

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1584 (07/2002)

Método para calcular las distancias de separación entre las estaciones terrenas del servicio de radionavegación por satélite (Tierra-espacio) y los radares del servicio de radiolocalización y del servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 1 300-1 350 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	Radio astronomía
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.1584*,**

Método para calcular las distancias de separación entre las estaciones terrenas del servicio de radionavegación por satélite (Tierra-espacio) y los radares del servicio de radiolocalización y del servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz

(2002)

Cometido

En esta Recomendación se describe el método para calcular las distancias de separación entre las estaciones terrenas del servicio de radionavegación por satélite (Tierra-espacio) y los radares del servicio de radiolocalización y del servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz. Dicho método debe tomarse en consideración al seleccionar el emplazamiento de las estaciones terrenas del enlace ascendente del SRNS en la gama de 1 300-1 350 MHz, a fin de calcular las distancias de separación entre las estaciones del enlace ascendente del SRNS y los sistemas de radar de radionavegación aeronáutica.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda 1 300-1 350 MHz está atribuida a título primario al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA) para su utilización por los sistemas de radar en tierra;
- b) que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) añadió una atribución a título primario al servicio de radionavegación por satélite (SRNS) (Tierra-espacio) en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz;
- c) que la CMR-2000 elevó la categoría del servicio de radiolocalización de título secundario a título primario en la banda 1 300-1 350 MHz;
- d) que la atribución al servicio de radiolocalización la utilizan sistemas de radar terrestres y de aeronaves;
- e) que existe un riesgo de interferencias entre las estaciones del enlace ascendente del SRNS y los sistemas de radar del SRNA y del servicio de radiolocalización;
- f) que los sistemas de radar del SRNA y del servicio de radiolocalización se pueden proteger estableciendo las distancias de separación adecuadas;
- g) que se va a utilizar el Apéndice 7 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) para determinar cuáles son las administraciones afectadas para fines de coordinación de determinadas estaciones terrenas del SRNS en sentido Tierra-espacio, de conformidad con el número 9.17 del RR,

* La Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2004 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

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

reconociendo

- a) que la CMR-2000 añadió el número 5.337A del RR, para establecer que la utilización de la banda 1300-1350 MHz por las estaciones terrenas del SRNS y las estaciones del servicio de radiolocalización no deben producir interferencias perjudiciales ni limitar el funcionamiento o el desarrollo del SRNA;
- b) que hay dificultades operacionales y prácticas para que se establezcan y se mantengan las distancias de separación entre las estaciones del enlace ascendente del SRNS y los radares de aeronaves, lo que probablemente afecta las capacidades de funcionamiento de estos radares de aeronaves;
- c) que, refiriéndose a los ejemplos de los Anexos 1 y 2, para que las estaciones terrenas del SRNS protejan adecuadamente a las estaciones del servicio de radiodeterminación en tierra o en aeronaves, es necesario garantizar una atenuación de 50 dB para ángulos de elevación de 10° o inferiores,

observando

- a) que aplicando este método al ejemplo del Anexo 1 se obtienen distancias de separación calculadas de 50 a 325 km entre las estaciones terrenas del SRNS y los radares del servicio de radionavegación;
- b) que aplicando este método al ejemplo del Anexo 2 sin un anillo de choque se obtienen distancias de separación calculadas que pueden ser tan grandes como el horizonte radioeléctrico de los radares de aeronaves,

recomienda

- 1 que se apliquen los métodos descritos en los Anexos 1 y 2 para seleccionar la ubicación de las estaciones terrenas del enlace ascendente del SRNS en la gama 1300-1350 MHz, a fin de calcular la distancia de separación entre las estaciones del enlace ascendente del SRNS y los sistemas de radar de radiolocalización y de radionavegación aeronáutica;
- 2 que las administraciones sigan estudiando los aspectos de compatibilidad entre transmisores de estaciones terrenas del SRNS y radares de radiolocalización a bordo de aeronaves, y que informen de los resultados de estos estudios al UIT-R.

NOTA 1 – Las administraciones deben seguir estudiando las condiciones de compatibilidad entre los receptores de satélite del SRNS y los radares de los servicios de radionavegación y radiolocalización, y deben informar al UIT-R de los resultados de estos estudios.

Anexo 1

Método para calcular las distancias de separación entre las estaciones terrenas del SRNS (Tierra-espacio) y los radares terrenales del servicio de radiolocalización y del SRNA en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz

1 Introducción

Los nuevos sistemas de radionavegación por satélite utilizarán la banda 1 300-1 350 MHz para la transmisión de información desde las estaciones de enlace ascendente, por ejemplo datos de navegación, sincronización o integridad, a una constelación de satélites situados en órbita terrestre media (MEO).

En este estudio se analiza la interferencia causada por las estaciones de enlace ascendente a los radares terrenales de recepción.

El estudio demuestra que estableciendo una distancia de separación determinada, puede evitarse la interferencia excesiva en los radares terrenales.

2 Características del sistema

2.1 Radares de radiolocalización y de radionavegación aeronáutica

En esta Recomendación se utilizan los parámetros de radares de la Recomendación UIT-R M.1463 – Características y criterios de protección para los radares que funcionan en el servicio de radiodeterminación en la banda de frecuencias 1 215-1 400 MHz, que se aplican a los radares del servicio de radiolocalización y al SRNA.

