

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.1747**  
(03/2006)

**Protección del servicio exploración de la  
Tierra por satélite (SETS) (pasivo)  
en la banda 1 400-1 427 MHz contra  
emisiones no deseadas de los enlaces de  
conexión SMS que puedan operar en las  
bandas 1 390-1 392 MHz (Tierra-espacio)  
y 1 430-1 432 MHz (espacio-Tierra)**

**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
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	<b>Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos</b>
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	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, 2010

© UIT 2010

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.1747\*

**Protección del servicio exploración de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo) en la banda 1 400-1 427 MHz contra emisiones no deseadas de los enlaces de conexión SMS que puedan operar en las bandas 1 390-1 392 MHz (Tierra-espacio) y 1 430-1 432 MHz (espacio-Tierra)**

(2006)

**Cometido**

Esta Recomendación indica los niveles de potencia de las emisiones no deseadas para la protección de satélites SETS (pasivo) que funcionan en la banda 1 400-1 427 MHz contra enlaces de conexión SMS (espacio-Tierra) que puedan operar en la banda 1 430-1 432 MHz y enlaces de conexión SMS (Tierra-espacio) que puedan operar en la banda 1 390-1 392 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la CMR-03 realizó una atribución provisional a título secundario al SFS para enlaces de conexión SMS, por medio del número 5.339A en las bandas 1 390-1 392 (Tierra-espacio) y 1 430-1 432 MHz (espacio-Tierra);
- b) que estas atribuciones están limitadas a su utilización por los enlaces de conexión de redes de satélites no geoestacionarios del servicio móvil por satélite con enlaces de servicio que funcionan por debajo de 1 GHz, aplicándose a ellas la Resolución 745 (CMR-03);
- c) que la banda de 1 400-1 427 MHz está atribuida al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo), a la radioastronomía y a los servicios de investigación espacial (pasivo) a título primario en todas las Regiones y que el número 5.340 se aplica también a la banda de 1 400-1 427 MHz;
- d) que la Resolución 745 (CMR-03) invita a realizar estudios de compatibilidad, incluida la medición de las emisiones provenientes de equipos que se emplearían en los sistemas de explotación, para validar el que los sistemas SMS que utilizan esta banda cumplen con todos los requisitos para la protección de los servicios pasivos en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz;
- e) que la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz es muy adecuada para los SETS (pasivo), para la medición de la humedad del suelo, la salinidad de la superficie marina y la biomasa vegetal;
- f) que la Recomendación UIT-R RS.1029 contiene los criterios de protección para los SETS (pasivos);
- g) que la Recomendación UIT-R M.1184 provee las características técnicas de los sistemas móviles por satélite en las bandas de frecuencias inferiores a 3 GHz para su utilización en el desarrollo de criterios para la compartición por el servicio móvil por satélite (SMS) y otros servicios;

---

\* La presente Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 7 y 8 de Radiocomunicaciones, y toda futura revisión será también acometida conjuntamente.

h) que los estudios para los enlaces de conexión SMS (Tierra-espacio), según aparecen en los Anexos 1 y 2, llegaron a la conclusión de que el criterio más adecuado para proteger el SETS (pasivo) sería una especificación de densidad espectral de potencia no deseada aplicable a las estaciones de los enlaces de conexión del SMS en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz;

j) que resulta aconsejable tomar un margen de alrededor de 2 dB por encima de los resultados obtenidos para una probabilidad de interferencia del 0,05%, a fin de tomar en cuenta el hecho de no haberse podido estudiar más que un número limitado de combinaciones de enlace de conexión y sensor pasivo, y que las características reales de los SMS pueden diferir ligeramente de las que se tomaron como hipótesis para los estudios,

*observando*

a) que la reducción de las emisiones no deseadas a los niveles exigidos para la protección adecuada de los servicios pasivos en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz es factible utilizando técnicas de procesamiento de banda de base para combinaciones típicas de velocidades de datos y técnicas de modulación, sin un filtro específico posterior al amplificador;

b) que puede utilizarse un filtro posterior a un amplificador de potencia adicional en aquellos casos en los cuales el procesamiento de banda de base a que se hace referencia en el *observando* a) no alcanza a cumplir con los niveles exigidos de emisiones no deseadas;

c) que el nivel de emisiones no deseadas en la entrada a la antena del enlace de conexión del satélite SMS necesario para proteger el RAS está por debajo del nivel indicado en el *recomienda* 1 (véase la Recomendación UIT-R M.1748),

*recomienda*

1 que, a fin de proteger el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz, las emisiones no deseadas de los enlaces de conexión SMS no deberán superar los siguientes niveles de potencia en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz:

- –63 dBW a la entrada de la antena de la estación terrenal para los enlaces de conexión SMS (Tierra-espacio) que funcionan en la banda de frecuencias 1 390-1 392 MHz;
- –46 dBW a la entrada de la antena de la estación terrenal para los enlaces de conexión SMS (espacio-Tierra) que funcionan en la banda de frecuencias 1 430-1 432 MHz.

## Anexo 1

### **Protección de los sensores del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) en la banda de frecuencias de 1 400-1 427 MHz contra los enlaces de conexión del servicio móvil por satélite que puedan operar en el SFS a alrededor de 1 400 MHz**

#### **1 Características técnicas de los satélites del SETS con sensor pasivo**

Las frecuencias cercanas a 1 400 MHz son las más adecuadas para medir la humedad del suelo, la salinidad de la superficie del mar y la biomasa vegetal. La NASA está desarrollando actualmente un instrumento para medir la salinidad de la superficie del mar (la misión Aquarius), la cual reunirá mediciones en toda la banda de microondas pasiva bajo análisis (1 400 a 1 427 MHz). La NASA está también desarrollando un instrumento para medir la humedad del suelo (la misión HYDROS) en la banda de 1 400 a 1 427 MHz. En el Cuadro 1 se presentan las características técnicas de los satélites con sensor pasivo Aquarius e HYDROS.

Los objetivos científicos de Aquarius son observar y crear un modelo de los procesos que relacionan las variaciones de la salinidad con los cambios del clima en el ciclo total del agua, y comprender cómo afectan estas variaciones a la circulación general en los océanos. El objetivo científico de HYDROS es medir la humedad del suelo, que constituye una variable clave del ciclo hidrológico con un efecto significativo sobre la evaporación, la infiltración y el escurrimiento.

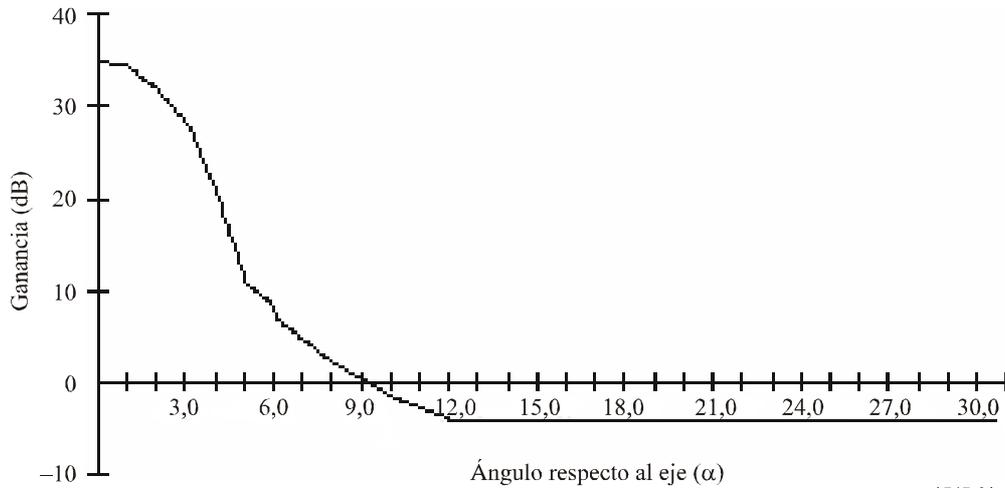
HYDROS utiliza una antena de exploración con un ángulo de desplazamiento de 40° respecto al nadir. En la Fig. 1 se muestra el diagrama de ganancia de la antena de HYDROS. Aquarius utiliza una configuración de radiómetro de barrido transversal de tres haces, donde cada haz de sensor tiene un diagrama de ganancia similar al de HYDROS. Cada haz representa un único píxel con un tiempo de integración medio de 10 s.

CUADRO 1

**Parámetros de los sensores pasivos de Aquarius e HYDROS**

<b>Parámetro</b>	<b>Aquarius</b>	<b>HYDROS</b>
Ganancia de cresta de antena (para cada haz)	31,1 dBi	35 dBi
Anchura de banda de 3 dB (para cada haz)	5,5°	2,6°
Polarización de la antena	Horizontal y vertical	Horizontal y vertical
Puntería de la antena (grados con relación al nadir)	<i>Haz 1</i> Transversal a la trayectoria: 37,2° A lo largo de la trayectoria: 4,8° <i>Haz 2</i> Transversal a la trayectoria: 28,9° A lo largo de la trayectoria: -9,5° <i>Haz 3</i> Transversal a la trayectoria: 20,7° A lo largo de la trayectoria: 4,8°	40° del nadir La antena explora alrededor del nadir a 6 rpm con un tiempo de muestreo de 72 ms/célula
Órbita	Altitud 600 km Inclinación 98°	Altitud 670 km Inclinación 98°
Anchura de banda del receptor (3 dB)	25 MHz	27 MHz
Nivel de interferencia admitido	-174 dB(W/27 MHz)	-174 dB(W/27 MHz)
Porcentaje del tiempo durante el cual se puede rebasar la interferencia	0,1%	0,1%

FIGURA 1  
Diagrama de antena de HYDROS



1747-01

## 2 Características técnicas del sistema SMS

Las bandas de frecuencias de 1 390-1 392 MHz y 1 430-1 432 MHz están siendo consideradas para los enlaces de conexión entre satélites no geoestacionarios del servicio móvil y estaciones terrenales fijas en todo el mundo. Esos enlaces de conexión transmitirían y recibirían datos desde y hacia una constelación de satélites SMS. Además, transportarían funciones de telemetría, seguimiento y mando.

