

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1478

**CRITERIOS DE PROTECCIÓN DE LOS PROCESADORES  
COSPAS-SARSAT DE BÚSQUEDA Y SALVAMENTO  
EN LA BANDA 406-406,1 MHz**

(2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que el sistema mundial de búsqueda y salvamento por satélite Cospas-Sarsat se explota en base a una atribución exclusiva en la banda 406-406,1 MHz;
- b) que existe una significativa escasez de espectro para los servicios móviles por satélite (SMS) no geoestacionarios (no OSG) por debajo de 1 GHz, existiendo una necesidad urgente de poner a disposición de los sistemas del SMS no OSG espectro adicional a nivel mundial;
- c) que la Resolución 219 (CMR-97) invitó al UIT-R a que estudiara la posible utilización de la banda 405-406 MHz para el SMS;
- d) que la Resolución 219 (CMR-97) resolvió invitar al UIT-R a que estudiara con carácter de urgencia y con la participación de la Comisión Mixta de Uniones para la Asignación de Frecuencias en Radioastronomía y las Ciencias del Espacio (IUCAF) y de otras entidades pertinentes, las consecuencias de las emisiones no deseadas sobre el sistema Cospas-Sarsat en la banda 406-406,1 MHz y el servicio de radioastronomía en la banda 406,1-410 MHz y a identificar las medidas de protección apropiadas para esos servicios;
- e) que en el Anexo 1 se proporciona un análisis sobre los requisitos relativos a la densidad espectral de flujo de potencia (dfp espectral) máxima de los procesadores de búsqueda y salvamento (SARP, *search and rescue processor*) Sarsat para proteger a éstos de las emisiones fuera de banda de banda ancha, así como los límites superiores del variación de frecuencia Doppler asociados a las emisiones del SMS recibidas por el sistema Sarsat;
- f) que en el Anexo 2 se proporciona un análisis de los requisitos de densidad de flujo de potencia (dfp) máxima permitida de los procesadores SARP Sarsat en relación con la emisiones no esenciales de banda estrecha;
- g) que en el Anexo 3 se proporcionan directrices para la utilización de los requisitos de protección en la banda 406-406,1 MHz para los instrumentos SARP Sarsat (equipos a bordo de satélites);
- h) que en el Anexo 4 se proporciona criterios de protección de los servicios de seguridad que gozan de una atribución primaria en la banda 406-406,1 MHz (sistema Cospas-Sarsat (C-S)) contra las emisiones procedentes de los enlaces descendentes de los sistemas SMS no OSG por debajo de 406 MHz,

*recomienda*

- 1 que el análisis para determinar el efecto sobre los instrumentos SARP Sarsat por sistemas que utilicen las bandas de frecuencia adyacentes se base en una dfp espectral máxima aceptable de  $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  en la antena Sarsat;
- 2 que el análisis para determinar el efecto sobre los instrumentos SARP Sarsat de las emisiones no esenciales de banda estrecha (por ejemplo, emisiones armónicas, emisiones parásitas, productos de intermodulación y productos debidos a la conversión de frecuencias) se basen en una dfp máxima de  $-185,8 \text{ dB(W/m}^2)$  en una antena Sarsat dentro de una anchura de banda de resolución de 19 Hz;
- 3 que el análisis para determinar el efecto sobre los instrumentos SARP Cospas por sistemas que utilicen las bandas de frecuencia adyacentes se base en una dfp espectral máxima aceptable de  $-200,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  en la antena Cospas;
- 4 que el análisis para determinar el efecto sobre los instrumentos SARP Cospas de las emisiones no esenciales de banda estrecha (por ejemplo, emisiones armónicas, emisiones parásitas, productos de intermodulación y productos debidos a la conversión de frecuencias) se basen en una dfp máxima de  $-176,6 \text{ dB(W/m}^2)$  en la antena Cospas dentro de una anchura de banda con una resolución de 40 Hz;
- 5 que el análisis para determinar el efecto sobre los instrumentos Cospas-Sarsat por los sistemas SMS no OSG propuestos utilizando la banda de frecuencias 405-406 MHz utilice un límite superior del desplazamiento Doppler de 20 kHz.

## Criterios de protección de los sistemas Cospas-Sarsat en la banda de 406-406,1 MHz respecto a las emisiones de banda ancha fuera de banda

### 1 Introducción

La CMR-97 señaló la posible utilización de la banda 405-406 MHz como la banda del enlace descendente por parte de futuros sistemas del SMS no OSG y aprobó la Resolución 219 (CMR-97) solicitando que se realizara los estudios necesarios para determinar el efecto que ello tendría sobre sistemas que utilicen las bandas de frecuencia adyacentes superiores. Conforme a la Resolución 219 (CMR-97), cualquier análisis relativo a la utilización de esta banda por el SMS debe limitarse a los sistemas que utilizan técnicas de modulación de banda estrecha hasta que los trabajos del UIT-R concluyan que otras técnicas de modulación pueden proporcionar una protección adecuada al sistema Cospas-Sarsat (406-406,1 MHz) y al servicio de radioastronomía (406,1-410 MHz).