Para calcular los umbrales de perturbación de los radares, se utilizó la siguiente fórmula y un criterio de protección (I/N) de -6 dB, de conformidad con la Recomendación UIT-R M.1463:

$$P_{threshold} \text{ (dBm)} = 10 \log (K T_0 FB) + 24$$

CUADRO 1

Parámetros de los radares de recepción

	Anchura de banda (MHz)	Ganancia de la antena de recepción (dBi)	Umbral de perturbación (dBm)
Sistema 1	0,780	33,5	-119,1
Sistema 2	0,690	38,9	-119,6
Sistema 3	4,4 y 6,4	38,2	-108,8 y -107,2
Sistema 4	1,2	32,5	-115,7
Radares de perfil del viento	2,5	33,5	-114,5

2.2 Estaciones típicas de enlace ascendente del SRNS

- Potencia transmitida: $\leq 57,1$ dBm
- Tipo de antena: omnidireccional con aislamiento físico para baja elevación (generalmente atenuación de 50 dB con un anillo de choque (véase la descripción de un anillo de choque en el Apéndice 2 al Anexo 1))
- Orientación: cenit
- Máxima ganancia: ≤ 3 dBi
- Ganancia: ≤ 1 dBi para ángulos de elevación inferiores a 10°
- Modulación: espectro ensanchado (1,023 y 10,23 Mchip/s)
- Polarización: circular levógira
- Altura: 2 m
- Red: menos de 20 estaciones de enlace ascendente repartidas uniformemente en todo el mundo. Cada estación de enlace ascendente transmite en la misma frecuencia a una constelación de satélites situados en una MEO.

La potencia total se utiliza para transmitir dos señales ensanchadas, una con un código de 1,023 Mchip/s y la otra con un código de 10,23 Mchip/s. La señal codificada a 10,23 Mchip/s tiene una potencia de 53 dBm, y la señal a 1,023 Mchip/s tiene una potencia de 55 dBm. A los fines de este estudio, y como caso más desfavorable, se considera que la frecuencia de las estaciones de enlace ascendente es la misma del radar. Ahora bien, se estudian las consecuencias de un desplazamiento de frecuencias.

3 Interferencia de las estaciones de enlace ascendente del SRNS en los radares

3.1 Estudio de compatibilidad

A fin de determinar la distancia de separación necesaria para proteger la recepción del radar, se calcula la pérdida de propagación, L (dB), como sigue:

$$\begin{aligned} L &= P_t + G_t - A_t - FL_t + G_r - FL_r + R_b - D_{pol} - P_{threshold} \\ &= P_{interfering} - P_{threshold} \end{aligned} \quad (1)$$

donde:

- P_t : potencia de transmisión interferente (dBm)
- G_t : ganancia de transmisión interferente (dBi) en dirección del radar
- A_t : aislamiento físico a baja elevación (mediante anillo de choque) (dB)
- FL_t : pérdidas en el alimentador del transmisor (dB)
- $P_{threshold}$: umbral de perturbación (dBm)
- G_r : ganancia de recepción (dBi)
- FL_r : pérdidas en el alimentador del receptor (dB)
- R_b : factor de rechazo (dB)
- D_{pol} : factor de acoplamiento por polarización (dB).

El factor de rechazo R_b , es la parte de la potencia total de emisión del SRNS filtrada por el receptor de radar. Tiene pues en cuenta la anchura de banda del receptor del radar, la separación de frecuencias entre el radar y las frecuencias centrales de emisión del enlace ascendente del SRNS, y la densidad espectral normalizada de la potencia (NPSD, *normalized power spectral density*) de la señal del SRNS. Para una modulación por desplazamiento de fase binaria cuadrática (caso típico en el SRNS):

$$\begin{aligned}
 R_b &= \int_{(B_r)} NPSD(f) \, df \\
 &= \int_{f_{0R}-B_r/2}^{f_{0R}+B_r/2} \frac{1}{f_c} \cdot \text{sen}^2 \left(\frac{(f-f_{0T})}{f_c} \right) \cdot df \\
 &= \int_{f_{0R}-f_{0T}-B_r/2}^{f_{0R}-f_{0T}+B_r/2} \frac{1}{f_c} \cdot \text{sen}^2 \left(\frac{f}{f_c} \right) \cdot df
 \end{aligned} \tag{2}$$

donde:

B_r : anchura de banda de recepción.

Obsérvese que el código lento (velocidad de codificación = 1,023 Mchip/s) también es un código corto (1 023 chips). Por tanto, el espectro de la señal correspondiente tiene componentes de línea de 1 kHz. La potencia de algunos de estos componentes de línea es superior a los valores $(\text{sinc } x)^2$, pero el promedio de líneas mantiene aproximadamente una forma $(\text{sinc } x)^2$. Sabiendo que la anchura de banda de recepción es significativa con respecto a los intervalos de 1 kHz, se promedian numerosos componentes de línea y la ecuación (2) es apropiada para calcular el R_b .