Para este estudio se tomaron en cuenta, como se muestra en el Cuadro 2, cuatro constelaciones SMS que comprenden 128 satélites. Los parámetros de las constelaciones «L», «M», «Q» y «S» se obtuvieron del Anexo 2 de la Recomendación UIT-R M.1184. El número y la inclinación de los satélites de la constelación «Q» fueron ligeramente modificados a fin de hacer que esta constelación fuera coherente con los sistemas planeados reales. El número de satélites de que consta la constelación «Q» fue reducido de 32 a 26 para este estudio y la inclinación de 24 de los 26 satélites se incrementó de 51° a 66°.

CUADRO 2

### Características de la constelación SMS

	Recomendación UIT-R M.1184						
	Constelación L	Constelación M		Constelación S	Constelación Q		
Número de satélites	48	48		6	26		
Altura (km)	950	825	775	692	1 000		
Inclinación (grados)	50	45	0	70, 108	98	66	83
Planos orbitales	8	3	1	2	2	6	2
Satélites por plano	6	8		3	4	1	

En los Cuadros 3 y 4 se describen, respectivamente, las características de los enlaces de conexión Tierra-espacio y espacio-Tierra del SMS que se utilizaron en este estudio. Se supuso que las características de los enlaces de conexión eran idénticas para las cuatro constelaciones de SMS, y se obtuvieron de estudios de compartición anteriores del UIT-R.

CUADRO 3

**Características del enlace de conexión Tierra-espacio**

Parámetro	Valor
Número de estaciones terrenas	15 por constelación SMS, 60 en total
Ubicaciones de las estaciones terrenas	Distribuidas por el mundo para cada constelación
Ganancia de cresta de la antena de transmisión	30 dBi
Anchura del haz de 3 dB	5°
Ganancia mínima	-1,5 dBi
Diagrama de la antena	R R, Apéndice 8, Anexo III
Polarización de la antena	Circular dextrógira
Puntería de la antena	Sigue al satélite más próximo a elevaciones entre 5° y 90°
Potencia de transmisión	10 V por cada 100 kHz
Atenuación de línea	1 dB
Modulación	MDMG <sup>(1)</sup> , MDP-4 desplazada <sup>(2)</sup> , MDP-8 <sup>(2)</sup> , MAQ-16 <sup>(2)</sup>
Anchura de banda del canal	100, 300, 855 kHz

<sup>(1)</sup> Banda de base gaussiana filtrada con  $BT_b = 0,5$ .

<sup>(2)</sup> Banda de base raíz cuadrada del coseno filtrada con  $BT_s = 1,0$ .

CUADRO 4

**Características del enlace de conexión espacio-Tierra**

Parámetro	Valor
Ganancia de cresta de la antena de transmisión	Véase Fig. 2
Ganancia mínima	-6 dB
Diagrama de la antena	Circular dextrógira
Polarización de la antena	Fija, área de cobertura de aproximadamente 4 000 km de diámetro
Orientación de la antena	1 vatio por cada 100 kHz
Potencia de transmisión	1 dB
Atenuación de línea	MDMG <sup>(1)</sup> , MDP-4 desplazada <sup>(2)</sup> , MDP-8 <sup>(2)</sup> , MAQ-16 <sup>(2)</sup>
Modulación	100, 300, 855 kHz

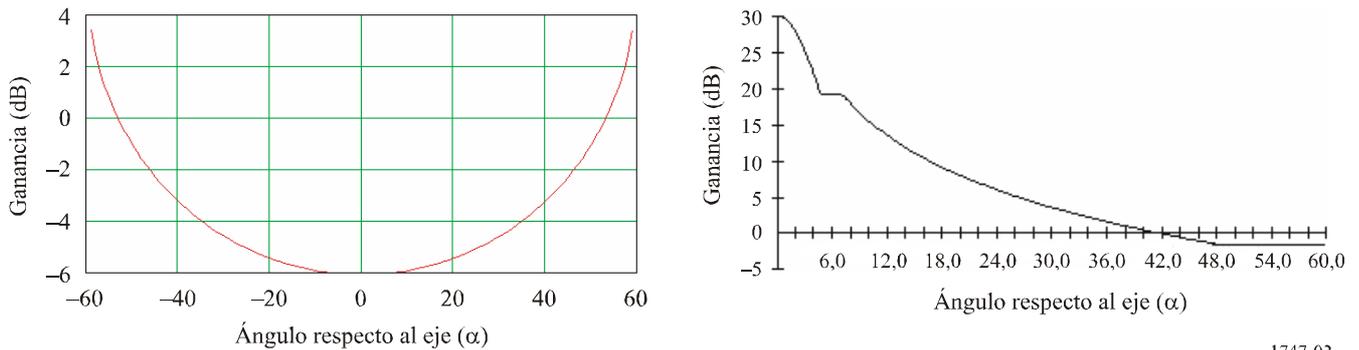
<sup>(1)</sup> Banda de base gaussiana filtrada con  $BT_b = 0,5$ .

<sup>(2)</sup> Banda de base raíz cuadrada del coseno filtrada con  $BT_s = 1,0$ .

El diagrama de la izquierda en la Fig. 2 muestra el diagrama de ganancia de la antena del enlace de conexión con polarización circular del satélite SMS no OSG, que se utiliza en este análisis tanto para transmisión como para recepción. En el diagrama de la derecha en la Fig. 2 se muestra el diagrama de ganancia de la antena de la estación terrenal SMS. Este diagrama está tomado del Apéndice 8, Anexo III del Reglamento de Radiocomunicaciones. Cada constelación SMS está apoyada por 15 estaciones terrenales distribuidas alrededor del mundo en ubicaciones representativas, con lo cual se obtiene un total de 60 estaciones terrenales.

FIGURA 2

**Diagrama de la antena de recepción y transmisión del satélite SMS no OSG (izquierda)  
y diagrama de la antena de recepción y transmisión de la estación terrenal (derecha)**



1747-02

### 3 Análisis de interferencia

#### 3.1 Generalidades

El modelo de interferencia dinámico incluye cuatro sistemas SMS con 128 vehículos espaciales y 60 estaciones terrenas. El modelo de simulación permitió calcular las funciones de distribución acumulativas (CDF) de la potencia de la interferencia cocanal producida por una combinación de los enlaces ascendentes y descendentes de un determinado sistema SMS, y una combinación de todos los enlaces ascendentes y descendentes de todos los sistemas SMS en la entrada del receptor del sensor pasivo.

A cada paso de la simulación el modelo calculó la potencia combinada en la salida de un único haz de la antena del sensor generada por todos los enlaces ascendentes y descendentes SMS, visibles y activos, y estos resultados fueron clasificados en intervalos de resolución de 1,0 dB para poder trazar la CDF. En las simulaciones se utilizaron intervalos de tiempo de un segundo para Aquarius e intervalos de tiempo de 50 ms para HYDROS, a fin de asegurar una superposición adecuada con el tiempo de muestreo por célula de los haces del sensor. Las simulaciones se ejecutaron durante un tiempo correspondiente a 14 días en tiempo real.

El nivel de potencia de interferencia  $I$  (dBW) a la salida de la antena del sensor pasivo se calculó por medio de la ecuación (1):

$$I = 10 \log P_t - L_l + G_t - (32,44 + 20 \log(f \cdot R)) + G_r - L_p - L_{atm} \quad (1)$$

siendo:

$P_t$ : potencia de transmisor interferente (V)

$L_l$ : atenuación de línea del transmisor

- $G_t$ : ganancia de la antena interferente en la dirección de la estación víctima (dBi)
- $f$ : frecuencia de recepción de la estación víctima (MHz)
- $R$ : distancia oblicua entre el interferente y la estación víctima (km)
- $G_r$ : ganancia de antena de la estación víctima en la dirección del interferente (dBi)
- $L_p$ : pérdida por discriminación de polarización
- $L_{atm}$ : pérdida por absorción atmosférica (dB).

Se tomó un valor de 0 dB como valor de la atenuación debida a la absorción atmosférica (aire seco y vapor de agua). Se tomó un valor de 1,4 dB para la pérdida por discriminación de polarización resultante de una antena de sensor pasivo con polarización lineal y una antena de SMS con polarización circular. En estos cálculos se supuso que todos los enlaces SMS trabajan a la misma frecuencia y se encuentran dentro de la anchura de banda del sensor pasivo. Todas las simulaciones se realizaron a una frecuencia de 1 400 MHz y se utilizaron niveles de potencia de transmisión vinculados a una anchura de banda de canal de 100 kHz. Cabe señalar que los gráficos de CDF para las anchuras de canal 300 kHz y 855 kHz indicarían niveles de interferencia más elevados en función del efecto de escala de los niveles de potencia de transmisión de los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra como función de la anchura de banda del canal.