Este Anexo proporciona información adicional relativa al sistema C-S y sus requisitos de protección de las emisiones fuera de banda de banda ancha.

### 2 Antecedentes

Existen otros textos de la UIT que proporcionan información sustancial sobre los elementos siguientes:

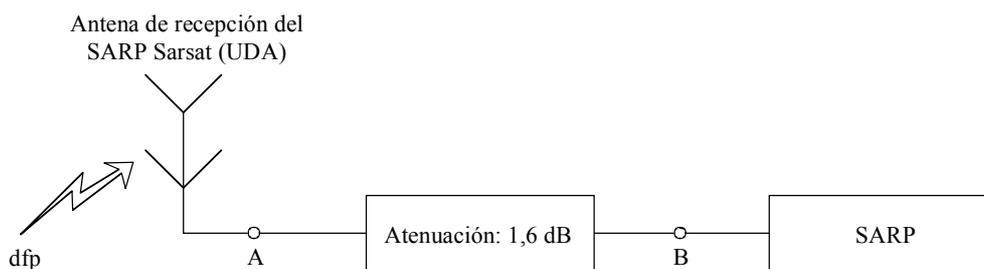
- parámetros de varias redes del SMS no OSG;
- nivel umbral de la dfp de la interferencia;
- protección a los servicios de búsqueda y salvamento (SAR) que utilicen técnicas de conformación o filtrado espectral.

### 3 Nivel umbral de la dfp espectral de la interferencia

La adición de ruido de banda ancha al sistema SARP Sarsat traerá como consecuencia el aumento de la proporción de bits erróneos (BER) del sistema y, por lo tanto, afectará negativamente a su calidad de funcionamiento. Tal como han identificado los trabajos del UIT-R, la BER máxima aceptable en el enlace ascendente para el sistema SARP Sarsat no puede exceder de  $5 \times 10^{-5}$ . En base a este requisito, este análisis identifica la dfp máxima aceptable asociada al ruido de banda ancha en el enlace ascendente del sistema SARP Sarsat. En este análisis no se trata el efecto de las emisiones de banda estrecha (por ejemplo, líneas espectrales), que también afectarán negativamente a la calidad de funcionamiento del SARP, ni tampoco se consideran los requisitos de protección de todos los instrumentos C-S (por ejemplo, repetidores de búsqueda y salvamento Sarsat, SARP Cospas).

En la Fig. 1 se muestra los principales elementos del soporte lógico a bordo de los satélites TIROS (y en los futuros satélites METOP).

FIGURA 1  
Soporte físico a bordo



La especificación del diagrama de ganancia de la antena UDA se expresa conforme al ángulo nadir del Cuadro 1:

CUADRO 1

**Diagrama de ganancia (UDA) de una antena de recepción SARP**

Ángulo nadir del satélite	62	59	54	47	39	31	22	13	5	0
Ganancia en RHCP	3,85	3,54	2,62	1,24	-0,17	-1,33	-2,24	-3,08	-3,80	-3,96
Ganancia en LHCP	-5,69	-6,23	-7,52	-9,39	-11,39	-13,12	-14,52	-15,77	-17,17	-18,00
Relación axial	6,02	5,85	5,59	5,26	4,90	4,57	4,31	4,11	3,78	3,49

Las cifras del Cuadro 1 son las especificadas para los diagramas de antena de los receptores Sarsat 406 MHz para el SARP para los satélites TIROS y METOP.

Las cifras típicas del equipo Sarsat son las siguientes: factor de ruido = 2,5 dB (parámetro de entrada para los SARP C-S), temperatura de ruido de fondo nominal = 1000 K (parámetro de entrada de C-S), la atenuación entre la antena y el receptor SARP = 1,6 dB. Por lo tanto, la temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor SARP (punto B de la Fig. 1) es igual a 1010 K y, por tanto, la densidad espectral de ruido es igual a  $N_0 = -198,6$  dB(W/Hz).

La especificación del caso peor establece que el SARP está diseñado para funcionar correctamente cuando la señal recibida tiene una potencia de  $C = -161$  dBW (nivel mínimo de la señal recibida) a la entrada del receptor, lo cual proporciona un valor efectivo de  $E_b/N_0 = 9,1$  dB en el detector binario del SARP si se tiene en cuenta la forma de onda de la baliza y las diversas pérdidas existentes. En este caso, la correspondiente BER es  $2,6 \times 10^{-5}$ .

Por lo tanto, para conseguir una BER de  $5 \times 10^{-5}$  (que es aproximadamente el doble de la BER) la degradación máxima aceptable es de 0,3 dB. Con una  $E_b/N_0 = 8,8$  dB, la BER es  $4,8 \times 10^{-5}$ .

A continuación se calcula el ruido aditivo correspondiente a una degradación de 0,3 dB para la  $C/N_0$ .

Sea  $I_0$  la densidad de potencia de ruido aditiva procedente de sistemas SMS no OSG interferentes.

El ruido inicial  $N_0$  pasa a ser  $N_0 + I_0$ .

La relación señal/ruido  $C/N_0$  pasa a ser  $C/(N_0 + I_0)$ .