Tras determinar el valor de L , puede calcularse la distancia de separación correspondiente. Este cálculo está basado en la Recomendación UIT-R P.452 – Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,7 GHz, y en la Recomendación UIT-R P.526 – Propagación por difracción. El método propuesto en la Recomendación UIT-R P.452, Cuadro 5, se ha utilizado para obtener la predicción general teniendo en cuenta el tipo de trayecto (visibilidad directa, visibilidad directa con difracción de subtrayectoria, o transhorizonte).

En el Cuadro 2 se especifican las principales hipótesis consideradas para aplicar las anteriores Recomendaciones:

CUADRO 2

Principales hipótesis para calcular las distancias de protección

Modelo	Parámetro	Valor	Comentarios
Dispersión troposférica	Refractividad a nivel del mar en el centro del trayecto: N_0	360	Valor de compromiso entre los valores de caso más desfavorable de todos los continentes
Reflexión por conducto/capa	Correcciones de acoplamiento de conducto sobre la superficie del mar, para las estaciones interferentes e interferidas (A_{ct} , A_{cr})	0 dB	Se supone que la distancia desde cada terminal hasta la costa a lo largo del trayecto de interferencia del círculo máximo es superior a 5 km
	Parámetro de rugosidad del terreno; es decir, la altura máxima del terreno sobre la superficie plana de la Tierra (h_m)	< 10 m	Se supone que la superficie de la Tierra es plana
Otras pérdidas de señales parásitas	Otras pérdidas ocasionadas por parásitos locales del terreno, como edificios, vegetación, ... (A_{ht} , A_{hr})	0 dB	Se supone como caso más desfavorable que no hay obstáculos locales en el terreno entre las estaciones interferentes y las interferidas
Todos	Gradiente vertical del índice de refractividad en el primer kilómetro de la atmósfera (ΔN)	80	Valor de caso más desfavorable
Todos	Porcentaje de tiempo necesario durante el cual no se rebasa la pérdida de transmisión básica calculada: p	1%	
Todos	Valor mediano del factor de radio efectivo de la Tierra (K_{50})	2,0389	Obtenido con $\Delta N = 80$

3.2 Cálculo de la distancia de separación a partir de la cual está garantizada la protección (distancia de protección)

La ecuación (1) se utiliza para todos los radares considerados en la Recomendación UIT-R M.1463, tanto para el caso más desfavorable de funcionamiento cofrecuencia, como para el caso de funcionamiento con una separación de frecuencia de 3 MHz entre la frecuencia central del radar y la frecuencia de emisión del SRNS. En los Cuadros del Apéndice 1 a este Anexo se indican los cálculos de pérdida necesaria para proteger los distintos tipos de radares.

Se utiliza el método descrito en la Recomendación UIT-R P.452, como se indica en el § 3.1, para calcular las distancias de protección con respecto a la pérdida necesaria. En las Figs. 1 y 2 pueden verse algunos ejemplos de resultados de distancias de protección para distintas alturas (por encima del nivel medio del mar) de la estación interferente y de los radares interferidos, y para dos situaciones de pérdida necesaria que constituyen casos más desfavorables (véase el Apéndice 1 a este Anexo):

- 161,1 dB, que es el caso más desfavorable (radar 2) para el funcionamiento de la misma frecuencia del radar y la estación del SRNS;
- 149,7 dB, que es el caso más desfavorable (radar 3, anchura de banda de recepción de 6,4 MHz) con una separación de 3 MHz entre las frecuencias centrales del radar y la emisión del SRNS.

Explicaciones para las Figs. 1 y 2:

- h (m, amsl) Rx es la altura (m) del radar interferido sobre el nivel medio del mar;
- h (m, amsl) Tx es la altura (m) de la estación transmisora de enlace ascendente del SRNS sobre el nivel medio del mar.

FIGURA 1
Distancias de protección del radar para una pérdida necesaria de 161,1 dB

