

Suplementos 1, 2, 3 y 4

## **Manual**

### ***Servicio móvil por satélite (SMS)***

#### **Suplemento 1**

Características de sistema de las estaciones terrenas móviles digitales

#### **Suplemento 2**

Metodología para la determinación de criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite

#### **Suplemento 3**

Problemas de interferencia y ruido en sistemas móviles marítimos por satélite que emplean frecuencias de las bandas de 1,5 y 1,6 GHz

#### **Suplemento 4**

Aspectos técnicos de la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios



## EL SECTOR DE RADIOCOMUNICACIONES DE LA UIT

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.

### **Para toda información sobre asuntos de radiocomunicaciones**

*Póngase en contacto con:*

UIT  
Oficina de Radiocomunicaciones  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza

Teléfono:	+41 22 730 5800
Telefax:	+41 22 730 5785
E-mail:	brmail@itu.int
Web:	www.itu.int/itu-r

### **Para solicitar las publicaciones de la UIT**

*No se admiten pedidos por teléfono. Sírvase enviarlos por telefax o correo electrónico (E-mail).*

UIT  
División de Ventas y Comercialización  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza

<b>Telefax:</b>	<b>+41 22 730 5194</b>
<b>E-mail:</b>	<b>sales@itu.int</b>

**La Librería electrónica de la UIT:** [www.itu.int/publications](http://www.itu.int/publications)

# SUPLEMENTOS 1, 2, 3 y 4

## MANUAL

### Servicio móvil por satélite (SMS)

- SUPLEMENTO 1 – Características de sistema de las estaciones terrenas móviles digitales**
- SUPLEMENTO 2 – Metodología para la determinación de criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite**
- SUPLEMENTO 3 – Problemas de interferencia y ruido en sistemas móviles marítimos por satélite que emplean frecuencias de las bandas de 1,5 y 1,6 GHz**
- SUPLEMENTO 4 – Aspectos técnicos de la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios**



## ÍNDICE

*Página*

SUPLEMENTO 1 – Características de sistema de las estaciones terrenas móviles digitales .....	3
<i>Origen:</i> Informe UIT-R M.921-2 (Secciones correspondientes del Manual SMS original: § 4.2 y 4.5)	
SUPLEMENTO 2 – Metodología para la determinación de criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite .....	21
<i>Origen:</i> Informe UIT-R M.1179 (Secciones correspondientes del Manual SMS original: § 2.3 y 4.5)	
SUPLEMENTO 3 – Problemas de interferencia y ruido en sistemas móviles marítimos por satélite que emplean frecuencias de las bandas de 1,5 y 1,6 GHz .....	31
<i>Origen:</i> Informe UIT-R M.764-2 (Sección correspondiente del Manual SMS original: § 4.5)	
SUPLEMENTO 4 – Aspectos técnicos de la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios.....	41
<i>Origen:</i> Informe UIT-R M.1185 (Sección correspondiente del Manual SMS original: § 2.3)	



# **SUPLEMENTO 1**

## **Características de sistema de las estaciones terrenas móviles digitales**

### **Resumen**

En este Suplemento se presentan las características de una estación terrena móvil digital con calidad vocal y una estación terrena móvil con un factor  $G/T$  reducido. Se presenta también detallado un ejemplo de control de errores en recepción (FEC) como técnica de compensación del desvanecimiento multitrayecto, y del sistema de llamada de grupo mejorada. En los § 4.2 y 4.5 del Manual SMS original se ofrecía una explicación general del diseño básico de sistemas del SMS. Con este Suplemento se quieren establecer los principios de diseño de los sistemas del SMS digitales actuales, además de ejemplos prácticos de diseño.

## Ejemplos básicos de diseño de estaciones terrenas móviles digitales

### 1 Introducción

En este Suplemento se examinan diversos aspectos técnicos relativos a las características de los sistemas y canales de comunicaciones para normas de estaciones terrenas digitales de barco y en particular el compromiso entre las necesidades del sistema para lograr una utilización eficaz de la capacidad del segmento espacial y las necesidades del usuario de un equipo de a bordo compacto y de tamaño reducido.

El sistema inicial de comunicaciones marítimas por satélite estaba concebido para funcionar con estaciones terrenas de barco con un factor  $G/T$  de  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ . Se daba por supuesto que las normas de estaciones terrenas digitales de barco que se establecieran posteriormente se caracterizarían por valores similares o menores de la relación  $G/T$  y tal vez por menores tamaños de antena, como se resume en el Cuadro 1 para el caso del sistema INMARSAT.

CUADRO 1

#### Resumen de las características de estaciones terrenas de barco del sistema INMARSAT que se consideran en este Suplemento

Norma de la estación terrena de barco	Ganancia de antena (dBi)	$G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	Capacidades del sistema
A	21 to 24	-4	La gama completa de correspondencia pública
B	21	-4	La gama completa de correspondencia pública y comunicaciones digitales de transmisión de datos
M	12 to 15	-13 a -10	La gama completa de correspondencia pública y comunicaciones digitales de transmisión de datos
C	2	-23	Mensaje de datos a baja velocidad

En el sentido costera-barco, para el mismo tipo de modulación, debería ser posible proporcionar la misma calidad de canal, en una estación terrena de barco de baja relación  $G/T$ , que la obtenida con una estación terrena de barco cuyo factor  $G/T$  sea de  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , aumentando la p.i.r.e. por canal en el satélite. Sin embargo, este enfoque reduciría la capacidad de canales del sistema, puesto que los sistemas de comunicaciones marítimas por satélite del Cuadro 1 estaban limitados en potencia.

En el sentido barco-costera podría obtenerse la misma calidad de canal aumentando la potencia de una estación terrena de barco de baja relación  $G/T$ , pero se podría crear un peligro de radiación y la posibilidad de causar una interferencia mayor a otros satélites marítimos.

En consecuencia, era necesario estudiar técnicas de modulación y de codificación más eficaces que puedan proporcionar canales para los valores más pequeños posibles de la relación portadora/densidad de ruido ( $C/N_0$ ).

Se previeron los conceptos, denominados Norma B y Norma C, para proporcionar capacidades de transmisión y recepción basadas en técnicas de codificación y modulación digital, en tanto que la Norma A utiliza la modulación analógica MF para telefonía. En ambos casos, se previó un sistema de señalización y control de acceso diferente del sistema existente en aquel momento y con otras características de canal que se esperaba proporcionasen una capacidad y eficacia de señalización mejoradas. En el sistema de la Norma B, la asignación por demanda de canales se basaba en enlaces MDT de ida que podían utilizarse para el control de acceso centralizado o distribuido dentro de cada red. Tales enlaces, acompañados por canales de señalización de petición (acceso aleatorio) y respuesta (AMDT) de estación terrena de barco, permiten también la aplicación de control de potencia adaptativo y de procedimientos de identificación de haces puntuales de satélite. En el sistema de la Norma C, la información de comunicaciones y de señalización se combinaba en enlaces de acceso aleatorio MDT de ida y de retorno, utilizando técnicas ARQ.

En la Sección 2 se presentan los fundamentos técnicos de diseño de un sistema digital. En el § 3 se presentan las consideraciones ligadas al balance del enlace, y en el § 4 las características de calidad de funcionamiento de las estaciones terrenas digitales de barco con distintas relaciones  $G/T$ . En la Sección 5 se describe el sistema de comunicaciones de Norma C de INMARSAT. En el § 6 se presenta el concepto de sistema de llamada de grupo mejorada.

## **2 Fundamento del diseño de sistemas digitales**

### **2.1 Concepto de sistema y aspectos de aplicación**

Se suponía que la introducción del sistema de Norma B iba a constituir un modo de proporcionar un sucesor a las estaciones terrenas de barco de la Norma A de INMARSAT para la gama completa de servicios de correspondencia pública, incluyendo los siguientes:

- telefonía basada en modulación digital, codificación y técnicas de procesamiento de la voz, incluidos datos en banda vocal;
- datos para servicios a baja velocidad (hasta 9,6 kbit/s aproximadamente), telegrafía, teletex y facsímil inclusive.

El sistema de señalización y el plan de numeración adoptado para las estaciones terrenas de barco permitirían la interconexión en las estaciones terrenas costeras entre los canales de satélite y las redes terrenales apropiadas para telefonía, télex y datos, incluida la capacidad para trabajar con la red digital de servicios integrados (RDSI).

Además de los servicios básicos anteriores, se suponía también que el sistema de la Norma B iba a continuar proporcionando otras capacidades disponibles con la Norma A, tales como la alerta de socorro por telefonía y télex, y datos a gran velocidad a 56 kbit/s.

Se esperaba que la telefonía continuase siendo el servicio principal en cuanto a utilización del segmento espacial. La introducción de técnicas digitales brindaría la oportunidad de efectuar economías en la potencia y anchura de banda del satélite o reducir las exigencias de estaciones terrenas de barco en cuanto a  $G/T$  y p.i.r.e. o una combinación de ambas.

A fin de mantener la calidad subjetiva del canal telefónico proporcionada normalmente por la Norma A (véase la Recomendación UIT-R M.547), se suponía que un objetivo de diseño para la Norma B sería proporcionar telefonía de buena calidad en condiciones nominales con bajos ángulos de elevación. Además se suponía que la p.i.r.e. del satélite necesaria para alcanzar estos objetivos

sería comparable a la requerida por la Norma A. Aplicando la activación por la voz y el control de potencia en los enlaces de ida, la p.i.r.e. media de satélite por canal se reduciría todavía más hasta un valor inferior al necesario para la Norma A.

La versión digital del equipo de la estación terrena de barco soportaría una amplia variedad de transmisión de datos.

## 2.2 Técnicas de codificación vocal

Las técnicas de modulación digital y codificación vocal pueden proporcionar la calidad vocal requerida con mayor eficacia que la modulación analógica. La aplicación de métodos eficaces de codificación vocal digital permitiría reducir la necesidad de anchura de banda, que, acompañada de corrección de errores en recepción (FEC), reduciría también el valor de la relación portadora/densidad de ruido ( $C/N_0$ ) que condiciona la exigencia de potencia del satélite en el sentido costera-barco, que es el enlace más limitado en potencia del sistema. Estas técnicas permitirían también hacer mínimas las exigencias de p.i.r.e. de la estación terrena de barco en el sentido barco-costera. Se suponía que la continua evolución de la tecnología de circuitos LSI permitiría aplicar las técnicas digitales necesarias de un modo rentable.

Al comparar entre sí las técnicas de codificación vocal disponibles, se llega a la conclusión de que podrían conseguirse los objetivos de calidad vocal requeridos con una velocidad de codificación digital de 16 kbit/s y una tasa de errores en los bits (BER) del orden del  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$ , utilizando la codificación adaptativa-predictiva (CPA) o la codificación por subbandas (CSB) como método de codificación vocal. Esto ofrecería asimismo la oportunidad de conseguir una reducción en la separación de canales de 20 a 25 kHz, dependiendo de la modulación y de la técnica de codificación FEC adoptada.

## 2.3 Técnicas de modulación

Se tendrán en cuenta las diversas técnicas de modulación digital que pueden aplicarse a la Norma B y compararán las características de calidad de BER resultantes, la eficacia de utilización de la anchura de banda y la complejidad de los equipos.

Para las transmisiones en el sentido costera-barco, la modulación MDP-4 podría ser una técnica de modulación eficaz, si bien a causa de sus características de amplitud variable, sería necesario utilizar un amplificador lineal (Clase A) en la estación terrena de barco para las transmisiones barco-costera. Sin embargo, la modulación MDP-4 descentrada, que presenta menores variaciones de amplitud, sería compatible con los amplificadores existentes (Clase C) y podría utilizarse con degradaciones de escasa importancia en la eficacia espectral y calidad de BER.

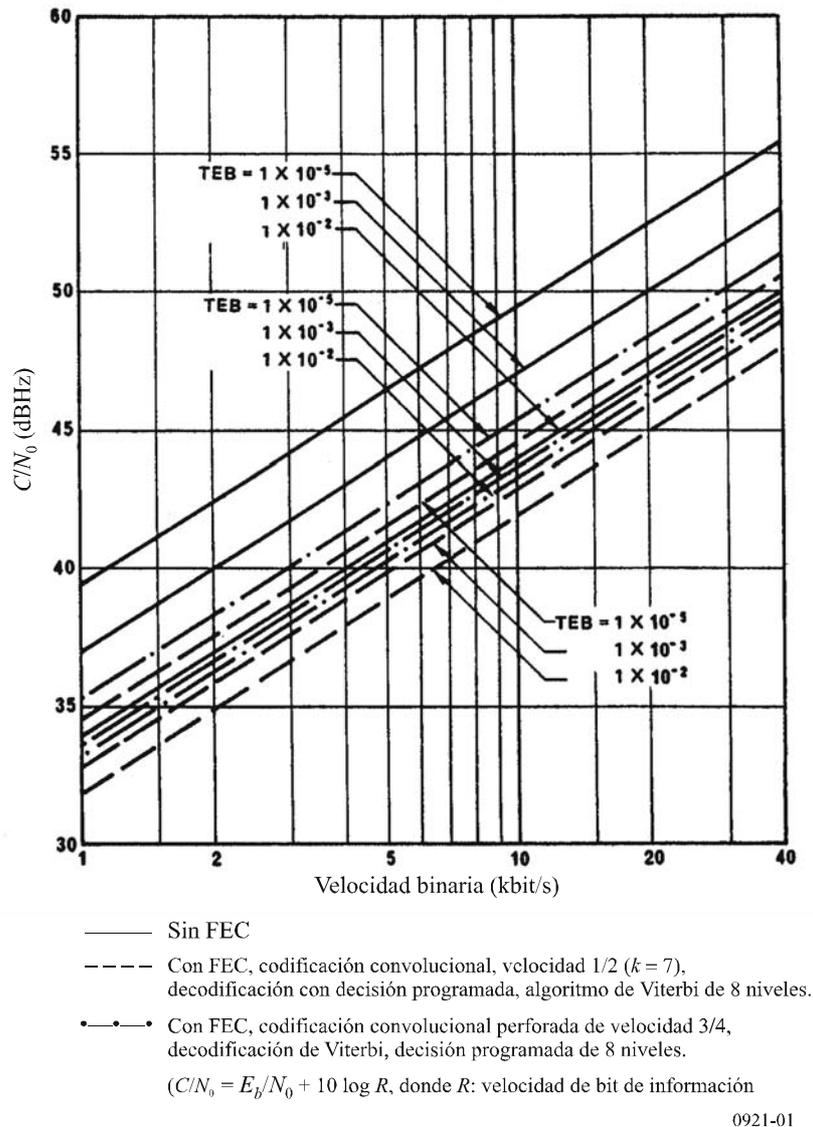
## 2.4 Técnicas FEC

La aplicación de la técnica FEC a los canales digitales para transmisiones vocales hacia y desde estaciones terrenas de barco permitiría reducir sustancialmente el valor de la relación  $C/N_0$  requerido para cumplir el criterio de BER derivado del objetivo de calidad de la señal vocal, con independencia de la técnica de codificación vocal adoptada.

La Fig. 1 muestra el requisito de  $C/N_0$ , para canales MDP-2 y MDP-4 y diversas velocidades binarias, con FEC y sin él. Para aplicaciones prácticas deben aumentarse en 1 ó 2 dB los márgenes de realización, si bien desarrollos posteriores sugieren que podrían ser apropiados márgenes de realización inferiores a 1 dB. De la Fig. 1 se desprende que las técnicas FEC son muy eficaces para reducir el valor de la relación  $C/N_0$  para una velocidad binaria dada.

FIGURA 1

$C/N_0$  en función de la velocidad binaria



La codificación convolucional de velocidad 1/2 (longitud límite,  $k = 7$ ) con decodificación de Viterbi por decisión programada se ha utilizado ampliamente en los sistemas por satélite, por lo que constituye una técnica muy probada. Su realización era posible con tecnología VLSI. Las ganancias de codificación que podían conseguirse en la práctica se aproximaban a las predicciones teóricas: unos 3,8 dB para una BER de salida de  $10^{-3}$  y 5,2 dB para una BER de  $10^{-5}$ .

La codificación de velocidad 3/4 con decodificación de Viterbi, no se aplicaba en aquel momento con tanta amplitud como la FEC de velocidad 1/2 y requería un procesamiento más complejo. Las ganancias de codificación prácticas eran del orden de 2,8 dB para una BER de salida de  $10^{-3}$  y 4,3 dB para una BER de  $10^{-5}$  (es decir alrededor de 1 dB menos que para la velocidad 1/2). Pero el factor de expansión de anchura de banda quedaba considerablemente reducido (esto es, 1,8 dB menos que para la velocidad 1/2).

Podía reducirse sustancialmente la complejidad de la codificación de velocidad 3/4, aplicando técnicas de codificación punteada al código básico de velocidad 1/2. Esto implicaba la supresión de 2 bits de cada 6 bits codificados en el flujo de datos codificados con velocidad 1/2, la

transmisión de los 4 bits restantes a velocidad 3/4 y la inserción de 2 bits adicionales en el receptor con anterioridad a la decodificación de Viterbi de velocidad 1/2. Otra aplicación posible era la utilización de códecs con velocidades de codificación flexibles, conmutables entre la velocidad 1/2 y la velocidad 3/4. La calidad de la BER con la codificación punteada era sólo marginalmente inferior a la correspondiente a técnicas no punteadas, que requieren 0,2 dB adicionales en la relación  $E_b/N_0$  para una BER de  $10^{-5}$  y básicamente ninguna degradación para una BER de  $10^{-3}$ .