A fin de determinar la potencia fuera de banda de los enlaces de conexión SMS en la banda de frecuencia 1 400-1 427 MHz, se utilizaron técnicas de modelado y de simulación para distintos esquemas de simulación y anchuras de banda de canal. El modelo de simulación se validó en primer lugar contrastándolo con la información de las mediciones de los equipos de MDMG, generándose luego datos de densidad espectral de potencia a través de una simulación para otras técnicas de modulación y otras anchuras de banda de canal. Se utilizó la información de densidad espectral de potencia para hallar la potencia integrada total relativa a 1 V en la banda de frecuencias de 1 400-1 427 MHz para un transmisor de enlace ascendente y de enlace descendente SMS. Estos resultados se indican en el Cuadro 5. Las frecuencias centrales de las señales de enlace ascendente y de enlace descendente simulados se eligieron de manera tal que el primer cero de la señal modulada se produjera en el borde de la banda del enlace de conexión SMS más próximo a la banda del SETS (pasivo).

CUADRO 5

**Potencia total en la banda de frecuencias de 1 400-1 427 MHz en el peor caso posible de un transmisor de enlace de conexión SMS, suponiendo una potencia de transmisión de 1 V (dBW)**

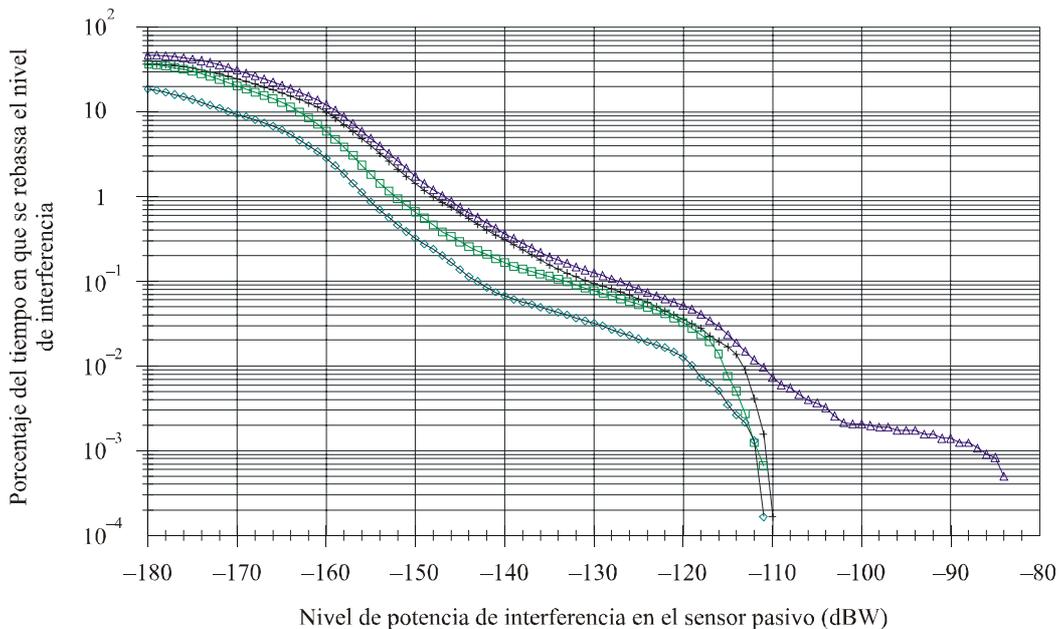
Anchura de banda del canal del enlace de conexión	Modulación del enlace de conexión							
	Enlace ascendente (1 390-1 392 MHz)				Enlace descendente (1 430-1 432 MHz)			
	MDMG	MDP-4 desplazada	MDP-8	MAQ-16	MDMG	MDP-4	MDP-8	MAQ-16
100 kHz	-75,0	-74,3	-74,4	-74,4	-71,5	-71,8	-71,8	-71,9
300 kHz	-74,1	-73,5	-73,6	-73,6	-72,2	-71,0	-71,2	-71,6
855 kHz	-75,0	-75,1	-73,1	-73,5	-71,3	-70,8	-59,1	-64,2

### 3.2 Resultados del análisis – modo de explotación

En las Figs. 3 a 5 se presentan los gráficos de las funciones de distribución acumulativas de Aquarius. Para HYDROS se obtuvieron gráficos de funciones de distribución acumulativa similares, y por lo tanto no se presentan aquí. En la Fig. 3 se traza la función de distribución acumulativa del nivel de potencia de interferencia cocanal del enlace espacio-Tierra de Aquarius para cada sistema SMS. En la Fig. 4 se muestra el gráfico de la función de distribución acumulativa cocanal de Aquarius para cada enlace espacio-Tierra del sistema SMS. En la Fig. 5 se muestra el gráfico de la función de distribución acumulada combinada cocanal para todos los enlaces Tierra-espacio del SMS, el gráfico de la función de distribución acumulada combinada cocanal para todos los enlaces espacio-Tierra del SMS, y el gráfico de la función de distribución acumulada combinada cocanal para todos los enlaces y sistemas SMS que pueden interferir con Aquarius.

FIGURA 3

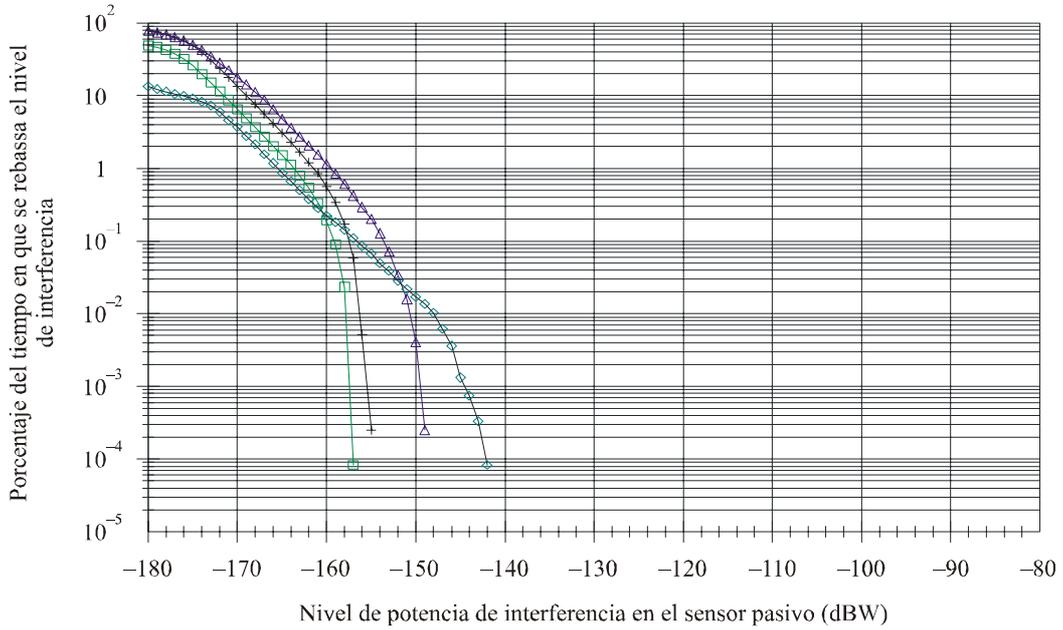
**Funciones de distribución acumulativas para Aquarius de la interferencia cocanal a los sensores pasivos proveniente de los enlaces Tierra-espacio del SMS (anchura de banda de canal 100 kHz)**



- + Enlace ascendente frontal Constelación L
- Enlace ascendente frontal Constelación Q
- △ Enlace ascendente frontal Constelación M
- ◇ Enlace ascendente frontal Constelación S

FIGURA 4

**Funciones de distribución acumulativas para Aquarius de la interferencia cocanal a los sensores pasivos proveniente de los enlaces espacio-Tierra del SMS (anchura de banda de canal 100 kHz)**

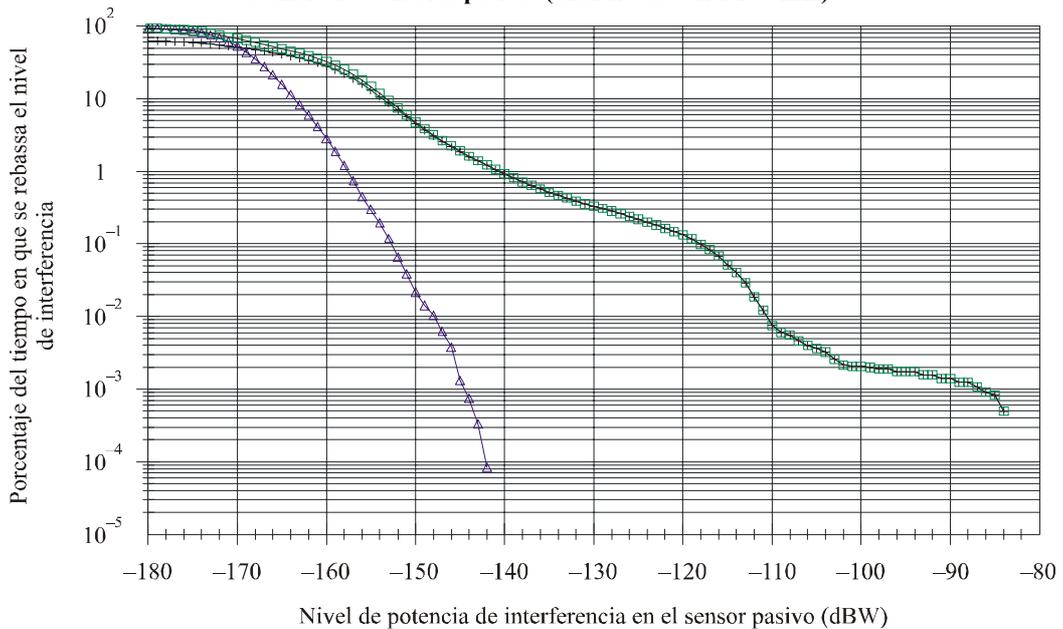


- + Enlace ascendente frontal Constelación L
- Enlace ascendente frontal Constelación Q
- △ Enlace ascendente frontal Constelación M
- ◇ Enlace ascendente frontal Constelación S

