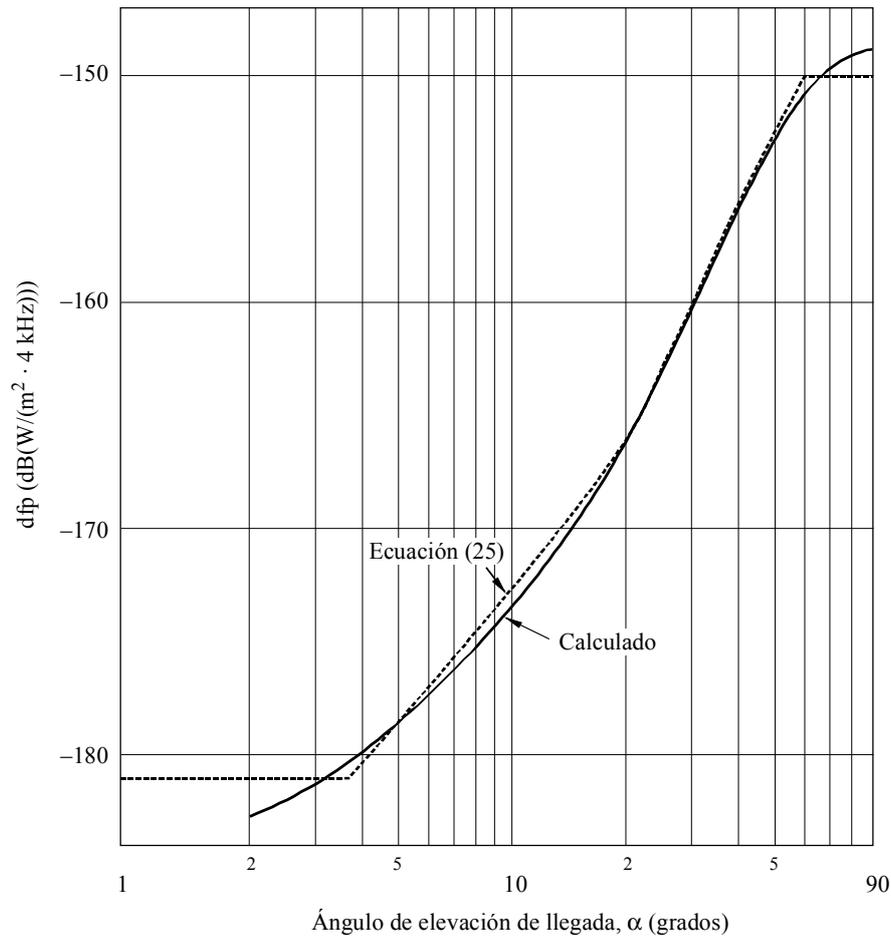
$$dfp \leq -193,0 \ 20 \log \alpha \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad \text{para} \quad 4^\circ < \alpha \leq 20^\circ \quad (25b)$$

$$dfp \leq -213,3 \ 35,6 \log \alpha \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad \text{para} \quad 20^\circ < \alpha \leq 60^\circ \quad (25c)$$

$$dfp \leq -150 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad \text{para} \quad 60^\circ < \alpha \leq 90^\circ \quad (25d)$$

FIGURA 6

Umbral para estaciones receptoras de teledifusión aeronáutica en el caso de interferencia de una sola fuente procedente de satélites OSG



1459-06

ANEXO 2

Técnicas de reducción de la interferencia

1 Técnicas de reducción de la interferencia para los sistemas de teledifusión del servicio móvil aeronáutico

Para lograr la compartición con el SRS (sonora) deben examinarse y utilizarse las técnicas de reducción de la interferencia indicadas a continuación en la medida en que ello resulte práctico.

1.1 Prevención de frecuencias

Es posible evitar la utilización de las partes de las bandas de frecuencias afectadas. En el caso de emplazamientos de teledifusión aislados (sin superposición del espacio aéreo con cualquier otro emplazamiento) que tengan un horario de pruebas no muy apretado, puede ser posible evitar la utilización de partes de las bandas atribuidas al SRS (sonora). En el caso en que varias coberturas del emplazamiento se superpongan y se efectúen ensayos simultáneos, la prevención de frecuencias puede no ser posible.