La degradación es de 0,3 dB =  $10 \log ((C/N_0)/(C/(N_0 + I_0)))$ , por tanto,  $I_0/N_0 = -11,5$  dB e  $I_0 = -210,1$  dB(W/Hz) que corresponde a una temperatura de 70,8 K, y por tanto a un aumento de la temperatura de ruido del sistema del 7% a la entrada del receptor SARP.

Por lo tanto, el máximo nivel admisible de nivel de densidad de ruido es  $I_0 = -210,1$  dB(W/Hz) (calculado para el punto B de la Fig. 1).

Tal como se muestra en la Fig. 1, la densidad de ruido,  $I_0$ , tiene en cuenta la atenuación y la ganancia de la antena. Dado que se necesita la dfp espectral, es preciso transformar esta cifra en dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)). El área de la superficie equivalente de una antena con una ganancia  $G$  es  $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$ . Por tanto, la dfp espectral correspondiente es  $-210 + 1,6$  (pérdidas) -  $10 \log_{10} S = -198,6$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)), teniendo en cuenta el ángulo nadir más elevado del satélite.

El nivel máximo de interferencia de ruido de banda ancha en la banda 406-406,1 MHz no deberá exceder de  $-198,6$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) para proteger los instrumentos del SARP Sarsat.

#### 4 Límite superior del desplazamiento Doppler

Cualquiera que sea la anchura de banda propuesta, se deberá tener en cuenta el desplazamiento debido al efecto Doppler. El valor máximo del desplazamiento Doppler debe examinarse con cuidado. El caso peor tiene lugar cuando el satélite Sarsat y el satélite SMS no OSG están ubicados en la misma órbita y viajan en sentidos opuestos. En ese caso siempre es aplicable el análisis siguiente.

La señal SMS no OSG procede del punto A. El satélite Sarsat se representa por el punto B. El satélite Sarsat se desplaza a una velocidad  $V_B$ . Si el satélite SMS no OSG no se estuviera moviendo, la frecuencia recibida en B sería  $F_B = F_A \left(1 + \frac{V_B}{c}\right)$  en el caso peor. Por otro lado, la frecuencia recibida en B tiene el mismo valor si el satélite Sarsat no se está moviendo y el satélite SMS no OSG se está moviendo. Si la altitud del satélite es de 850 km, su velocidad es de 7 426 km/s.

Si ambos satélites se mueven en sentidos opuestos, el límite superior del desplazamiento Doppler es:

$$2F_A (V_B/c) = 20 \text{ kHz}$$

Se trata de la situación en el caso peor y no es necesariamente aplicable a todos los sistemas SMS propuestos.

## 5 Conclusiones y recomendaciones

Sobre la base de los cálculos anteriores, las conclusiones y recomendaciones sobre el impacto de las emisiones procedentes de las bandas de frecuencia adyacentes sobre el SARP Sarsat son las siguientes:

- el nivel máximo de interferencia debido a ruido de banda ancha en la banda de 406-406,1 MHz no excederá  $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  para proteger los instrumentos del SARP Sarsat;
- el límite superior del desplazamiento Doppler es de 20 kHz;
- se recomienda que se realicen estudios adicionales para determinar el impacto sobre los C-S de sistemas del SMS que hagan uso de la banda 405-406 MHz con una dfp espectral de  $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ , un desplazamiento Doppler adecuado y teniendo en cuenta el escenario del caso peor asociado a toda la constelación del SMS prevista.

## ANEXO 2

### Criterios de protección de los sistemas C-S en la banda 406-406,1 MHz contra emisiones no esenciales de banda estrecha

#### 1 Introducción

La CMR-97 identificó la posible utilización de la banda 405-406 MHz como banda del enlace descendente de futuros sistemas SMS no OSG y, en este sentido, aprobó la Resolución 219 (CMR-97) solicitando la realización de estudios para determinar el efecto que ello tendría sobre sistemas que utilizaran las bandas de frecuencia adyacentes superiores. De acuerdo con la Resolución 219 (CMR-97), cualquier estudio relativo a la utilización de esta banda por parte del SMS debe limitarse a sistemas que utilicen técnicas de modulación de banda estrecha hasta que nuevos estudios del UIT-R concluyan que existe otra técnica de modulación que proporcione una protección adecuada a los sistemas C-S (406-406,1 MHz) y al servicio de radioastronomía (406,1-410 MHz).

En este Anexo se proporciona información sobre el sistema C-S y sus requisitos de protección contra las emisiones no esenciales de banda estrecha.

#### 2 Antecedentes

El Anexo 1 incluye los criterios de protección para SARP Sarsat en la banda 406-406,1 MHz que deben utilizarse como base para el análisis de interferencia procedentes de emisiones fuera de banda. Este Anexo proporciona los requisitos de protección para los instrumentos SARP Sarsat en relación con la interferencia de emisiones no esenciales de banda estrecha (emisiones armónicas, emisiones parásitas, productos de intermodulación y productos de conversión de frecuencia).