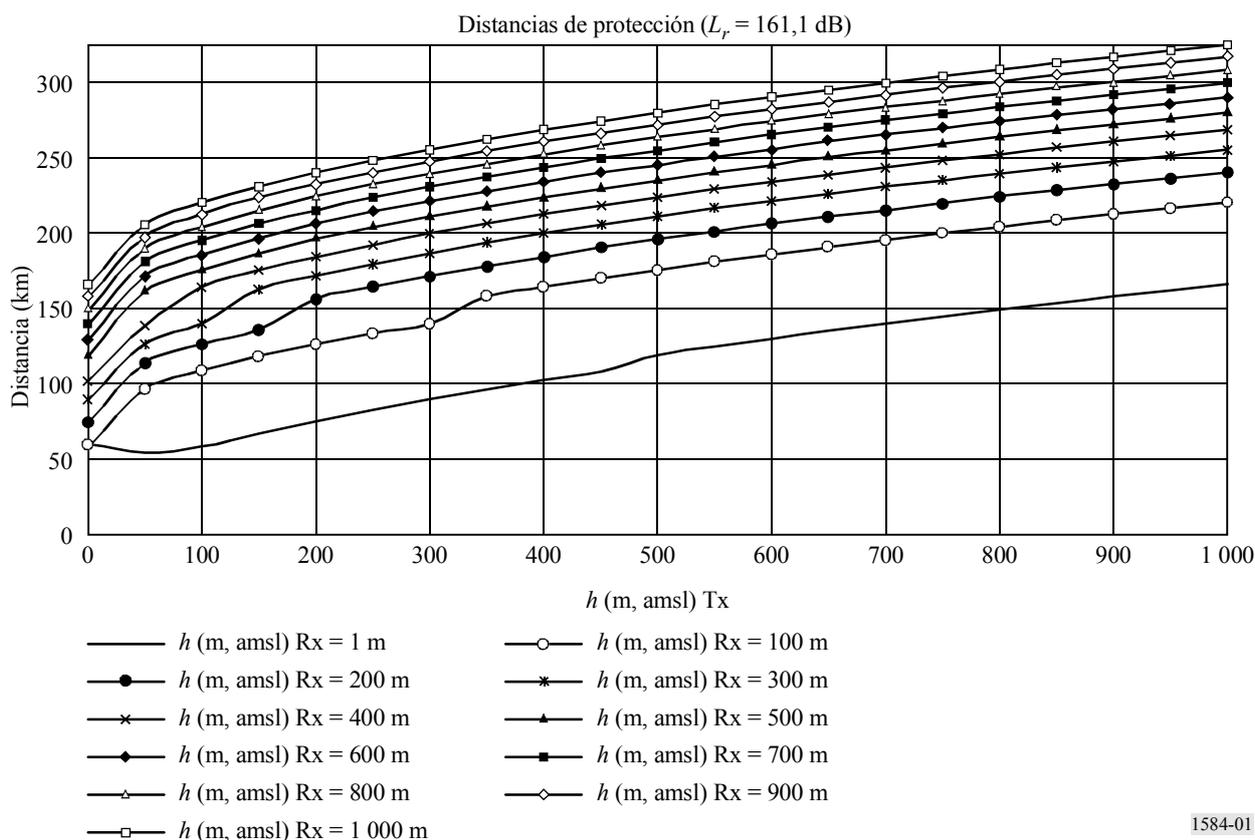
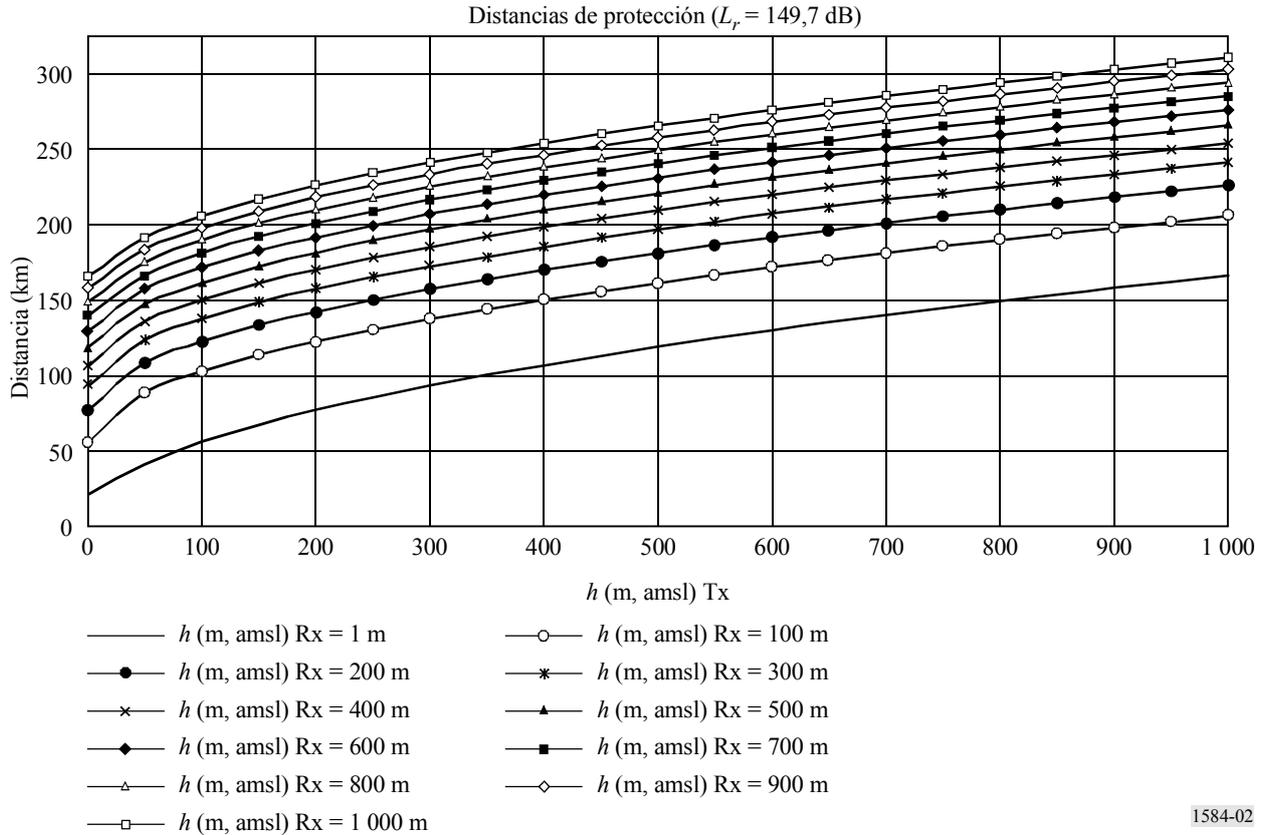