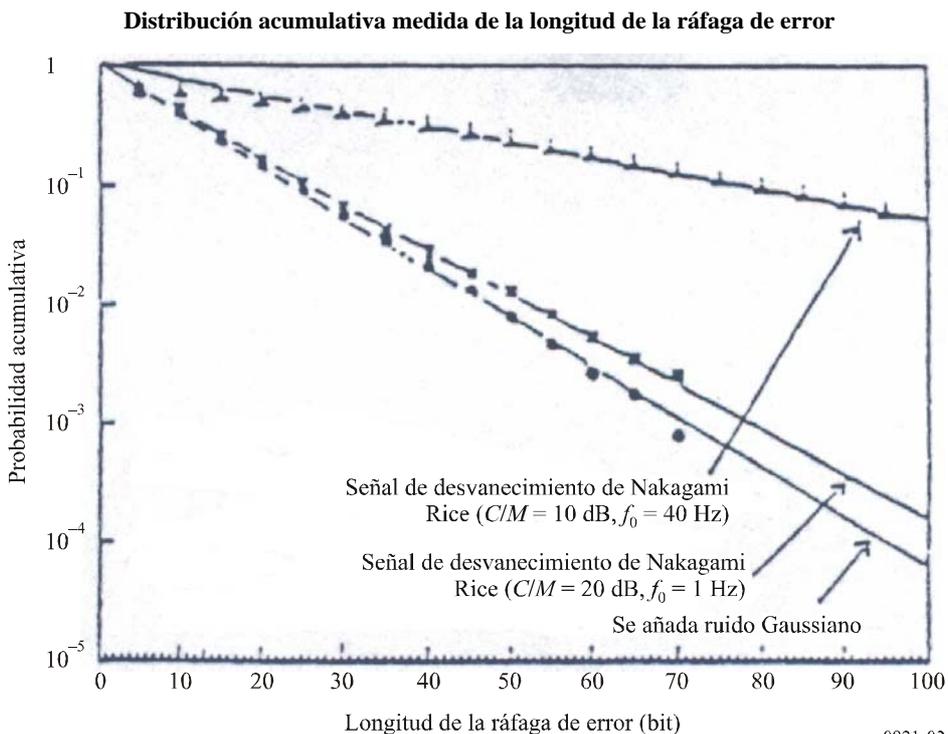
Se concluyó que la codificación FEC de velocidad 3/4 ofrecía ventajas sustanciales para el sistema de la Norma B, proporcionando una buena eficacia espectral y una eficaz utilización de la potencia. La codificación FEC de velocidad 1/2 podía ser apropiada para un sistema más limitado en potencia, pudiendo conseguirse ahorros de 1 dB en la p.i.r.e. del satélite y de la estación terrena de barco a expensas de una utilización menos eficaz de la anchura de banda.

Se observó además que después de la decodificación de Viterbi, todos los errores, incluidos los errores aleatorios, aparecen como ráfagas de errores. Asimismo, como la calidad de transmisión de los canales digitales resultaba afectada de manera distinta por las ráfagas de errores y por los errores aleatorios, no podía determinarse directamente mediante la BER.

Además, en las comunicaciones móviles por satélite, ocurren errores aleatorios y ráfagas de errores debidos al desvanecimiento por trayectos múltiples. Era, pues, necesario evaluar las características estadísticas de las ráfagas de errores después de la decodificación de Viterbi, así como el efecto del desvanecimiento por trayectos múltiples.

Las características del error de salida después de la decodificación de Viterbi han sido estudiadas de forma experimental y estadística [Yasuda y otros, 1988]. Como resultado se puso en evidencia que la ráfaga de error en condiciones de desvanecimiento por trayecto múltiple era mayor que en la zona comprendida entre dos zonas libres de error de más de 20 bits. En la Fig. 2 se indican los resultados de las mediciones efectuadas con modelos de simulación, y en el Cuadro 2 se indican las condiciones no incluidas en la Figura.

FIGURA 2



CUADRO 2

**Principales parámetros del sistema de medición**

Velocidad binaria de información	16 kbit/s
Decodificación de Viterbi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitación en longitud: 7</li> <li>- Velocidad de codificación: 1/2</li> </ul>

**2.5 Ejemplo de diseño de Norma B**

El siguiente ejemplo de diseño describe el concepto de sistema de Norma B, en estudio en aquel momento por INMARSAT.

El canal telefónico básico utiliza codificación vocal CPA a 16 kbit/s, con MDP-4 descentrada y FEC de velocidad 3/4, para obtener una velocidad de canal efectiva de 24 kbit/s por el enlace de satélite SCPC en ambos sentidos. La activación por la voz en las portadoras costera-barco y un control de potencia dependiente del ángulo de elevación de la antena de la estación terrena de barco exigen una p.i.r.e. media global del satélite del orden de 15-16 dBW por portadora, con una  $G/T$  de la estación terrena de barco de  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ . La correspondiente p.i.r.e. máxima requerida de la estación terrena de barco es 34 dBW para la explotación con satélites INMARSAT de la primera generación. La mínima separación de canales para obtener un comportamiento aceptable en términos de BER del canal, en presencia de interferencia de canal adyacente, es de 20 kHz.

El Cuadro 3 presenta los parámetros básicos del canal de transmisión de la señal telefónica del sistema de estación terrena de barco digital. El sistema emplea codificación vocal a 16 kbit/s (conmutable a 9,6 kbit/s), que utiliza codificación predictiva adaptativa con cuantificación de probabilidad máxima (CPA-CPM) [Yatsuzuka y otros, 1986], codificación convolucional punteada de velocidad 3/4 (conmutable a 1/2) decodificación de Viterbi con decisión programada [Yasuda y otros, 1984] y MDP-4 descentrada (MDP-4 D conmutable a MDP-4). La velocidad de transmisión es de 24 kbit/s, que resulta de los datos codificados a 22,4 kbit/s para la sincronización de tramas.

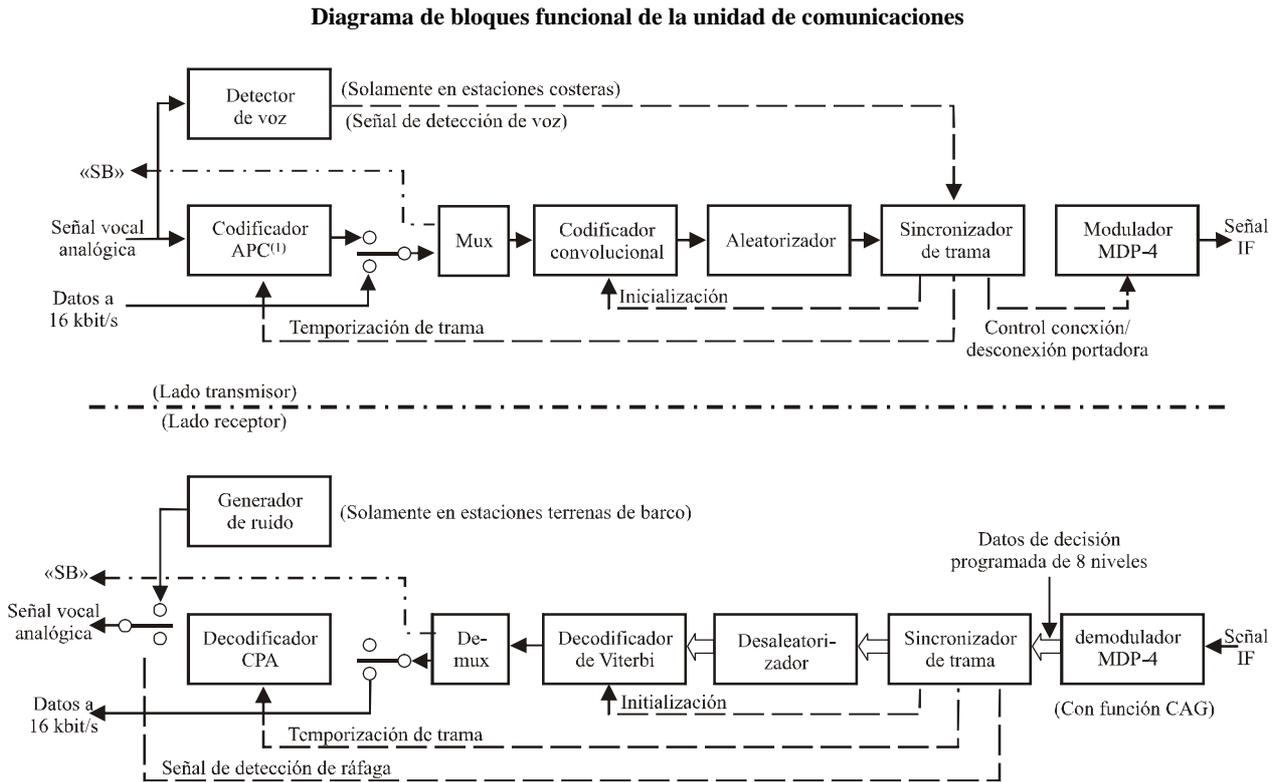
CUADRO 3

**Parámetros principales del canal de comunicación digital**

Velocidad de información	16 kbit/s y 9.6 kbit/s
Codificación vocal	CPA-CPM (codificación predictiva adaptativa con cuantificación de probabilidad máxima)
FEC	Codificación convolucional punteada de velocidad 3/4 y 1/2 ( $k = 7$ )/decodificación de Viterbi con decisión programada de 8 niveles
Modulación	MDP-4 descentrada y MDP-4
Filtros de Tx y de Rx	Filtro de Nyquist en raíz cuadrada de coseno alzado con 60% de caída progresiva para MDP-4 descentrada 40% de caída progresiva para MDP-4
Velocidad de transmisión	24 kbit/s
Separación de portadoras	20 kHz (mínima)
Modo de explotación	Funcionamiento mediante activación por voz en el sentido costera-barco

En la Fig. 3, se representa el diagrama de bloques funcional de la unidad de comunicaciones digitales del sistema diseñado. Además del códec CPA-CPM del códec FEC del módem, se emplea en la estación terrena costera un detector de voz que realiza la activación por voz en el sentido costera-barco y en la estación terrena de barco se utiliza un generador de ruido para proporcionar un ambiente de escucha más natural. La activación por voz permitirá un empleo eficaz de la potencia del satélite en el sentido satélite-barco.

FIGURA 3



<sup>(1)</sup> CPA: Codificación adaptativa-predictiva

Rap 0921-04

## 2.6 Temas avanzados del diseño del sistema

Se necesitaba continuar estudiando los aspectos siguientes relativos a temas avanzados del diseño del sistema:

- objetivos de calidad vocal de las estaciones terrenas de barco de relación  $G/T$  reducida;
- interconexión con las redes terrenales;
- disposiciones de telegrafía y señalización;
- desarrollo ulterior de la valoración subjetiva de posibles técnicas de codificación, especialmente para velocidades binarias de unos 9,6 kbit/s e inferiores;
- consecuencias del incremento del desvanecimiento multitrayecto con aplicación especial a los métodos de modulación y codificación;
- efectos del movimiento del barco sobre las características de calidad de funcionamiento de la antena de estación terrena.

### 3 Consideraciones sobre balance del enlace

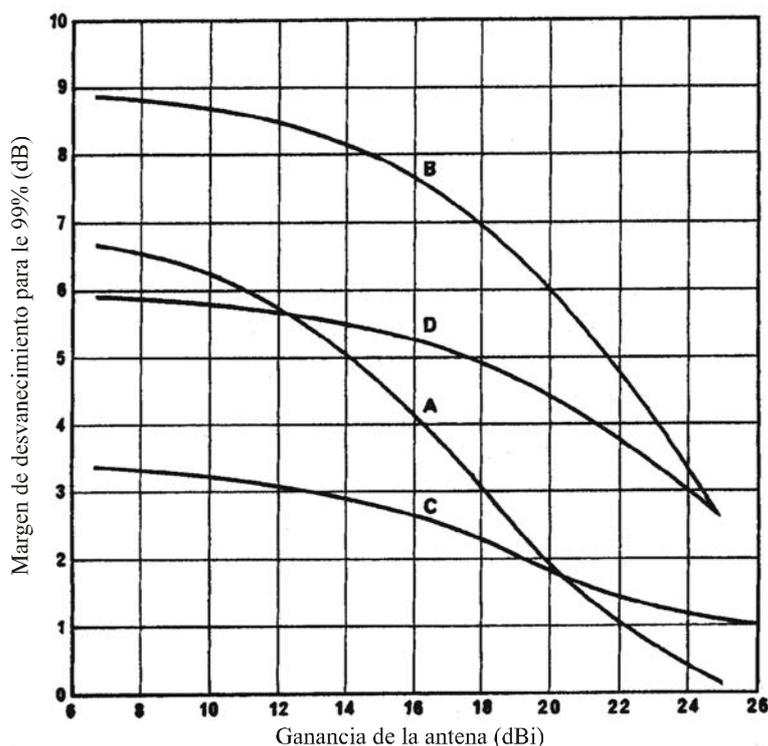
#### 3.1 Características del desvanecimiento multitrayecto

Los conceptos relativos a las estaciones terrenas de la Norma B y en particular de la Norma C, manifestaban en aquel momento una tendencia general hacia sistemas de antenas más pequeños los cuales, debido a su directividad reducida, eran más susceptibles a los efectos del desvanecimiento multitrayecto que los de la Norma A.

En la Fig. 4 se representa un modelo sencillo de desvanecimiento multitrayecto derivado de consideraciones teóricas y datos de mediciones (véase el § 5 de este Suplemento). El modelo se basa en directividades de antena correspondientes a ganancias comprendidas en la gama 7-25 dBi y muestra márgenes de desvanecimiento (99% del tiempo en condiciones de desvanecimiento de Rice-Nakagami) para estados de mar «moderada» y ángulos de elevación de 5° a 10°. Se muestra asimismo la posible ventaja proporcionada por la aplicación de la reducción de desvanecimiento multitrayecto (técnica de conformación de la polarización) al sistema de antena.

FIGURA 4

Características del desvanecimiento multitrayecto  
(desvanecimiento de Rice-Nakagami para el 99%)



- Curvas A: Ángulo de elevación 10°  
B: Ángulo de elevación 5°  
C: Ángulo de elevación 10° con reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización)  
D: Ángulo de elevación 5° con reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización)

Rap 0921-03

### 3.2 Características de error de puntería/seguimiento

En Japón se han estudiado los errores de puntería/seguimiento debidos al movimiento del barco para antenas de estación terrena de barco con estabilización pasiva. Podría utilizarse esta información para determinar el balance de pérdida del enlace para sistema de antenas representativos.

### 3.3 Ejemplos de balance del enlace

Se muestran ejemplos de balances del enlace para un objetivo de BER de canal vocal de  $10^{-3}$  con una estación terrena de barco de la Norma B (Caso 1:  $G/T = -4\text{dB(K}^{-1}\text{)}$ ) y el sistema Norma M (Caso 2:  $G/T = -10\text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ ) que funciona con el satélite INMARSAT de la segunda generación. En el segundo caso, se indican asimismo las posibles mejoras de la calidad del enlace ( $C/N_0$ ) debidas a la reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización).

Aunque estos ejemplos de balances del enlace no están estrictamente de acuerdo con el método descrito en el Informe UIT-R M.760, indican que las técnicas de codificación y modulación digital brindan la posibilidad de conseguir ahorros sustanciales en los requisitos de potencia de transmisión del satélite y/o estación terrena de barco, en comparación con el sistema de la Norma A.

NOTA 1 – Los valores entre paréntesis del Caso 2 corresponden al empleo de la técnica de reducción del desvanecimiento multitrayecto.

## 4 Características de calidad de funcionamiento de una estación terrena digital de barco de calidad telefónica

Esta cláusula presenta un ejemplo conceptual de una estación terrena de este tipo que emplea tecnologías de comunicación digitales [Hirata y otros, 1984], así como sus características de calidad de funcionamiento, basándose en los resultados de un experimento práctico, en el que se han utilizado dos tipos de sistema de antena (ganancia media y alta ganancia).

### 4.1 Resultados del experimento práctico [Yasuda y otros, 1987]

A continuación del primer experimento práctico para el sistema de estación terrena de barco diseñado inicialmente [Kashiki y otros, 1985], se ha realizado una prueba práctica empleando el satélite INMARSAT situado sobre el Océano Índico (INTELSAT V MCS-A). El equipo de la estación terrena de barco se instaló en una embarcación de 701 toneladas de peso.

En el experimento se comprobaron dos tipos de estaciones terrenas de barco, utilizando una antena de gran ganancia y una antena de ganancia media. La antena de gran ganancia es de tipo parabólico con un diámetro de 85 cm y una ganancia de 20 dBi y proporciona una relación  $G/T$  de  $-4\text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , como en las estaciones terrenas de barco convencionales de la Norma A de INMARSAT. La antena de ganancia media es una antena corta de radiación hacia atrás, modificada, con un diámetro de 40 cm y una ganancia de 15 dBi y proporciona una  $G/T$  de  $-10\text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , que incorpora una función de reducción del desvanecimiento basada en la conformación de la polarización [Shiokawa y otros, 1982].

CUADRO 4

**Ejemplo de balances de enlace para estaciones de barco digitales de calidad telefónica**

Ángulo de elevación de la estación terrena costera: 5°

Ángulo de elevación de la estación terrena de barco: 10°

<b>Enlace costera-barco</b>		
<b>Normas de la estación terrena de barco</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
<i>Costera-satélite (6,42 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominal de la estación terrena costera (dBW)	52,0	60,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	200,9	200,9
– Absorción atmosférica (dB)	0,4	0,4
– Relación $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-14,0	-14,0
– Relación $C/N_0$ en el trayecto ascendente (dBHz)	65,3	73,3
– Relación $C/IM_0$ en el satélite (dBHz)	60,5	68,5
<i>Satélite-barco (1.54 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominal del satélite (dBW)	13,0	21,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,9	188,4
– Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
– Relación $G/T$ en la estación terrena costera (dB(K <sup>-1</sup> ))	-4,0	-10,0
– Relación $C/N_0$ en el trayecto descendente (dBHz)	49,0	51,0
Relación $C/N_0$ global sin desvanecimiento (dBHz)	48,6	50,9
Atenuación por desvanecimiento (dB)	2,0	4,4 (2,7)
Relación $C/N_0$ global con desvanecimiento (dBHz)	46,6	46,5 (48,2)
<b>Enlace barco-costera</b>		
<b>Normas de la estación terrena de barco</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
<i>Barco satélite (6.42 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominal de la estación terrena de barco (dBW)	31,0	26,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,9	188,9
– Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
– Relación $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-12,5	-12,5
– Relación $C/N_0$ en el trayecto ascendente (dBHz)	58,0	53,0
– Relación $C/IM_0$ en el satélite (dBHz)	69,0	69,0
<i>Satélite-costera (1.54 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominal del satélite (dBW)	-7,4	-2,4
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	197,2	197,2
– Absorción atmosférica (dB)	0,4	0,4
– Relación $G/T$ en la estación terrena costera (dB(K <sup>-1</sup> ))	32,0	32,0
– Relación $C/N_0$ en el trayecto descendente (dBHz)	55,6	60,6
Relación $C/N_0$ , global sin desvanecimiento (dBHz)	53,5	52,2
Atenuación por desvanecimiento (dB)	2,0	4,4 (2,7)
Relación $C/N_0$ global con desvanecimiento (dBHz)	51,5	47,8 (49,5)

En el Cuadro 5 se muestran los parámetros básicos de las antenas de alta y media ganancia.