1.2 Discriminación de polarización

En las situaciones en que sea posible que los sistemas de teledida del servicio móvil aeronáutico utilicen polarizaciones opuestas a las utilizadas por los sistemas del SRS (sonora), puede lograrse una cierta discriminación de polarización durante el caso más desfavorable de interferencia, cuando las antenas de transmisión y de recepción de teledida del SRS (sonora) apunten casi en la misma dirección.

1.3 Consideraciones en cuanto a la modulación y la anchura de banda

Los sistemas de teledida utilizan varios tipos de modulación y de anchura de banda en el servicio móvil aeronáutico, con una tendencia general hacia la utilización plena de la técnica digital. La modulación digital facilitará el empleo de técnicas de codificación con corrección directa de errores que imprimirán un alto grado de inmunidad, o de ganancias de codificación contra la interferencia del SRS (sonora). Además, si la señal interferente del SRS (sonora) es digital, habrá una interferencia de tipo ruido en la señal de teledida.

En estas frecuencias, los valores de la dfp se especifican actualmente para una anchura de banda de 4 kHz. Cuando la señal interferida es analógica o digital, la limitación de los niveles de interferencia en una anchura de banda tan estrecha puede dar lugar a criterios de protección excesivos. La utilización de promedios de anchura de banda más adecuados para situaciones de compartición particulares puede responder de forma más precisa a los requisitos de protección. Para este caso, puede utilizarse una anchura de banda promedio de 400 kHz.

1.4 Diversidad de antena transmisora de teledida aeronáutica

Un parámetro importante de los sistemas de teledida del servicio móvil aeronáutico es la disponibilidad de la señal. Las maniobras del vehículo de ensayo aeronáutico pueden traducirse en desvanecimientos intensos de la señal de teledida recibida que suelen responder a una distribución de Rayleigh. Cuando sea factible emplear múltiples antenas de transmisión a lo largo del cuerpo del vehículo de pruebas se obtiene una mejor diversidad de la antena del transmisor, lo que puede traducirse en una reducción significativa del desvanecimiento de la señal.

1.5 Diversidad del emplazamiento de teledida

Algunas estaciones de prueba de teledida del servicio móvil aeronáutico emplean dos o más antenas receptoras. Si pueden disponerse dichas antenas de forma que den diversidad de emplazamiento/espacial, se obtendrá una reducción significativa de los desvanecimientos de Rayleigh de la señal. Además, una separación adecuada de las antenas de recepción puede permitir evitar la interferencia del eje de puntería al eje de puntería y la del eje de puntería al Sol. La combinación de la diversidad de frecuencias y de emplazamientos reducirá aún más los márgenes de desvanecimiento.

1.6 Geometría de la instalación de pruebas de teledida aeronáutica

En la mayoría de las circunstancias de interferencia, las situaciones de coincidencia del eje de puntería con el eje de puntería dan lugar al caso más desfavorable de dicha interferencia. Si las contramedidas descritas anteriormente no son factibles o suficientes, puede seleccionarse un trayecto del vuelo de los vehículos de prueba con los que se eviten los acimuts más críticos correspondientes a la conjunción próxima de ejes de puntería y los ángulos de elevación inferiores. La disposición particular y el nivel del resultado obtenible dependerán de la posición espacial mutua de la antena receptora de teledida, de la instalación de pruebas y del transmisor interferente del SRS (sonora).

Tal vez, la técnica aislada más eficaz de reducción de la interferencia desde el punto de vista de la teledida móvil aeronáutica sea la de evitar las conjunciones del lóbulo principal de la antena de teledida con los satélites OSG. Este caso se ha analizado en la banda 1 452-1 525 MHz y se estima que puede lograrse una protección adicional de unos 20 dB en ángulos muy bajos de llegada para unos 5 dB en las proximidades del cenit. La medida en que esta técnica pueda emplearse depende de la geometría de las instalaciones de prueba y de los circuitos de vuelo que no se conocen en este momento.

