

INFORME 921-2

ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS SISTEMAS DE ESTACIONES TERRENAS DE BARCO DIGITALES

(Programa de Estudios 17A/8)

(1982-1986-1990)

1. Introducción

En este Informe se examinan diversos aspectos técnicos relativos a las características de los sistemas y canales de comunicaciones para normas de estaciones terrenas de barco digitales y en particular el compromiso entre los requerimientos del sistema para 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 actual de comunicaciones marítimas por satélite está concebido para funcionar con estaciones terrenas de barco que tienen un factor G/T de $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$. Se da por supuesto que las normas de estaciones terrenas de barco digitales que se establezcan en el futuro se caracterizarán por valores similares o menores de la relación G/T y tal vez por menores tamaños de antena, como se resume en el cuadro I para el caso del sistema INMARSAT.

CUADRO I — Resumen de las características de estaciones terrenas de barco existentes y posibles del sistema INMARSAT

Norma de la estación terrena de barco	Ganancia de antena (dBi)	G/T (dB(K ⁻¹))	Posibilidades de servicios
A	21-24	-4	La gama completa de correspondencia pública
B	21	-4	La gama de correspondencia pública y servicios <u>de transmisión de datos</u>
Variante B	12-15	-13 a -10	(En estudio)
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 un terminal 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 están limitados en potencia, al menos en un futuro próximo.

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 esto podría crear un peligro de radiación y la posibilidad de una interferencia mayor a otros satélites marítimos.

En consecuencia, es 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 han previsto los nuevos conceptos, denominados en el cuadro I 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 habitual utiliza la modulación analógica MF para telefonía. En ambos casos, se prevé un nuevo sistema de señalización y control de acceso diferente del sistema existente y con otras características de canal que se espera proporcionen una capacidad y eficacia de señalización mejoradas. En el sistema de la norma B, la asignación por demanda de canales se basa en enlaces MDT de ida que pueden 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 combina en enlaces de acceso aleatorio MDT de ida y de retorno, utilizando técnicas ARQ.

Se están investigando también diversas variantes de los nuevos conceptos. En el anexo I se describe una estación terrena digital de barco similar a la de la norma B, con valores de la relación G/T de $-10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ y $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$. En el anexo II se describe la calidad de funcionamiento de una estación terrena de barco de baja relación G/T ($G/T = -13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) con un canal vocodificador de 2400 bit/s. En el anexo III se examina el concepto de sistema de llamada de grupo mejorada.

El anexo IV contiene los resultados experimentales obtenidos con corrección de errores sin canal de retorno (FEC) como técnica de compensación del desvanecimiento multirrayecto. En el anexo V se describe un método de evaluación estadística para un estabilizador de antena pasiva.

En el anexo VI se describe un concepto de sistema de comunicación que se basa en un esquema de codificación adaptativo adecuado para las estaciones terrenas móviles de datos únicamente (por ejemplo, marítimas, aeronáuticas y móviles terrestres con una relación G/T de $-24 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$). El Informe 509, anexo II, incluye una descripción detallada del esquema de codificación. El sistema de comunicación considerado se basa en el MDT en el enlace de ida y el acceso múltiple por distribución por código (AMDC) en el enlace de retorno.

En el anexo VII se describe con más detalle el sistema de norma C propuesto por INMARSAT.

2. Sistema sucesor (norma B)

2.1 *Concepto de sistema y aspectos de servicio*

Se supone que la eventual introducción del sistema de norma B constituirá 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 comprendiendo datos en banda vocal;
- datos _____ para servicios a baja velocidad (hasta 9,6 kbit/s aproximadamente) comprendiendo telegrafía, teletex y facsimil;

El sistema de señalización y el plan de numeración adoptado para las estaciones terrenas de barco permitirían la interconexión en las estaciones costeras entre los canales de satélite y las redes terrenales apropiadas para telefonía, telex y datos, incluida capacidad para trabajar con la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

Además de los servicios básicos anteriores, se supone también que el sistema de la norma B continuará proporcionando otras capacidades disponibles con la norma A, tales como la alerta de socorro por telefonía y télex, datos a gran velocidad a 56 kbit/s, en la dirección barco-costera y funcionamiento multicanal y una gama de servicios de datos a velocidades de 16 kbit/s y superiores.

Se espera que la telefonía continúe siendo el servicio principal en cuanto a utilización del segmento espacial. La introducción de técnicas digitales brindará 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 547), se supone que un objetivo de diseño para la norma B será el proporcionar telefonía de gran calidad en condiciones nominales equivalentes (subjetivamente) al menos al sistema MF con compresión-expansión de la norma A, con una calidad telefónica aceptable en condiciones de propagación adversas para pequeños ángulos de elevación del satélite. Además se supone que la p.i.r.e. del satélite necesaria para alcanzar estos objetivos, será comparable a la requerida por la norma A. Aplicando activación por la voz y control de potencia en los enlaces de ida, la p.i.r.e. media de satélite por canal se reduciría todavía a un valor menor que el necesario para la norma A.

La realización digital del equipo de estación terrena de barco posibilitará una amplia variedad de servicios de datos. INMARSAT está estudiando la definición de los servicios de telegrafía y señalización.

2.2 *Técnicas de codificación vocal*

El Informe 509 indica que 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 sin canal de retorno, 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 supone que la continua evolución de la tecnología de circuitos LSI permitirá poder realizar 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 pueden conseguirse los objetivos de calidad vocal requeridos con una velocidad de codificación digital de 16 kbit/s y una proporción de bits erróneos (BER) del orden del 10^{-2} a 10^{-3} , utilizando la codificación adaptativa-predictiva (CPA) o la codificación por sub-bandas (CSB) como método de codificación vocal. Esto proporcionaría 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.

La información disponible normalmente indica que la calidad vocal subjetiva obtenida con técnicas de vocodificador de baja velocidad no es aún suficiente para los objetivos de calidad deseados y que se necesitan estudios y desarrollos ulteriores en esta materia. Sin embargo estos sistemas ponen de manifiesto una posibilidad útil para reducir las exigencias de potencia del satélite y anchura de banda para velocidades de codificación del orden de 9,6 kbit/s o inferiores, por lo que podrían aplicarse a futuros servicios marítimos de comunicaciones por satélite y quizá a otros sistemas de comunicaciones móviles por satélite. Por ejemplo, podría aplicarse CPA a 9,6 kbit/s a la variante de $-10 \text{ dB(K}^{-1})$ del sistema de norma B, que se cree que permitiría una calidad vocal aceptable para la correspondencia pública.

2.3 *Técnicas de modulación*

El Informe 509 examina diversas técnicas de modulación digital que pueden aplicarse a la norma B y compara las características de calidad de BER resultantes, la eficacia de utilización de la anchura de banda y la complejidad de realización práctica.

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 costera de barco para las transmisiones barco-costera. Sin embargo la modulación MDP-4 desplazada, 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 funcionamiento en 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 (véase el Informe 708).

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

La codificación convolucional de velocidad 1/2 (longitud límite, $k = 7$) con decodificación de Viterbi y decisión programada se ha utilizado ampliamente en los sistemas por satélite, por lo que constituye una técnica muy probada. Su realización es posible con tecnología VLSI. Las ganancias de codificación que pueden conseguirse en la práctica se aproximan 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 aplica habitualmente con tanta amplitud como la FEC de velocidad 1/2 y requiere un procesamiento más complejo. Las ganancias de codificación prácticas son 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 queda sustancialmente reducido (esto es, 1,8 dB menos que para la velocidad 1/2).

Puede reducirse sustancialmente la complejidad de la codificación de velocidad 3/4, aplicando técnicas de codificación punteada al código básico de velocidad 1/2. Esto implica 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, es la realización de codecs con velocidades de codificación flexibles, conmutables entre la velocidad 1/2 y la velocidad 3/4. La calidad de funcionamiento de BER para la codificación punteada es solo 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} .