FIGURA 2

Distancias de protección del radar para una pérdida necesaria de 149,7 dB



1584-02

3.3 Conclusiones

Los resultados de los puntos anteriores indican las distancias de protección del radar para diferentes radares interferidos, y con las estaciones interferentes de enlace ascendente del SRNS situadas en alturas sobre el nivel medio del mar comprendidas entre 1 m y 1000 m. Estas distancias van de 50 km a 325 km, dependiendo de la altura de las estaciones de enlace ascendente del SRNS y del sistema de radar. El método descrito en este Anexo debe ser utilizado para calcular la distancia de protección necesaria para diferentes parámetros (parámetros de recepción del radar, parámetros de transmisión de la estación terrena del SRNS, altura de la antena, etc.). Por otra parte, en los puntos anteriores se suponía que no había obstáculos locales entre las estaciones interferentes del SRNS y los radares interferidos. Eligiendo una situación adecuada (una zona naturalmente protegida), se podría determinar una distancia de protección más reducida, haciendo un estudio particular en cada caso y teniendo en cuenta el perfil del trayecto específico.

**Apéndice 1
al Anexo 1**

Sistema 1

Pérdida necesaria entre el radar y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	33,5	33,5		33,5	33,5	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-11,2	-1,8		-12,4	-24,4	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	24,8	36,2	36,5	23,6	13,6	24
$P_{threshold}$	-119,1	-119,1	-119,1	-119,1	-119,1	-119,1
Pérdida necesaria (dB)	143,9	155,2	155,5	142,6	132,7	143,0

Sistema 2

Pérdida necesaria entre el radar y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	38,9	38,9		38,9	38,9	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-11,7	-2,2		-13	-25,6	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	29,7	41,2	41,5	28,4	17,8	28,8
$P_{threshold}$	-119,6	-119,6	-119,6	-119,6	-119,6	-119,6
Pérdida necesaria (dB)	149,3	160,8	161,1	148	137,4	148,4

Sistema 3

Pérdida necesaria entre el radar y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de superficie Rx Bw = 4,4 MHz (caso más desfavorable) (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de superficie Rx Bw = 6,4 MHz (caso más desfavorable) (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	38,2	38,2		38,2	38,2	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-3,9	-0,2		-3,6	-1,7	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	36,8	42,5	43,5	37,1	41	42,5
$P_{threshold}$	-108,8	-108,8	-108,8	-107,2	-107,2	-107,2
Pérdida necesaria (dB)	145,7	151,3	152,4	144,4	148,3	149,7

Rx Bw: anchura de banda de recepción.

Sistema 4

Pérdida necesaria entre el radar y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencia de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	32,5	32,5		32,5	32,5	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-9,3	-0,8		-10,6	-20,7	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	25,7	36,2	36,6	24,4	16,3	25
$P_{threshold}$	-115,7	-115,7	-115,7	-115,7	-115,7	-115,7
Pérdida necesaria (dB)	141,4	151,9	152,3	140,1	132	140,7

Radares de perfil del viento
Pérdida necesaria entre el radar y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de superficie (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	33,5	33,5		33,5	33,5	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-6,2	-0,4		-7,4	-18,3	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	29,8	37,6	38,3	28,6	19,7	29,1
$P_{threshold}$	-114,5	-114,5	-114,5	-114,5	-114,5	-114,5
Pérdida necesaria (dB)	144,3	152,1	152,7	143,1	134,2	143,6

Apéndice 2
al Anexo 1

Descripción de un sistema de antena con anillo de choque que permite obtener una fuerte atenuación para ángulos de elevación bajos, en el caso de enlaces ascendentes del SRNS en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz

1 Introducción, finalidad del anillo de choque

El SRNS puede utilizar enlaces ascendentes Tierra-espacio, por ejemplo con satélites MEO. Normalmente, la potencia transmitida en esta banda es de unos 57 dBm. Las antenas de tierra están orientadas al cenit. Se supone que estas antenas son omnidireccionales, con una ganancia de -1 dB para un ángulo de elevación α_0 de 10° , sin que se haya instalado un anillo de choque. Para proteger convenientemente los enlaces del radar es necesario instalar un anillo de choque que permita una atenuación de 50 dB para 10° de elevación.