1.7 Técnicas de cancelación de la interferencia en el receptor de teledida aeronáutica

La supresión activa de la interferencia se utiliza normalmente en los sistemas radioeléctricos del SFS y del servicio fijo con polarización doble y, en muchas ocasiones, cuando se presentan casos específicos difíciles de compartición. Puede lograrse una supresión significativa de la interferencia según la dinámica del desvanecimiento. Dichas técnicas pueden suponer un medio para mejorar situaciones particulares de interferencia que se presenten.

1.8 Evaluación general de la compartición

Incluso en las condiciones geométricas más favorables para las técnicas de reducción de la interferencia, es extremadamente improbable que pueda lograrse una compartición satisfactoria en condiciones de la misma cobertura y la misma frecuencia, considerando que la dfp requerida en el SRS (sonora) es de hasta $-122 \text{ dB(W/m}^2 \cdot 4 \text{ kHz)}$.

No obstante, en condiciones geométricas favorables y cuando pueda lograrse una discriminación de la antena del satélite del SRS (sonora) respecto a las antenas receptoras de teledifusión del orden de 30 dB, cabe albergar expectativas razonables de lograr la compartición en los sistemas de baja potencia, es decir, del orden de $-138 \text{ dB(W/m}^2 \cdot 4 \text{ kHz)}$. Aun así, este valor no es típico para los sistemas del SRS (sonora).

2 Técnicas de reducción de la interferencia para facilitar la compartición con los sistemas del SRS (DSB)

2.1 Sistemas del SRS (sonora)

Se supone normalmente que los nuevos sistemas en fase de planificación y de realización inicial tienen más flexibilidad para elegir los parámetros operativos que faciliten la compartición con los servicios existentes. A continuación se enumeran algunas técnicas posibles de reducción de la interferencia que pudieran considerarse aplicables al SRS (sonora) con objeto de facilitar la compartición. Además, los resultados de distintos estudios del UIT-R concuerdan con las opiniones indicadas a continuación sobre la viabilidad y la aplicabilidad de estas técnicas reductoras.

2.2 Emplazamiento de la órbita

La selección de emplazamientos orbitales que minimicen la exposición y el desbordamiento hacia los emplazamientos críticos de la teledifusión aeronáutica móvil es una posible técnica de reducción de la interferencia. El UIT-R considera que sería muy difícil seleccionar emplazamientos orbitales que minimicen la exposición a los servicios afectados. El SRS (sonora) espera ofrecer un servicio mundial y los países que utilizan sistemas de teledifusión aeronáutica móvil están separados a lo largo del planeta, de forma que es imposible no iluminar uno o más de ellos. Además, en muchos casos hay limitaciones en cuanto a la elección de los emplazamientos orbitales disponibles para la prestación de un servicio SRS (sonora) viable. Por tanto, el UIT-R no cree que pueda lograrse una ventaja significativa con esta técnica.

2.3 Modulación e implementación

Esto implica el empleo de esquemas de modulación y de codificación del canal eficaces y la utilización de técnicas de diversidad del trayecto que minimicen los requisitos de la dfp a fin de lograr el nivel deseado de calidad y disponibilidad del sistema.

Lo que el UIT-R puede indicar respecto a esta técnica de reducción de la interferencia es que él mismo se ha apresurado a buscar esquemas eficaces de modulación y de codificación del canal. En suma, los estudios realizados por el UIT-R durante los últimos años han sido innovadores y significativos en cuanto a su capacidad de permitir considerar sistemas espectralmente eficaces. No es probable que puedan lograrse nuevas mejoras que conduzcan a reducciones importantes de los niveles de la dpf necesarios y de ahí, a mejoras en la situación de compartición.

2.4 Dispersión del espectro

El empleo de técnicas de dispersión del espectro reducen la dfp en relación inversa a la relación de dispersión (dispersión de anchura de banda/compresión de anchura de banda) y aumentan la inmunidad a la interferencia mediante la relación de dispersión.