Puede concluirse que la codificación FEC de velocidad 3/4 ofrece 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 podría 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 observa 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 resulta afectada de manera distinta por las ráfagas de errores y por los errores aleatorios, no puede 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. Es, 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 ha puesto en evidencia que la ráfaga de error en condiciones de desvanecimiento por trayecto múltiple es mayor que la debida a la adición de ruido gaussiano. En este caso, la ráfaga de error viene definida como la zona comprendida entre dos zonas libres de error de más de 20 bits. En la Figura 2 se indican los resultados de las mediciones efectuadas con modelos de simulación, y en el cuadro II se indican las condiciones no incluidas en la figura.

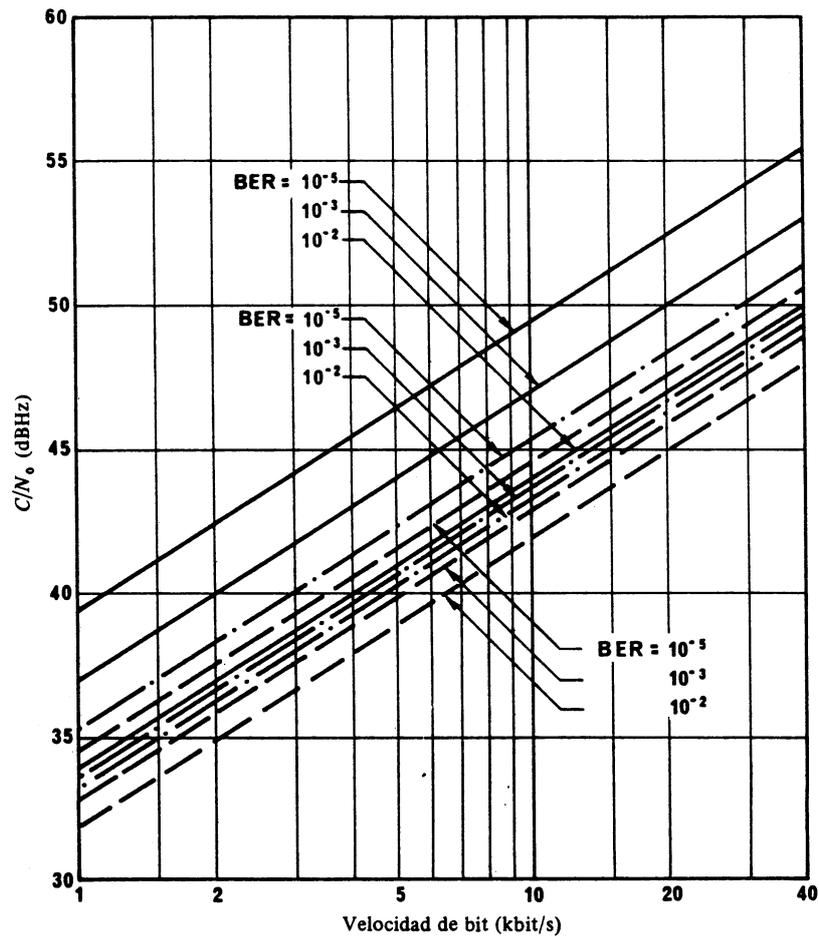


FIGURA 1 - C/N_0 en función de la velocidad de bit

— : Sin FEC.

- - - : Con FEC, codificación convolucional, velocidad 1/2 ($k = 7$), decodificación con decisión programada, algoritmo de Viterbi de 8 niveles.

- · - : Con FEC, codificación convolucional punteada de velocidad 3/4, decodificación de Viterbi, decisión programada de 8 niveles.

($C/N_0 = E_b/N_0 + 10 \log R$, donde R : velocidad de bit de información)

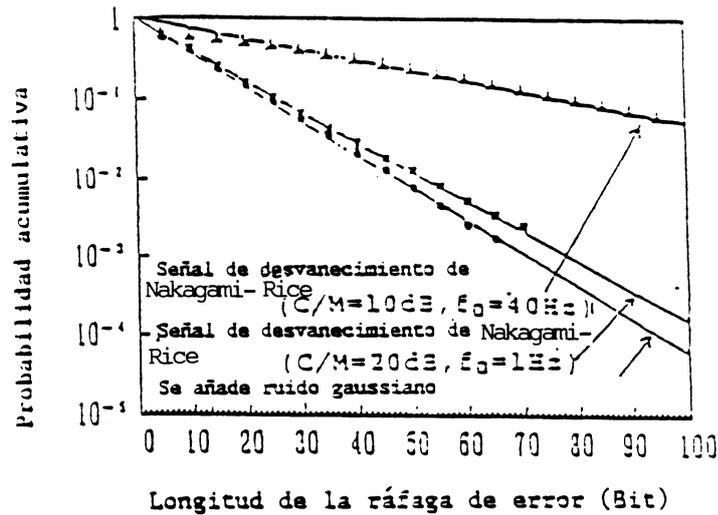


FIGURA 2

Distribución acumulativa medida de la longitud de la ráfaga de error

CUADRO II

Principales parámetros del sistema de medición

Velocidad binaria de información	16 kbit/s
Decodificación de Viterbi	- Limitación en longitud: 7 - Velocidad de codificación: 1/2

2.5 Ejemplo de diseño de norma B

El siguiente ejemplo de diseño describe el concepto de sistema de norma B, actualmente en estudio por INMARSAT:

El canal telefónico básico utiliza codificación vocal CPA a 16 kbit/s, con modulación MDP-4 desplazada 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 mismo diseño básico del canal puede también utilizarse para datos a 9,6 kbit/s (con FEC de velocidad 1/2 que da una BER de 10^{-5}) y a 16 kbit/s (FEC de velocidad 3/4 y BER de 10^{-3} , que puede mejorarse con el uso de ARQ por los usuarios extremos). Se utilizan campos de señalización de sub-banda dentro de la trama del canal, constituyendo una unidad de señal de 96 bits por trama de 80 ms, para el encaminamiento del servicio (barco-costera), funciones de supervisión tras el establecimiento de llamada, y que exista una capacidad de señalización adicional para futuras conexiones con la RDSI.

El establecimiento de la llamada se realiza por medio de canales de señalización fuera de banda, transmitidos por la Estación de Coordinación de la Red (ECR), la Estación Terrena Costera (ETC) o la Estación Terrena de Barco (ETB).

3. Concepto de sistema de baja relación G/T, de datos solamente (norma C)

Las características de la estación terrena de barco inherentes a la norma A y al concepto previsto por la norma B, pueden no ser óptimas para navíos más pequeños que constituyen una gran proporción del colectivo marítimo, en particular cuando no se requieran comunicaciones de calidad telefónica y cuando esté limitado el espacio para instalación de equipos.

El concepto norma C, permitirá extender las facilidades de las comunicaciones por satélite a estos barcos, empleando una estación terrena de barco compacta y relativamente sencilla que proporcione capacidades basadas en mensajes a una velocidad de canal de 600 bit/s. La estación terrena de barco se caracterizaría por un sistema de antena no orientado ni estabilizado. Las posibles aplicaciones del sistema comprenden alerta de socorro en los dos sentidos, recepción de mensajes de seguridad, transmisión de datos meteorológicos, correspondencia pública e interrogación a barcos con los siguientes servicios de mensajes:

- textos en un alfabeto apropiado seleccionando por el usuario;
- gráficos y facsimil;
- instrucciones de información y control para periféricos de usuario, tales como equipos de síntesis de voz.