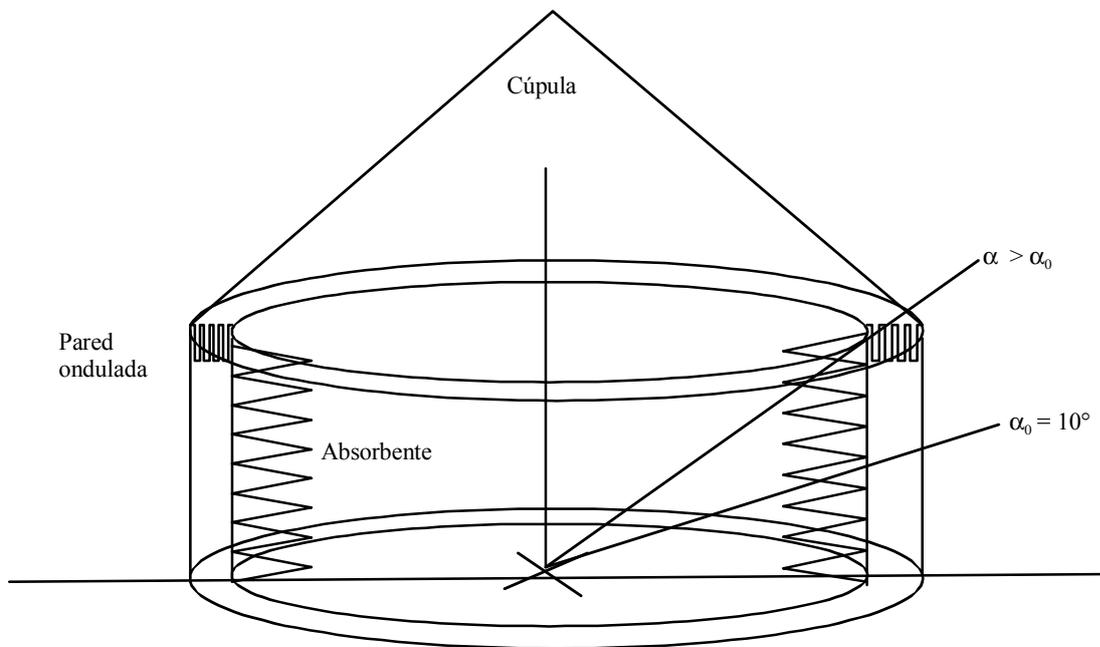
2 Descripción del anillo de choque

Un anillo de choque consiste en uno o varios elementos cilíndricos colocados alrededor del elemento de radiación de la antena. Se utilizan habitualmente para las antenas de recepción del sistema mundial de determinación de posición (GPS), para reducir la transmisión multitrayectos y atenuar la ganancia de antena a ángulos de elevación bajos. El anillo de choque no tiene más de 20 a 50 cm de diámetro en el caso de la recepción GPS. Este diámetro corresponde a 1 ó 2 longitudes de onda de la señal GPS. En estos casos, el anillo de choque funciona en la zona de campo cercano y tiene, por tanto, posibilidades limitadas de atenuación.

En el caso de los enlaces ascendentes del SRNS, es necesario aumentar la atenuación para ángulos de elevación bajos y ello puede hacerse instalando un cilindro o anillo de choque de un diámetro importante, comparado con la longitud de onda de la señal transmitida, como se puede ver en la Fig. 3. En este caso, el anillo de choque funciona en la zona de campo lejano y puede ser considerado como una verdadera máscara física. Debe tener un diámetro de varios metros (alrededor de 5 m en el ejemplo considerado). El ángulo de elevación α del anillo de choque, visto desde el centro de fase de la antena, es de unos 25° . Este anillo de choque está formado por una pared cilíndrica centrada en el elemento radiante de la antena. (Esta pared tiene aproximadamente 1 m de altura en el ejemplo considerado.) El material de la pared debe ser, preferentemente, absorbente, pero también se puede utilizar simplemente hormigón. El interior de la pared se recubre con un elemento absorbente, formado por ejemplo por pirámides de gran tamaño. Existen en el mercado absorbentes con los que puede obtenerse una atenuación de 50 dB aproximadamente en la Banda L, y que son compatibles con la potencia radiada sin que exista riesgo de inflamación debido a esta potencia. El borde de la pared limita la difracción: se puede utilizar, por ejemplo, una pared con relieve u ondulada y si es necesario, se puede colocar sobre ella un absorbente adicional. Toda esta estructura se cubre con una cúpula radiotransparente. Con esta estructura pueden obtenerse atenuaciones superiores a 50 dB para un ángulo de elevación de 10° , considerando únicamente los efectos del elemento absorbente y de la ondulación. Si fuera necesario mejorar significativamente estas condiciones, también se podría instalar otro anillo de choque.

Además, cabe señalar que algunos radares de meteorología también utilizan elementos de antena transmisores y receptores colocados dentro de paredes de separación recubiertas con absorbentes. También se utiliza el término de antena de túnel para estos sistemas. Permiten un aislamiento de unos 100 dB entre ambas antenas, para un ángulo de elevación inferior a 5° .

FIGURA 3
Representación del anillo de choque



Radio = $R = N \lambda$
 Longitud de onda = λ
 N compatible con las condiciones de campo lejano

Anexo 2

Método para calcular las distancias de separación entre las estaciones terrenas del SRNS (Tierra-espacio) y los radares en aeronaves del servicio de radiolocalización en la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz

1 Introducción

En este Anexo se analiza la interferencia causada por las estaciones de enlace ascendente a los radares receptores de aeronaves.

2 Características del sistema

2.1 Radares de radiolocalización en aeronaves

En el Cuadro 3 aparecen sistemas representativos de los radares en aeronaves en funcionamiento o planificados para la banda de frecuencias 1 300-1 350 MHz.