1747-04

FIGURA 5

**Funciones de distribución acumulativas combinadas de Aquarius para la interferencia cocanal a los sensores pasivos (anchura de canal 100 kHz)**



- + Combinado ascendente frontal
- Combinado total frontal
- △ Combinado descendente frontal

1747-05

Tanto el GT 8D como el GT 7C son de la opinión que los enlaces de conexión de SMS no deben contribuir más del 5% al 10% de la interferencia admisible total, tomando en cuenta que son varios los servicios que contribuyen a la interferencia admisible total que se especifica en la Recomendación UIT-R RS.1029, y el estado de la atribución potencial de los enlaces de conexión SMS.

El Cuadro 6 muestra un ejemplo de cálculo de margen de interferencia para enlaces de conexión Tierra-espacio de Aquarius y de SMS que trabajan con una anchura de banda de 100 kHz con modulación MDMG para valores del 0,005% y 0,01% del tiempo durante el cual se puede rebasar el nivel de interferencia admisible. En el Cuadro 7 se indica un resumen de los márgenes de interferencia combinados de Aquarius y de HYDROS para todas las modulaciones de canal de conexión y para todas las anchuras de banda de canal. Un valor negativo en la fila de margen de interferencia de los cuadros indica la necesidad de un filtrado fuera de banda adicional del enlace de conexión SMS o un diseño de transmisor mejor del que se supuso para este estudio.

CUADRO 6

**Interferencia del enlace de conexión Tierra-espacio Aquarius/SMS para modulación MDMG, anchura de banda 100 kHz**

		Constelación				Enlace ascendente combinado
		L	M	S	Q	
Potencia de cocanal de SMS (dBW)	Atribución 5% del tiempo	-112,0	-107,5	-116,0	-114,0	-107,5
	Atribución 10% del tiempo	-113,0	-111,0	-119,0	-115,5	-111,0
Potencia del enlace de conexión de SMS en la banda de SETS relativa a 1 V (dB)		-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0
Potencia del enlace de conexión de SMS en la banda de SETS (dBW)	Atribución 5% del tiempo	-187,0	-182,5	-191,0	-189,0	-182,5
	Atribución 10% del tiempo	-188,0	-186,0	-194,0	-190,5	-186,0
Nivel de interferencia admisible (dBW)		-174,0	-174,0	-174,0	-174,0	-174,0
Margen de interferencia (dB)	Atribución 5% del tiempo	13,0	8,5	17,0	15,0	8,5
	Atribución 10% del tiempo	14,0	12,0	20,0	16,5	12,0

CUADRO 7

## Resumen de los márgenes de interferencia de enlace de conexión SMS

Modulación	Anchura de banda del canal	Atribución de interferencia	Margen de interferencia combinado total (dB)	
			Aquarius	HYDROS
MDMG	100 kHz	Atribución 5% del tiempo	8,5	8,0
		Atribución 10% del tiempo	12,0	9,0
	300 kHz	Atribución 5% del tiempo	2,8	2,3
		Atribución 10% del tiempo	6,3	3,3
	855 kHz	Atribución 5% del tiempo	-0,8	-1,3
		Atribución 10% del tiempo	2,7	-0,3
MDP-4 desplazada	100 kHz	Atribución 5% del tiempo	7,8	7,3
		Atribución 10% del tiempo	11,3	8,3
	300 kHz	Atribución 5% del tiempo	2,2	1,7
		Atribución 10% del tiempo	5,7	2,7
	855 kHz	Atribución 5% del tiempo	-0,7	-1,2
		Atribución 10% del tiempo	2,8	-0,2
MDP-8	100 kHz	Atribución 5% del tiempo	7,9	7,4
		Atribución 10% del tiempo	11,4	8,4
	300 kHz	Atribución 5% del tiempo	2,3	1,8
		Atribución 10% del tiempo	5,8	2,8
	855 kHz	Atribución 5% del tiempo	-2,7	-3,2
		Atribución 10% del tiempo	0,8	-2,2
MAQ-16	100 kHz	Atribución 5% del tiempo	7,9	7,4
		Atribución 10% del tiempo	11,4	8,4
	300 kHz	Atribución 5% del tiempo	2,3	1,8
		Atribución 10% del tiempo	5,8	2,8
	855 kHz	Atribución 5% del tiempo	-2,3	-2,8
		Atribución 10% del tiempo	1,2	-1,8

### 3.3 Resultados del análisis – modo de calibración

Se realizaron simulaciones de una sola órbita para la nave espacial Aquarius a fin de determinar los niveles de interferencia durante la calibración de los instrumentos. Durante la calibración el vehículo espacial Aquarius apunta su antena hacia el espacio durante parte de una única órbita manteniendo la nave fija inercialmente. Se realizaron ocho simulaciones de órbita única, utilizando en cada una distintos parámetros de simulación a fin de modificar el lugar de la calibración. Los resultados, que se resumen en el Cuadro 8, representan el nivel de interferencia combinado del caso más desfavorable de todos los enlaces de conexión SMS vistos por el haz de la antena de Aquarius durante una única órbita de calibración. Este nivel de interferencia es aproximadamente 7 dB inferior al nivel de interferencia combinado que se obtiene durante las simulaciones de la explotación normal de Aquarius durante un lapso de 14 días.

## CUADRO 8

**Resumen de los niveles de interferencia durante la calibración del sensor  
para modulación MDP-4 y una anchura de banda del enlace de  
conexión del SMS de 300 kHz**

		<b>Aquarius</b>	<b>HYDROS</b>
<b>Técnica de calibración</b>		Dirigir la antena hacia el espacio durante parte de una órbita manteniendo para ello el vehículo espacial fijo inercialmente	Inclinar la antena hacia el espacio durante una órbita completa
Máxima potencia de interferencia en la banda del SETS (pasivo) (dBW)		-189,9	-176,9
Potencia de interferencia en la banda del SETS (pasivo) para el criterio de 0,1% (dBW)		-193,7	-189,2
Potencia de interferencia admisible (dBW)	Atribución de 5%	-187	-187
	Atribución de 10%	-184	-184
Margen de interferencia (dB)	Atribución de 5%	6,7	2,2
	Atribución de 10%	9,7	5,2

Se realizaron también simulaciones para hallar los niveles de interferencia del vehículo espacial HYDROS durante la calibración de su sensor pasivo. El esquema actual de calibración de línea base para el vehículo espacial HYDROS es observar la selva tropical del Amazonas y el océano abierto cada tres días, además de observar el espacio inclinando el vehículo espacial durante un órbita cada dos a cuatro meses. Se realizaron tres simulaciones de una sola órbita (cada una utilizando una longitud diferente de nodo ascendente) para determinar el nivel de interferencia de los enlaces de conexión del SMS mientras la antena del HYDROS apuntaba hacia el espacio para su calibración. En el Cuadro 8 se resumen los resultados de la simulación para la interferencia del caso más desfavorable durante la calibración espacial. Los niveles de interferencia para calibración cuando se apunta hacia la Tierra se toman como iguales o inferiores a los presentados en el § 3.2 de esta Recomendación.

## Anexo 2

### **Análisis de interferencia entre el SETS (pasivo) en la banda de frecuencias de 1 400-1 427 MHz y los enlaces de conexión del SMS en las bandas cercanas**

#### **1 Introducción**

Este Anexo consta de tres contribuciones presentadas al UIT-R sobre la compatibilidad entre los sensores de explotación del SETS (pasivo) en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz y los enlaces de conexión del SMS en las bandas próximas. Muchas de las hipótesis fueron idénticas a las utilizadas en el Anexo 1 y por lo tanto no se han repetido. Las hipótesis para el sistema SMS son idénticas. La diferencia principal deriva de aplicaciones de sensores alternativos que se describen a continuación.

## 2 Características del sensor pasivo y criterios de protección

La humedad del suelo y la salinidad de los océanos (SMOS, *soil moisture and ocean salinity*) puede medirse utilizando sensores pasivos que trabajan en la banda de frecuencias 1 400-1 427 MHz. La humedad del suelo es una variable clave del ciclo hidrológico e influye significativamente en la evaporación, la infiltración y el escurrimiento. La salinidad de la superficie de los océanos influye en la circulación termohalina profunda y el transporte de calor meridional. Las variaciones en la salinidad tienen influencia sobre las dinámicas de la superficie cercana de océanos tropicales. Las frecuencias alrededor de 1 400 MHz son muy adecuadas para medir la humedad del suelo y la salinidad de la superficie de los océanos.