En vista de las estaciones terrenas de barco proyectadas según la norma C, con baja relación G/T , es necesario utilizar técnicas de codificación y modulación eficaces para hacer mínimas las exigencias de p.i.r.e. del satélite y de la estación terrena de barco. La elección de la técnica debería, asimismo, ser compatible con las características de antena anteriores, velocidades de bits de canal y la eficacia del sistema.

Para las características típicas de movimiento de los barcos aplicadas normalmente en los diseños de la norma A, la máxima ganancia de antena para una antena de la norma C no estabilizada sería del orden de 2 dBi. En el sentido costera-barco una p.i.r.e. de satélite de 20 dBW podría entonces proporcionar una velocidad de bit de canal de, al menos, 600 bit/s; un aumento de la p.i.r.e. permitiría conseguir velocidades de bit superiores. En el sentido barco-costera, limitaciones prácticas de los amplificadores de transmisión de la estación terrena de barco obligan a limitar la velocidad del canal a unos 600 bit/s.

Para estas velocidades de bit, una técnica de modulación eficaz sería la MDP-2, con codificación convolucional de velocidad 1/2, como técnica FEC básica para mejorar el margen del sistema. En el sentido barco-costera puede hacerse mínima la sensibilidad a la interferencia potencial utilizando un código de bloque, enlazado con un código convolucional interno. En ambos casos, el margen de desvanecimiento debido a efectos multitrayecto se reduciría sustancialmente por el entrelazado que dispersaría las ráfagas de errores en un esquema aleatorio corregible por la FEC en lugar de mejorar la discriminación de antena. Esto implicaría unos retardos de transmisión de hasta 20 s por lo que imposibilitará que se consigan en el futuro comunicaciones en tiempo real tales como la telefonía, aunque se prevé esta posibilidad para pequeñas estaciones terrenas de barco como una variante de la norma B, según se describe en los anexos I y II.

En el anexo IV se informa sobre mediciones de calidad de funcionamiento de la FEC con sistemas de la norma C como un modo de compensar los efectos de un desvanecimiento multitrayecto. Estas mediciones muestran que será necesario utilizar la FEC con entrelazado a fin de mejorar la calidad de funcionamiento del canal en cuanto a errores en enlaces de datos de sistemas de la norma C, sujetos a desvanecimiento con transmisiones continuas.

Como alternativa a la modulación AMDF/MDP-2 en el sentido barco-costera la utilización AMDC puede presentar algunas ventajas, que se tratan más detenidamente en el anexo VI.

La utilización de FEC en un enlace marítimo por satélite es necesaria sobre todo para combatir los efectos multitrayecto para bajos ángulos de elevación, lo cual conduce a la aplicación de un sistema de comunicación con suplementos de protocolo y de codificación más poderosos de lo que es necesario durante gran parte del tiempo. Además, un esquema de codificación eficaz en un entorno multitrayecto puede ser poco eficaz si no existe desvanecimiento. Un modo de minimizar los suplementos de codificación y de protocolo cuando el enlace es bueno, e incluso poder hacer frente a las condiciones de enlace más desfavorables es utilizar un esquema de codificación adaptativo (véase el anexo VI).

El anexo VII contiene una descripción del sistema INMARSAT de la norma C, basada en los conceptos expuestos.

4. Consideraciones sobre presupuesto del enlace

4.1 Características del desvanecimiento multitrayecto

Los conceptos contemplados habitualmente relativos a las estaciones terrenas de la norma B y en particular de la norma C, manifiestan una tendencia general hacia sistemas de antenas más pequeños los cuales, debido a su directividad reducida, serán más susceptibles a los efectos del desvanecimiento multitrayecto que los de la norma A.

En la fig. 3, se representa un modelo sencillo de desvanecimiento multitrayecto derivado de consideraciones teóricas y datos de mediciones (véanse los anexos I y II a este Informe y los Informes 884 y 763). 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 como se describe en el Informe 1048.

4.2 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. En el anexo V, se facilitan los resultados experimentales y un análisis estadístico de los datos de las mediciones. Podría utilizarse esta información para determinar el presupuesto de pérdida del enlace para sistema de antenas representativos.

4.3 Ejemplos de presupuesto del enlace

En el cuadro III, se muestran ejemplos de presupuestos del enlace para un objetivo de BER de canal vocal de 10^{-3} con una estación terrena de barco de la norma B de alta ganancia (caso 1: $G/T = -4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) y el sistema variante norma B (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).

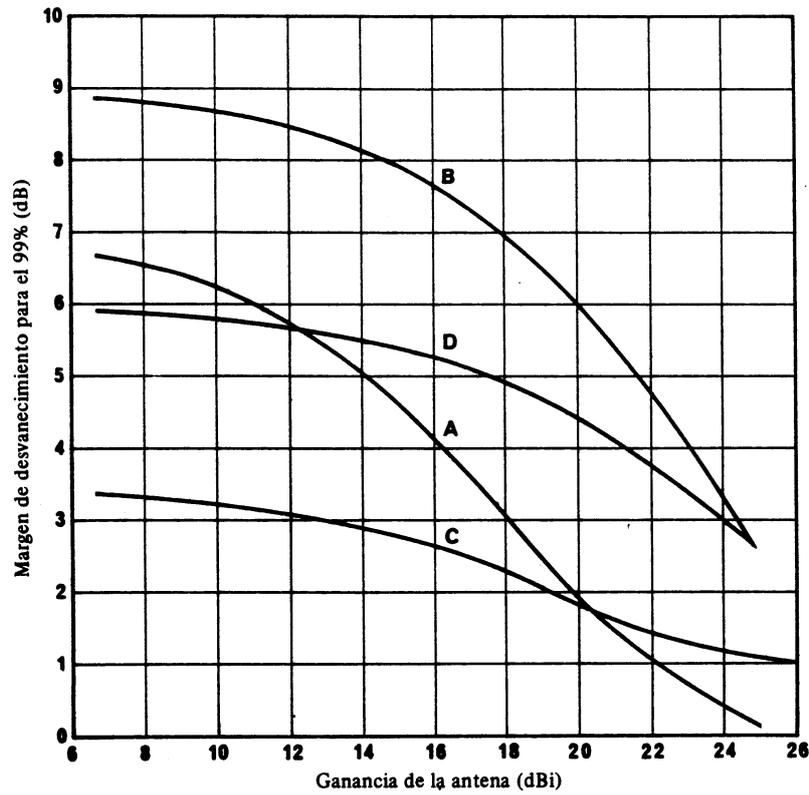


FIGURA 3 - Características del desvanecimiento multitrayecto
(desvanecimiento de Rice-Nakagami para el 99%)

- 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)

CUADRO III— Ejemplo de presupuestos 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°

Enlace costera-barco		
Normas de la estación terrena de barco	Caso 1	Caso 2
Costera-satélite (6,42 GHz):		
– 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 ⁻¹))	–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
Satélite-barco (1,54 GHz):		
– p.i.r.e. nominal del satélite (dBW)	13,0	21,0
– Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,4	188,4
– Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
– Relación G/T en la estación terrena costera (dB(K ⁻¹))	–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 con desvanecimiento (dBHz)	46,6	46,5 (48,2)
Enlace barco-costera		
Normas de la estación terrena de barco	Caso 1	Caso 2
Barco-satélite (1,64 GHz):		
– 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 ⁻¹))	–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
Satélite-costera (4,20 GHz):		
– 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 ⁻¹))	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 con desvanecimiento (dBHz)	51,5	47,8 (49,5)

Nota. – Los valores entre paréntesis del caso 2 corresponden al empleo de la técnica de reducción del desvanecimiento multitrayecto.

Aunque estos ejemplos de presupuestos de enlace no están estrictamente de acuerdo con el método descrito en el Informe 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 existente.