CUADRO 5

**Parámetros principales de las antenas de alta ganancia y ganancia media**

	Antena de alta ganancia	Antena de ganancia media
Tipo de antena	Parabólica, 85 cm de diámetro	Antena corta de radiación hacia atrás, modificada, de 40 cm de diámetro
$G/T$	-4 dB(K <sup>-1</sup> )	-10 dB(K <sup>-1</sup> )
p.i.r.e. (valor máximo)	34 dBW para AAP de Clase C 31 dBW para AAP lineal	26 dBW
Ganancia de la antena	20,5 dBi	15 dBi
Anchura del haz de la antena a -3 dB	14°	32°
Relación axial de la antena (centro de haz)	1,8 dB	1 dB
Potencia de salida del transmisor	25 W (AAP de Clase C) 15 W (AAP lineal)	20 W (APP lineal)

En cuanto al amplificador de potencia del transmisor de la estación terrena de barco, se utilizó en el caso de una antena de alta ganancia un AAP de Clase C con posibilidad de control de potencia, o bien un AAP de FET de AsGa lineal [Okinaka y otros, 1985], mientras que para la antena de ganancia media se utilizó un AAP lineal. Cuando se utilizó un AAP de Clase C, se aplicó modulación MDP-4 descentrada, a fin de evitar la reaparición en el espectro de la señal modulada debido a la no linealidad del AAP.

En conclusión, los resultados experimentales han demostrado que las técnicas digitales que utilizan corrección de errores en recepción y codificación vocal son efectivas para sistemas que emplean tanto antenas de ganancia media como de alta ganancia.

**4.2 Calidad de funcionamiento de una estación terrena de barco experimental con baja relación  $G/T$**

Esta cláusula presenta antecedentes de pruebas realizadas con una estación terrena de barco experimental de Norma M y baja relación  $G/T$  (-13 dB(K<sup>-1</sup>)) que utiliza una antena de gran anchura de haz y técnicas de modulación digitales.

Este trabajo fue realizado conjuntamente por el Ministerio de Interior del Reino Unido (en la actualidad Departamento de Comercio e Industria), British Telecom Internacional (BTI) y el Organismo de Investigación Aeroespacial de Alemania (DFVLR).

El objeto de estas pruebas era demostrar la viabilidad de este tipo de SES y evaluar su calidad de funcionamiento para una velocidad de bits igual a 2 400 bit/s con los satélites marítimos actuales, tanto en las condiciones en que se emplean altos ángulos de elevación, esencialmente sin desvanecimiento, como en aquellas condiciones de desvanecimiento por trayectos múltiples que prevalecen para pequeños ángulos de elevación.

Pueden encontrarse algunos de los resultados de estas pruebas en [Hagenauer y otros, 1984].

## **5 Sistema de comunicaciones para la Norma C de INMARSAT**

### **5.1 Introducción**

El sistema de comunicaciones para la Norma C se diseñó para permitir la instalación de sistemas de comunicaciones bidireccionales por satélite a bordo de los barcos más pequeños. El sistema se aceptó también para su instalación como alternativa a las estaciones terrenas de barco de Norma A, a fin de satisfacer los requisitos de las modificaciones de 1988 del Convenio SOLAS de 1974 para el SMSSM, dentro de la zona de cobertura por satélite de INMARSAT; a los terminales de Norma C que vayan en barcos para los que se aplica el Convenio SOLAS de 1974, se requiere que cumplan las normas de calidad de la OMI sobre estaciones terrenas de barco de Norma C INMARSAT, capaces de transmitir y recibir comunicaciones de impresión directa (Resolución A663(16) de la Asamblea de la OMI).

El sistema ofrece una aplicación de comunicaciones por mensajes bidireccionales que se ha diseñado para hacer de interfaz con la red télex internacional y una amplia gama de redes de datos terrenales. Además, a través de los canales de comunicación de la Norma C se realiza por todo el océano una aplicación de radiodifusión solamente, denominado servicio de llamada de grupo mejorada.

#### **5.1.1 Breve descripción del sistema de Norma C**

- a) la relación  $G/T$  es de  $-23 \text{ dB(K}^{-1})$  utilizando una pequeña antena omnidireccional, lo que permite el diseño de equipos muy pequeños;
- b) se utilizan técnicas de transmisión de paquetes digitales con MDT costera-barco y AMDT barco-costera, para datos de señalización y de mensajes;
- c) se espera obtener una buena corrección de errores a bajas densidades portadora-ruido, mediante la utilización de codificación de convolución de velocidad 1/2 y entrelazado;
- d) un enlace entre las estaciones (ETC y ECR), permite el intercambio de datos para fines de control del sistema;
- e) el funcionamiento con haces puntuales se facilita mediante la identificación automática del haz puntual del satélite en el momento de su activación.

#### **5.1.2 Estas técnicas permiten realizar las siguientes aplicaciones:**

- a) télex internacional;
- b) radiodifusión de texto;
- c) intercambio de datos interactivo e interrogación de bases de datos;
- d) conexión prioritaria por necesidades de socorro.

### **5.2 Implicaciones de diseño**

La adopción de una relación  $G/T$  de  $-23 \text{ dB(K}^{-1})$  limita el sistema ofrecido a velocidades de datos muy bajas y tiene las siguientes implicaciones de diseño principales:

- a) las velocidades de datos de ida y de retorno se limitan a 600 bit/s, lo que, con codificación convolucional y entrelazado de velocidad 1/2, permite conseguir una elevada tasa de éxito de paquetes;
- b) en el sentido costera-barco, se necesita una p.i.r.e. de satélite relativamente elevada, de 21 dBW.

### 5.3 Balances del enlace

El análisis de un enlace para la Norma C difiere del de un enlace típico por satélite debido a la naturaleza de la ARQ de un sistema de la Norma C. En un sistema típico hay un nivel de umbral definido de  $C/N_0$ , que define una calidad de servicio y se considera un límite de aceptabilidad; el porcentaje de tiempo en que se excede este umbral es la disponibilidad. En la Norma C, la relación  $C/N$  solo afecta al número de retransmisiones, y por tanto al retardo del mensaje y a la capacidad del sistema.

Los balances del enlace presentados en los Cuadros 6 y 7 se denominan «del caso más desfavorable», que se definen así:

- ETB y ETC a 5° de elevación;
- valores mínimos de  $G/T$  y de p.i.r.e.;
- carga del transpondedor del caso más desfavorable (es decir, transpondedor a plena carga y canal con la relación portadora/intermodulación más baja);
- aceptabilidad del 99% del tiempo.

Cabe señalar que la relación  $C/N_0$  será mejor en la mayoría de los casos, la mayor parte del tiempo.

CUADRO 6

**Balance del enlace de ida en el «caso más desfavorable»  
Enlace de ida: 99% del tiempo**

p.i.r.e. de la estación terrena costera	(dBW)	60,4
Pérdida de trayecto	(dB)	200,9
Pérdida por absorción	(dB)	0,4
$G/T$ del satélite	(dB(K <sup>-1</sup> ))	-15,0
$C/N_0$ media del enlace ascendente	(dBHz)	72,7
$C/I_0$ media del satélite	(dBHz)	54,8
p.i.r.e. media del satélite	(dBW)	0,4
Pérdida de trayecto	(dB)	88,5
Pérdida por absorción	(dB)	0,4
$G/T$ de la ETB	(dB(K <sup>-1</sup> ))	-23,0
$C/N_0$ media del enlace descendente	(dBHz)	37,1
$C/N_0$ nominal sin desvanecimiento	(dBHz)	37,0
Pérdida por interferencia	(dB)	0,5
Pérdida aleatoria RSS total (99%)	(dB)	2,0
$C/N_0$ global	(dBHz)	34,5
$C/N_0$ requerida	(dBHz)	34,5
Margen	(dB)	0,0

CUADRO 7

**Enlace de retorno: 99% del tiempo**

		MCS	MARECS
p.i.r.e. de la estación de barco	(dBW)	12,0	12,0
Pérdida de trayecto	(dB)	189,0	189,0
Pérdida por absorción	(dB)	0,4	0,4
$G/T$ del satélite	(dB(K <sup>-1</sup> ))	-13,0	-11,0
$C/N_0$ media del enlace ascendente	(dBHz)	38,2	40,2
$C/I_0$ media del satélite	(dBHz)	49,0	49,0
Ganancia del respondedor	(dB)	150,9	150,9
p.i.r.e. media del satélite	(dBW)	-26,5	-26,5
Pérdida de trayecto	(dB)	197,2	197,2
Pérdida por absorción	(dB)	0,5	0,5
$G/T$ de la ETC	(dB(K <sup>-1</sup> ))	32,0	32,0
$C/N_0$ media del enlace descendente	(dBHz)	36,4	36,4
$C/N_0$ nominal sin desvanecimiento	(dBHz)	34,1	34,7
Pérdida por interferencia	(dB)	0,5	0,5
Pérdida aleatoria RSS total (99%)	(dB)	1,7	1,7
$C/N_0$ global	(dBHz)	31,9	32,5
$C/N_0$ requerida	(dBHz)	31,5	31,5
Margen	(dB)	+0,4	+1,0

## 5.4 Sistemas de tratamiento de la señal

### 5.4.1 Características de tratamiento de la señal

Debido a la antena de baja ganancia de la ETB, los enlaces de ida y de retorno tienen energía limitada, como puede verse en los balances del enlace. Se utiliza codificación convolucional de velocidad mitad (longitud limitada a  $k = 7$ ), para suministrar corrección de errores en recepción, que puede proporcionar una ganancia de codificación de unos 5 dB en un enlace sin desvanecimiento.

Un bit de información determinado que pase a través del codificador solamente tendrá efecto sobre un grupo de 14 símbolos consecutivos, y como la anchura de banda de desvanecimiento es muy pequeña, los 14 símbolos estarán implicados por igual en un desvanecimiento. Para hacer frente a esta situación, los símbolos codificados se agrupan en un bloque antes de su transmisión. Se transmiten luego en un orden diferente al de su agrupamiento. El efecto de este proceso es extender la transmisión de los 14 símbolos asociados a un bit de datos determinado a un periodo de tiempo grande comparado con la duración de un desvanecimiento.

Por tanto, sólo algunos de los 14 símbolos pueden resultar alterados por un desvanecimiento típico, y la redundancia introducida en el tren de símbolos transmitido permite la reconstrucción del tren de datos original.

Lo anterior es cierto para canales de ida MDT en modo continuo, y para el de mensajes de la ETB en modo casi-continuo. Para el canal de señalización de la ETB en modo ráfaga, el entrelazado no se aplica por ser las ráfagas demasiado cortas para que el efecto obtenido pueda resultar útil.

Se ha aplicado aleatorización de datos a todos los canales. Aunque no es necesaria para la dispersión de energía debido a la baja velocidad binaria, lo es para asegurar transiciones adecuadas de los símbolos para la recuperación del reloj del demodulador. Mensajes con un contenido alto de datos (por ejemplo, tablas) pueden interactuar en un entrelazador para producir secuencias mas largas sin las transiciones de símbolos que podrían esperarse con datos aleatorios.

#### **5.4.2 Efecto del tratamiento de la señal**

Se ha seleccionado una longitud límite ( $k = 7$ ) relativamente corta para permitir la utilización de técnicas de decodificación de probabilidad máxima (tales como el algoritmo de Viterbi).

Los codificadores convolucionales suelen generar errores en ráfagas y diferentes aplicaciones de diferentes algoritmos de codificadores pueden producir una gran variación de las características de las ráfagas de error.

Como el sistema de Norma C es fundamentalmente un sistema de paquetes con ARQ, el principal parámetro de calidad es la tasa de errores de paquetes. En la práctica, esta tasa de errores depende fuertemente de la tasa de errores en ráfaga, pero es casi independiente del número de bits de la ráfaga. Por esta razón, la tasa de errores en los bits no es una medida útil de los canales móviles de la Norma C.

Como punto de partida para definir los límites de calidad, se ha supuesto un decodificador Viterbi que actúa sobre muestras de decisión programada de 3 bits.

### **5.5 Resultados de la FEC**

Se midió el resultado de utilizar la FEC en sistemas de antena de la Norma C como medio de compensar el desvanecimiento por trayectos múltiples. Las mediciones muestran que será necesario emplear la FEC con entrelazado para mejorar la tasa de errores del canal en un enlace con desvanecimiento de un sistema de la Norma C con transmisión continua. Se midió la calidad de una transmisión DECM DP codificada a través del canal marítimo de la norma C, mediante un montaje de prueba simulador de canal DFVRL con un módem de nuevo diseño, utilizando un bucle de COSTAS en combinación con un bucle CAF (control automático de frecuencias) a fin de recuperar la portadora y los datos del canal de la señal DECM DP (canal Rayleigh y Canal Rice-Nakagami con  $C/M = 6,3$  dB), así como de una selección representativa de canales, incluido el caso más desfavorable de un ángulo de elevación de  $4^\circ$  para todas las antenas probadas C3, C5, C11, C14 y una prueba con ángulo de elevación de  $19^\circ$ , para las antenas C3 y C11 (antenas de la Norma C con ganancias (dB) indicadas). Los detalles aparecen en el Informe UIT-R M.762 y [Hagenauer y otros, 1984].

## **6 Sistema de llamada de grupo mejorada**

### **6.1 Introducción**

El sistema de llamada de grupo mejorada (LLGM) es un sistema de radiodifusión de datos a escala mundial para llamadas de grupos comerciales, radiobúsqueda a escala mundial (FleetNET<sup>TM</sup>) y difusión de información sobre seguridad marítima (SafetyNET<sup>TM</sup>). Este sistema forma parte del sistema de Norma C de INMARSAT y hace uso de técnicas MDT por canal común de Norma C para la transmisión de mensajes costera-barco.

El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar, 1974, modificado en 1988 preceptúa que todo buque que realice travesías en cualquier zona de cobertura INMARSAT en la que no exista una aplicación NAVTEX internacional deberá estar provisto de un dispositivo radioeléctrico para recibir información sobre la seguridad marítima mediante el sistema de llamada de grupo mejorada de INMARSAT. La aplicación SafetyNET facilita esta información de seguridad marítima, incluyendo las alertas de socorro costera-barco, los avisos meteorológicos y para la navegación NAVAREA y las previsiones meteorológicas ordinarias que pueden recibir de forma selectiva los navíos. A los receptores LLCM que vayan a bordo de barcos para los que se aplica el Convenio SOLAS de 1974, se les exige que cumplan las normas de calidad de la OMI sobre equipo LLGM (Resolución A664 (16) de la Asamblea de la OMI).

El sistema FleetNET™ permite a los usuarios comerciales basados en estaciones costeras llamar selectivamente a determinados grupos o buques con identificadores (ID) preasignados.

## **6.2 Descripción del sistema**

Los mensajes LLGM se transmiten mediante MDT de Norma C por canal común (ECR), junto con tráfico de señalización de Norma C. De ese modo, los terminales LLGM pueden estar basados en un receptor de pequeño tamaño, de bajo coste y de relación  $G/T$  reducida, puesto que se emplean técnicas de modulación y codificación muy robustas utilizadas para el sistema de Norma C. Los receptores pueden ser unidades autónomas o estar integrados en ETB de Norma C o de Norma A. La integración con una ETB de Norma C no requiere necesariamente un segundo receptor, ya que el receptor de Norma C comprueba técnicamente la MDT por canal común cuando no interviene en el tráfico. Los mensajes LLGM se envían desde la red terrenal hacia la ECR de Norma C a través de una ETC de Norma C.

La anchura de banda operacional del sistema LLGM se extiende de 1 530 a 1 545 MHz, con una separación entre canales de 5 kHz. Las regiones oceánicas adyacentes tendrán frecuencias diferentes para las portadoras LLGM. Los receptores almacenan las frecuencias de estas portadoras de manera que puedan volver a sintonizarlas automáticamente cuando un buque sale de una región oceánica y entra en otra. Los receptores pueden almacenar gran número de frecuencias de canal, para dejar margen a la ampliación y la compatibilidad con futuras cargas útiles de satélite de haz puntual.

## **6.3 Técnicas de direccionamiento**

Hay tres métodos básicos para direccionar los receptores LLGM:

- direccionamiento por identificador único (FleetNET™);
- direccionamiento por identificador de grupo (FleetNET™); y
- direccionamiento por zona (SafetyNET™).

Los receptores LLGM capaces de recibir mensajes FleetNET™ comerciales poseen un identificador único de 24 bits y varios identificadores de grupo de 24 bits. Los identificadores de grupo pueden descargarse y borrarse del enlace de satélite. El direccionamiento en la aplicación SafetyNET™ se efectúa exclusivamente según la zona geográfica. Son posibles dos tipos de direccionamiento por zona geográfica:

- a) zonas geográficas predefinidas, como las NAVAREA, las zonas de la OMM, las zonas de cobertura NAVTEX y las zonas SAR;
- b) las zonas absolutas se definen mediante una coordenada y una extensión de latitud y de longitud (direccionamiento de zona rectangular), o mediante una coordenada y un radio en millas náuticas (direccionamiento de zona circular).