SMOS es también el nombre de un satélite en órbita terrestre baja con una altitud orbital planeada de alrededor de 760 km. La inclinación preferible es de 98,4° siendo el nodo ascendente alrededor de las 0600 h. En el Cuadro 9 se dan los detalles. El SMOS se basa en un concepto innovador, ya que en cada instante de integración genera una imagen de una gran escena (habitualmente 1 000 × 1 000 km) con diversos ángulos de incidencia a nivel del suelo (entre 0 y 55°). Por lo tanto, todo punto de la superficie se mide desde diversos ángulos de observación, lo cual se usa para desacoplar las contribuciones del suelo y la vegetación. El SMOS utiliza técnicas de interferometría para mejorar la resolución espacial. Utilizará una antena de cortina fija con pequeños dipolos en lugar de grandes antenas de exploración.

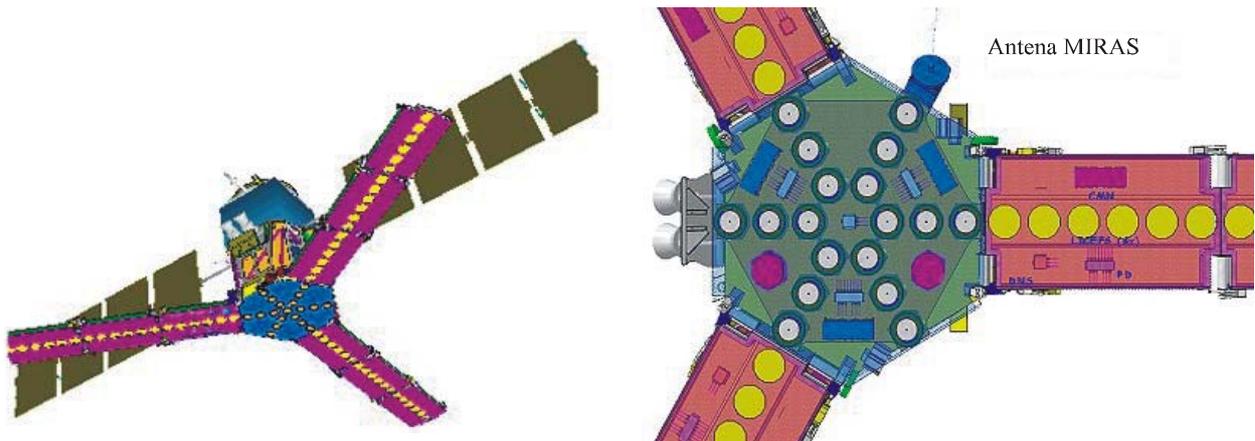
CUADRO 9

### Características generales del SMOS

Instrumento	Radiómetro de microondas para formar imágenes usando síntesis de apertura – MIRAS
Concepto del instrumento	Interferómetro bidimensional pasivo de microondas
Frecuencia	1 400-1 427 MHz
Anchura de banda	27 MHz
Polarización	H y V (modo polarimétrico facultativo)
Resolución espacial	50 km (35 km en el campo de visión central)
Ángulo de inclinación	32°
Resolución angular	0-55°
Resolución temporal	Nueva visita cada tres días

El sensor del SMOS se conoce como MIRAS radiómetro de microondas para formación de imágenes utilizando síntesis de apertura (*microwave imaging radiometer using aperture synthesis*). Es un interferómetro bidimensional de doble polarización. El diseño del instrumento utiliza tres brazos coplanares que constan de una antena elemental distribuida en forma uniforme (0,875 lambda, máxima redundancia) en una configuración de Y (véase la Fig. 6). Según este concepto se aplica una síntesis de Fourier interferométrica para obtener imágenes a partir de las correlaciones entre cada par de elementos de antena (pequeños receptores independientes) que trabajan en la región de las microondas. El interferómetro SMOS bidimensional permite medir simultáneamente la temperatura de la luminosidad a distintas incidencias y con dos polarizaciones. Además el instrumento registra una escena completa en forma instantánea. A medida que el satélite se desplaza, se observa un determinado punto dentro del campo de visión bidimensional desde distintos ángulos. Se obtiene una serie de mediciones independientes que permiten obtener los parámetros de la superficie con mejor precisión. El campo de temperatura de luminosidad con este diseño se reconstruye con una resolución que corresponde a la separación entre los receptores más lejanos.

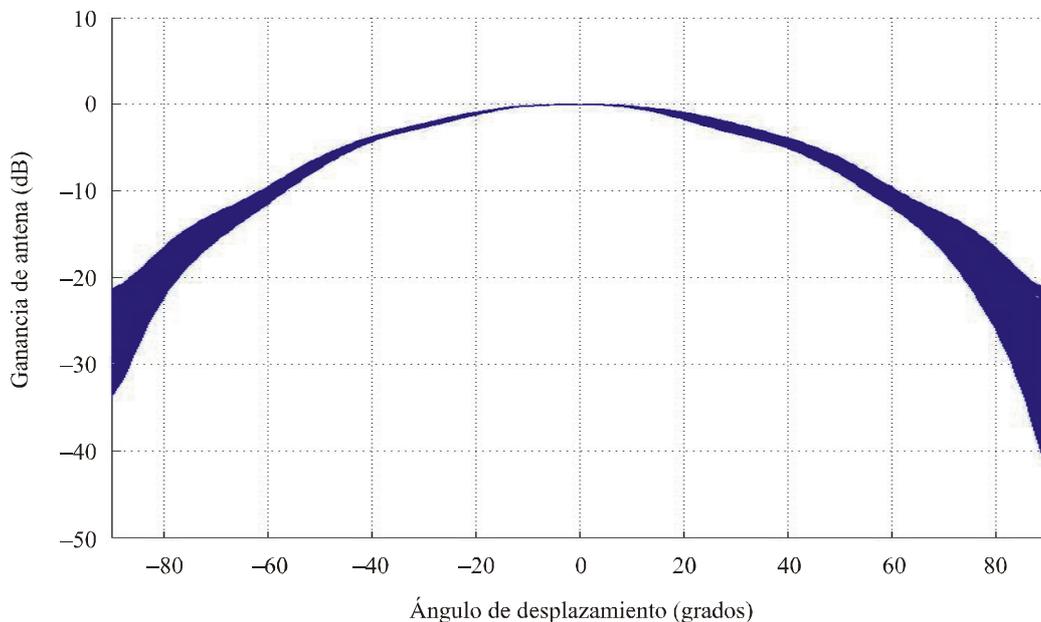
FIGURA 6  
Configuración de la antena SMOS



1747-06

Cada unidad de antena/receptor está construida alrededor de una antena plana sin sustrato dieléctrico y una anchura de banda a media potencia de alrededor de  $70^\circ$ , directividad aproximada 8 dB y capaz de proveer tanto polarización horizontal como vertical con excelentes características de polarización cruzada (cociente copolarización/polarización cruzada  $> 25$  dB). En la Fig. 7 se indica el diagrama de antena para un elemento de antena único.

FIGURA 7  
Diagrama de antena elemental de SMOS



1747-07

Hay una sola cadena de receptor disponible por elemento de antena, por lo cual cada unidad puede funcionar sea en modo de polarización horizontal o vertical, según lo ordenado por una unidad de mando. En cada uno de los receptores se filtra la señal de antena hasta la anchura de banda seleccionada, se amplifica y por último se muestra y se convierte a una señal digital de 1 bit.

La corriente de datos de salida de MIRAS, que combina tanto los componentes I y Q y tiene una velocidad de aproximadamente 130 Mbit/s, se transmite al correlacionador por medio de un enlace de fibra óptica. Cada elemento recibe también (por medio de un segundo enlace de fibra óptica) una señal de reloj de referencia generada en forma central para que la reducción de frecuencia y el muestreo se cumplan de coherencia de fase entre todos los elementos. En cada uno de los receptores se logra un sobremuestreo de factor aproximadamente 2 con respecto al criterio de Nyquist, lo cual mejora la sensibilidad radiométrica. En el correlacionador, luego de convertir las señales de ópticas a eléctricas, un grupo masivo de correlacionadores de 1 bit y 2 niveles construidos como circuitos integrados dedicados realiza las correlaciones cruzadas entre todas las señales. Se entrelazan las imágenes de polarización horizontal y vertical y se realiza la correlación cruzada para cada polarización durante un periodo de 0,3 s. Luego se promedian hasta cinco imágenes, de modo tal que las dos imágenes (una por polarización) están disponibles cada tres segundos.

La ganancia de un elemento único de esta antena puede expresarse como:

$$\begin{aligned} G &= 9 - 0,0027 \theta^2 && \text{dado } |\theta| < 120^\circ \\ G &= -30 && \text{dado } |\theta| > 120^\circ \end{aligned} \quad (2)$$

siendo  $\theta$  el ángulo de desplazamiento respecto a la línea de puntería (grados).