5. Temas para ulterior estudio

Se necesita continuar estudiando los temas siguientes:

- 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 de bits de unos 9,6 kbit/s e inferiores;
- consecuencias del incremento del desvanecimiento multirrayecto 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

YASUDA, Y., KOMAGATA, H. y HAGIWARA, E. [1988] An experimental study on Viterbi decoder output error characteristics (en japonés). Trans. IEICE Japón, J71-B, 2, 229-237.

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN TERRENA DIGITAL DE BARCO DE CALIDAD TELEFÓNICA

Este anexo presenta un ejemplo conceptual de una estación terrena de este tipo que emplea tecnologías de comunicación digitales [Hirata y otros, 1984] y facilita 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).

1. Diseño del sistema

El sistema de estación terrena digital de barco que aquí se describe, se ha diseñado para su utilización en el sistema INMARSAT y para funcionar en el modo SCPC, con separaciones de portadoras de 20 kHz.

El Cuadro IV 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 (punctured) de velocidad 3/4 (conmutable a 1/2) decodificación de Viterbi con decisión programada [Yasuda y otros, 1984] y MDP-4 desplazada (MDP-4D conmutable a MDP-4). La velocidad de transmisión es de 24 kbit/s, que resulta de los datos codificados a 22,4 kbit/s, con inclusión de bits para control de señalización y datos adicionales a 1,6 kbit/s para sincronización de trama.

CUADRO IV - *Parámetros principales del canal de comunicación digital*

Velocidad de información	16 kbit/s
Codificación vocal	CPA-CPM (Codificación Predictiva Adaptativa con Cuantificación de Probabilidad Máxima)
FEC	Codificación convolucional puntuada de velocidad 3/4 y 1/2 ($k = 7$) / decodificación de Viterbi con decisión programada de 8 niveles
Modulación Filtros de TX y de RX	MDP-4 desplazada y MDP-4 Filtro de Nyquist en raíz cuadrada de coseno alzado con 60 ^º de caída progresiva para MDP-4 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. 4, se representa el diagrama de bloques funcional de la unidad de comunicaciones digitales del sistema diseñado. Además del codec CPA-CPM del codec FEC del modem, 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.

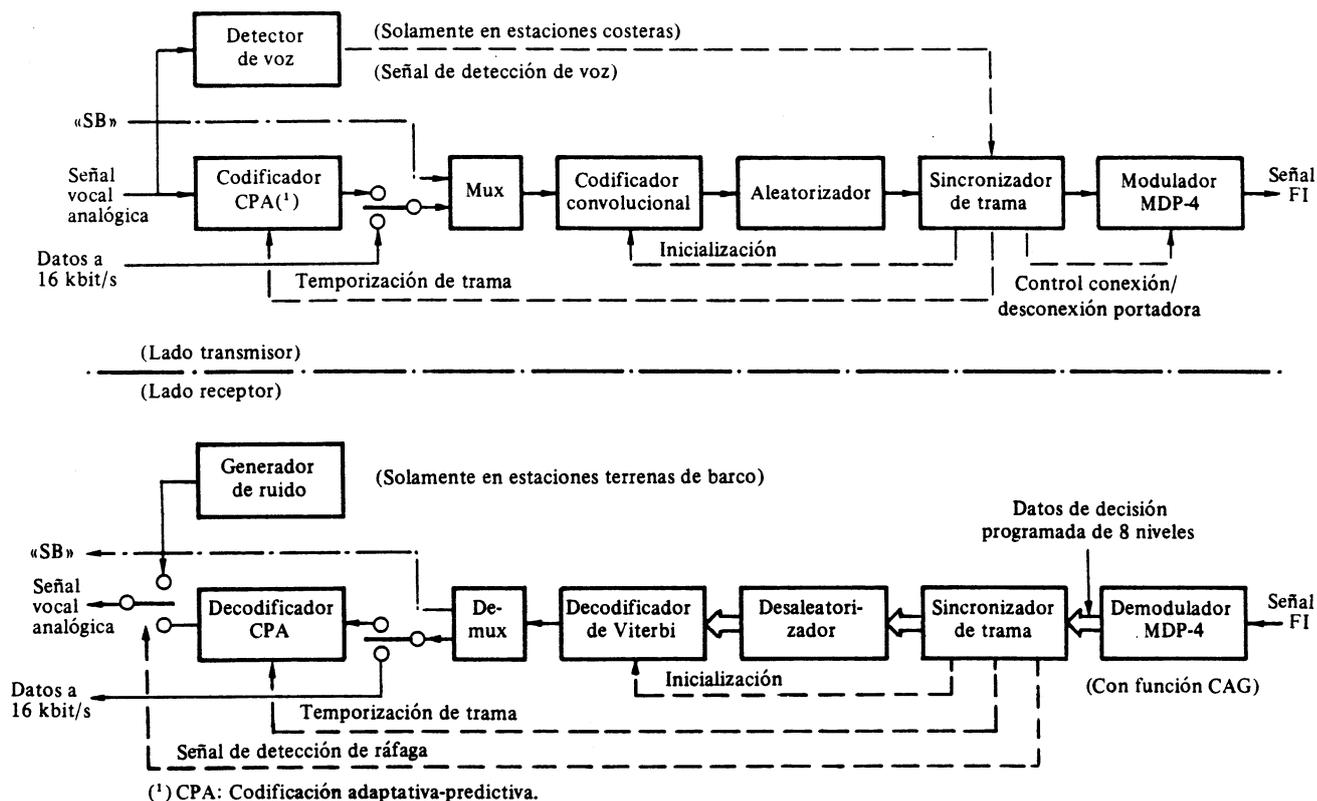


FIGURA 4 - Diagrama de bloques funcional de la unidad de comunicaciones

2. 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 Indico (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]. En el cuadro IV se muestran los parámetros básicos de las antenas de alta y media ganancia.

CUADRO V – *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	$-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$	$-10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$
p.i.r.e. (valor máx.)	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 (AAP 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 desplazada, a fin de evitar la reaparición en el espectro de la señal modulada debido a la no linealidad del AAP.

En el experimento práctico se midieron cada segundo la relación E_s/N_0 (E_s : energía por bit de transmisión, dos bits por símbolo para MDP-4, N_0 : densidad espectral de potencia de ruido en un lado) y el número de errores de bit, para el intervalo de tiempo específico, y los datos medidos se almacenaron en la memoria del computador en función del tiempo. Se observó que la relación E_s/N_0 medida varía con el tiempo en el intervalo de medición en idénticas condiciones de p.i.r.e. de transmisión. Esta variación de E_s/N_0 es causada por la variación de nivel de la señal recibida, por la variación del fondo de ruido en el canal de transmisión por satélite, o por ambas.

En las Figuras 5 y 6 se presentan los ejemplos de comportamiento de la BER, que se calculó a partir del número medido de errores de bit por segundo, en función de E_s/N_0 . Los puntos de las figuras corresponden a los datos en bruto obtenidos cada segundo, y los círculos al valor medio de la BER promediada en el intervalo de medición (15 minutos), para la misma E_s/N_0 .

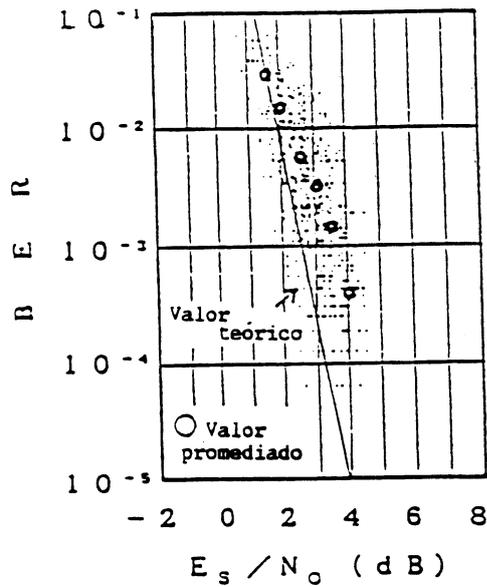
La Figura 5(a) corresponde al caso de MDP-4 desplazada (MDP-4D) con el AAP de Clase C y para un ángulo de elevación de la antena de la ETB de 10° , mientras que la Figura 5(b) corresponde a una MDP-4 convencional con el AAP lineal e igual ángulo de elevación de 10° .