Los receptores pueden actualizarse automáticamente mediante un instrumento náutico exterior, y los operadores pueden seleccionar otras zonas de interés como las que se encuentran en el rumbo esperado de los buques.

#### 6.4 Resumen

El sistema LLGM proporciona un medio efectivo de difusión de información sobre seguridad marítima y de transmisión de llamadas de grupo comercial costera-barco y mensajes de radiobúsqueda. Los buques equipados para recibir mensajes LLGM necesitan sólo un receptor sencillo de bajo coste o, en su defecto, una ETB de INMARSAT de Norma A o de Norma C adecuadamente equipada.

### Bibliografía

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRABEL, LOTS, PAPKE, W., PLOCHINGER y SCHWEIKERT, R. [noviembre de 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Standard C). DFVLR Final Report, 223 páginas (en alemán). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, Alemania (República Federal de). Preparado por ESA/ESTEC Contrato N.º 5323/82/NL/JS.
- HIRATA, Y., YASUDA, Y., OKINAKA, H. y KASHIKI, K. [noviembre de 1984] A digital transmission system for global maritime satellite communications. *Proc. IEEE*, Vol. 72, **11**, p. 1620-1626.
- KASHIKI, K., OKINAKA, H., YASUDA, Y., SHIOKAWA, T. e HIRATA, Y. [23 de junio de 1985] Field test results on a digital transmission system for global maritime satellite communications. IEEE International Conference on Communications (ICC '85), 23-26 de junio, Chicago, ILL, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 1, p. 16.5.1-16.5.7.
- OKINAKA, H. y otros [junio de 1985] A 1,6-GHz GaAs FET linear power amplifier for ship earth stations. 1985, Chicago, ILL, Estados Unidos de América, p. 24.6.1-24.6.6.
- SHIOKAWA, T. y KARASAWA, Y. [mayo de 1982] Ship borne antennas suppressing multi path fading in maritime satellite communication. IEEE/Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Albuquerque, NM, Estados Unidos de América, p. 390-393.
- YASUDA, Y., KOMAGATA, H. y HAGIWARA, E. [1988] An experimental study on Viterbi decoder output error characteristics (en japonés). *Trans. IEICE*, Japan, J71-B, **2**, p. 229-237.
- YASUDA, Y. y otros [marzo de 1984] High-rate punctured convolution codes for soft decision Viterbi decoding. *IEEE Trans. Common.*, Vol. COM-32, **3**, p. 315-319.
- YASUDA, Y. y otros [noviembre de 1987] Performance characteristics of a digital voice-grade ship earth station. (Presentado a la Conferencia GLOBECOM 87 del IEEE, Tokio.)
- YATSUZUKA, Y. y otros [mayo de 1986] 16 kbit/s high quality voice encoding for satellite communication networks. 7th Int. Conf. Digital Satellite Common., Munich, p. 271-278.

## **SUPLEMENTO 2**

### **Metodología para la determinación de criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite**

#### **Resumen**

En el presente Suplemento se proporciona una metodología para la determinación de criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite. Dado que los niveles de señal deseada y de señal de interferencia varían en función de factores muy diversos, el criterio de interferencia se determina para dos porcentajes de tiempo, uno para el funcionamiento a largo plazo y otro para el funcionamiento a corto plazo. En el § 3 del Suplemento se exponen los fundamentos de los criterios de interferencia total. En este Suplemento se explican también los criterios de interferencia para los enlaces de servicio y los enlaces de conexión. Además, se facilitan distintos factores de propagación que han de tomarse en consideración a la hora de determinar criterios de interferencia. Se describen asimismo algunos elementos del umbral y de las distancias de coordinación.

## **Metodología para la determinación de criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite**

### **1 Introducción**

Un sistema móvil por satélite puede utilizar una amplia variedad de canales a fin de prestar los servicios necesarios para la satisfacción de diversas necesidades de comunicaciones de las estaciones terrenas de aeronave, de barco o del servicio móvil terrestre. Pueden establecerse canales para efectuar comunicaciones de datos de control de la red, facsímil, vídeo y vocales. La calidad de funcionamiento y las características del enlace propias de estos canales pueden diferir y, en consecuencia, puede variar la tolerancia de cada comunicación a la interferencia. En este Suplemento se propone un enfoque estructurado para formular criterios de interferencia y de compartición de los servicios móviles por satélite. Se analizan los aspectos estadísticos y se describen metodologías para la determinación de los niveles máximos admisibles de potencia de interferencia total y de una sola fuente.

### **2 Consideraciones estadísticas**

En los sistemas móviles por satélite, los niveles de potencia de la señal deseada y del ruido varían en función de las condiciones de explotación y del entorno, por lo que la calidad de funcionamiento del sistema se refleja mejor en forma de parámetro estadístico. Los niveles de potencia de la señal interferente varían de modo similar. Por consiguiente, los criterios de interferencia deberían especificarse por medio de dos componentes:

- a) un umbral que defina el límite de potencia de la señal interferente, y
- b) un porcentaje de tiempo y, en el servicio móvil terrestre por satélite (SMTS), un porcentaje de lugares, que defina la probabilidad de que se exceda el umbral de interferencia. Se deben elaborar criterios para cuando menos dos porcentajes de tiempo y lugares, a fin de controlar la variabilidad de la interferencia y de los niveles absolutos de funcionamiento.

Se recurre a criterios «a largo plazo» para determinar la interferencia admisible máxima que no debe excederse en más del  $X\%$  del tiempo y, si procede, en el SMTS, el  $Y\%$  de los lugares. Los porcentajes de tiempo (y lugares) se corresponden con los de los objetivos de calidad de funcionamiento a largo plazo (por ejemplo, 10%-50%). Estos niveles de interferencia y los niveles a largo plazo de potencia de la señal deseada y del ruido definen la calidad de funcionamiento del sistema a largo plazo.

Se aplican criterios «a corto plazo» para determinar la interferencia admisible máxima que no debe rebasarse en más de un pequeño porcentaje ( $M\%$ ) del tiempo (y en el SMTS, el  $N\%$  de lugares).

Los criterios de interferencia admisibles a largo y a corto plazo deben determinarse tanto para la interferencia total (es decir, la interferencia proveniente de todas las fuentes) como para la interferencia única (es decir, la que proviene de una sola fuente).

### **3 Fundamentos de los criterios de interferencia total**

Los objetivos de calidad de funcionamiento de los circuitos de comunicaciones se especifican en términos de umbrales de funcionamiento en banda de base y de los correspondientes porcentajes de tiempo y lugares para los que han de excederse dichos umbrales. Estos objetivos pueden ser convertidos en relaciones entre la potencia de la señal deseada y la suma de las potencias del ruido y

de la señal interferente con características equivalentes a ruido. Pueden calcularse balances de potencia de los enlaces del sistema asociados con los porcentajes de tiempo y lugares especificados en los objetivos de calidad de funcionamiento para sistemas representativos con el fin de determinar la calidad de funcionamiento que es posible alcanzar en ausencia de interferencia entre sistemas (como se hace, por ejemplo, en el Informe UIT-R M.760). Además, los niveles admisibles de interferencia entre sistemas deben incluirse de forma estadística en dichos balances de potencia de enlace, a fin de comparar los niveles de calidad de funcionamiento requerido y obtenido. La siguiente ecuación define esta relación, dando por supuesto que el efecto total de las señales interferentes múltiples tiene características similares a ruido:

$$\frac{C}{(N+I)_t}(p) = \left[ \left( \frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{mob} + \left( \frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{fdr} \right]^{-1} (p) \quad (1)$$

donde los subíndices «*mob*» y «*fdr*» indican los parámetros del enlace de servicio (es decir, enlace de 1,5/1,6 GHz) y del enlace de conexión, respectivamente, y:

- $C/(N+I)_t(p)$ : relación (numérica) entre la potencia de la señal deseada y el ruido total más la potencia interferente total, que debe excederse en todos los porcentajes del tiempo y de los lugares salvo  $p'$
- $N/C$ : relación (numérica) entre la potencia total de ruido dentro del sistema y la potencia de la señal deseada (se refiere a la calidad de funcionamiento obtenida en ausencia de interferencia entre sistemas)
- $I/C$ : relación (numérica) entre la potencia de la señal interferente combinada y la potencia de la señal deseada.

La calidad de funcionamiento del sistema en ausencia de interferencia entre sistemas (es decir, los valores de  $N/C$  en la ecuación (1)) está limitada por diversas degradaciones del funcionamiento propias del sistema (por ejemplo, ruido térmico del receptor, ruido de intermodulación, etc.). En los sistemas que emplean reutilización de frecuencias (por ejemplo, antenas de satélite de haces estrechos) se producen degradaciones adicionales dentro del sistema. Por ello, al igual que en el caso del servicio fijo por satélite (SFS), se pueden aplicar diferentes criterios de interferencia a los sistemas que emplean reutilización de frecuencias. En cualquier caso, la degradación de la calidad de funcionamiento atribuida al nivel admisible de interferencia no debe exceder de una cierta fracción de la degradación propia del sistema, a fin de que los responsables del diseño y la explotación del sistema puedan controlar bien la calidad de funcionamiento de éste.

Existen precedentes en los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de meteorología por satélite que permiten fijar el margen a largo plazo de interferencia en un 25% o más del nivel de potencia total del ruido más la interferencia. En el SFS, cuyos recursos de órbita y espectro son objeto de gran demanda y utilización, se permite que el 35% del *ruido* total a largo plazo en un canal telefónico MDF/MF resulte de interferencias entre sistemas, o el 30% en los sistemas con reutilización de frecuencias (Recomendaciones UIT-R S.353 y UIT-R S.466). Estos porcentajes se componen de un 10%, como máximo, de interferencia procedente de redes terrenales fijas y el resto, del 20% al 25%, de interferencia procedente de redes del servicio fijo por satélite. Sin embargo, al considerar la aplicación a los servicios móviles por satélite de tales relaciones entre la potencia de interferencia y el ruido total más la potencia de interferencia, se deberá evaluar cuidadosamente la repercusión sobre la calidad de funcionamiento y la capacidad del sistema (para un nivel de calidad de funcionamiento determinado).

La calidad de funcionamiento del enlace puede degradarse a niveles asociados con un umbral de calidad de funcionamiento a través del desvanecimiento de las señales deseadas o del aumento de los niveles de la señal interferente. Los márgenes de calidad de funcionamiento se deben determinar

de modo que la interferencia no degrade el enlace más de lo que admiten los objetivos de calidad de funcionamiento.

## **4 Formulación del balance de interferencia**

### **4.1 Balance entre enlaces de conexión y enlaces de servicio**

Las atribuciones del SFS suelen utilizarse para enlaces de conexión; de este modo, cada mitad de un canal (ascendente o descendente) está sujeta a diferentes condiciones en materia de interferencia y puede tener distintos criterios de interferencia.

Las consideraciones vinculadas con la interferencia a corto plazo también influyen en las  $C/N$  y  $C/I$  exigidas en los circuitos móviles por satélite. Los efectos de sombra y de trayectos múltiples de corta duración pueden controlar los balances de  $C/N$  y  $C/I$  en el enlace de servicio de la banda 1,5/1,6 GHz, especialmente en las redes del SMTS. Además, si se utilizan enlaces de conexión superiores a 10 GHz, el desvanecimiento a corto plazo causado por la atenuación debida a la lluvia puede controlar los balances de ruido y de interferencia del enlace de conexión.

Un elemento fundamental de diseño que debe tenerse en cuenta al desarrollar los sistemas móviles por satélite es que la  $C/N$  neta (incluidas las contribuciones de la  $C/I$ ) debe estar establecida en gran medida por los enlaces de servicio; es decir, que los enlaces de conexión sólo deberían producir una pequeña degradación (soluciones de transacción necesarias en el diseño del sistema, por ejemplo para tomar en cuenta la muy baja p.i.r.e. del enlace de conexión en el sentido espacio a Tierra en los primeros sistemas, entrañaron concesiones en este elemento de diseño).

### **4.2 Criterios aplicables a los enlaces de servicio**

Los niveles de potencia de la señal deseada en 1,5/1,6 GHz experimentan, por lo general, variaciones amplias y rápidas. Esto mismo se aplica a las señales interferentes en dichas frecuencias, que generalmente varían de manera independiente respecto de las señales deseadas. En consecuencia, dado el requisito de calidad de funcionamiento de un enlace de servicio (es decir, el calculado mediante la ecuación (1), el objetivo de calidad de funcionamiento y la distribución entre los enlaces de conexión y de servicio), el nivel de interferencia combinada admisible se podría determinar por medio de un análisis estadístico de las señales deseadas e interferentes. Además, dada una cantidad supuesta de emisiones interferentes se puede efectuar un análisis estadístico para determinar los niveles de interferencia admisibles de una sola fuente. En el Anexo 1 del Informe UIT-R M.1179 se describe el método para determinar dichos balances de interferencia, y en el § 7 se examinan los umbrales de coordinación para esos enlaces.

### **4.3 Criterios aplicables a los enlaces de conexión**

En el enlace descendente de conexión, el nivel de potencia de la señal deseada experimenta, por lo general, las mismas variaciones que la señal del enlace ascendente de servicio cuando el transpondedor funciona en la región casi lineal. Por tanto, para el enlace descendente de conexión podría aplicarse un método similar al utilizado para los enlaces ascendentes de servicio.

Para los enlaces ascendentes de conexión, donde la señal deseada está comprendida dentro de un margen aproximado de 1 dB de su valor medio durante grandes porcentajes del tiempo (por ejemplo, >95%), se pueden sentar hipótesis simplificadoras para calcular los criterios de interferencia. Concretamente, los niveles de potencia de interferencia admisible total «a largo plazo» pueden basarse en análisis del comportamiento previsto del valor medio de la señal deseada. Los criterios de interferencia «a corto plazo» pueden establecerse por medio de un análisis del

comportamiento «en ausencia de desvanecimiento», dada la pequeña probabilidad que existe de que la interferencia alcance los niveles experimentados sólo durante pequeños porcentajes de tiempo a la vez que la señal deseada sufre desvanecimientos de un nivel que sólo se verifica también durante pequeños porcentajes de tiempo. En el Anexo 2 se expone un método para determinar los criterios de interferencia del enlace ascendente de conexión basado en estas hipótesis.

## **5 Determinación de los criterios de interferencia**

En esta sección del Suplemento, se considera la determinación de los criterios de interferencia aplicables a los enlaces de servicio en 1,5/1,6 GHz y a los enlaces descendentes de conexión.

### **5.1 Introducción**

Los sistemas móviles por satélite que funcionan en la porción del espectro de 1,5/1,6 GHz tendrán que responder a una amplia gama de condiciones de servicio, que abarcan las técnicas de modulación (tanto analógicas como digitales), una diversidad de anchuras de banda y de velocidades de datos, y una variedad de niveles de potencia de transmisión. Existen variaciones sustanciales en cuanto a la p.i.r.e., la anchura de banda y los márgenes de calidad de funcionamiento entre los diversos canales utilizados en los enlaces de servicio que ofrecen los sistemas móviles por satélite. Cada tipo de enlace debe ser evaluado separadamente, pero seguramente se comprobará que varios tipos de enlaces tienen criterios de interferencia similares.

### **5.2 Servicios interferentes que han de tomarse en consideración**

La interferencia que sufrirán los enlaces de servicio de un sistema móvil por satélite en las bandas 1,5/1,6 GHz será causada por emisiones de estaciones espaciales y estaciones terrenas móviles de otros sistemas móviles por satélite. Asimismo, los enlaces de servicio que funcionen en ciertas porciones de las bandas de 1,5/1,6 GHz recibirán interferencia de emisiones de sistemas del servicio fijo que funcionen en ciertas zonas geográficas. Otros servicios que funcionen en esas bandas podrán producir interferencia a los enlaces descendentes de conexión.

### **5.3 Factores de propagación**

Las señales de enlace de servicio de los sistemas móviles por satélite se ven afectadas principalmente por la reflexión y la dispersión producidas por el terreno circundante (por ejemplo, el suelo, los océanos, o los edificios), por el efecto de sombra de las obstrucciones (por ejemplo, edificios y árboles) en el trayecto Tierra-espacio, y por la difracción producida por obstáculos cercanos. Estos enlaces también se ven afectados por la ionosfera, la troposfera y las precipitaciones, aunque en mucho menor medida en las bandas 1,5/1,6 GHz. En las Recomendaciones UIT-R P.680 y UIT-R P.681 se describen los efectos de propagación observados en frecuencias por encima de 100 MHz en medios marítimos y terrestres, respectivamente. También se están estudiando los efectos de propagación en medios aeronáuticos en el marco de la Recomendación UIT-R P.682. De los tres tipos de medios circundantes de explotación, los efectos más graves de la propagación se dan en los enlaces del SMTS.

Las estadísticas de pérdida de propagación dependen del entorno local. Los estudios teóricos y las mediciones efectuadas en los enlaces indican que las señales de propagación por trayectos múltiples tienen una distribución de Rayleigh. La potencia media de las señales de propagación por trayectos múltiples, con relación a la potencia de la señal con visibilidad directa no atenuada, depende del diagrama de radiación de la antena, del ángulo de elevación de ésta y de las características del medio físico que dispersa las señales de trayectos múltiples. Si la antena de recepción no discrimina completamente la señal de trayectos múltiples y la señal con visibilidad directa no está muy

atenuada, la distribución de la envolvente de la señal recibida puede modelarse de acuerdo con la función de distribución de Rice-Nakagami. Las mediciones también han indicado que una distribución log-normal representa una aproximación adecuada de la distribución de la potencia de la señal con visibilidad directa, en condiciones de sombra (por ejemplo, por árboles u otros obstáculos). Así pues, cualquiera que sea el entorno, la variación estadística de la envolvente de la señal recibida se puede modelar como un proceso compuesto. Las fluctuaciones de la potencia instantánea de la señal recibida se pueden modelar como un proceso de Rice-Nakagami en el que se supone que la amplitud de la señal «constante» obedece a un proceso log-normal. En la Recomendación UIT-R P.1057 se facilita un estudio bastante amplio acerca de los detalles matemáticos de este proceso compuesto.