La terminología utilizada en este Anexo se deriva de la Recomendación UIT-R SM.328 – Espectros y anchuras de banda de las emisiones, y de la Recomendación UIT-R SM.329 – Emisiones no esenciales.

Este Anexo trata de los criterios de protección exclusivamente para instrumentos SARP Sarsat y no representa necesariamente cuales deben ser los criterios de protección para todos los instrumentos Cospas-Sarsat.

### 3 Requisitos de protección frente a emisiones no esenciales de banda estrecha

La Fig. 1 muestra los principales elementos del soporte físico del sistema SARP Sarsat.

Para una comprensión más cabal de esta especificación, es necesario recordar brevemente cual es el funcionamiento de la instrumentación SARP.

La transmisión de la baliza de socorro Sarsat comienza con una portadora de 160 ms. no modulada que permite que un bucle de enganche de phase se sincronice más fácilmente a la portadora. La Fig. 2 representa el formato del mensaje C-S.

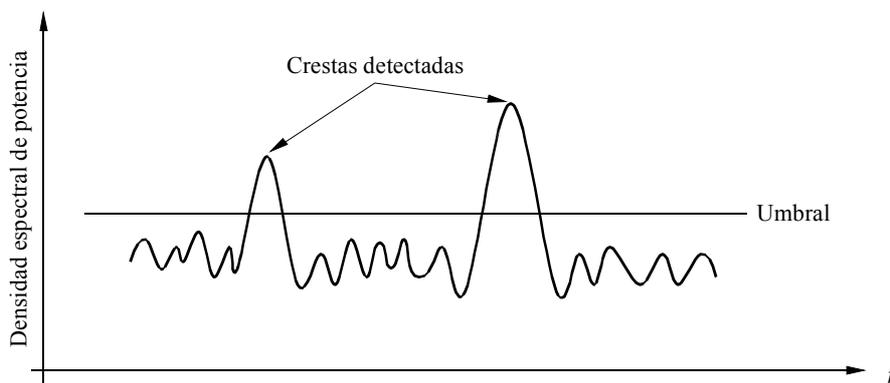
FIGURA 2  
Formato del mensaje C-S

Portadora de 160 ms	Bits de sincronización	Bits del mensaje de la baliza de socorro
---------------------	------------------------	--

1478-02

Un analizador de espectro de la instrumentación SARP supervisa continuamente toda la anchura de banda de cobertura en búsqueda de la parte de portadora pura que transmite una baliza de socorro. Cuando el analizador de espectro detecta una de dichas líneas, considera que se trata del inicio de un mensaje C-S. La teoría se basa en la detección de una onda portadora pura (onda sinusoidal) en un entorno de ruido blanco, aditivo y gaussiano. La densidad espectral de potencia de la señal recibida (portadora pura + ruido) se calcula utilizando las técnicas de la transformada rápida de Fourier, procesándose toda señal que se encuentre por encima del umbral del sistema como si fuese una baliza de socorro (véase la Fig. 3).

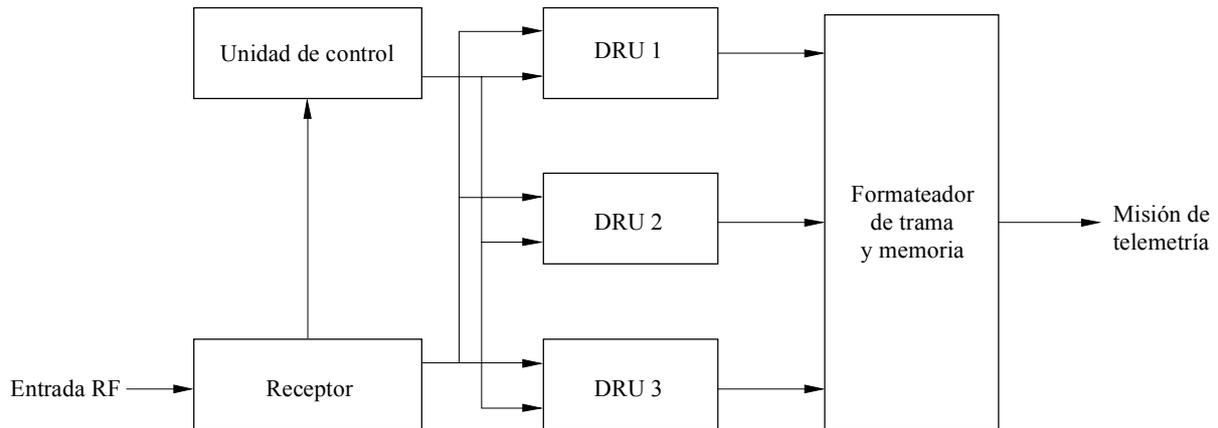
FIGURA 3  
Detección de una onda sinusoidal en presencia de ruido blanco gaussiano



1478-03

Las señales que se encuentren por encima del umbral se asignan a una unidad de recuperación de datos (DRU, *data recovery unit*) a bordo para su ulterior procesamiento y transmisión a la tierra sobre el canal de telemetría de la misión (véase la Fig. 4).