Se muestra en estas figuras que la BER en función de E_s/N_0 del modem MDP-4D, es algo mejor que la del modem MDP-4, en condiciones de sincronización perfectas. Sin embargo, además de esto debe señalarse que la pérdida de sincronización en el demodulador o en el sincronizador de trama se produjo más a menudo en MDP-4D que en MDP-4, particularmente para valores de E_s/N_0 inferiores a 1 dB.

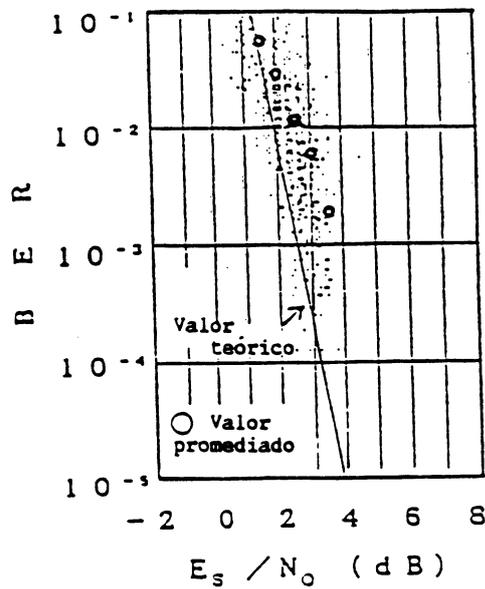
En las Figuras 6(a) y (b) se compara la BER para sistemas de antena de alta y media ganancia. Se observa en ellas que la varianza de la E_s/N_0 y la BER es grande con el sistema de antena de ganancia media debido al desvanecimiento multitrayecto. Por consiguiente, se necesita un gran margen de potencia en el sistema de ganancia media cuando se trabaja con ángulos de elevación pequeños.

Cuando se emplea codificación FEC de velocidad 1/2 (y codificación vocal a 9,6 kbit/s), en lugar de codificación FEC de relación 3/4, las p.i.r.e. requeridas del satélite y de la ETB, deben en teoría reducirse en unos 2 dB. Sin embargo, en el experimento práctico esto no se verificó bien, pues se producía pérdida de sincronización más a menudo en el sistema FEC de velocidad 1/2 (particularmente en el caso de MDP-4D), debido a la menor E_s/N_0 operacional, que en el sistema FEC de velocidad 3/4.

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



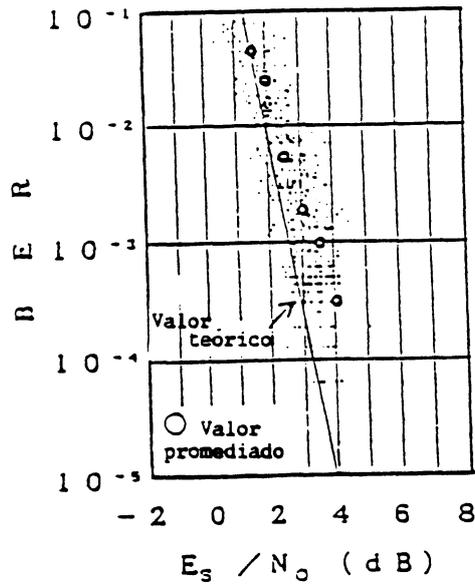
(a) MDP-4 desplazada con AAP de Clase C



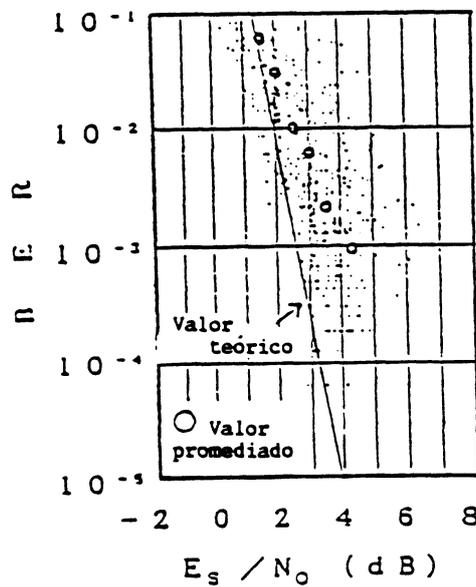
(b) MDP-4 con APP lineal

FIGURA 5

BER en función de E_s/N_0 de la MDP-4 desplazada v la MDP-4 (enlace barco-costera, elevación de ETB = 10° , antena de alta ganancia, FEC: velocidad 3/4)



(a) Sistema de antena de alta ganancia
(p.i.r.e. del satélite en la banda L = 12 dBW)



(b) Sistema de antena de ganancia media
(p.i.r.e. de satélite en la banda L = 20 dBW)

FIGURA 6

BER en función de E_s/N_0 de los sistemas de antena de alta y media ganancia
(enlace costera-barco, elevación de la ETB = $7,5^\circ$, MDP-4 desplazada,
FEC: velocidad 3/4)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 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 Communications (ICC '85), 23-26 de junio, Chicago, ILL, Estados Unidos de América, Conf. Record. Vol. 1. 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. 24.6.1 - 24.6.6.

SHIOKAWA, T. y KARASAWA, Y. [mayo de 1982] Shipborne antennas suppressing multipath fading in maritime satellite communication. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Albuquerque, NM, Estados Unidos de América, 390-393.

YASUDA Y. y otros [marzo de 1984] High-rate punctured convolutional codes for soft decision Viterbi decoding. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-32, 3, 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 Commun., Munich, 271-278.

ANEXO II

CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN TERRENA DE BARCO
EXPERIMENTAL CON BAJA RELACIÓN G/T **1. Introducción**

Este anexo presenta algunos resultados de pruebas realizadas con una estación terrena de barco (SES-ship earth station) experimental de norma B y baja relación G/T ($-13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) que utiliza una antena de gran anchura de haz y técnicas de modulación digitales.

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 2400 bit/s (adecuada para el funcionamiento con voz codificada [Holmes, 1982]) con la generación actual de satélites marítimos, tanto en las condiciones que corresponden a grandes ángulos de elevación, esencialmente sin desvanecimiento, como en aquellas condiciones de desvanecimiento por trayectos múltiples que prevalecen para pequeños ángulos de elevación.

En consecuencia, las pruebas constaron de dos partes distintas:

- Pruebas en tierra, con transmisiones en el sentido banda de 6 a 1,5 GHz a través del satélite Marecs A de la región del océano Atlántico de INMARSAT (AOR) para establecer la calidad de funcionamiento básico de las SES sobre un enlace real por satélite.
- Pruebas que utilizaron el «método del canal almacenado» para evaluar la calidad de funcionamiento del sistema de modulación (modem) en diferentes ambientes de desvanecimiento y determinar así los márgenes de enlace disponibles para el funcionamiento a 2400 bit/s (vocodificador).

Este trabajo se realizó conjuntamente por el Ministerio del Interior del Reino Unido (actualmente el Ministerio de Industria y Comercio), la British Telecom Internacional (BTI) y la German Aerospace Research Establishment (DFVLR).