Sin embargo, cabe señalar que dichos modelos matemáticos podrían no ser lo suficientemente precisos, especialmente en la región de los niveles de señal sumamente altos o bajos, cuando la probabilidad de aparición de tales niveles es muy escasa.

Los niveles de las señales interferentes se verán afectados por factores de propagación similares. No obstante, se puede utilizar el nivel de interferencia con visibilidad directa como valor representativo durante la mayor parte del tiempo en los casos en que se tiene en cuenta la interferencia proveniente de otras redes del servicio móvil por satélite, siempre que el ángulo de elevación de los trayectos de las señales deseada e interferente no sean demasiado bajos (por ejemplo,  $<5^\circ$ ).

Al estudiar los criterios de interferencia a corto plazo, se deberán tener en cuenta los incrementos a corto plazo de los niveles de interferencia debidos a los mecanismos de trayectos múltiples, especialmente cuando la estación terrena móvil esté sobre el mar. Estos efectos, pueden producir aumentos de hasta 5 dB por encima del nivel de visibilidad directa.

Los análisis deben tomar en consideración los efectos de las diferencias entre los ángulos de elevación de las señales deseada e interferente o la discriminación de la antena de la estación terrena y las diferencias consiguientes en las funciones de distribución de las señales deseada e interferente. Los ángulos de elevación deberán tenerse en cuenta cuando se apliquen los criterios de compartición, pero los efectos de discriminación de la antena de la estación terrena pueden formar parte de los criterios de interferencia. Además, se debe incluir el efecto del *ruido* dentro del sistema.

Los niveles de interferencia total pueden determinarse por convolución de las funciones de densidad de probabilidad de las fuentes de interferencia individuales supuestas. Estas relaciones entre la calidad de funcionamiento requerida y los niveles de interferencia combinada y de una sola fuente se pueden utilizar para determinar los niveles admisibles de interferencia a los enlaces de servicio.

## **6 Determinación de los criterios de interferencia admisible de una sola fuente aplicables a los enlaces ascendentes de conexión**

### **6.1 Distribución de los criterios de interferencia entre los servicios espaciales y terrenales**

Las atribuciones de frecuencia para trayectos Tierra-espacio utilizadas en servicios móviles por satélite requieren generalmente una compartición entre sistemas de este tipo con sistemas y servicios terrenales y, en algunos casos, con sistemas de otros servicios espaciales. Se puede efectuar una división inicial de los criterios de interferencia a corto plazo (intensificada) y a largo plazo (cercana al valor mediano) para establecer balances de interferencia separados para el servicio espacial y para el servicio terrenal. Esto facilita la determinación de criterios de compartición y umbrales de coordinación apropiados para sistemas espaciales y terrenales, cuyo número suele variar y que pueden presentar posibilidades de interferencia de diferentes magnitudes.

Para esta subdivisión se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_s(x) = I(x) \cdot \frac{A_s}{100} \quad (2)$$

$$I_t(x) = I(x) - I_s(x) \quad (3)$$

donde:

- $I_s$ : balance de interferencia (W) para el servicio espacial
- $I_t$ : balance de interferencia (W) para el servicio terrenal
- $A_s$ : porcentaje del balance de la potencia de interferencia total atribuido al servicio espacial
- $I(x)$ : nivel de la potencia de interferencia admisible total (W) que no puede rebasarse durante más del  $x\%$  del tiempo, donde  $x$  se vincula con el objetivo de calidad de funcionamiento a largo plazo

$$I_s(p_s) = I(p) - I_t(x) \quad (4a)$$

$$I_s(p_t) = I(p) - I_s(x) \quad (4b)$$

$$p_s = p(a_s/100) \quad (5a)$$

$$p_t = p - p_s \quad (5b)$$

donde:

- $p$ : porcentaje de tiempo asociado con el criterio de interferencia a corto plazo
- $p_s$ : porcentaje de tiempo durante el cual los servicios espaciales pueden rebasar el umbral de interferencia
- $p_t$ : porcentaje de tiempo durante el cual los servicios terrenales pueden rebasar el umbral de interferencia
- $a_s$ : porción (%) del porcentaje de tiempo  $p$  atribuido a los servicios espaciales
- $I(p)$ : nivel de potencia de interferencia total (W) que no puede excederse durante más del  $p\%$  del tiempo (es decir, criterios de interferencia a corto plazo)

En las ecuaciones (2) y (3), los criterios de interferencia a largo plazo se subdividen en potencia entre las categorías de interferencia de los servicios espaciales y terrenales. Esto se justifica ya que se puede prever que esos niveles de interferencia espaciales y terrenales a largo plazo se presenten simultáneamente.

En las ecuaciones (4) y (5), los criterios de interferencia a corto plazo se subdividen en porcentaje de tiempo entre las categorías de interferencia de los servicios espaciales y terrenales. Es poco probable que aparezcan simultáneamente niveles de interferencia intensificados de corto plazo para ambos servicios espaciales y terrenales, debido a los mecanismos no correlacionados que causan dichas intensificaciones. Sin embargo, se debe tomar en consideración la interferencia que proviene de los servicios espaciales con su nivel a largo plazo cuando se establece el balance de interferencia a corto plazo de los servicios terrenales, y viceversa. De esta manera, en las ecuaciones (4a) y (5a) se supone que la interferencia a largo plazo asociada con el servicio espacial se suma a la interferencia a corto plazo asociada con el servicio terrenal.

Los valores de la subdivisión en potencia de interferencia ( $I_s$  e  $I_t$ ) y de la subdivisión en tiempo ( $p_s$  y  $p_t$ ) de las ecuaciones (2) a (5) se deben seleccionar de modo que correspondan a los niveles de interferencia que puedan preverse en un entorno típico de fuentes de interferencia terrenales y espaciales, a fin de reducir al mínimo las limitaciones que imponen los criterios de compartición.

## 6.2 Consideraciones para la determinación de los criterios de compartición

### 6.2.1 Criterios de interferencia de una sola fuente

Se pueden efectuar subdivisiones de los márgenes de interferencia total y de tiempo de las fuentes de interferencia espaciales y terrenales con el objeto de establecer niveles admisibles apropiados para la interferencia proveniente de fuentes individuales (es decir, interferencia «de una sola fuente»). Para este fin se pueden emplear las siguientes ecuaciones (6) y (7):

$$I_{x'}(x) = \frac{I_x(x)}{n} \quad (6)$$

$$I_{x'}(p_{x'}) = \frac{I_x(p_x)}{y_n} - \left( I_{x'}(20) \cdot \frac{1-y}{y} \right) \quad (7a)$$

$$p_{x'} = \frac{p_x}{y_n} \quad (7b)$$

donde los parámetros que llevan prima (') indican valores de una sola fuente y:

$I_x(x)$ : nivel de potencia de interferencia admisible total (W) distribuido entre servicios espaciales o terrenales que no puede excederse durante más del  $x\%$  del tiempo

$I_x(p_x)$ : nivel de potencia de interferencia admisible total (W) distribuido entre servicios espaciales o terrenales que no puede excederse durante más de  $p_x\%$  del tiempo

$n$ : número efectivo de fuentes de interferencia espaciales o terrenales

$y$ : fracción de las fuentes de interferencia que tienen un nivel intensificado,  $0 < y < 1$

Las ecuaciones (6) y (7) son de naturaleza similar a las ecuaciones (2) a (5). Los márgenes de interferencia a largo plazo se subdividen en potencia y los márgenes de la interferencia a corto plazo se subdividen en porcentaje de tiempo. En la ecuación (7), se supone que sólo algunas de las fuentes de interferencia serán intensificadas a sus valores a corto plazo y, por lo tanto, que no están correlacionadas. Mientras esas fuentes de interferencia presentan un nivel intensificado, se supone que todas las demás fuentes tienen sus niveles a largo plazo. Se supone que la suma de esos niveles a largo plazo será igual a  $(n - y_n)$  veces el margen de interferencia de una sola fuente a largo plazo.

## **7 Umbrales de coordinación y criterios de compartición para enlaces en 1,5/1,6 GHz**

### **7.1 Coordinación entre sistemas por satélite**

En los procedimientos de coordinación establecidos con arreglo al Artículo 11 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) se examina la interferencia potencial entre sistemas por satélite para determinar qué limitaciones de diseño o de explotación son necesarias para, llegado el caso, asegurar que la interferencia permanezca por debajo de unos niveles aceptables. Los niveles de interferencia admisibles de una sola fuente definen los niveles de interferencia mínimos aceptables que han de utilizarse en la coordinación. En el Apéndice 8 del RR se establece el método de cálculo para determinar cuándo se debe proceder a dicha coordinación. La coordinación ha de efectuarse cuando se prevea un cierto aumento de la temperatura de ruido del sistema en las condiciones del caso más desfavorable (es decir, un aumento del 6%). En la práctica, la escasa discriminación de las antenas de las estaciones terrenas móviles en las bandas 1,5/1,6 GHz haría necesaria casi siempre una coordinación de acuerdo con este procedimiento, siempre que una estación terrena móvil de un sistema tenga visibilidad directa del satélite del otro sistema. En consecuencia, esta condición de visibilidad resulta ser un criterio práctico para determinar cuándo procede efectuar la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que funcionan en 1,5/1,6 GHz, excepto cuando las zonas de cobertura de los satélites estén completamente separadas.

### **7.2 Interferencia causada por estaciones terrenas a receptores de satélite**

Los criterios de compartición en frecuencias cercanas a 1,6 GHz entre estaciones de transmisión de servicios terrenales y estaciones espaciales de recepción se pueden determinar por medio del nivel de interferencia combinada admisible a largo plazo, distribuido con arreglo a esta interacción (véase el Anexo 1 al Informe UIT-R M.1173).

Para regular esta interacción de interferencia no se recurre a la coordinación, sino que se aplican criterios de compartición consistentes en límites de p.i.r.e., de potencia de entrada de la antena y de orientación de la antena de las estaciones terrenales. Cabe prever que la interferencia combinada causada por estaciones terrenales tenga poca variación en el tiempo, lo que asegura que, cuando se aplique la metodología del Anexo 1, en la compartición predominen los criterios relativamente rigurosos de interferencia a largo plazo. Se han establecido estos criterios de compartición para otras bandas partiendo de hipótesis relativas a la distribución geográfica y las características de las estaciones terrenales.

### **7.3 Distancias de coordinación**

Es posible establecer criterios para la compartición entre estaciones terrenas móviles y estaciones terrenales aplicando el concepto de zona de protección. La gran variabilidad en el tiempo de las pérdidas de propagación en los trayectos terrenales requiere, por lo general, que se apliquen criterios de interferencia a corto plazo y a largo plazo. Las zonas de coordinación de las estaciones terrenas móviles terrestres y de barco pueden calcularse por el método del Apéndice 7 del RR. Para las estaciones terrenas de aeronave, las zonas de coordinación pueden determinarse utilizando distancias de coordinación basadas en los trayectos de propagación con visibilidad directa entre la aeronave y la estación terrenal. Suponiendo que una estación terrena de aeronave puede funcionar a altitudes tan elevadas como 12 km y que la refracción debida a la atmósfera produce un radio ficticio de la Tierra equivalente de  $4/3$ , las distancias de visibilidad directa a otras estaciones en el suelo o a bordo de otras aeronaves serán de 450 km y 900 km respectivamente. Teniendo en cuenta

unas refractividades atmosféricas ligeramente superiores, debe considerarse que las distancias de coordinación para aeronaves son de 500 km y 1 000 km para la compartición con estaciones terrenales en Tierra y a bordo de aeronaves, respectivamente. Es necesario efectuar más estudios en relación con las distancias de coordinación.

---

## **SUPLEMENTO 3**

### **Problemas de interferencia y ruido en sistemas móviles marítimos por satélite que emplean frecuencias de las bandas de 1,5 y 1,6 GHz**

#### **Resumen**

En el presente Suplemento se explican los posibles problemas de interferencia y ruido en los sistemas móviles marítimos por satélite en las bandas de frecuencias 1,5/1,6 GHz conforme a los estudios teóricos y a las mediciones prácticas y experimentos. En el § 2 se indican los diferentes tipos de fuentes de interferencia para los sistemas móviles marítimos por satélite. En las otras secciones se describe la interferencia causada por los transmisores de a bordo de los sistemas marítimos por satélite a diferentes tipos de sistemas.

## **Problemas de interferencia y ruido en sistemas móviles marítimos por satélite que emplean frecuencias de las bandas de 1,5 y 1,6 GHz**

### **1 Introducción**

Los sistemas operacionales del servicio móvil marítimo por satélite emplearán por lo menos frecuencias de las bandas de 1,5 y 1,6 GHz para los enlaces satélite-barco y barco-satélite, respectivamente. En este Suplemento se dan los resultados de un estudio teórico sobre las posibles interferencias producidas a un sistema móvil marítimo por satélite por diferentes fuentes y sobre las ocasionadas por sistemas de este tipo a otros sistemas en las frecuencias mencionadas. Se da un resumen de los resultados de mediciones prácticas del ruido electromagnético efectuadas en puertos y a bordo de barcos en la mar. Por último, se estudian otras fuentes de ruido en dichas frecuencias, como el ruido extraterrestre y la temperatura de ruido del receptor.

### **2 Interferencia a sistemas marítimos por satélite**

#### **2.1 Interferencia causada por altímetros radar**

Los receptores de sistemas por satélite a bordo de barcos pueden ser interferidos por altímetros radar cuando una aeronave con sus altímetros en funcionamiento se encuentre dentro del haz de la antena del barco. Se piensa, sin embargo, que está disminuyendo el número de altímetros radar que funcionan en la banda considerada. Para reducir el riesgo y la duración de la interferencia, cabe limitar el funcionamiento de los altímetros radar al extremo superior de la banda atribuida.

#### **2.2 Interferencia debida a sistemas aeronáuticos por satélite**

No se prevé que los transmisores de aeronave de un sistema aeronáutico por satélite causen interferencia al terminal de a bordo de un sistema marítimo por satélite, ni siquiera cuando radie en el haz principal de la antena del barco.

#### **2.3 Interferencia producida por emisiones de radar que funcionan fuera de la banda**

El radar de vigilancia aérea, tales como el AN/SPS-29, puede considerarse como una posible fuente de interferencia radioeléctrica. Esta fuente de ruido electromagnético puede suprimirse colocando en el transmisor un simple filtro coaxial de radiofrecuencia disponible en el mercado. Análogamente, la interferencia producida por el radar de búsqueda de superficie que funciona en ondas de 10 cm puede suprimirse también instalando a la salida del transmisor un sencillo filtro guíaondas que puede adquirirse en el comercio. No hubo indicios de ruido en la banda 9 causado por los radares de vigilancia de superficie que trabajan en ondas de 3 cm utilizados por los barcos gubernamentales y mercantes.

#### **2.4 Interferencia producida por los equipos de comunicaciones instalados actualmente en los barcos y los correspondientes aisladores de alta tensión**

Las emisiones de los transmisores de barco en ondas decamétricas pueden producir interferencia en los canales de satélite de las estaciones terrenas de barco. A continuación figuran los resultados de la evaluación teórica y experimental de este efecto.

### 2.4.1 Consideraciones teóricas

Un criterio para identificar el grado en que las emisiones del transmisor de ondas decamétricas pueden afectar a la explotación de la estación terrena de barco es el umbral de sensibilidad del receptor de la estación terrena de barco. Se supone que este umbral es el nivel de sensibilidad del receptor calculado para las frecuencias correspondientes,  $f_{SR}$ , que son capaces de producir respuestas parásitas, y puede representarse mediante la expresión siguiente:

$$f_{SR} = \frac{pf_{LO} \pm f_{IF}}{q} \pm \frac{B_R}{2q} \quad (1)$$

donde:

$f_{LO}$ : frecuencia del oscilador local (MHz)

$f_{IF}$ : primera frecuencia intermedia (MHz)

$B_R$ : anchura de banda en dB en la primera frecuencia intermedia (MHz)

$p, q$ : número del armónico del oscilador local y de la señal interferente, respectivamente ( $p, q = 0, 1, 2, \dots$ , etc.)

El umbral de sensibilidad de un receptor a la respuesta parásita en la entrada del receptor,  $P_R(f_{SR})$ , se puede expresar mediante:

$$P_R(f_{SR}) = P_R(f_{OR}) + I \log \frac{f_{SR}}{f_{OR}} + J \quad (2)$$

donde:

$P_R(f_{OR})$ : sensibilidad fundamental del receptor (dBm)

$f_{OR}$ : frecuencia fundamental del receptor (MHz)

$I, J$ : constantes para caracterizar el rechazo fuera de sintonía del receptor (en dB/década y dB, respectivamente)

La potencia de la señal interferente producida por las emisiones de un transmisor de ondas decamétricas a la entrada del receptor de la estación terrena de barco,  $P_1(f_{SR})$ , se determina para los armónicos de la fundamental del transmisor mediante la siguiente ecuación:

$$P_1(f_{SR}) = P_T(f_{OT}) + A \log n + B - L_c \quad (3)$$

donde:

$P_T(f_{OT})$ : potencia fundamental (dBm)

$n$ : número del armónico de la frecuencia del transmisor ( $f_{OT}$ ) respecto a la frecuencia de la respuesta parásita del receptor ( $f_{SR}$ ),  $n = f_{SR}/f_{OT}$

$A, B$ : constantes para caracterizar los niveles de radiación armónica del transmisor (en dB/década y dB, respectivamente)

$L_c$ : atenuación por acoplamiento (dB), que comprende los efectos de la propagación, de la antena del receptor y de la antena del transmisor

$L_c$  puede expresarse como:

$$L_c = 10 \log \eta_{af} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi r} + 10 \log \gamma + 10 \log \beta + 10 \log G(\theta, \varphi, \lambda) + 10 \log \eta_f \quad (4)$$

donde:

$\eta_{af}$ : constante de transferencia de la línea de alimentación de la antena del transmisor

$\lambda$ : longitud de onda (para el armónico correspondiente) (m)

$r$ : distancia entre la estación terrena de barco y la antena transmisora en ondas decamétricas (m)

$G(\theta, \varphi, \lambda)$ : ganancia de la antena receptora de la estación terrena de barco, referida al azimut ( $\theta$ ) y a la elevación ( $\varphi$ )

$\eta_f$ : eficacia del alimentador del receptor  $i$

$\beta, \gamma$ : constantes que caracterizan los efectos del desacoplo de polarización de la antena y de los obstáculos físicos.