2.1.1 Sistema A

El Sistema A es un radar de aeronave, de radiación lateral no coherente, utilizado para la vigilancia del océano. El radar es transportado por una aeronave a una altitud de funcionamiento de 15 500 a 25 500 pies (aproximadamente 4,7-7,7 km) utilizado sobre agua a distancias de 50 a 500 mn (aproximadamente 92,6-926 km) de la costa.

2.1.2 Sistema B

El Sistema B es un sistema de medición por radar multicanales de aeronave, que funciona a una altitud máxima de 10 000 pies (aproximadamente 3 km).

2.1.3 Sistema C

El Sistema C es un radar de aeronave con dos pares de frecuencias diferentes seleccionables por el operador. Hay una separación de 15 MHz entre estas frecuencias diferentes. En uno de los modos de funcionamiento, se utilizan las cuatro frecuencias para eliminar ecos secundarios. El radar es transportado por un globo cautivo amarrado a una altitud de 10 000 a 15 000 pies (aproximadamente 3-4,5 km).

2.1.4 Sistema D

El Sistema D es un radar de aeronave que funciona normalmente por encima de 30 000 pies (aproximadamente 9,1 km) (generalmente entre 30 000-40 000 pies, es decir, aproximadamente 9,1-12,2 km).

CUADRO 3

Características técnicas de los sistemas de radiolocalización en aeronaves

Parámetro	Sistema A	Sistema B	Sistema C	Sistema D
Gama de frecuencias (MHz)	1 300-1 350	1 215-1 350	1 215-1 400	1 215-1 400
Potencia de salida (kW)	15	19,2	8,4	27
Anchura de banda de la emisión (MHz)	19	1	3	6, 12
Modulación	MF lineal por impulsos	MF lineal de espectro ensanchado	Impulsiva con MF lineal	–
Velocidad de impulsos (impulsos/s)	55	250	369	300-1 000
Anchura del impulso (μ s)	28	50	260,4	5-50
Tiempo de subida	0,04 μ s	250 ns	0,1 μ s	–
Tiempo de caída	0,04 μ s	20 ns	0,1 μ s	–
Ganancia de antena (dBi)	20/22	27	35	33
Altura de la antena (pies)	25 500 (aproximadamente 7,7 km)	10 000 (aproximadamente 3 km)	15 000 (aproximadamente 4,7 km)	40 000 (aproximadamente 12,2 km)
Criterios de protección (I/N) (dB)	–6	–6	–6	–
Factor de ruido (dB)	4	4	3,87	5
Tamaño del reflector	4' \times 2,5' y 2' \times 9' (aproximadamente 1,2 \times 0,76 y 0,61 \times 2,7 m)	4' \times 4' (aproximadamente 1,2 \times 1,2 m)	3 m	–
Tipo de haz	Sistema de elementos radiantes controlados por fase	Sistema de elementos radiantes controlados por fase	Parabólico	Haz puntual
Anchura del haz	39° (acimut) o 12° (acimut) 13° (elevación)	5,20° (acimut) 10,45° (elevación)	(1)	3,5°
Exploración	(2)	(3)	360° horizontal	360° acimut \pm 60° en elevación
Revoluciones por minuto	Fijo	2	5	5
Anchura de banda de FI (–3 dB) (MHz)	14	9	20	–

(1) Horizontal – Primer lóbulo lateral principal 13,5 dBi a 2,7°. Vertical –3,5°, 3 dB (degradado).

(2) Este radar puede funcionar con dos antenas instaladas formando un ángulo recto con la trayectoria de vuelo. La primera antena tiene una apertura con respecto al eje de puntería de 60 \times 21° de acimut, con una elevación de 14 \times 27° con respecto al eje de puntería. La segunda antena tiene una apertura con respecto al eje de puntería de 36 \times 14° de acimut, con una elevación de 14 \times 27° con respecto al eje de puntería.

(3) Se trata de un sistema de apertura activa que puede hacer una exploración de \pm 60° en el plano acimutal. Como el sistema de antena instalado en la aeronave no gira, habrá una zona de 240° detrás del sistema de antena que permanecerá oculta durante todo el tiempo. El haz principal puede dirigirse a cualquier sector en una zona de 120° (\pm 60° con respecto al eje de puntería del sistema) hacia adelante.

3 Interferencia causada por las estaciones de enlace ascendente del SRNS a los radares a bordo de aeronaves

Considerando las características de radares de aeronaves descritas en el § 2 de este Anexo, se puede calcular la pérdida necesaria (dB) para proteger estos radares contra las radiobalizas de estaciones de enlace ascendente del SRNS. Estos valores de pérdida necesaria fueron calculados en la ecuación (1), § 3.1 del Anexo 1 y se indican en el Apéndice 1 de este Anexo.

3.1 Resultados

Teniendo en cuenta la altura máxima (que se supone es la altura sobre el nivel medio del mar) de cada uno de los radares de aeronaves, se calculó la distancia necesaria entre el límite de la zona de funcionamiento de los radares de aeronaves y las estaciones de enlace ascendente del SRNS que funcionan con el modelo de propagación con pérdidas en el espacio libre (que es el caso más desfavorable). Todos los cálculos se hicieron suponiendo que la altura (sobre el nivel medio del mar) de la estación terrena transmisora del SRNS es 1 000 m.