2. Pruebas con el satélite Marecs A

Durante el último trimestre de 1982, se realizaron pruebas desde tierra utilizando el satélite Marecs A y la estación terrena costera (CES-Coast Earth Station) de la British Telecom Internacional de Goonhilly Downs. La SES de baja relación G/T se situó también en las CES siendo el ángulo de elevación hacia el satélite igual a 29° , lo que correspondía a condiciones sin desvanecimiento. Se efectuaron mediciones de transmisión en el sentido banda de 6 a 1,5 GHz (costera-barco). Se transmitió una secuencia pseudoaleatoria repetitiva de 511 bits por el enlace a 2400 bit/s, efectuándose mediciones de la BER para distintos valores de la relación portadora/densidad de ruido (C/N_0). Se evaluó la BER para 10^6 bits. Se varió la C/N_0 en las SES ajustándose la p.i.r.e. de la CES. En la fig. 7, se representa la configuración de equipo utilizado en estas pruebas.

3. Pruebas efectuadas según el método del canal almacenado

Se aplican al simulador del canal almacenado cintas pregrabadas. Estas cintas pueden grabarse sintéticamente utilizando modelos de desvanecimiento o grabando mediciones reales de transmisiones por satélite. Esta técnica se describe en [Hagenauer y Papke, 1980] y se empleó previamente en las pruebas de propagación por trayectos múltiples desarrolladas por la República Federal de Alemania (véase el Informe 762).

A fin de disponer de registros apropiados para las pruebas del modem se montó la antena SES de gran anchura de haz (no estabilizada) a bordo del barco de investigación alemán RV GAUSS, efectuándose registros en cinta durante el mes de marzo de 1983 para ángulos de elevación comprendidos entre 25° y 4° , con transmisiones de onda continua de alto nivel (28 dBW) procedentes del satélite Marecs A.

En cada prueba se grabaron dos señales que representan las variaciones de amplitud y de fase de la señal de trayectos múltiples.

Estas cintas grabadas, así como las cintas sintéticas elaboradas por la DFVLR, se utilizaron para evaluar la calidad de funcionamiento del modem en condiciones de ausencia de desvanecimiento (canal gaussiano) y en presencia de desvanecimiento (canales de Rice-Nakagami y Rayleigh).

En el cuadro VI se dan datos del RV GAUSS y se resumen las condiciones de viento imperantes durante el registro de las cintas. Para más detalle véase [Hagenauer y otros, 1984].

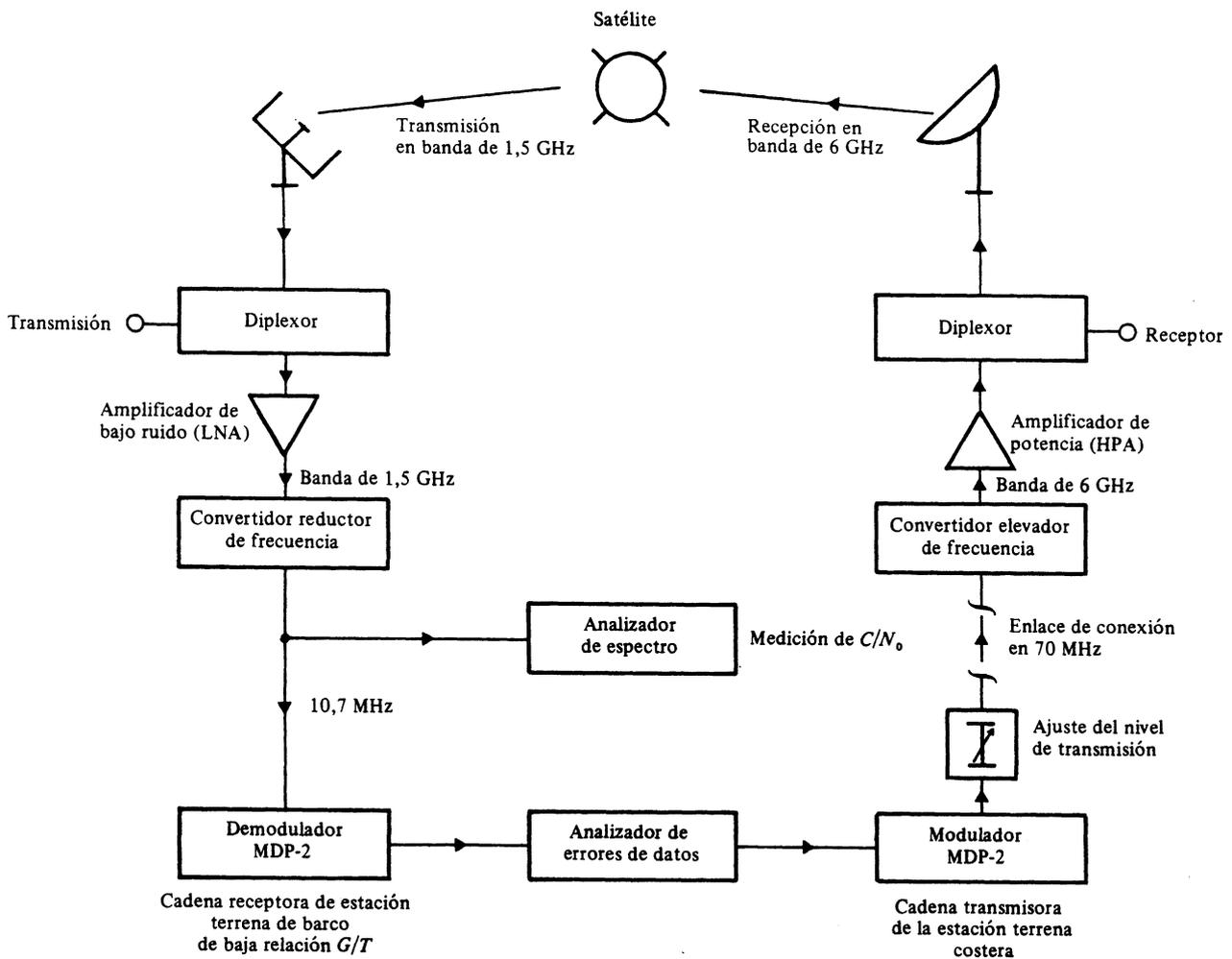


FIGURA 7 - Configuración del equipo para las pruebas en el sentido de transmisión tierra-barco

CUADRO VI

Barco RV GAUSS Longitud: 68,86 m Anchura: 13,09 m Registro bruto: 1599 t			
Satélite		Marecs A Región del océano Atlántico 26° W	
Cinta de prueba N.º	1	2	3
Ángulo de elevación (grados)	26	10	4
Altura de las olas (m)	< 1	3,5	4,5
Fuerza del viento (nudos)	< 5	26	35
Relación C/M (portadora-multitrayecto) medida (dB)	16,5	11	10
Altura de la antena sobre el nivel del mar: 12 m			



Como en las pruebas desde tierra, se efectuaron mediciones de la BER en función de la C/N_0 . En la fig. 8, se representa la configuración de los equipos utilizados en estas pruebas.