Las ecuaciones (1) y (2) se emplearon para calcular el umbral de sensibilidad del receptor a las frecuencias de respuesta parásita más próximas a las frecuencias de trabajo de un transmisor de ondas decamétricas. Los datos utilizados en los cálculos son los siguientes:

$$\begin{aligned} f_{OR} &= 1538 \text{ MHz} & f_{LO} &= 1351 \text{ MHz} \\ f_{IF} &= 187 \text{ MHz} & P_R(f_{OR}) &= -139 \text{ dBm} \\ B_R &= 8,5 \text{ MHz} & I &= -20 \text{ dB/década} \\ P &= 0 & J &= 80 \text{ dB} \end{aligned}$$

Los resultados de los cálculos se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

**Umbral de sensibilidad a la respuesta parásita**

$q$	$f_{SR}$ (MHz)	$P_R(f_{SR})$ (dBm)
8	$13,37 \pm 0,53$	-22,6
10	$18,70 \pm 0,42$	-20,7
11	$17,00 \pm 0,39$	-19,9
5	$37,00 \pm 0,85$	-26,7
7	$26,71 \pm 0,61$	-23,8

Las frecuencias de respuesta parásita que se dan en el Cuadro 1 son los subarmónicos FI de primer orden del sistema receptor de la estación terrena de barco.

Mediante la ecuación (3) se calculó la potencia de interferencia de las frecuencias de respuesta parásita y se comparó con los valores obtenidos del umbral de sensibilidad del receptor. Los cálculos se realizaron para las frecuencias de la banda de ondas decamétricas del transmisor,  $f_{OT}$ , que son capaces de producir interferencia a las frecuencias de respuesta parásita del receptor. Se supuso que  $P_T(f_{OT}) = 500$  W,  $A = -70$  dB/década (véase la Nota 1),  $B = -20$  dB, y se utilizó para  $L_c$  una atenuación en el espacio libre en una distancia de 10 m.

NOTA 1 – En los cálculos futuros,  $A$  puede tomar el valor de  $-60$  dB/década sin ninguna degradación de la calidad de recepción.

Los resultados de los cálculos aparecen en el Cuadro 2.

**CUADRO 2**  
**Potencia de interferencia de la respuesta parásita**

$f_{or}$ (MHz)	$n$	$P_1(f_{SR})$ (dBm)	$P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR})$ (dB)
$4,670 \pm 0,1062$	5	-27,0	-4,4
$6,2333 \pm 0,1417$	3	-9,5	+11,2
$17,00 \pm 0,3864$	1	+24,7	+44,6
$8,50 \pm 0,1932$	2	+3,6	+23,5
$12,4666 \pm 0,2833$	3	-15,5	+11,2
$13,3571 \pm 0,3035$	2	-0,3	+23,5

**CUADRO 3**  
**Potencia de interferencia en la frecuencia fundamental del receptor de la estación terrena de barco  $P_1(f_{OR})$**

$f_{or}$ (MHz)	$N$	$P_1(f_{OR})$ (dBm)	$P_1(f_{OR})/P_R(f_{OR})$ (dB)
6,2 a 13,2	248 a 124	-102 a 82	-11 a 9

Estos valores de interferencia se refieren únicamente a los primeros subarmónicos de la FI de la estación terrena de barco. Obsérvese que en las ecuaciones (2) y (3) no se tienen en cuenta las faltas de linealidad de los componentes activos del receptor ni del transmisor que pueden afectar la sensibilidad relativa, o los niveles de radiación para diferentes armónicos.

### 2.4.2 Resultados experimentales

Durante el periodo de experimentación, se midieron los niveles  $(I + N)/N$  para identificar el efecto de las emisiones del transmisor de ondas decamétricas. Dichas emisiones produjeron interferencia a las frecuencias seleccionadas dentro de la banda indicada en el Cuadro 2. Se determinaron los niveles de ruido y de interferencia más ruido para una anchura de banda de 20 kHz en el primer canal de frecuencia intermedia de la estación terrena de barco.

La antena de la estación terrena de barco fue orientada hacia la antena del transmisor en ondas decamétricas, ubicada a una distancia de 8,6 m. El transmisor funcionaba con una emisión de clase A1A y una potencia de 1,5 kW.

En el Cuadro 4 figuran los resultados del tratamiento de los valores medidos de  $(I + N)/N$ .

CUADRO 4

**Valor medio de  $(I + N) / N$  en función de la frecuencia de trabajo del transmisor**

$f_{OT}$ (MHz)	4,68	6,23	8,35	12,51	13,2	16,75
$(I + N)/N$ (dB)	0	20	18	23	17	16

La interferencia medida que se indica en el Cuadro 4 no puede compararse directamente con la interferencia calculada en el Cuadro 2. Cualquier posible incoherencia se debe a varios factores que no se tuvieron en cuenta al calcular los valores del Cuadro 2, por ejemplo, los efectos dependientes de la frecuencia en  $L_c$ .

La interferencia en el canal de recepción era de banda estrecha, dependiendo su nivel de la orientación de la antena de la estación terrena de barco hacia la antena del transmisor en ondas decamétricas.

Durante el periodo de experimentación, se evaluó el efecto de las emisiones del transmisor en ondas decamétricas sobre la calidad de recepción de mensajes telefónicos y télex para  $f_{OT} = 12,502$  MHz, que causa interferencia en la frecuencia de recepción de 1537,75 MHz (canal de satélite). Se determinaron los valores de  $(I + N)/(C + N)$ .

La recepción de mensajes télex de referencia con  $(I + N)/ (C + N) \leq -1$  dB no sufrió perturbaciones. Conviene observar que dicha relación puede llegar hasta 15 dB con ángulos de elevación bajos.

La calidad de recepción de los mensajes telefónicos con  $(I + N)/ (C + N) \sim 2$  dB se consideró satisfactoria,

donde:

$I$ : nivel de la señal de interferencia

$N$ : ruido

$C$ : nivel de la señal portadora deseada.

El canal telefónico quedó completamente bloqueado a causa de la interferencia, cuando el valor de  $(I + N)/(C + N)$  medido en el primer canal de frecuencia intermedia era igual o superior a 5 dB.

### **3 Posibles interferencias ocasionadas por los transmisores de los barcos del servicio móvil marítimo por satélite**

#### **3.1 Interferencia a sistemas aeronáuticos por satélite**

En un estudio realizado se ha demostrado que el riesgo de interferencia debida a un transmisor de barco de un sistema marítimo por satélite sólo existe cuando la aeronave se encuentra a menos de 4 millas marinas del barco y dentro del haz principal del transmisor.

### **3.2 Interferencia a sistemas anticolidión**

Las emisiones no esenciales de los transmisores de los barcos pueden causar interferencia a sistemas anticolidión experimentales. Convendría fijar límites para las emisiones no esenciales a fin de eliminar, en la medida de lo posible, esta fuente de interferencia.

### **3.3 Interferencia producida a otros servicios de radiocomunicación por emisiones fuera de la banda**

Los transmisores de los barcos del servicio por satélite pueden producir intermodulación, armónicos y otras formas de emisiones no esenciales, que podrían constituir una fuente de interferencia perjudicial para otros servicios que funcionan en bandas superiores, intermedias o inferiores a las de 1,5 y 1,6 GHz del servicio móvil marítimo por satélite. Conviene fijar límites a esas emisiones no esenciales de los terminales de a bordo del servicio móvil por satélite a fin de eliminar, en la medida de lo posible, tales interferencias. En los estudios destinados a fijar valores para esos límites se deben tener en cuenta las limitaciones prácticas de los equipos.

### **3.4 Interferencia al servicio fijo por emisiones dentro de la banda**

De conformidad con lo dispuesto en el número 5.359 del Reglamento de Radiocomunicaciones, en ciertas administraciones de las Regiones 1 y 3 la banda 1 540-1 660 MHz está también atribuida al servicio fijo.

Las posibles interferencias causadas al servicio fijo por los transmisores a bordo de barcos figuran en el Anexo I al Informe UIT-R M.917.

## **4 Compatibilidad electromagnética**

A bordo del *American Alliance* se efectuó un estudio de la compatibilidad electromagnética, en puerto y en alta mar, de un equipo terminal del servicio marítimo por satélite que funciona en la banda de 1 500 a 1 600 MHz.

### **4.1 Intensidad de campo**

Las mediciones de intensidad de campo a 1 m de distancia del bastidor del transmisor de radar en la sala de equipos han demostrado que la radiación no era excesiva.

Las mediciones de intensidad de campo en puntos sobre la cubierta revelaron niveles equivalentes o inferiores a los medidos en la sala de equipos.

La ubicación relativa de las antenas influyó en la interferencia producida por el radar al terminal de barco. En el *American Alliance*, la separación entre la antena del sistema marítimo por satélite y la antena del radar de ondas decimétricas era de 9,2 m, y de 7,4 m con respecto a la antena de ondas centimétricas. Una separación menor podría exigir un filtro paso bajo adicional.

### **4.2 Interferencia a radares**

La prueba relativa a la interferencia provocada por el terminal de a bordo a los radares de ondas decimétricas y centimétricas instalados en el *American Alliance* demostró que esto no debiera constituir un problema con una potencia de 15 vatios en el transmisor de barco. Se utilizó un reflector parabólico de 1,2 m de diámetro (4 pies) con un alimentador de polarización circular dextrógira. La ganancia de antena fue de 24 dB en 1 559 MHz.

## 5 Ruido extraterrestre

En el Cuadro 5 se resumen los efectos de las fuentes de ruido radioeléctrico extraterrestre en un sistema para 1 500 MHz.

CUADRO 5

### Características de las fuentes extraterrestres de ruido radioeléctrico a 1 500 MHz

Fuente		Sol	Luna	Júpiter	Casiopea	Centro de la galaxia
Tamaño de la fuente (estereorradianes)		$1,35 \times 10^{-4}$	$1,07 \times 10^{-4}$	Fuentes puntuales	Fuentes puntuales	$1,9 \times 10^{-3}$ ( $2,6 \times 1,4^\circ$ )
Densidad de flujo de potencia ( $W/(m^2 \cdot Hz)$ )		$9,3 \times 10^{-21}$	-	-	$2,2 \times 10^{-23}$	
Temperatura aparente (K)		$10^{-5}$	250	$2 \times 10^3$	-	162
Temperatura de ruido de la antena (K)	Ganancia de la antena 20 dB	107	0,21	<1	0,24	15
	Ganancia de la antena 10 dB	11	$2,1 \times 10^{-2}$	< $10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-2}$	7
	Ganancia de la antena 3 dB	2	$2,1 \times 10^{-3}$	< $2 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-3}$	2 (estimación)

## 6 Ruido atmosférico debido a absorción

Un medio absorbente, como el oxígeno y el vapor de agua de la atmósfera, emite un ruido térmico que puede expresarse como una temperatura aparente del cielo. A 1 600 MHz, la temperatura varía de 80 K a 2 K, cuando los ángulos de elevación varían entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . Con un ángulo de elevación de  $10^\circ$ , la temperatura del cielo es de 10 K, aproximadamente.

## 7 Ruido del terminal receptor del barco en el sistema por satélite

La temperatura de ruido del receptor terminal del barco en un sistema por satélite depende principalmente del tipo de fase preamplificadora y de las pérdidas de alimentación entre la antena y el preamplificador. Normalmente, el preamplificador se montará inmediatamente detrás de la antena para minimizar las pérdidas en el alimentador. Con un montaje de este tipo, un preamplificador de transistores puede dar lugar a una temperatura de ruido del receptor de unos 225 K, y un amplificador paramétrico no refrigerado a una temperatura de unos 55 K.

## 8 Ruido artificial

Se han recopilado datos, en puerto y en alta mar, para aproximadamente diez clases distintas de barcos. Se determinó que todas las fuentes importantes de ruido electromagnético en la banda de

ondas decimétricas medidas eran de banda ancha en comparación con las anchuras de banda consideradas para el futuro sistema móvil marítimo por satélite (1 535-1 660 MHz). El ruido de banda ancha era intermitente y generalmente de duración muy inferior a la de los tipos de mensajes característicos del sistema marítimo por satélite.

Se observó que las fuentes predominantes de ruido electromagnético en la banda de ondas decimétricas estaban ligadas a un equipo eléctrico que funcionaba de manera intermitente en puertos o en sus cercanías. Generalmente este ruido es de banda ancha. Un elevado porcentaje de tales fuentes intermitentes se manifestó como ruido impulsivo de banda ancha debido al encendido de motores de las instalaciones de descarga en los barcos o en los muelles. A menudo, este mismo tipo de ruido procedía de automóviles y camiones en carreteras y puentes próximos a las radas, puertos y canales. También se observa en los puertos una componente del ruido ambiente urbano, que varía en amplitud de un puerto a otro, dependiendo asimismo de la hora del día. La magnitud de este ruido varía en 20 dB según que se mida en un día de trabajo normal o en los fines de semana y días festivos, en que es más baja. Cerca del puerto o en él, se han observado ocasionalmente densidades de potencia de ruido radioeléctrico interferente de 20 a 30 dB por encima de la densidad de potencia de ruido ambiente del receptor, para un receptor con nivel de ruido de 3 dB. Este aumento del nivel de ruido ambiente aparente puede afectar gravemente a los umbrales de funcionamiento del enlace. Más allá de la distancia de visibilidad radioeléctrica directa de cualquier puerto, la interferencia radioeléctrica no debería afectar a la sensibilidad del receptor, especialmente en buques de nueva construcción.

### **8.1 Interferencia debida a los automóviles en autopistas**

La amplitud de cresta del ruido procedente de la autopista de Brooklyn, con tráfico intenso, fue de unos  $-150$  dB(mW/Hz) en la banda de ondas decimétricas. Para esta prueba se utilizó una antena de bocina con una ganancia de 20 dB, orientada en la dirección de la fuente del ruido. En determinadas condiciones de funcionamiento, el ruido artificial debido al tráfico automovilístico puede afectar desfavorablemente al nivel de sensibilidad del receptor.

### **8.2 Ruido de astillero**

En el astillero naval de Boston, que en esa época trabajaba a plena capacidad, se registraron amplitudes de cresta de ruido extremadamente elevadas, de  $-141$  dB(mW/Hz), constituidas por una combinación de ruido ambiente urbano y de ruido electromagnético de banda ancha debido a equipo industrial. Se utilizó una antena de bocina con una ganancia de 20 dB, orientada en la dirección de la fuente del ruido. En determinadas condiciones de funcionamiento, el ruido de astillero puede afectar desfavorablemente al nivel de sensibilidad del receptor en la banda de ondas decimétricas.

### **8.3 Ruido de muelle**

Se comprobó en todos los puertos un ruido impulsivo de banda ancha debido al encendido de los motores de las instalaciones de descarga de los muelles. En Narragansett Bay, a ocho kilómetros de Portsmouth, Rhode Island (Estados Unidos de América), la amplitud de cresta del ruido medido es de aproximadamente  $-137$  dB(mW/Hz) en la banda del receptor del servicio móvil marítimo por satélite. Se han registrado niveles de ruido de  $-150$  dB(mW/Hz) provenientes de las grúas de los barcos. Se utilizó una antena de bocina con una ganancia de 20 dB, orientada en la dirección de las fuentes del ruido.

## Referencias bibliográficas

- CLARKE, J. M., CANTOR., S. R., WINCHUS., J. J. and CAPORALE., A. L. [diciembre 1974] Measurement and analysis of L-band (1 535-1 660 MHz) electromagnetic (EM) noise on ships. Final Report No. CG-D-50-75. US Department of Transportation, Washington, DC 20590, Estados Unidos de América.
- HAAKINSON, E. J. [octubre de 1974] Spectrum resource assessment for the 1 535-1 660 MHz bands (Addendum). OT Technical Memorandum 74-165-2, US Department of Commerce, Washington, DC, Estados Unidos de América.
- HAAKNSON, E. J. and KIMBALL, H. G. [marzo de 1974] Spectrum resource assessment for the 1 535-1 660 MHz band. Phase II – Analysis. OT Technical Memorandum 74-165, US Department of Commerce, Washington, DC, Estados Unidos de América.
- RCA [agosto de 1974] In-harbour and at-sea electromagnetic compatibility survey for maritime satellite L-band shipboard terminal. RCA service Corp. Contract NASS – 24035. National Aeronautics and Space Administration. Washington, DC, Estados Unidos de América.

## Bibliografía

- DUFF, W. C. and WHITE, D. R. J. [1972] *EMI Prediction and Analysis Techniques*. A Handbook Series on *Electromagnetic Interference and Compatibility*, Vol. 5, Germantown, Maryland, Estados Unidos de América.
-

## **SUPLEMENTO 4**

### **Aspectos de la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios**

#### **Resumen**

En este Suplemento se exponen los distintos aspectos técnicos de la coordinación entre sistemas del servicio móvil que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios. En el § 1.2 se resumen brevemente los procedimientos de coordinación del Artículo 9 del RR. Se explica la importancia que revisten las distintas etapas del diseño del satélite para facilitar la coordinación. En el § 2 se detallan los diferentes parámetros pertinentes para la coordinación de sistemas de satélites. También puede encontrarse en este Suplemento el método de coordinación utilizado para coordinar dos sistemas de satélites con la misma cobertura y con coberturas distintas. Por último, se describe brevemente cómo afectará la evolución tecnológica a la coordinación en el futuro.