FIGURA 4  
Diagrama funcional del SARP



1478-04

Para satisfacer los requisitos de calidad de funcionamiento de los sistemas de SAR en lo que se refiere a las balizas de socorro de baja potencia, los instrumentos SARP Sarsat han sido diseñados para detectar y procesar señales extremadamente débiles. Su calidad de funcionamiento es tal que cualquier señal,  $C_{min}$ , cuyo nivel de densidad de ruido local exceda los 21 dB(Hz) ( $C_{min}/N_0 > 21$  dB(Hz)) se asigna a una DRU para su ulterior tratamiento. En consecuencia, las señales interferentes de banda estrecha que cumplan estos criterios hacen que se les asigne una DRU. En consecuencia, la calidad de funcionamiento de la SARP en términos de capacidad (es decir, el número de mensaje de socorro simultáneos que pueden ser procesados) se degradaría seriamente.

Las cifras típicas del equipo Sarsat son las siguientes: factor de ruido = 2,5 dB (cifra típica de los SARP C-S), temperatura de ruido de fondo nominal = 1 000 K (parámetro de entrada de C-S), la atenuación entre la antena y el receptor SARP = 1,6 dB. Por lo tanto, la temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor SARP (punto B de la Fig. 1) es igual a 1 010 K y, por tanto, la densidad espectral de ruido es igual a  $N_0 = -198,6$  dB(W/Hz).

Dado que  $C_{min}/N_0 = 21$  dB(Hz), entonces  $C_{min} = -177,6$  dBW. Por lo tanto, cualquier emisión no esencial superior a  $-177,6$  dBW a la entrada del SARP (punto B de la Fig. 1), daría lugar a una degradación de la capacidad del sistema.

Es por lo tanto necesario calcular dicho nivel máximo admisible de línea espectral a la entrada de la antena Sarsat.

La especificación del diagrama de ganancia de la antena de recepción del SARP Sarsat se expresa en función del ángulo del nadir tal como se recoge en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Diagrama de ganancia de la antena de recepción del SARP (UDA)

Ángulo nadir del satélite	62	59	54	47	39	31	22	13	5	0
Ganancia en RHCP	3,85	3,54	2,62	1,24	-0,17	-1,33	-2,24	-3,08	-3,80	-3,96
Ganancia en LHCP	-5,69	-6,23	-7,52	-9,39	-11,39	-13,12	-14,52	-15,77	-17,17	-18,00
Relación axial	6,02	5,85	5,59	5,26	4,90	4,57	4,31	4,11	3,78	3,49

Por lo tanto, la máxima potencia admisible en el punto A de la Fig. 1 es  $-177,6 + 1,6$  (pérdidas) =  $-176$  dBW, teniendo en cuenta el máximo ángulo nadir del satélite. Dado que se necesita la dfp, esta cifra debe convertirse en dB(W/m<sup>2</sup>). El área de la superficie equivalente de una antena cuya ganancia  $G$  sea  $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,105$  m<sup>2</sup> corresponde al ángulo nadir más elevado del satélite. Por lo tanto, la dfp correspondiente es  $-176 - 10 \log_{10} S = -185,8$  dB(W/m<sup>2</sup>).

El nivel de protección requerido es: no se debe producir ninguna emisión no esencial de banda estrecha superior a  $-185,8$  dB(W/m<sup>2</sup>) a la entrada de cualquier antena de satélite de SARP Sarsat.

## 4 Conclusión

De acuerdo con los cálculos anteriores, las conclusiones y recomendaciones relativas al efecto de las emisiones no esenciales de banda estrecha sobre el SARP Sarsat no deberán exceder de  $-185,8$  dB(W/m<sup>2</sup>) a la entrada de cualquier antena de satélite de SARP Sarsat.

### ANEXO 3

## Directrices para la utilización de los requisitos de protección en la banda 406-406,1 MHz (sistema C-S)

### 1 Definición de las características de las emisiones

#### 1.1 Emisión fuera de banda

Emisión en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, resultante del proceso de modulación, excluyendo las emisiones no esenciales.

#### 1.2 Emisión no esencial

Emisión en una o varias frecuencias situadas fuera de la anchura de banda necesaria, cuyo nivel puede reducirse sin afectar la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de la conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales, pero están excluidas las emisiones fuera de banda.

#### 1.3 Emisiones no deseadas

Conjunto de las emisiones no esenciales y de las emisiones fuera de banda.

#### 1.4 Anchura de banda necesaria

Para una clase de emisión dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones especificadas.

### 2 Procedimiento de cálculo del nivel de emisiones no deseadas en relación con el SARP Sarsat

#### 2.1 Emisiones fuera de banda

La unidad de la emisión no deseada fuera de banda es el dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) (dfp espectral). La dfp espectral total es, de hecho, una dfp espectral combinada que se define como la suma de todas las dfp espectrales procedentes de todas las fuentes potenciales de emisiones no deseadas fuera de banda.