De conformidad con la Recomendación UIT-R RS.1029, la potencia de interferencia admisible es  $-174$  dBW en la banda de referencia de 27 MHz. Este nivel puede ser rebasado durante el 0,1% del tiempo tomando en cuenta todas las fuentes de interferencia que contribuyen a la interferencia total en esta banda. Los Grupos de Trabajo 7C y 8D de Radiocomunicaciones han acordado permitir que entre el 5 y el 10% de la interferencia total proceda del SMS.

Vista la dificultad de predecir todas las futuras configuraciones posibles de sensores, se tomaron en cuenta varias ganancias de antena, ya que los sensores actuales y futuros pueden tener antenas con una amplia gama de construcciones en la práctica. Sobre la base de lo sabido acerca de otros sistemas sensores, parecería que puede considerarse como representativa una gama que va de 27 a 40 dBi. Los contornos de ganancia equivalentes para dichas antenas se deducen de la Recomendación UIT-R S.672, pero toman en cuenta que, en base a la experiencia, el mínimo de ganancia de la antena de 0 dBi constituye generalmente una sobreestimación de la interferencia recibida. Por lo tanto, se supone un decrecimiento ulterior de la ganancia por debajo de 0 dBi, que da como resultado una interferencia ligeramente inferior por comparación con la aplicación estricta de la Recomendación UIT-R S.672 con la ganancia mínima.

### 3 Características de los sistemas del servicio móvil por satélite

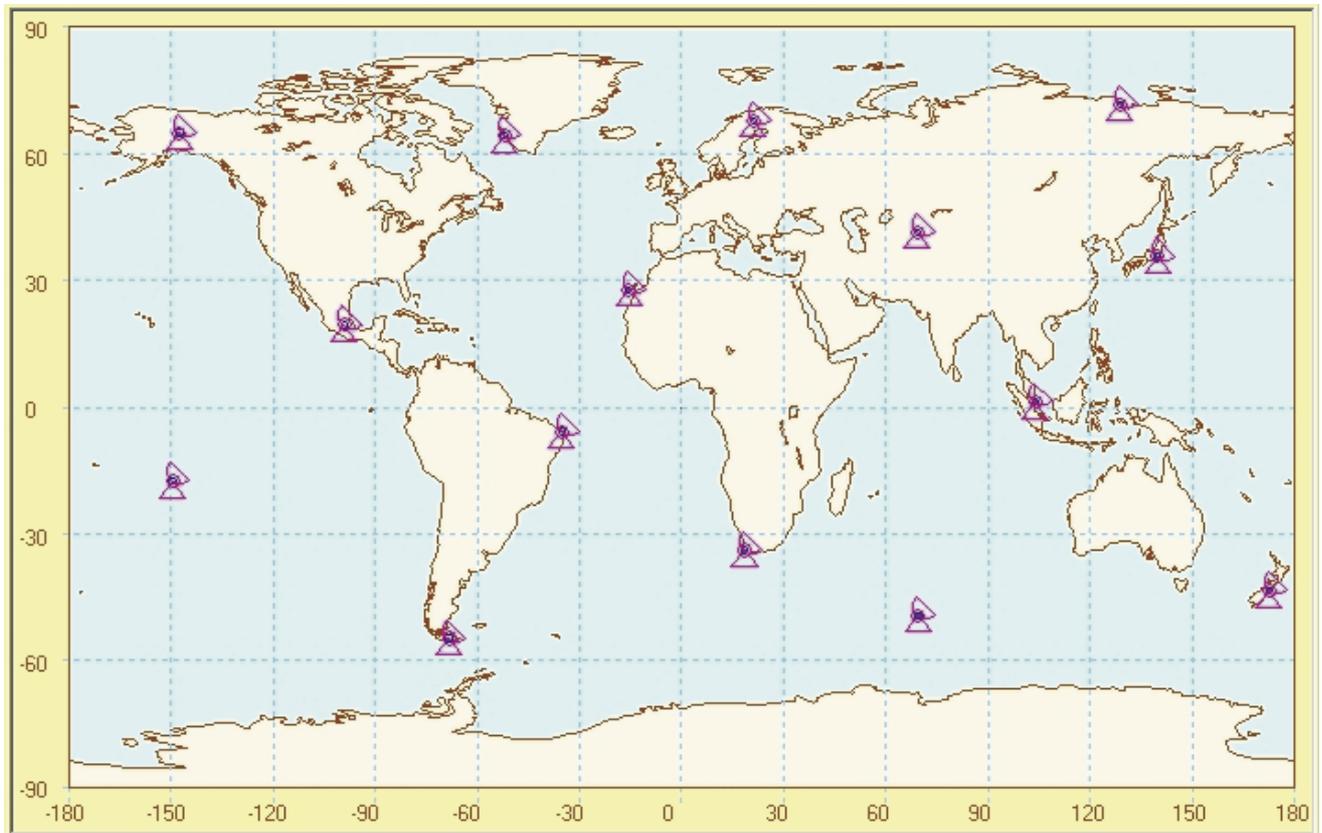
Se han utilizado las mismas características de sistemas SMS que en el Anexo 1. En líneas generales se basan en la Recomendación UIT-R M.1184. En el Cuadro 10 se presenta un panorama general.

Se ha supuesto, en cuanto a las estaciones terrenas, que hay alrededor de 15 lugares para cada sistema SMS. Los emplazamientos se han elegido de manera que, por un lado, se maximice el tiempo de cobertura pero, por otro lado, se tomen en cuenta las limitaciones que existen en cuanto a masa terrestre disponible en la práctica, incluidas las islas pertinentes. Los emplazamientos seleccionados se muestran en la Fig. 8.

CUADRO 10  
Parámetros de varias redes SMS no OSG

Sistema	L	M		P	Q		S	
Número de satélites	48	48		6	26 (32)		6	
Altitud (km)	950	825	775	893	1 000		692, 667	
Inclinación (grados)	50	45	0	70, 108	99	66 (51)	83	98,04
Planos orbitales	8	3	1	2	2	6	2	2
Satélite/plano	6	8		3	4 (5)	1	3	
Ascensión recta del nodo ascendente (grados)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 120, 240	0	0, 180	9,8	0, 60, 120, 180, 240, 300	0, 90	143,5, 53,5
Anchura de banda del canal (kHz)	15	5		855	25		150	
Polarización (onda de transmisión)	Lineal			LHCP	Lineal		RHCP	