## **Aspectos de la coordinación entre sistemas del servicio móvil por satélite que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios**

### **1 Introducción**

#### **1.1 Objetivos y alcance**

Antes de que una administración notifique a la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) asignaciones de frecuencias nuevas o revisadas para un sistema del servicio móvil por satélite, debe primeramente cumplir las obligaciones estipuladas en los procedimientos de publicación anticipada y coordinación que especifica el Artículo 9 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). El objetivo de estos procedimientos es garantizar que las asignaciones propuestas no producirán interferencia inaceptable a los sistemas espaciales y terrenales existentes y planificados, ni sufrirán interferencia causada por los mismos.

Los procedimientos detallados en el Artículo 9 del RR establecen la secuencia de interacciones de la administración solicitante con las administraciones afectadas y con la BR. La finalidad del presente Informe es abordar los aspectos técnicos de la coordinación, describiendo aquellos parámetros de diseño y funcionamiento del sistema susceptibles de ajuste para conseguir el objetivo señalado en los procedimientos del Artículo 9 y explicando la manera de ajustar dichos parámetros en la práctica.

El debate y las explicaciones se ciñen a los sistemas concebidos para utilizar las atribuciones al servicio móvil por satélite (SMS) en las bandas 1 525-1 559 MHz (enlace descendente) y 1 626,5-1 660,5 MHz (enlace ascendente) y no abordan la coordinación de tales sistemas con las estaciones terrenales.

#### **1.2 Resumen de los procedimientos de publicación anticipada y coordinación del Artículo 9 del RR**

El procedimiento de publicación anticipada descrito en la Sección I del Artículo 9 del RR tiene lugar antes del procedimiento de coordinación formal expuesto en la Sección II del mismo Artículo, y en él se exige a la administración que propone asignaciones de frecuencia nuevas o revisadas para un sistema de satélites el envío a la BR de la información relativa a las características de la red enumeradas en el Apéndice 4 del RR, de tal manera que pueda publicarse para que cualquier administración la examine y comente en lo que pueda afectar a sus servicios de radiocomunicaciones espaciales.

El RR estipula que si dichos comentarios se reciben dentro de un plazo de cuatro meses a partir de la fecha de publicación, la administración que propone las asignaciones nuevas o revisadas se verá obligada ante todo a examinar todos los medios posibles de reducir la interferencia a niveles aceptables mediante el ajuste del diseño y la disposición del sistema propuesto. Si la administración no llega a encontrar dichos medios, podrá entonces buscar la cooperación de las administraciones potencialmente afectadas para hallar una solución.

En la Sección II del Artículo 9 del RR se detalla el procedimiento de coordinación y las condiciones en las que debe aplicarse. La condición principal es que se requiere coordinación si la interferencia procedente del sistema nuevo hace aumentar la temperatura equivalente de ruido  $T$  en otro sistema de satélites más de un valor  $\Delta T$  en las condiciones más desfavorables que se definen en el Apéndice 8 del RR. El umbral de potencia de interferencia que hace necesaria la coordinación conforme al Apéndice 8 del RR puede ser inferior a lo que considere aceptable un

proveedor de servicios determinado. De aquí que pueda no ser todavía necesario modificar las características de diseño y funcionamiento de ese sistema para ajustarse a una reducción de la interferencia recibida.

En caso de que se necesiten ajustes del sistema para satisfacer los criterios de interferencia aceptable acordados por las administraciones interesadas, se determinan entonces las opciones disponibles durante el proceso de coordinación. En ellas se incluye la reubicación de una o más estaciones espaciales o la modificación de las emisiones, la utilización de frecuencias u otras características técnicas y de funcionamiento de los sistemas, tal como se describe en el § 2.

### 1.3 Importancia de la fase de desarrollo de un sistema de satélites

Antes de analizar la manera de reducir la interferencia mutua entre sistemas mediante el ajuste de los parámetros de diseño y funcionamiento de los sistemas interesados, debe advertirse que la medida en la que pueden ajustarse los parámetros de un sistema dado depende de las características específicas de ese sistema y de su estado de desarrollo. Se pueden distinguir cuatro fases en el desarrollo de un sistema de satélites:

- *Concepción y diseño iniciales:* El plan de diseño del sistema ha avanzado hasta el punto de haberse decidido los valores preferidos de los parámetros técnicos que requiere el Apéndice 4 del RR, incluidas la posición orbital y la frecuencia.
- *Materialización:* Esta fase incluye el diseño detallado y la construcción del satélite con sus estaciones terrenas asociadas y termina con el lanzamiento del satélite. Normalmente requiere varios años.
- *Explotación:* En esta fase, el satélite ya está construido, se ha lanzado y está funcionando desde una posición orbital determinada con su segmento terreno asociado.
- *Sistema de satélites de segunda generación o sustitutivo:* Durante la vida útil del satélite de la primera generación en un sistema, normalmente se diseña y construye un satélite sustitutivo. Cuando llegue el momento de lanzarlo, existirá ya una extensa red de estaciones terrenas y tal vez deba mantenerse cierto número de parámetros de transmisión conexos con el fin de preservar la continuidad del servicio.

Durante la fase de concepción y diseño iniciales se dan las mayores oportunidades para el ajuste de cualquiera de los parámetros de diseño y funcionamiento. Ocurre con frecuencia que una red de un solicitante puede haber entrado en la fase de materialización antes de que el procedimiento de coordinación haya llegado al punto de poder establecer acuerdos. Los otros sistemas potencialmente afectados pueden encontrarse en cualquiera de las cuatro fases.

Los sistemas en fase de materialización pueden todavía ofrecer oportunidades para el ajuste de sus parámetros de diseño y funcionamiento proyectados con miras a reducir la interferencia, pero estas oportunidades disminuyen al acercarse la fecha del lanzamiento.

Los sistemas en fase de explotación poseen numerosos parámetros que están fijados o que solamente pueden ser modificados con un coste apreciable. No obstante, ciertos sistemas están diseñados para incorporar flexibilidad en su explotación, como por ejemplo en la reorientación del haz, los ajustes de la ganancia del transpondedor, las bandas de paso programables, etc. En general, los sistemas móviles por satélite tienen una gran flexibilidad para resolver los problemas de interferencia por medio de ajustes de los planes de frecuencia, como mínimo, con independencia del lugar del ciclo de desarrollo en que se encuentre el sistema, desde su concepción hasta su explotación.

Los satélites sustitutivos para un sistema existente poseen algunas de las flexibles características de las tres fases anteriores. Aunque tal vez tengan que conservarse varios parámetros de transmisión,

es posible incorporar cambios al diseño para reducir la interferencia potencial. La introducción de reajustes en las estaciones terrenas sólo es práctica si se realiza a lo largo de un periodo considerable, en combinación con planes de mantenimiento, restauración o sustitución, o de cesación de servicios atrasados.

#### **1.4 Inhomogeneidad de los enlaces en los sistemas del servicio móvil por satélite**

El reajuste de los parámetros del sistema para satisfacer los criterios de interferencia puede ser más complejo cuando existe una gran inhomogeneidad entre los enlaces del servicio móvil por satélite que se han de considerar. Por ejemplo, entre enlaces que funcionan con antenas de satélite de cobertura total de la Tierra y otros que funcionan con antenas de satélite de haz puntual.

Además de esa inhomogeneidad en los enlaces, los sistemas móviles por satélite pueden tener necesidad de admitir una gama de portadoras de RF que refleje diferencias en el tipo de mensajes, la velocidad binaria de éstos o la anchura de la banda de base, el método de modulación, la técnica de acceso múltiple y otros parámetros.

## **2 Parámetros de la coordinación**

Los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema que deben considerarse en el transcurso de la coordinación incluyen prácticamente cualquier parámetro que pueda afectar a la interferencia entre sistemas. Los parámetros que van a examinarse aquí son los siguientes:

- criterios de interferencia admisible y aceptada;
- plan de frecuencia de transpondedores y de polarización;
- planes de frecuencia de portadoras;
- cobertura de la antena del satélite y zonas de servicio;
- discriminación de las antenas de estación terrena;
- control de potencia de la estación terrena;
- ganancias de transpondedores y p.i.r.e. del satélite;
- posiciones del satélite;
- cronograma de explotación.

### **2.1 Criterios de interferencia admisible y aceptada**

En el RR se definen dos tipos de niveles de interferencia utilizables en la coordinación de asignaciones de frecuencias entre administraciones. «Interferencia admisible» es la que cumple criterios cuantitativos de interferencia y compartición contenidos en dicho RR o en las Recomendaciones del UIT-R, o bien en acuerdos especiales como prevé el RR. «Interferencia aceptada» es la interferencia a un nivel superior al definido como interferencia admisible y que ha sido objeto de un acuerdo entre dos o más administraciones, sin causar perjuicio a otras administraciones. En el Informe UIT-R M.1179-1 se describe un método para determinar los niveles admisibles de interferencia.

Cuando se toman como «objetivos de interferencia» en la planificación global de un sistema, los criterios de interferencia de interés son aplicables a la interferencia total o combinada procedente de todas las fuentes, tanto dentro del sistema como entre sistemas distintos. No obstante, como la coordinación suele realizarse de una manera bilateral, los criterios de interferencia utilizados en la coordinación se aplican a interferencia mutua entre sistemas producida por una sola fuente. Los criterios aplicables a tales fuentes de interferencia deben elegirse de tal manera que, si los cumple

por separado cada sistema interferente, la interferencia total no rebasará los niveles especificados por los criterios de interferencia combinada para la interferencia mutua entre sistemas.

En ausencia de Recomendaciones del UIT-R que especifiquen criterios de interferencia de una sola fuente aplicables a la interferencia mutua entre sistemas admisible, cada administración que participe en una acción de coordinación tiene libertad para especificar los niveles de interferencia admisible y aceptada que crean necesarios para proteger los canales de su sistema, si bien estos niveles pueden ser reconsiderados durante la coordinación. La coordinación se verá facilitada por la flexibilidad en dos aspectos: la relación del nivel de interferencia combinada al nivel de interferencia procedente de una sola fuente y la diferencia entre los criterios de interferencia aceptada y de interferencia admisible.

Tal vez sea posible adoptar criterios menos estrictos de interferencia de una sola fuente en situaciones en que la relación supuesta de la potencia de interferencia combinada a la de una sola fuente sea prudentemente elevada, siempre que se satisfagan los criterios de interferencia combinada.

Cuando se compara la interferencia aceptada con la interferencia admisible, los enlaces reales disponibles en algunos sistemas pueden ofrecer unos márgenes de calidad de funcionamiento más amplios que los enlaces representativos sobre los cuales se basa la interferencia admisible. Ello podría permitir una aceptación posterior de niveles más elevados de interferencia combinada sin dejar de cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento del enlace. No obstante, los valores de capacidades de cresta o los márgenes para el enlace, en los satélites limitados en potencia, se reducen al aumentar la interferencia combinada. La aceptación de criterios relajados para la potencia de interferencia combinada es sin duda un asunto que se debe decidir estrictamente durante la coordinación y no debe darse por resuelto a la hora de proyectar los sistemas antes de la coordinación.

## **2.2 Plan de frecuencia de transpondedores y de polarización**

El plan de frecuencia de transpondedores y de polarización para un sistema de satélites describe las bandas de paso de los transpondedores y la polarización de las antenas de recepción y transmisión a las que cada uno de los transpondedores está o puede estar conectado. Las bandas de paso de los transpondedores pueden superponerse parcialmente (por ejemplo, para haces que no se solapan en un satélite multihaz). En principio, se pueden elegir planes de frecuencia de transpondedores o de polarización que faciliten la reutilización de frecuencias, tanto dentro del sistema como entre sistemas distintos.

En la práctica, sin embargo, no existe ningún plan regular o normal de frecuencia de transpondedores o de polarización para el servicio móvil por satélite. Además, aunque la discriminación de polarización ofrezca cierta reducción de la interferencia en algunos casos, por lo general las estaciones terrenas móviles no pueden diseñarse para aprovechar esa mejora teórica, debido a una serie de factores, entre ellos las deficiencias en el comportamiento de la antena, la despolarización asociada con los trayectos múltiples y los requisitos de interfuncionamiento entre sistemas.

Pese a todo ello, durante la publicación anticipada y la coordinación hay oportunidad para que las administraciones redefinan el plan de transpondedores de un sistema, con el fin de reducir la interferencia respecto de otros sistemas. Asimismo, tal vez sea posible negociar las restricciones sobre la utilización del plan de transpondedores existente de un sistema en explotación con objeto de satisfacer los criterios de interferencia aceptada.

Así, por ejemplo, cuando se prevé que unas señales no deseadas procedentes de otro sistema puedan producir una carga inaceptable de los transmisores del enlace de conexión descendente, acaso sea

posible negociar restricciones del plan de frecuencias de portadoras (véase el § 2.3 más adelante) para el sistema interferente o restricciones del plan de transpondedores para el sistema interferido, con el fin de mitigar el problema. Se pueden predecir estadísticamente niveles de carga y utilizar éstos para determinar el grado de restricción que es necesario aplicar a los planes de frecuencias de portadoras o de transpondedores.

En el caso de transpondedores equipados con bandas de paso programables, tal vez puedan aceptarse restricciones en la configuración de las bandas de paso para solventar los problemas de carga de los transpondedores. Esta técnica es especialmente prometedora para los satélites de haces múltiples, por cuanto quizá solamente algunos de los haces necesiten restricción. Otra ventaja es que las bandas de paso programables permiten realizar cambios en el plan de los transpondedores incluso en la fase de explotación.

### **2.3 Planes de frecuencias de portadoras**

El plan de frecuencias de portadoras de un sistema de satélites señala las frecuencias que se han de utilizar dentro de las bandas de paso de los transpondedores para cada tipo de portadora que haya de proporcionar el sistema. Los sistemas de servicios móviles por satélite suelen utilizar varias clases de portadora correspondiendo a los tipos de estaciones terrenas. Por consiguiente, cuando se analiza la interferencia entre dos de estos sistemas hay que considerar un gran número de combinaciones de enlaces.

Por ejemplo, algunos satélites admitirán más de 10 tipos diferentes de portadoras, algunos de los cuales serán transmitidos por más de un tipo de estación terrena móvil. Esta tarea de evaluar las interacciones entre todos los enlaces puede facilitarse utilizando el software adecuado.

En una situación de compartición típica, puede ocurrir que varias de las interacciones cocanal posibles entre los enlaces cumplen desde el principio los criterios de niveles de interferencia admisible. Si los enlaces que plantean dificultades son pocos (por ejemplo, uno o dos) debe considerarse seriamente la opción de planificar las frecuencias portadoras.

A modo de ejemplo, considérese la dificultad de compartición cocanal entre un solo enlace y algunos de los enlaces de otro sistema. Es aceptable una restricción de funcionamiento sencilla en los casos en que se han evitado las interacciones conflictivas mediante el acuerdo de observar las restricciones de asignación de canal necesarias. Ello puede lograrse en sistemas que utilicen acceso múltiple con asignación por demanda (AMAD) implantando las protecciones de las asignaciones de frecuencia adecuadas en el soporte lógico de AMAD.

Los enlaces que no puedan compartir frecuencias sobre una base cocanal deberán sujetarse a planes de frecuencias portadoras que aseguren unas desviaciones de frecuencia en cantidades especificadas con respecto a los correspondientes enlaces que causan problemas. Una vez más, la solución puede tomar la forma de control por soporte lógico de la asignación de canales dentro del plan de frecuencias del sistema.

### **2.4 Cobertura de la antena del satélite y zonas de servicio**

La(s) zona(s) de servicio de un sistema de satélite son aquellas áreas geográficas en cuyo interior se supone que las estaciones terrenas asociadas al sistema funcionarán con una relación de calidad señal/ruido especificada y con una protección también especificada contra la interferencia procedente de otros sistemas. La zona de cobertura es el área geográfica dentro de la cual la relación señal/ruido cumple las especificaciones. En sistemas de satélite de un solo haz, la zona de cobertura generalmente encierra la zona de servicio entera. En sistemas de haces múltiples, las coberturas de haz individuales serán más pequeñas que la zona de servicio, pero consideradas en su conjunto la abarcarán por completo.

La discriminación que proporcionan las antenas de satélite en el caso de sistemas con zonas de servicio que no se solapan puede ser suficiente para permitir una compartición cocanal exenta de restricciones. En otros casos, las interacciones entre cada haz de un sistema y los diversos tipos de enlaces y estaciones terrenas móviles en el otro sistema han de ser examinadas individualmente. El haz o los haces de la antena de satélite de un sistema se ha(n) de analizar en relación con la(s) zona(s) en servicio del otro.

A menudo se utilizan diagramas de radiación de referencia de antena representativos en los análisis de interferencia; no obstante, en numerosos casos los diagramas de radiación reales pueden ofrecer una discriminación mayor que los diagramas de referencia. En algunos casos puede resultar posible diseñar antenas de satélite con unos niveles de lóbulos laterales considerablemente reducidos en la dirección de las zonas de servicio de otros sistemas que no se solapan.

Los satélites de haces múltiples pueden ofrecer también oportunidades para obtener una discriminación más elevada de la antena de satélite que facilite la coordinación. Esa mayor discriminación para los sistemas puede obtenerse de las siguientes maneras:

- redistribución o nueva colocación de los haces siempre que se mantenga cubierta adecuadamente la zona de servicio compuesta;
- disminución de las dimensiones del haz de modo que se acelere la caída progresiva de ganancia al aumentar el ángulo con respecto al eje;
- nueva colocación de todo el conjunto de haces mediante ajustes del ángulo de exploración o del ángulo de rotación;
- nueva colocación de los haces y reducción de su número, posiblemente con cierto sacrificio de la calidad de funcionamiento en el borde de la zona de servicio compuesta;
- reducción al mínimo de la ganancia específicamente dirigida hacia la(s) zona(s) de servicio afectada(s) del otro sistema por medio de una optimización del diseño de la antena.