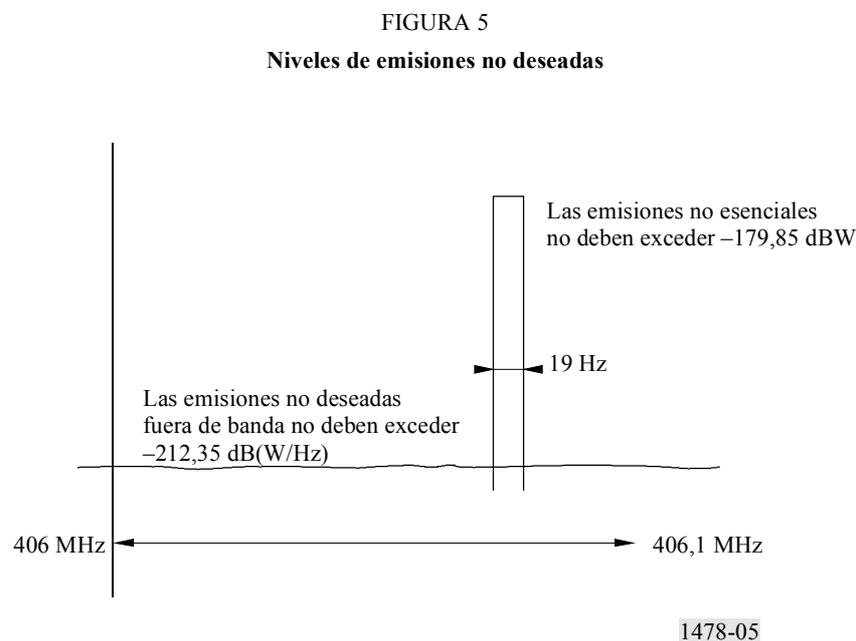
## 2.2 Emisiones no esenciales

Los procesadores del receptor C-S se diseñan para detectar las componentes espectrales discretas (portadora no modulada de la baliza). Los requisitos de protección se expresan en términos de  $dfp$ , siendo a unidad de la emisión no esencial el  $dB(W/m^2)$  ( $dfp$ ).

La anchura de banda de resolución de los instrumentos SARP Sarsat es 19 Hz. Ello significa que la separación de frecuencia mínima entre líneas espectrales (también llamada potencia de resolución del análisis espectral) que puede detectar el receptor SARP Sarsat es de 19 Hz. En consecuencia, el nivel de emisión no esencial debe calcularse en una anchura de banda de referencia de 19 Hz.

## 2.3 Límites de las emisiones no deseadas

En la Fig. 5 se recogen a modo de resumen los valores de los límites de las emisiones no deseadas.



Las emisiones no deseadas fuera de banda no deben superar los  $-198,6 \text{ dB}(W/(m^2 \cdot \text{Hz}))$  a la entrada de cualquier antena SARP Sarsat: esta cifra puede también convertirse en una densidad espectral de potencia ( $\text{dB}(W/\text{Hz})$ ):

$$-210,1 \text{ dB}(W/\text{Hz}) \text{ (a la entrada de los instrumentos SARP)} + 1,6 \text{ (pérdidas)} - 3,85 \text{ (ganancia de antena)} = -212,35 \text{ dB}(W/\text{Hz}) \text{ a la entrada de cualquier antena SARP Sarsat.}$$

La emisión no esencial de banda estrecha no debe superar los  $-185,8 \text{ dB}(W/m^2)$  a la entrada de cualquier antena de satélite Sarsat: esta cifra puede también convertirse en una densidad espectral de potencia ( $\text{dBW}$ ):

$$-177,6 \text{ dBW} \text{ (a la entrada de los instrumentos SARP)} + 1,6 \text{ (pérdidas)} - 3,85 \text{ (ganancia de antena)} = -179,85 \text{ dBW} \text{ a la entrada de cualquier antena SARP Sarsat.}$$

Todos los valores anteriores son válidos a la entrada de cualquier antena SARP Sarsat.

## ANEXO 4

**Protección de servicios de seguridad con atribución primaria en la banda de 406-406,1 MHz (sistema C-S) de las emisiones del enlace descendente de sistemas SMS no OSG por debajo de 406 MHz**

## 1 Introducción

La CMR-97 identificó la posible utilización de la banda 405-406 MHz como la banda del enlace descendente por parte de futuros sistemas del SMS no OSG. Como consecuencia de la Resolución 219 (CMR-97), dicha utilización debe limitarse a los sistemas que utilizan técnicas de modulación de banda estrecha hasta que los trabajos del UIT-R concluyan que otras técnicas de modulación pueden proporcionar una protección adecuada al sistema C-S (406-406,1 MHz) y a los servicios de radioastronomía (406,1-410 MHz).

El sistema internacional C-S ha estado operacional desde 1985 y ha contribuido a salvar miles de vidas en todo el mundo. Es por tanto esencial proteger adecuadamente su funcionamiento.

## 2 Antecedentes

Existen otros textos de la UIT que proporcionan información sustancial sobre los elementos siguientes:

- parámetros de varias redes del SMS no OSG;
- nivel del umbral de la dfp de la interferencia;
- protección de los SAR mediante técnicas de conformación o filtrado espectral.