El UIT-R considera que la dispersión de espectro como método de mejora de la compartición implica que debe haber suficiente espectro atribuido al servicio para poder dispersar la energía de la señal interferente a lo largo de una anchura de banda superior que aporte la reducción correspondiente en la dfp por unidad de anchura de banda, en este caso, en 4 kHz. Además, a fin de maximizar esta ventaja, cada servicio SRS (sonora) interferente tendría que utilizar un espectro exclusivo (es decir, que no se superponga con los canales de espectro ensanchado). Considerando la anchura de banda relativamente estrecha del espectro atribuido al SRS (sonora) por la CAMR-92 y considerando además que este espectro se comparte con el servicio de radiodifusión (sonora), la dispersión de espectro no será una técnica factible de reducción de la interferencia para lograr la compartición. Ello puede ilustrarse mediante el ejemplo siguiente:

El orden de mejora en la dfp que permita la compartición parece ser superior a 30 dB. Para lograr incluso 20 dB utilizando técnicas de espectro ensanchado se requiere, empleando sistemas de dispersión seudoruido normales, una

ganancia de dispersión de 100 aproximadamente, y por tanto, utilizar un factor de dispersión de 100. Dado que la banda del SRS en 1,5 GHz es de 40 MHz y que cabe esperar que con el tiempo se utilizará plenamente, la dispersión obligaría a un requisito de espectro para el funcionamiento del SRS de 4 GHz si se han de adoptar técnicas de espectro ensanchado.

2.5 Calidad de receptor

La mejora al máximo del factor de calidad, G/T , del receptor utilizando pasos de entrada de bajo ruido y antenas de ganancia máxima en línea con los costes y el tipo de servicio ofrecido es una posible técnica reductora.

El UIT-R considera que la tecnología de dispositivos de RF ha mejorado hasta el punto de que la etapa de entrada de bajo ruido ya no es el factor limitativo al establecer el balance de ruido del receptor. Los factores de ruido típicos del receptor que se consideran oscilan entre 1 y 3 dB. Como hay otras fuentes de ruido en el receptor, tales como la radiación procedente del suelo, del cielo y de los objetos próximos, las pérdidas del filtro de entrada, etc. que contribuyen de forma significativa al balance de ruido total del receptor, se obtendrían cada vez menos resultados si se considera que la reducción del factor de ruido del receptor es una técnica significativa de reducción de la interferencia. La mejora de la ganancia de la antena es factible y se ha adoptado como tal en las tentativas de llegar a soluciones rentables. Aun así, hay un límite al avance en este sentido, si se considera que se trata de ofrecer un servicio a receptores móviles y portátiles y de presentar un sistema que pueda realizarse con un precio asequible a todo el mundo. Por tanto, será difícil lograr mejoras significativas en la compartición mediante posibles mejoras en la relación G/T del receptor.

2.6 Antena de transmisión del satélite y zona de cobertura

Esta técnica reductora consiste en minimizar el desbordamiento del haz del satélite en la medida posible utilizando la conformación del haz para ajustarse en la práctica a la zona de servicio pretendida.

El UIT-R considera que todas las propuestas de satélite del SRS (sonora) prestan mucha atención a la ingeniería de la antena. El tamaño de ésta y la necesidad de minimizar el desbordamiento a fin de lograr una utilización eficaz del espectro del SRS (sonora) para los fines propios significa que la conformación del haz ya se ha optimizado plenamente. Además, aunque la conformación del haz dará lugar a una caída más rápida de los niveles de los lóbulos laterales próximos (por ejemplo, del primer lóbulo lateral) lo que facilita la compartición con los servicios próximos al extremo de la zona de cobertura, dichas técnicas no mejoran los niveles de los lóbulos laterales de orden superior y por tanto, no mejora la compartición para los sistemas situados más lejos del extremo de la zona de cobertura que tenderán también a asociarse a ángulos de elevación inferiores en los que se requieren niveles mínimos de la dfp .