FIGURA 8  
Ubicaciones de las estaciones terrenas de los sistemas SMS



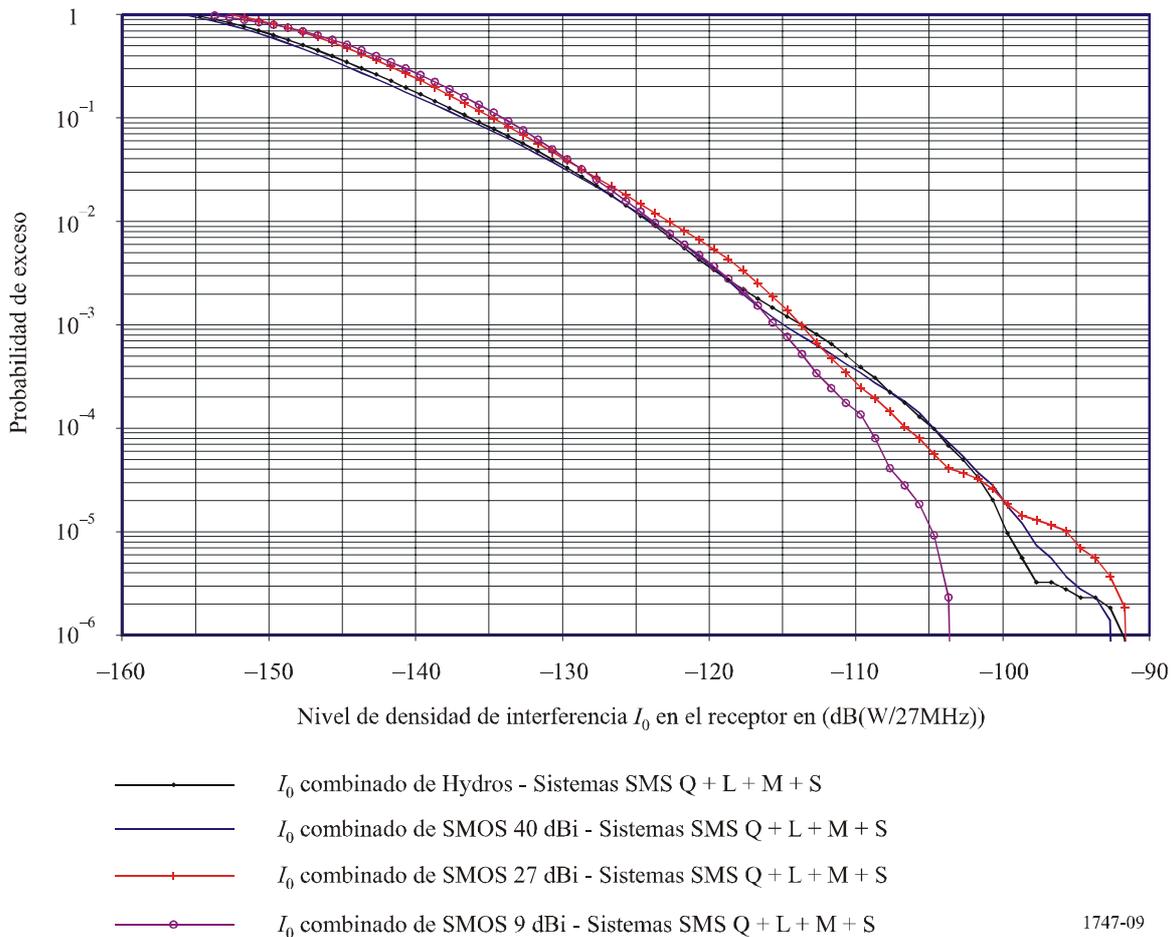
4 Análisis de interferencia

4.1 Enlaces Tierra-espacio

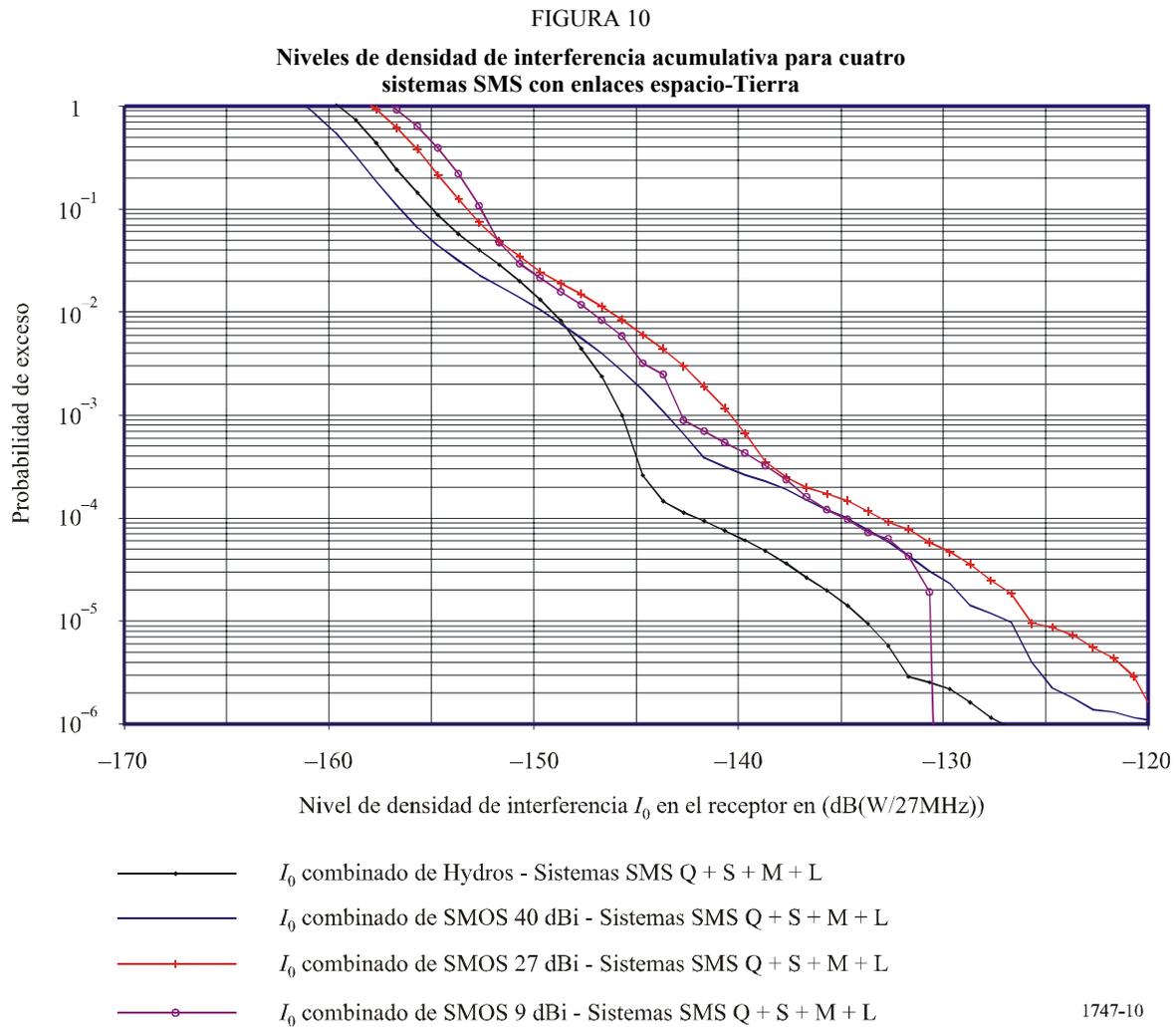
El cálculo de los niveles de interferencia se ha realizado de igual manera que en el Anexo 1.

En la Fig. 9 se muestran los niveles de densidad de interferencia totales en los enlaces Tierra-espacio correspondientes a los cuatro sistemas SMS, Q, L, M y S, que se toman en cuenta en esta evaluación. Para una probabilidad de interferencia admisible de 0,005% a 0,01%, la densidad de interferencia dentro de la banda, hipotética y recibida, es de -103 dBW para 0,005% y -105 dBW para 0,01%. El exceso de interferencia para la señal hipotética dentro de la banda, relativo a los -174 dB (W/MHz) requeridos, está por lo tanto entre 71 y 69 dB, respectivamente. Tomando en cuenta un nivel de potencia de 10 W a la entrada a la estación terrena del SMS, esto corresponde a un nivel máximo de emisiones no deseadas de -59 dBW durante un 0,01% del tiempo o -61 dBW durante un 0,005% del tiempo en la banda de 27 MHz completa. Por lo tanto, la atenuación requerida real para una señal de 100 kHz sería de 93 dB durante un 0,01%, basándose en 69 dB para cumplir con el criterio en toda la banda pasiva de 27 MHz y además 24,3 dB adicionales para llevarlos a la escala de la anchura de banda de señal de 100 kHz.

FIGURA 9  
Niveles de densidad de interferencia acumulativos para cuatro sistemas SMS con enlaces Tierra-espacio



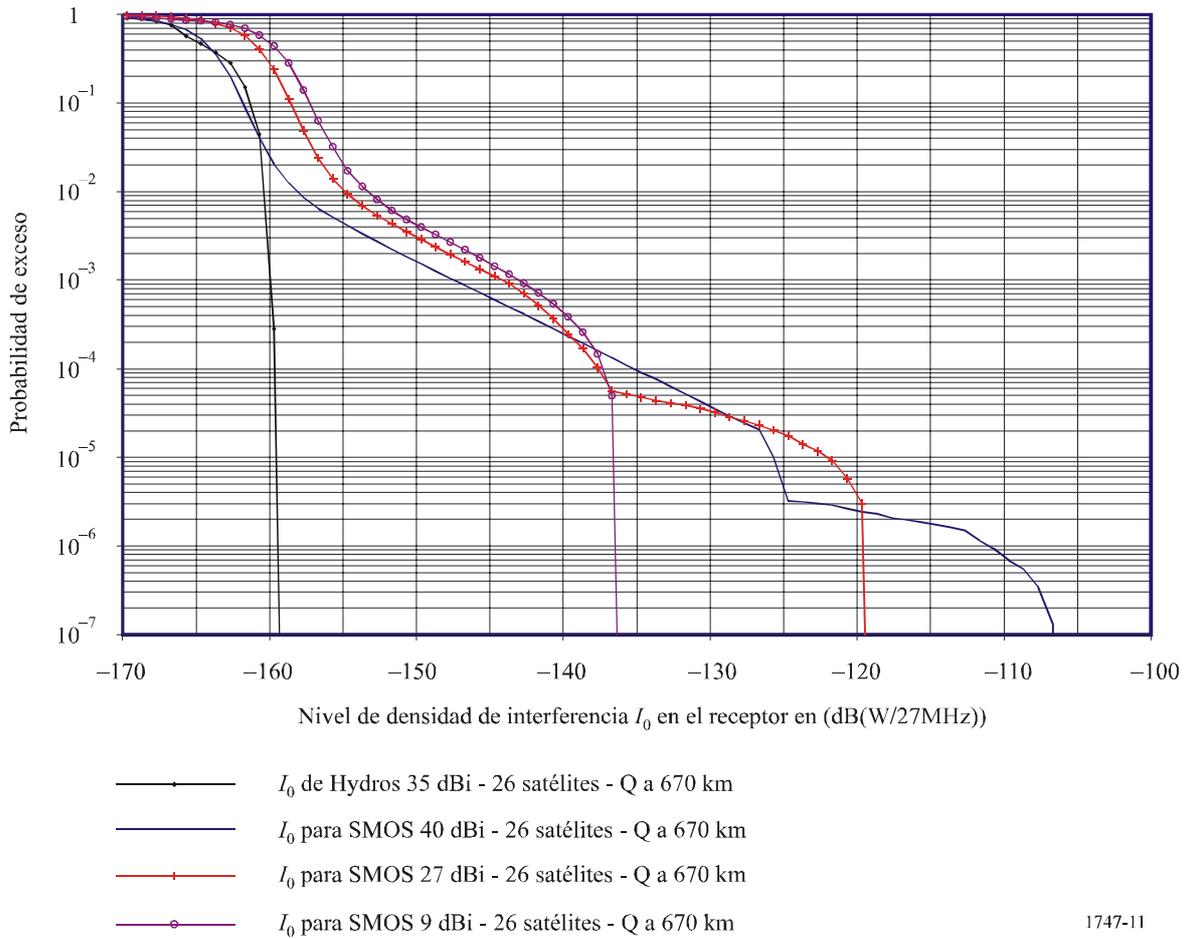
En la Fig. 10 se muestran los niveles de densidad de interferencia combinados de los enlaces espacio-Tierra para los cuatro sistemas SMS que se toman en cuenta en esta evaluación. La dependencia de la ganancia del sensor es relativamente pequeña hasta bajar a probabilidades de alrededor de  $10^{-4}$ , siendo más significativa la dependencia de la diferencia entre las alturas orbitales del sensor y los satélites SMS. Resulta obvio que la altura orbital es un elemento crítico para el enlace descendente. La mayor parte de la interferencia será causada cuando los satélites estén más bien cerca uno del otro. Es posible que se necesite una separación orbital mínima. A fin de cumplir con el requisito de protección de  $-174$  dB(W/MHz), el nivel de potencia emitida no deseada debe ser inferior a entre  $-44$  y  $-41$  dBW durante el 0,005% y el 0,01% del tiempo respectivamente.