En el Anexo 1 se proporcionan criterios de protección del SARP Sarsat en la banda de 406-406,1 MHz. Este Anexo proporciona información adicional relativa a los requisitos de protección del receptor SARP Cospas.

## 3 Criterios de protección del SARP Cospas en la banda de 406-406,1 MHz contra emisiones de banda ancha fuera de banda

La calidad de funcionamiento del SARP se expresa mediante su BER y está directamente relacionada con la relación señal/densidad ruido,  $C/N_0$  (dB(Hz)).

La temperatura de ruido del receptor Cospas es de 300 K. La temperatura de ruido de fondo normal varía entre 300 K en la Antártida y 1 000 K en zonas muy densamente pobladas. Dado que una baliza de socorro puede ponerse en funcionamiento en cualquier punto del mundo y que su decodificación no debe verse degradada por la interferencia procedente de sistemas del SMS, la situación más sensible a la interferencia tiene lugar con la temperatura de ruido de fondo más baja, es decir, 300 K.

La atenuación entre la antena y el receptor SARP Cospas es 1,6 dB. La temperatura de ruido del cable es 300 K. Por lo tanto, la temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor del SARP es de 600 K y, en consecuencia, la densidad espectral de ruido,  $N_0$  es  $-200,82$  dB(W/Hz).

La BER del SARP Cospas especificada es menor de  $1 \times 10^{-5}$ . De acuerdo con la calidad de funcionamiento teórica de la modulación MDP-2, ello se corresponde a una  $E_b/N_0 = 9,6$  dB en el detector de bits del SARP.

Tal como se ha identificado en los trabajos realizados por el UIT-R, la máxima BER aceptable en el enlace ascendente Cospas-Sarsat no debe ser superior a  $5 \times 10^{-5}$ , lo cual se consigue cuando  $E_b/N_0 = 9,1$  dB.

Por lo tanto, la máxima degradación aceptable de  $E_b/N_0$  es 0,5 dB, que se corresponde a un aumento de densidad de ruido de  $N_0 = 0,5$  dB.

Si  $I$  es la contribución de la densidad de potencia aditiva procedente de sistemas interferente del SMS no OSG, el valor de la densidad de ruido pasa a ser  $N_0 + I$  y la relación de energía por bit a densidad de ruido es  $E_b/(N_0 + I)$ .

La degradación aceptable es  $0,5$  dB =  $10 \log ((E_b/N_0)/(E_b/(N_0 + I)))$ . Por tanto  $I/N_0 = -9,14$  dB e  $I = -209,95$  dB(W/Hz) que corresponde a un aumento de temperatura de ruido de 73,21 K (un aumento del 12% en la temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor SARP Cospas).

El nivel máximo admisible de densidad de ruido,  $I$ , es  $-209,95$  dB(W/Hz) a la entrada del receptor del satélite.

La densidad de ruido,  $I$ , tiene en cuenta la atenuación y la ganancia de la antena. Para expresar la cifra en términos de dfp espectral es necesario transformar este valor en  $\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$ . El área de la superficie equivalente de una antena con una ganancia  $G$  es  $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$ . Dado que la máxima ganancia de una antena de cono en espiral instalada en un satélite Cospas es de 6 dB, entonces  $S = 0,174 \text{ m}^2$ . Por lo tanto, la correspondiente dfp espectral es  $-209,95 + 1,6$  (pérdidas)  $- 10 \log_{10} S = -200,8 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$ .

El nivel máximo de ruido interferente de banda ancha en la banda de 406-406,1 MHz no deberá ser superior a  $-200,8 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$  a fin de proporcionar una protección adecuada a los instrumentos del SARP Cospas.

#### 4 Criterio de protección para el SARP Cospas en la banda 406-406,1 MHz contra las emisiones no esenciales de banda estrecha

El SARP Cospas explora continuamente la banda 406-406,1 MHz (la duración de la exploración es de 60 ms) buscando señales de balizas que superen el umbral de detección del SARP. Después de detectar una señal, DRU del SARP se sincronizará al menos durante 520 ms a la frecuencia de la señal. Una única señal interferente procedente de un satélite del SMS en la banda 406-406,1 MHz podría capturar ambas DRU de abordaje haciendo que un satélite Cospas fuera incapaz de procesar señales de socorro procedentes de balizas.

A fin de satisfacer los requisitos de calidad de funcionamiento de la SAR en lo que se refiere a las balizas de socorro de baja potencia, la instrumentación del SARP Cospas se ha diseñado para detectar y procesar señales extremadamente débiles. Su calidad de funcionamiento es tal que cualquier emisión,  $C_{min}$ , a un nivel de potencia superior en 21 dB al nivel de densidad de potencia de ruido ( $C_{min}/N_0 > 21 \text{ dB}(\text{Hz})$ ) sería asignada a una DRU para su procesamiento adicional. En consecuencia, cualquier señal interferente en la banda de procesamiento de 406-406,1 MHz que cumpliera estos criterios haría que se asignara una DRU a la misma. De esta forma, se podría perder el mensaje procedente de una baliza incluso si la señal interferente de banda estrecha no afectase directamente a la señal de la baliza.