2.7 Sistemas de órbita elíptica muy inclinada del SRS (sonora)

Para los sistemas de órbita elíptica muy inclinada, la selección de constelaciones orbitales que hacen máximo el ángulo de elevación con los emplazamientos de teledifusión aeronáutica móvil afectados y de las que se disponga de efemérides (información espacial y temporal de las órbitas) para los operadores de la teledifusión móvil aeronáutica, son técnicas posibles de reducción de la interferencia.

El UIT-R considera que, dado el gran número de países que utilizan sistemas fijos y que la información sobre el emplazamiento de dichos sistemas es incompleta, no es probable que pueda lograrse mejora alguna importante para los sistemas de órbita elíptica muy inclinada más allá de las que ya se han obtenido para el servicio de radiodifusión.

2.8 Prevención de frecuencias

Esta técnica consiste en la selección de una parte del espectro atribuido al SRS (sonora) que es la menos utilizada para los sistemas de teledifusión aeronáutica móvil, cuando sea posible.

El UIT-R considera que esta técnica de reducción, aunque no representa en sentido estricto la compartición, parece ser la única que puede explotarse de forma realista. El UIT-R es consciente de que, en el caso de los sistemas de teledifusión aeronáutica móvil, parte de la banda ocupada por éstos atañe al sistema de seguridad de la vida humana. Parecería razonable que, si ello es posible, estos elementos del servicio de teledifusión aeronáutica móvil ocupen dicha parte del espectro que no está utilizada por el SRS. Sería razonable exigir protección en esta parte del servicio, para los niveles propuestos.

Las conclusiones generales del UIT-R sobre las técnicas anteriores de reducción de la interferencia aplicables al SRS (sonora) es que, exceptuando la técnica en la que se evitan frecuencias, la adición de las mejoras previstas de la aplicación de estas técnicas reductoras apenas será suficiente para lograr una compartición satisfactoria. Siendo así, el UIT-R considera que toda mejora de la compartición que pueda lograrse mediante la aplicación de éstas y otras técnicas de reducción de la interferencia tendrá que garantizar que todas las administraciones cuenten con la capacidad de implementar el SRS (sonora) en la banda adecuada atribuida por la CAMR-92 y sin necesidad de imponer limitaciones importantes al nivel del servicio que pueda darse.

3 Medidas prácticas para permitir la compartición entre servicios

Una vez realizados los cálculos de interferencia, es probable que se adopten escenarios de casos más desfavorables, lo que puede llevar a la conclusión de la imposibilidad de la compartición de frecuencia y canal entre los distintos servicios. Para establecer los criterios adecuados de compartición se utilizan parámetros técnicos generales que pueden no reflejar la utilización real propuesta por las administraciones.

Cuando una administración desea establecer un nuevo sistema y no se han establecido claramente los criterios adecuados de compartición, deben considerarse las medidas descritas a continuación para asegurar que no se causa interferencia perjudicial a los servicios existentes o al nuevo servicio propuesto.

3.1 Las administraciones afectadas deben identificar zonas específicas o instalaciones en donde es probable que se produzca dicha interferencia. Puede ser entonces posible adoptar medidas específicas para proteger adecuadamente dichas zonas o instalaciones.

3.2 Inicialmente, la separación geográfica será un punto a considerar, pero como las zonas contiguas adyacentes serán las más afectadas, esta opción puede ser limitada.

3.3 Cuando se hayan identificado instalaciones o emplazamientos específicos que resulten afectados, pueden aplicarse métodos prácticos tales como los de compensadores de interferencia, apantallamiento especial y sistemas de antenas adaptables (véase la Recomendación UIT-R SM.856).

3.4 También puede ser necesario considerar modificaciones de las actuales disposiciones de canales de los sistemas del servicio fijo, siempre que dicho enfoque sea congruente con las ventajas económicas.

3.5 A largo plazo, el paso hacia la utilización de técnicas de transmisión mejoradas, tales como las de espectro ensanchado (véase la Recomendación UIT-R SM.1055), las técnicas de codificación, el control automático de potencia y la dispersión de energía, pueden continuar facilitando la compartición entre servicios.