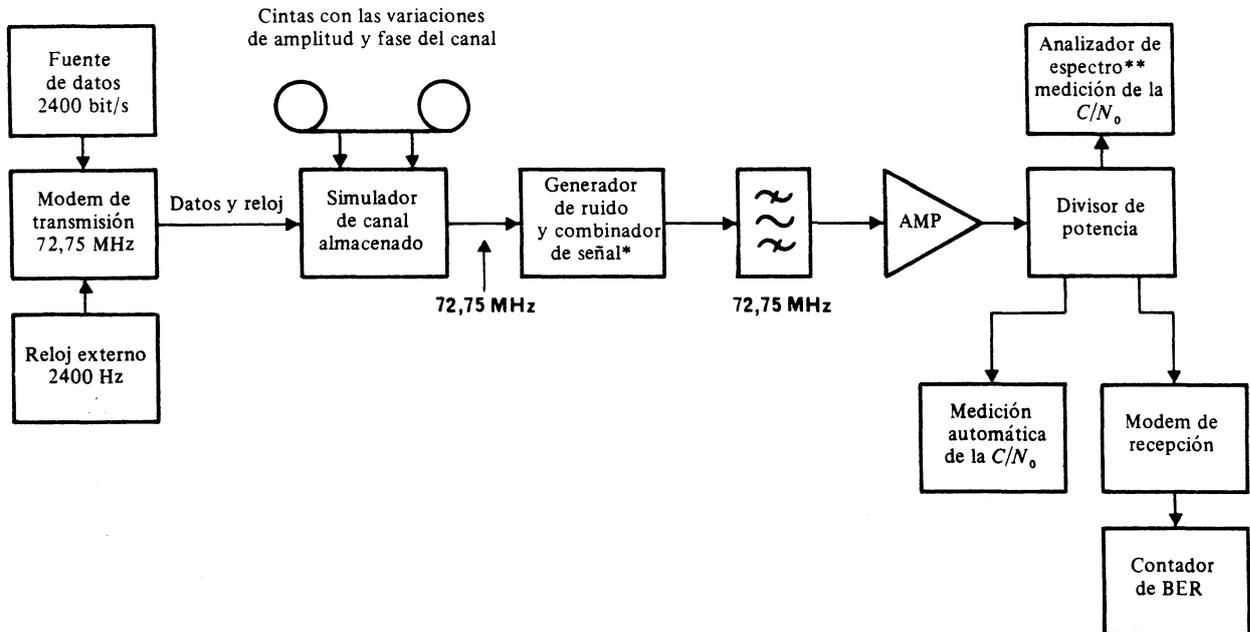


FIGURA 8 – Configuración del equipo para las pruebas empleando el método del simulador de canal almacenado

* El generador de ruido y el combinador de señal tienen la posibilidad de variar la señal y el ruido independientemente. De este modo se puede ajustar el valor de la C/N_0 para cada serie de mediciones de la BER.

** El analizador de espectros mostrado aquí es similar al utilizado en las pruebas en tierra para la medición de la C/N_0 . Se utilizó aquí con fines de comparación con las mediciones automáticas de la C/N_0 . En todos los casos, los resultados obtenidos mediante los dos métodos de medición difirieron entre sí en menos de $\pm 0,5$ dB.

4. Equipos de la SES

En [Mecrow y otros, 1983] se facilita una descripción completa de los equipos de la SES. Las componentes más importantes que afectan a este Informe son la antena SBF (véase el § 2 de este Informe y el anexo I al Informe 922) y el modem MDP-2. El modem utiliza una técnica de modulación de portadora residual (excursión ± 1 radián) con los datos codificados en código Manchester [Subramaniam, 1978].

5. Resultados de las pruebas

5.1 Pruebas efectuadas desde tierra

En las figs. 9 y 10 se representan los resultados de las pruebas efectuadas desde tierra. En la fig. 9 se representa como curva D la BER en función de C/N_0 . A lo largo de las mediciones se observaron variaciones de corta duración en el nivel de la portadora recibida del satélite, de hasta 1,5 dB. Esto se debió a variaciones en la ocupación del satélite que, por término medio, en las pruebas era de 12 canales. En consecuencia, se efectuaron asimismo medidas de la relación C/N_0 tomando una media de al menos 10 medidas durante un periodo de unos dos minutos antes y después de cada periodo de pruebas. Se estimó que la exactitud resultante de las medidas de la C/N_0 , se encontraba dentro de $\pm 1,5$ dB. Se considera que la dispersión de los resultados de la fig. 9 para valores bajos de la relación C/N_0 , se debe al predominio de productos de intermodulación variables que se producen en el transpondedor del satélite.

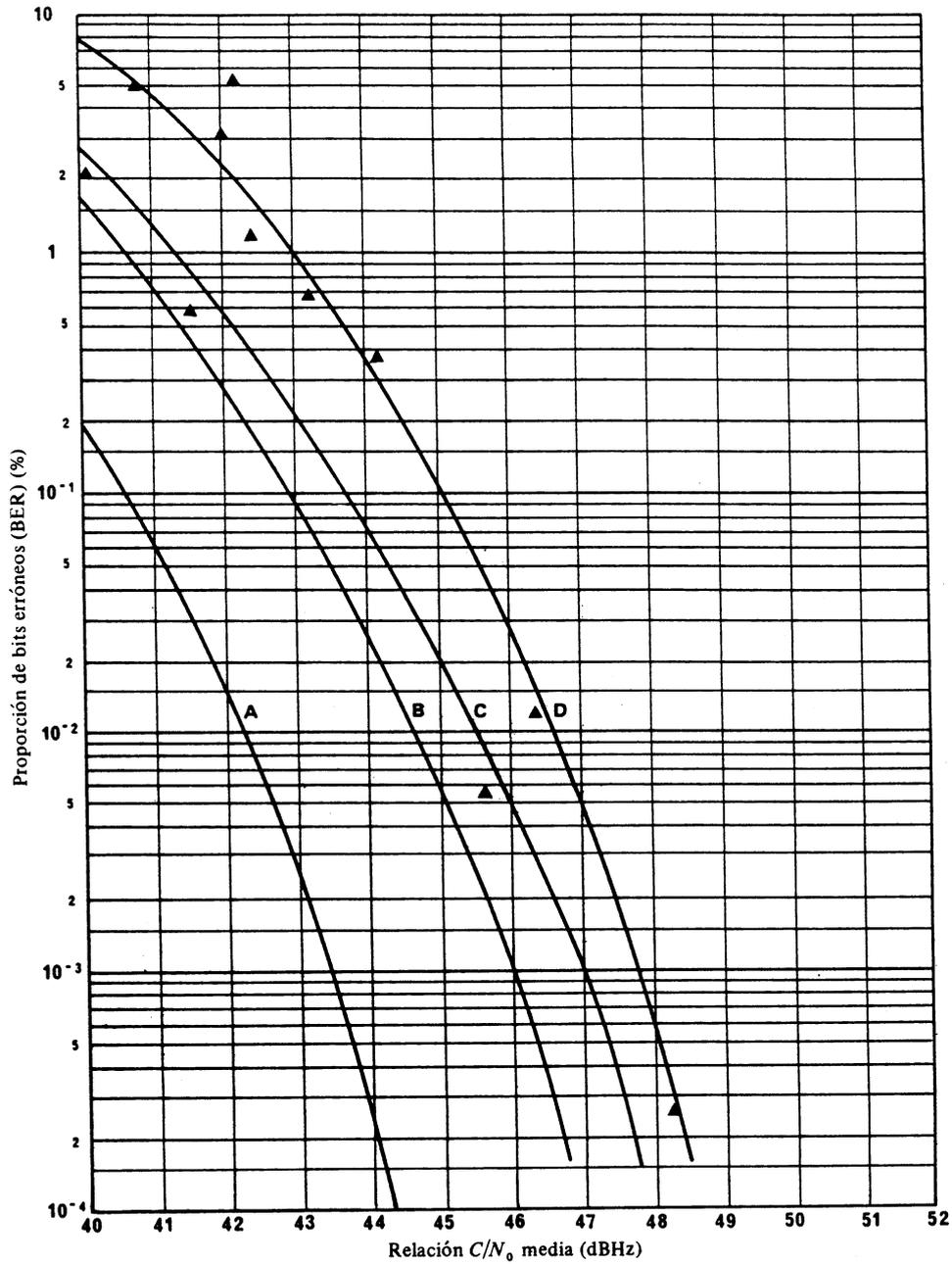


FIGURA 9 – Mediciones de la BER porcentual para diferentes valores de la relación C/N_0 a 2400 bit/s, en un canal sin desvanecimiento (canal gaussiano)

Curvas A: Curva teórica para MDPC.

B: Característica de bucle del modem con adición de ruido gaussiano.