La densidad espectral de ruido,  $N_0$ , se ha calculado que sea  $-200,82 \text{ dB}(\text{W}/\text{Hz})$ .

Dado que  $C_{min}/N_0 = 21 \text{ dB}(\text{Hz})$ ,  $C_{min} = -179,82 \text{ dBW}$ . Por lo tanto, cualquier emisión no esencial de banda estrecha mayor que  $-179,82 \text{ dBW}$  a la entrada del SARP degradaría la capacidad de procesamiento de la baliza SARP Cospas.

La ganancia máxima de la antena del receptor SARP Cospas es de 6 dB. Por lo tanto, la máxima potencia admisible a la entrada de la antena es de  $-179,82 + 1,6$  (pérdidas)  $= -178,22 \text{ dBW}$ . Dado que se necesita la dfp, es necesario transformar esta cifra en  $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$ . El área de la superficie equivalente de una antena con una ganancia  $G = 6 \text{ dB}$  es  $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,174 \text{ m}^2$ . Por lo tanto, la correspondiente densidad de flujo es  $-178,2 - 10 \log_{10} S = -176,6 \text{ dB}(\text{W}/\text{m}^2)$ .

El nivel máximo de emisiones no esenciales no debe superar los  $-176,6 \text{ dB}(\text{W}/\text{m}^2)$  a la entrada de la antena de satélite del SARP Cospas para proporcionar una protección adecuada a la instrumentación del SARP Cospas.

Los procesadores del receptor C-S están diseñados para detectar componentes espectrales discretas (portadoras de baliza no moduladas). Por lo tanto, los requisitos de protección se expresan en términos de espectro de potencia en lugar de densidad espectral de potencia y la unidad de emisiones no esenciales es  $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$  (dfp). La anchura de banda de resolución del receptor de la instrumentación del SARP Cospas es de 40 Hz. Por lo tanto, la separación de frecuencia mínima entre líneas espectrales, también llamada potencia de resolución del análisis espectral) que puede detectar el receptor del SARP Cospas es de 40 Hz. En consecuencia, el nivel de emisión no esencial debe calcularse dentro de una anchura de banda de referencia de 40 Hz.

#### 5 Desensibilización y sobreexcitación de las etapas de entrada del receptor Cospas

Los satélites Cospas utilizan receptores de alta sensibilidad con amplificadores de bajo nivel de ruido (ABR) de banda ancha y pueden experimentar sobrecarga o, en el peor de los casos, una sobreexcitación de las etapas de entrada debido a emisiones de satélites del SMS no OSG.

En general, se observa que se produce bloqueo o desensibilización cuando la ausencia del filtrado de RF da lugar a la saturación del ABR de la etapa de entrada y, por tanto, una disminución de su ganancia y de la sensibilidad del receptor. Conjuntamente con lo anterior, se pueden producir también otros efectos tales como la mezcla de la señal interferente con el ruido de fase del ABR. En general, la experiencia muestra que cuando un transmisor de banda estrecha trabaja cercano a un receptor de banda ancha, el bloqueo o la desensibilización es a menudo la causa dominante de los problemas de interferencia.

Los ABR de los receptores Cospas a 406 MHz pueden soportar señales de  $-60$  dBW (sobreexcitación de las etapas de entrada) y de  $-100$  dBW (desensibilización). Dado que la potencia del satélite SMS no OSG puede llegar a ser de hasta 24 dBW, parece claro que la sobreexcitación de los receptores de los satélites Cospas puede ocurrir si no se evita mediante la separación de frecuencias.

El nivel de potencia de señales del SMS no OSG a la entrada del receptor Cospas depende de muchos factores, siendo el más importante la distancia entre los satélites Cospas y SMS no OSG, que en teoría puede llegar a ser 0 para algunas de las constelaciones de satélites SMS no OSG previstas. A la vista de las catastróficas consecuencias de a sobre excitación de las etapas de entrada de los receptores front-end burn out Cospas, las frecuencias portadoras del SMS no OSG deben seleccionarse para garantizar que su anchura de banda declarada se extiende más allá de los 406 MHz. El Cuadro 3 presenta los factores clave necesarios para calcular la banda de guarda mínima necesaria para proteger a los receptores Cospas de la sobreexcitación debida a emisiones de satélites SMS no OSG.

CUADRO 3

Desplazamiento Doppler definido	20 kHz $2 \times 406\ 000 \times (7,4/300\ 000)$
Estabilidad del transmisor de la estación espacial en esta banda	8,12 kHz $20 \times 10^{-6} \times 406\ 000$
Estabilidad del receptor del SARP por año, suponiendo una vida del satélite de 12 años (el Sarsat-3 se lanzó en 1986)	2,45 kHz
Anchura de banda declarada de los satélites SMS no OSG/2	1,2-500 kHz $(2,4-1\ 000)/2$
Banda de guarda	31,8-530,6 kHz

Los resultados del Cuadro 3 indican que se necesita una banda de guarda de al menos 32 kHz (405,968-406 MHz) en caso de que se atribuyera la banda de frecuencias 405-406 MHz para ser utilizada por satélites del SMS no OSG.