En la Fig. 11 se muestra la densidad de interferencia como función de una altura orbital de satélite SMS distinta de la indicada por la Recomendación UIT-R M.1184. En el Reglamento de Radiocomunicaciones no hay restricciones a las alturas orbitales, y se consideró por lo tanto que correspondía investigar también aquellas situaciones en las cuales las alturas orbitales de los sensores pasivos y de los satélites SMS son casi idénticas. En particular, la Fig. 11 muestra que los niveles de interferencia aumentan significativamente cuando las alturas orbitales son muy próximas.

NFIGURA 11

Niveles de densidad de interferencia para sistemas SMS cercanos a los sensores SMOS

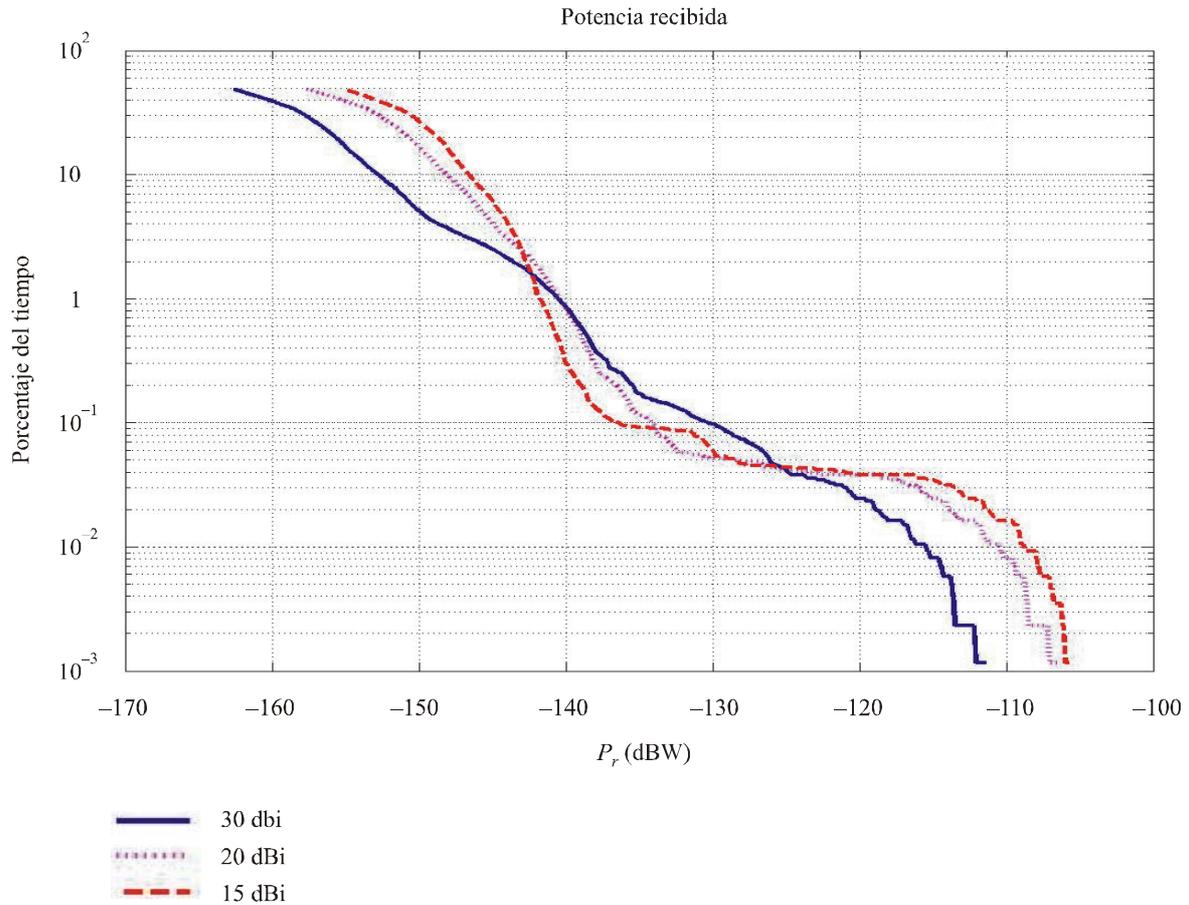


1747-11

Una de las contribuciones al estudio demostró que las características de antena de estación terrena del SMS pueden afectar significativamente los niveles de interferencia acumulativos. En la Fig. 12 se muestran los resultados correspondientes a estaciones terrenas con ganancias de antena de 15, 20 y 30 dBi, respectivamente. Puede observarse que en las regiones de probabilidad entre 0,01% y 0,005%, las antenas con menores ganancias darán niveles de interferencia más elevados por el poco control de los niveles de los lóbulos laterales.

FIGURA 12

Potencia recibida en el sensor de HYDROS para distintas ganancias de antena de estación terrena del SMS



1747-12

En este mismo estudio se llegó a la conclusión de que un límite a la p.i.r.e. no sería útil para la protección del SETS, ya que varía mucho y resultaría más restrictivo para ganancias de antena más bajas. De hecho, sería mejor definir un límite de potencia de emisión no deseada que varíe menos con la ganancia de antena. El Cuadro 11 es un extracto de este estudio.

CUADRO 11

Potencia de emisión requerida y p.i.r.e por ETEC del SMS

Parámetro	Antena 15 dBi	Antena 20 dBi	Antena 30 dBi
Potencia recibida en la banda pasiva durante el 0,01% del tiempo (dBW) con una potencia de emisión de 10 dBW	-109	-111	-115
Margen respecto al criterio de protección de -174 dBW en 27 MHz (dB)	-65	-63	-59
Límite de potencia requerida en la banda pasiva para respetar el criterio de protección (dBW)	-55	-53	-49
p.i.r.e. correspondiente (dBW incluidas las pérdidas de enlace de conexión)	-41	-34	-20

## 5 Resumen

En los enlaces ascendentes del SMS se deberá aplicar una restricción a la potencia fuera de banda inyectada en la antena de la estación terrena del SMS de  $-59$  dBW en la banda 1 420-1 427 MHz a fin de cumplir con el criterio del 0,01% y  $-61$  dBW para cumplir con el criterio del 0,005%.

La atenuación efectivamente requerida en el enlace ascendente para una señal de 100 kHz es 93 dB para 0,01% y 95 dB para 0,005%. Un nivel tan elevado de atenuación de las emisiones no deseadas es posible, técnicamente hablando, si se aplican técnicas de modulación con una conformación de impulsos adecuada y especificaciones estrictas del equipo, junto con un filtro posterior al amplificador.

En los enlaces descendentes del SMS el nivel de potencia de las emisiones no deseadas en la salida de la antena del satélite debe ser inferior a  $-41$  dBW a fin de cumplir con el criterio del 0,01%, y  $-44$  dBW para cumplir con el criterio de 0,005%.

La atenuación efectivamente requerida para el enlace descendente, para una señal de 100 kHz, es 65 dB para 0,01% y 68 dB para 0,005%.

La interferencia acumulada en el enlace descendente depende fuertemente de la diferencia de las alturas orbitales entre los satélites del SMS y los sensores. Es posible que se necesiten algunas restricciones en las alturas orbitales.

Tanto en los enlaces ascendentes como en los enlaces descendentes, la mayor parte de la interferencia es recibida a través de un acople con el lóbulo lateral de la antena, y los resultados son poco sensibles a que los sensores tengan distintas ganancias de antena.

Las especificaciones de las emisiones no deseadas deberían basarse en los niveles de densidad de potencia entrantes en las antenas, más que en los niveles de densidad de p.i.r.e.

Los escenarios de interferencia que pueden encontrarse en la práctica son varias veces más que los pocos casos tomados en cuenta en todos los estudios que se llevaron a cabo. A fin de abarcar casos con hipótesis de sistemas distintas de las consideradas en este estudio, tales como antenas SMS más pequeñas, varios canales por estación terrena, más de cuatro sistemas SMS, etc., deberá incluirse un margen de no menos de 2 dB además de los niveles obtenidos para la probabilidad de 0,005%. Por lo tanto,  $-63$  dB(W/27 MHz) en el enlace ascendente y  $-46$  dB(W/27 MHz) en el enlace descendente se consideran valores adecuados para definir niveles de emisión no deseada para los enlaces de conexión del SMS.

---