CUADRO 4

Distancias de separación en espacio libre (con un anillo de choque en la antena del SRNS) para un radar de aeronave y una estación de enlace ascendente del SRNS (separación de frecuencias cero)

Sistema A			Sistema B			Sistema C			Sistema D		
10,23 Mchip/s	1,023 Mchip/s	Suma de potencia de ambos códigos	10,23 Mchip/s	1,023 Mchip/s	Suma de potencia de ambos códigos	10,23 Mchip/s	1,023 Mchip/s	Suma de potencia de ambos códigos	10,23 Mchip/s	1,023 Mchip/s	Suma de potencia de ambos códigos
P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)	P_L (dB)
128,4	131,0	132,9	134,5	137,8	139,5	140,2	142,6	144,5	140,0	144,5	145,8
Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)	Distancia (km)
47,1	63,5	79,0	95,0	138,9	169,0	183,1	241,4	300,5	179,9	302,0	350,8

Si el cálculo se hace considerando una atenuación de 50 dB del anillo de choque, la separación mínima necesaria es 47 km (Sistema A, 10,23 Mchip/s). La máxima distancia de separación necesaria es 351 km (Sistema D, suma de potencia de ambos códigos).

Si la atenuación del anillo de choque no se incluye en los cálculos, la mínima separación necesaria depende del horizonte radioeléctrico del radar de aeronave.

3.2 Conclusiones

Para estos ejemplos, suponiendo que la ganancia de enlace ascendente es -1 dBi para ángulos de elevación inferiores a 10° y utilizando un anillo de choque que proporciona una atenuación adicional de 50 dB, con el método de cálculo descrito se obtiene una distancia de separación de protección de 349 km para el radar de aeronave (radar D) con los parámetros de caso más desfavorable. Con otros parámetros (parámetros de recepción de radar, parámetros de la estación terrena transmisora del SRNS, funcionamiento sin un anillo de choque, etc.) las distancias obtenidas serán diferentes. En este ejemplo, si no se emplea un anillo de choque, las distancias de separación no serían viables para radares de aeronaves.

Además, debe tenerse en cuenta que otras técnicas de reducción de la interferencia, como la planificación de frecuencias, reducirán el nivel de interferencia en los radares de aeronaves.

Apéndice 1 al Anexo 2

Sistema A Pérdida necesaria entre los radares de aeronave de tipo A y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de aeronave (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de aeronave (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	22	22		22	22	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-0,6	-0,1		-1,1	-0,1	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	23,9	26,4	28,4	23,4	26,4	28,2
$P_{threshold}$	-104,5	-104,5	-104,5	-104,5	-104,5	-104,5
Pérdida necesaria (dB)	128,4	131	132,9	128	130,9	132,7

Sistema B Pérdida necesaria entre los radares de aeronave de tipo B y las estaciones de enlace ascendente

	Valores típicos para un radar de aeronave (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de aeronave (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	27	27		27	27	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-1,4	-0,1		-2,3	-0,2	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	28,1	31,4	33,1	27,2	31,3	32,7
$P_{threshold}$	-106,4	-106,4	-106,4	-106,4	-106,4	-106,4
Pérdida necesaria (dB)	134,5	137,8	139,5	133,6	137,7	139,2

Sistema C

**Pérdida necesaria entre los radares de aeronave de tipo C
y las estaciones de enlace ascendente**

	Valores típicos para un radar de aeronave (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de aeronave (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	35	35		35	35	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-0,4	0		-0,5	0	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	37,1	39,5	41,4	37	39,5	41,4
$P_{threshold}$	-103,1	-103,1	-103,1	-103,1	-103,1	-103,1
Pérdida necesaria (dB)	140,2	142,6	144,5	140,1	142,5	144,5

Sistema D

**Pérdida necesaria entre los radares de aeronave de tipo D
y las estaciones de enlace ascendente**

	Valores típicos para un radar de aeronave Rx Bw = 6 MHz (caso más desfavorable) (separación de frecuencia = 0 MHz)			Valores típicos para un radar de aeronave Rx Bw = 6 MHz (caso más desfavorable) (separación de frecuencia = 3 MHz)		
	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos	Código 10,23 Mchip/s	Código 1,023 Mchip/s	Suma de potencias de ambos códigos
P_t	53,0	55,0		53,0	55,0	
A_t	-50,00	-50,00		-50,00	-50,00	
G_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
FL_t	0,0	0,0		0,0	0,0	
G_r	33	33		33	33	
FL_r	0,5	0,5		0,5	0,5	
R_b	-2,7	-0,1		-3,8	-3,1	
D_{pol}	0,0	0,0		0,0	0,0	
$P_{interfering}$	32,8	37,4	38,7	31,7	34,4	36,3
$P_{threshold}$	-107,2	-107,2	-107,2	-107,2	-107,2	-107,2
Pérdida necesaria (dB)	140,0	144,5	145,8	138,9	141,6	143,5