## **2.5 Discriminación de las antenas de estación terrena**

A menudo se utilizan en la coordinación diagramas de radiación de referencia de antenas de estación terrena representativos. No obstante, se pueden utilizar diagramas de radiación medidos directamente pero con ciertas precauciones puesto que habrá de tomarse en consideración la posible distorsión del diagrama de radiación de campo lejano causada por los objetos próximos a la antena (por ejemplo, coches y aviones). En la coordinación se tiene que considerar la zona de servicio para cada tipo de estación terrena móvil con respecto al haz o haces del otro sistema.

## **2.6 Control de potencia de la estación terrena**

Algunos tipos de estación terrena móvil pueden estar equipados con control de potencia, de tal modo que sus niveles de p.i.r.e. en el enlace ascendente estén bajo el control del sistema en el que están trabajando. Los sistemas que utilizan también transpondedores lineales podrían tal vez aceptar ciertas restricciones en el algoritmo que gobierna los niveles de potencia de la estación terrena móvil. En algunos casos la ganancia del transpondedor puede ajustarse para compensar esta restricción. Hay posibilidad de determinar restricciones moderadas en la p.i.r.e. capaces de reducir eficazmente la interferencia, ya sea originada o recibida. Esta evaluación se realiza de un modo individual para cada portadora y cada haz.

## **2.7 Ganancias de transpondedores y p.i.r.e. del satélite**

En los casos en que unos niveles de potencia total de las señales no deseadas procedentes de las estaciones terrenas móviles explotadas en otros sistemas pudieran cargar el enlace de retorno del satélite como resultado de un solape en los planes de frecuencias portadoras, puede ser necesario restringir los valores de ganancia del transpondedor con el fin de reducir al mínimo la pérdida de potencia que origina dicha carga. No obstante, se puede evitar recurrir a ajustes especiales mediante unos procedimientos rutinarios para ajustar la ganancia de los transpondedores.

Análogamente, con objeto de asegurar una recepción adecuada en las estaciones terrenas móviles, los niveles de p.i.r.e. del satélite utilizados en dirección de ida de los enlaces de servicio descendentes deben en todo momento igualar o superar unos niveles predeterminados. No obstante, cuando el nivel de tráfico a través del satélite es muy inferior al valor de cresta de la capacidad del sistema pueden producirse niveles de p.i.r.e. en el enlace descendente innecesariamente elevados. Puede limitarse la interferencia en el enlace descendente ajustando los valores de la ganancia para así restringir la p.i.r.e. máxima utilizada en la portadora del enlace descendente. Para un tipo dado de enlace descendente, el margen entre p.i.r.e. mínima y máxima no puede reducirse por debajo de cierta cantidad debido a la necesidad de tolerancias en el control de los niveles de p.i.r.e. del enlace de conexión ascendente y de la ganancia del transpondedor.

## **2.8 Posiciones del satélite**

La interferencia en los enlaces procedentes de estaciones terrenas móviles o dirigidos a ellas no se reduce en medida considerable al aumentar la separación entre satélites, mientras dicha separación no llegue a superar la mitad de la anchura del haz entre puntos de potencia mitad de las estaciones terrenas. A pesar de ello, tal vez sea posible suprimir las interacciones conflictivas que afecten a antenas de estación terrena de ganancia mediana o alta mediante un ajuste de la separación orbital. Con estaciones terrenas de ganancia reducida, es obvio que la capacidad de conseguir esto es mucho más limitada.

La posición orbital puede también mejorar el aislamiento de un satélite en las siguientes circunstancias excepcionales:

- En un satélite que utilice un haz de antena de cobertura total de la Tierra puede mantenerse la cobertura de la zona de servicio desde posiciones orbitales distintas, al tiempo que se reduce el solape de la zona de cobertura con la(s) zona(s) de servicio de los demás sistemas.
- En satélites en proyecto que empleen haces múltiples pueden reducirse o eliminarse los solapes entre la(s) zona(s) de cobertura de un sistema y la(s) zona(s) de servicio de otro, en la medida en que pueda variarse la cobertura modificando la posición del satélite.

## **2.9 Cronograma de explotación**

Si los valores de cresta del tráfico en dos sistemas no se producen al mismo tiempo existe la posibilidad de aceptar un acceso en tiempo compartido a segmentos comunes del espectro. Ello se puede facilitar mediante la utilización de un enlace de comunicaciones que interconecte dichos sistemas.

## **3 Metodología de coordinación**

Como se indicó anteriormente, los procedimientos señalados en el Artículo 9 del RR para publicación anticipada y coordinación solamente proporcionan métodos para determinar cuándo deben aplicarse estos procedimientos, cuáles son las administraciones afectadas, qué clase de información debe intercambiarse y la secuencia y el momento adecuado de los intercambios de

información. La metodología para decidir si es necesario ajustar los parámetros técnicos y de funcionamiento de los sistemas interesados en un proceso de coordinación se deja a discreción de las administraciones participantes. En esta cláusula se expondrán las posibles metodologías que se pueden utilizar durante la coordinación técnica.

### **3.1 Supuestos básicos**

Se supone que al menos algunas asignaciones de frecuencia propuestas para un nuevo sistema del servicio móvil por satélite «B» deben coordinarse con las de un sistema «A» también de servicios móviles que ya esté en coordinación o explotación. Aunque el sistema «B» acaso tenga que coordinarse con más de un sistema, las coordinaciones se realizan habitualmente de manera bilateral.

Se supone además que para el sistema «A» se han suministrado tanto la información obligatoria como la más detallada sobre características del sistema enumeradas en el Apéndice 4 del RR, y que también se ha publicado la información correspondiente para el sistema «B». La flexibilidad para el ajuste de estas características del sistema durante el proceso de coordinación dependerá de la fase de desarrollo del sistema, como se ha descrito en el § 1.3 anterior.

Se supone que el sistema «B» se encuentra o bien al final de la fase de concepción y diseño o en los comienzos de su materialización, mientras que el sistema «A» está al final de la fase de materialización o en la de explotación. Así, la administración responsable del sistema «B» («administración solicitante») generalmente tendrá más flexibilidad para el ajuste de parámetros que la administración del sistema «A» («administración afectada»). Aun en este caso, a la administración afectada le incumbe también responsabilidad en hacer ajustes factibles.

### **3.2 El proceso de coordinación**

Como en el caso del servicio fijo por satélite (SFS), el proceso de coordinación del SMS puede dividirse en tres fases:

*Fase 1* – Evaluación de las interacciones de las transmisiones de los sistemas interesados («A» y «B») respecto de criterios de interferencia predeterminados; si se prevén de antemano niveles de interferencia inaceptables será necesario avanzar hacia la Fase 2, y si ello no fuere así las administraciones podrán acordar que no se necesita ajuste alguno de los parámetros de diseño del sistema.

*Fase 2* – Ajuste de los parámetros técnicos y de funcionamiento que podrían facilitar una resolución completa o parcial de los problemas de interferencia identificados en la Fase 1. Sin embargo, en los ajustes efectuados durante esta fase no debe exigirse a ningún sistema que limite su modo de explotación actual o en proyecto, ni tampoco el tipo, la distribución o la calidad del servicio.

*Fase 3* – Examen y negociación de ulteriores ajustes y restricciones de los parámetros del sistema para uno u otro o para ambos sistemas, en caso de no haberse resuelto los problemas de interferencia durante la Fase 2. Dichas modificaciones podrían afectar la flexibilidad de explotación y las futuras posibilidades de ampliación de uno u otro o de ambos sistemas.

### **3.3 Identificación de interacciones importantes**

En la primera fase de la coordinación es necesario identificar dónde tiene más probabilidades de producirse la interferencia entre los sistemas «A» y «B», y para ello debe examinarse cada banda o segmento de banda que sea común a ambos sistemas en cada haz de satélite en los dos segmentos espaciales. Deberán examinarse todas las configuraciones de funcionamiento posibles.

Al examinar los diversos enlaces de los dos sistemas como se define en el § 1.4, es deseable comparar primeramente su vulnerabilidad relativa a la interferencia y la repercusión comparativa del ajuste de los parámetros del enlace sobre los niveles de interferencia.

### **3.3.1 Enlace de conexión en relación con el enlace de servicio**

En principio, la coordinación puede suponer la alteración de diversos parámetros de los enlaces de conexión o los enlaces de servicio. En general es conveniente centrarse en primer lugar en la coordinación de los enlaces de servicio, porque los enlaces de conexión suelen emplear antenas de estación terrena relativamente grandes con mayor discriminación de satélites adyacentes, y la interferencia depende en un grado más acusado de los parámetros del enlace de servicio.

### **3.3.2 Enlace de servicio de ida en relación con el enlace de servicio de retorno**

Debido a las grandes diferencias en las características de transmisión y recepción que existen entre un satélite y una estación terrena móvil, los ajustes de la mayoría de los parámetros descritos en el § 2 pueden afectar de modo distinto a los enlaces de servicio de ida y de retorno. Algunos de ellos afectarán solamente al enlace de ida (estación espacial-estación terrena móvil) o al de retorno (estación terrena móvil-estación espacial).

## **3.4 Ajuste de los parámetros técnicos y de funcionamiento**

En el Cuadro 1 se resumen la conveniencia práctica y las ventajas de realizar ajustes y restricciones de parámetros durante el proceso de coordinación. La conveniencia práctica se refiere a la fase de desarrollo, y las ventajas se describen de forma separada para los enlaces de ida y los de retorno de los dos sistemas.

Para exponer la manera en que pueden ajustarse los parámetros para los enlaces de servicio en las fases segunda y tercera de la coordinación se consideran dos casos básicos:

- caso sin cobertura común, en el que las redes de satélite sirven zonas geográficas separadas;
- caso con cobertura común, en el que las redes de satélites tienen zonas de servicio que se solapan.

Dependiendo en gran medida de cuál de los dos casos se aplique a los sistemas «A» y «B» y de si se espera encontrar la interferencia principal en el enlace de ida o en el de retorno será posible evaluar aproximadamente la conveniencia práctica y las ventajas de las diversas opciones de ajuste de los parámetros del sistema.

### **3.4.1 Caso sin cobertura común**

Si el sistema «A» y el sistema «B» cubren diferentes zonas de servicio y se ha determinado que a pesar de ello se presentará un problema de interferencia, la administración «B» puede desear concentrarse primero en el diseño de la antena del vehículo espacial. El objetivo consistiría en alterar o constreñir la cobertura de la antena del satélite de manera que se adapte más estrechamente a la zona de servicio y además se logre un mayor aislamiento entre sistemas en la dirección de la zona de servicio del sistema «A». Esto es práctico solamente en la fase de diseño y quizás en los principios de la de materialización del sistema «B». El ajuste de la cobertura de la antena del vehículo espacial del sistema «A», cuyo satélite se supone que está al final de la fase de realización o en la de explotación, en general sólo es práctico en el caso de que el satélite emplee haces puntuales programables u orientables.

CUADRO 1

**Conveniencia práctica y ventajas generales de aceptar restricciones o ajustes en los parámetros del sistema**

Parámetro a ajustar	Conveniencia práctica relativa a cada fase de desarrollo del sistema				Ventaja de reducción de interferencia	
	Concepción y diseño	Materialización	Explotación	Satélite 2ª gen./sustitución	Enlace de ida	Enlace de retorno
Criterios de interferencia aceptable	M-H	M-H	M-H	M-H	M	M
Bandas de paso del transpondedor	M-H	M	L*	M-H	L	M
Polarización	M-H	M	L	L	L	L
Planes de frecuencias portadoras	H	H	M	M	H	H
Cobertura de antena de satélite	H	M	L	H	CC:L NCC:M-H	CC:L NCC:M-H
Zonas de servicio del satélite	L	L	L	L	CC:L NCC:M	CC:L NCC:M
Discriminación de antena estación terrena móvil	M	L-M	L	L	L	L-M
p.i.r.e. de estación terrena (control de potencia)	M	M	L-M	M	M	M
Ganancias del transpondedor y p.i.r.e. de satélite	M	M	M	M	M	L
Posición del satélite	M	L-M	L	L	CC:L NCC:L-M	CC:L NCC:L-M
Cronograma de explotación	L-M	L-M	L-M	L-M	H	H

Leyenda: H – Alta, M – Moderada; L – Baja o ninguna; CC – Cobertura común; NCC – Sin cobertura común.

\* Solamente si se utilizan bandas de paso programables.

En los casos sin cobertura común en los que se predice que habrá interferencia inaceptable desde el sistema «B» al sistema «A» solamente en el enlace de ida, uno o ambos pueden cambiar la p.i.r.e. de su satélite con el fin de obtener unas relaciones portadora/ruido más potencia de interferencia satisfactorias sin sacrificar indebidamente la calidad de funcionamiento.

En alguno de los casos sin cobertura común puede mejorarse la discriminación modificando la posición propuesta del satélite «B» o la posición actual del satélite «A» en el sentido de aumentar la separación orbital entre ellos. Dada la limitada directividad de la mayoría de las antenas de estaciones terrenas móviles, esta opción tendrá solamente un efecto moderado en la interferencia entre sistemas «A» y «B», y por ello se consideraría como un último recurso. No obstante, para superar un problema de interferencia puede ser atractivo trasladar el satélite por cuanto ello podría hacerse con escasa repercusión en el coste o en el cronograma del desarrollo del sistema «B».

En el caso sin cobertura común varias de las opciones descritas en el § 2 pueden no ser necesarias si la discriminación de antena del satélite puede proporcionar la mayor parte del aislamiento requerido. No obstante, si el problema de interferencia es grave las administraciones pueden verse obligadas a recurrir al intercalado de frecuencias o a otras opciones.

### **3.4.2 Caso con cobertura común**

Cuando existe cobertura común el aislamiento total alcanzable entre los sistemas en los enlaces de servicio es claramente menor que el existente en el caso sin cobertura común puesto que una misma región geográfica (o una parte de ella) será atendida por ambos sistemas «A» y «B». Si el sistema «B» está todavía en la fase de diseño, y se espera que haya una interferencia mutua inaceptable entre sistemas, ello puede decidir a considerar la posibilidad de modificar el plan de frecuencia/polarización con el fin de, por ejemplo, intercalar las bandas de paso del transpondedor con las del sistema «A».

Pueden además contemplarse cambios de los planes de frecuencias portadoras con objeto de reducir la interferencia mutua entre sistemas. Así, el intercalado de los canales haría disminuir la relación de protección requerida entre los sistemas y se podría proyectar una disposición de las portadoras que redujera la intermodulación. El intercalado de los canales de los dos sistemas (tal vez en combinación con una p.i.r.e. ajustada del satélite) sería tal vez suficiente para resolver el problema de interferencia.

En el caso con cobertura común, las alteraciones de diseño que repercuten en la cobertura de la antena del satélite tienen muy poco o ningún efecto en los enlaces de servicio de ida o de retorno, a menos que una administración elija limitar o modificar su zona de servicio en el caso de cobertura común parcial. Las ventajas son pocas.

## **4 Repercusión de la evolución tecnológica en las coordinaciones futuras**

Muchos de los avances tecnológicos en curso para mejorar la calidad de funcionamiento de los sistemas móviles por satélite pueden intensificar asimismo la compatibilidad entre dichos sistemas y mejorarán los resultados de la coordinación. De aquí que las capacidades de los recursos de órbita o espectro para satisfacer requisitos futuros estén generalmente en expansión.

Los métodos de modulación con un buen rendimiento espectral y los códecs vocales de baja velocidad deberían dar lugar a unas menores anchuras de banda de canal o a una mayor tolerancia a las interferencias, lo cual permite una planificación más flexible de las frecuencias. las técnicas de acceso múltiple tales como el acceso múltiple por división de código (AMDC) basadas en la modulación de espectro ensanchado pueden conseguir una mayor tolerancia a la interferencia en los sistemas del servicio móvil por satélite.

La linealización de los transpondedores reducirá el ruido interno del sistema (por ejemplo, la intermodulación) y el incremento resultante de los márgenes puede permitir la aceptación de niveles de potencia de interferencia más altos. Las antenas de satélite de haces múltiples, con haces más pequeños y niveles de lóbulos laterales reducidos permitirán un mejor ajuste de las zonas de cobertura a las zonas de servicio de lo que resultará en un mayor aislamiento entre los sistemas. Los conceptos futuros de planificación flexible de haces puntuales deberán permitir una atribución dinámica de frecuencias y potencias a los haces, garantizando al mismo tiempo una eficaz utilización del espectro.

La utilización generalizada de antenas de estaciones terrenas móviles de ganancia mediana a alta, acaso favorezca la compatibilidad en los casos en que se puedan separar adecuadamente los satélites. Aunque no necesariamente dirigidos a mejorar la coordinación, estos adelantos pueden otorgar la recompensa de potenciar la compatibilidad entre los sistemas, con el resultado de facilitar las coordinaciones futuras.

## **5 Conclusiones**

Durante la publicación anticipada y la coordinación de las asignaciones de frecuencia a sistemas de servicios móviles por satélite, un análisis detallado puede identificar las interacciones que producen una interferencia inaceptable. En diversas etapas del desarrollo pueden ajustarse varios parámetros de diseño y/o funcionamiento con objeto de disminuir la interferencia identificada; sin embargo, debe advertirse que en los sistemas existentes no pueden modificarse ciertos parámetros de satélite hasta que no se llega a la fase de sustitución.

Se espera que la nueva tecnología ofrezca una mayor calidad de funcionamiento en cuanto a capacidad, y que pueda también mejorar la compatibilidad entre sistemas y reducir la necesidad de que las administraciones deban realizar ajustes durante la coordinación. Todos los explotadores de sistemas de servicios móviles por satélite son responsables de incorporar flexibilidad a sus diseños y actividades de explotación de tal manera que se facilite el proceso de coordinación.

---







\* 3 0 9 9 9 \*

Impreso en Suiza  
Ginebra, 2008  
ISBN 92-61-12163-2