C: Resultados alcanzados con el simulador de canal empleando una cinta grabada (1), ángulo de elevación = 25°, $C/M = 16,5$ dB.

D: ▲ Resultado de las pruebas con satélite efectuadas en Goonhilly en el sentido costera-barco.

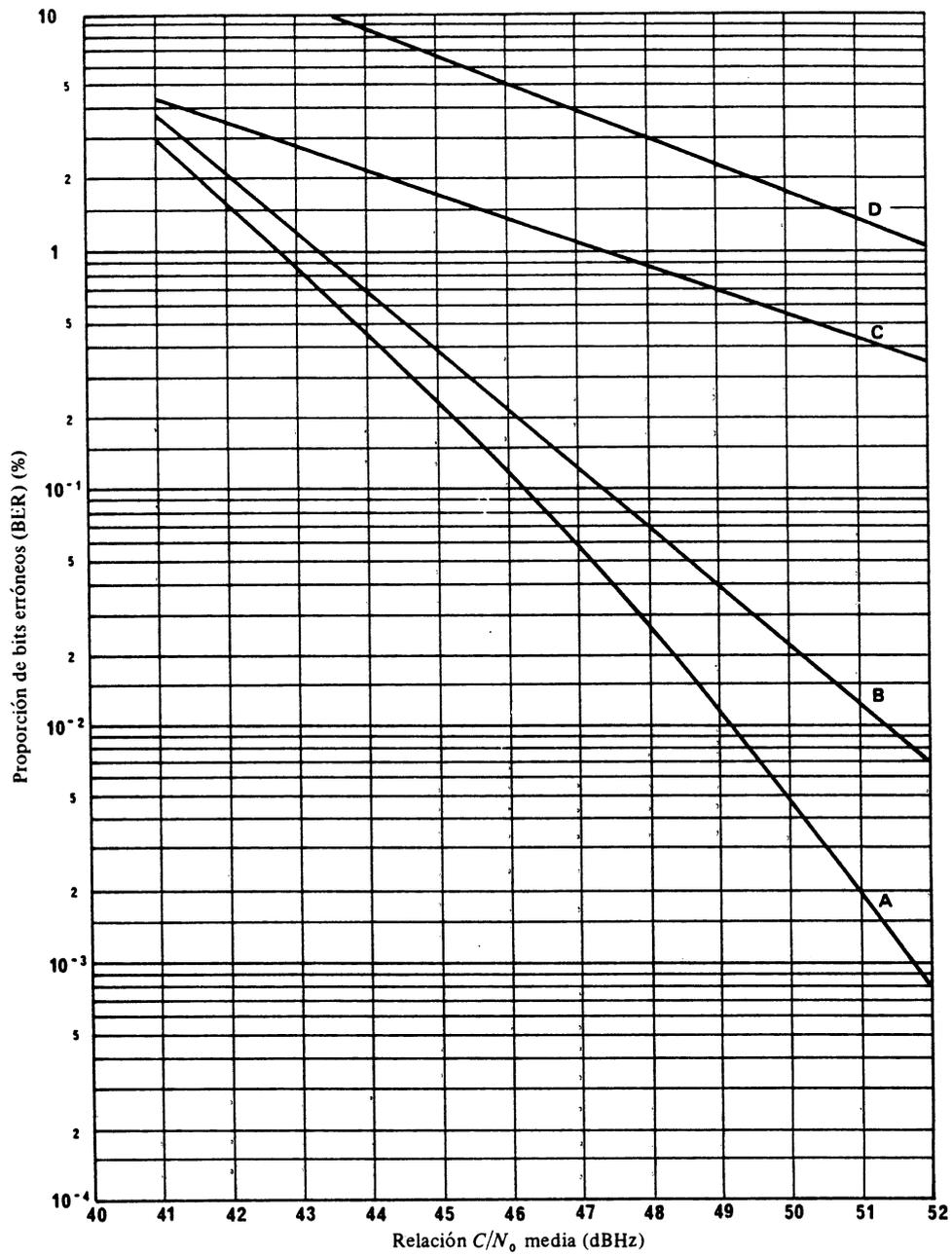


FIGURA 10— Mediciones de la BER porcentual para distintos valores de la C/N_0 a 2400 bit/s en un canal con desvanecimientos (de Rice-Nakagami y de Rayleigh)

- Curvas A: Cinta grabada (2), ángulo de elevación = 10° , $C/M = 11$ dB
 B: Cinta grabada (3), ángulo de elevación = 4° , $C/M = 10$ dB
 C: Desvanecimiento sintético (equivalente a Rice-Nakagami), $C/M = 6$ dB
 D: Desvanecimiento sintético (equivalente a Rayleigh), $C/M = 0$

5.2 Pruebas de canal almacenado (Simulador)

En las figs. 9 y 10, se representan los resultados de las pruebas con el método del canal almacenado (simulador).

La curva C de la fig. 9 indica la calidad del funcionamiento del modem en un canal sin desvanecimiento (canal gaussiano) empleando el simulador de canal y una cinta grabada (cinta 1) elaborada en el RV GAUSS, para un ángulo de elevación de 26° con una relación de potencias portadora/multitrayecto (C/M) igual a 16,5 dB.

Con fines de comparación se muestran también en la fig. 9: la característica teórica de la MDPC en un canal sin desvanecimiento (curva A), la calidad del modem conectado en bucle con la adición de ruido gaussiano (curva B) y los resultados de las pruebas efectuadas en tierra en Goonhilly (curva D). Como se indicó en el § 5.1, al comparar los resultados de Goonhilly con las demás mediciones, es necesario tener en cuenta los efectos de los productos de intermodulación.

Las curvas A y B de la fig. 10, representan la calidad de funcionamiento del modem en condiciones de desvanecimiento (de Rice-Nakagami) obtenidas mediante grabaciones en cinta (cintas 2 y 3) efectuadas en el RV GAUSS para ángulos de elevación de 10° y 4°, con una relación C/M de 11 dB y 10 dB, respectivamente. Las curvas C y D muestran la calidad de funcionamiento del modem utilizando cintas sintéticas equivalentes a un canal de Rice-Nakagami con una C/M de 6 dB y un canal de Rayleigh con una C/M igual a 0.

6. Valoración de resultados

Al considerar las implicaciones de estos resultados en un sistema operacional de baja relación G/T , se supone que la p.i.r.e. del satélite por canal telefónico es la que proporciona la generación actual de satélites marítimos y se adopta una BER del 2% como criterio (funcionamiento con vocodificador) para valorar los márgenes del enlace que serían necesarios para proporcionar una disponibilidad del 99%, en un ambiente de desvanecimiento por trayectos múltiples.

Considerando, en primer término, las curvas de la fig. 9, correspondientes a la calidad de funcionamiento del modem en un canal realmente gaussiano, puede apreciarse cierta diferencia entre los resultados obtenidos mediante el enlace por satélite y con el simulador de canal. En el caso más desfavorable, la diferencia es de 1,5 dB para los valores más pequeños de la C/N_0 . Este valor está dentro de la exactitud de la medición que se atribuyó a las pruebas realizadas en tierra (véase el § 4.1) debiendo admitirse márgenes para: la curva ajustada debida a la dispersión de los resultados obtenidos para valores bajos de la relación C/N_0 y la posibilidad de errores en los bits introducidos por el amplificador de alta potencia (HPA) de las CES y el transpondedor del satélite. En general, se considera que los dos conjuntos de resultados se comparan entre sí favorablemente y que puede tomarse un valor de la C/N_0 de unos 41 dBHz como el necesario para una BER del 2%, en condiciones de ausencia de desvanecimiento.

Los valores de C/N_0 medidos en las SES, en función de la p.i.r.e. de las CES, indican que se midió un valor de C/N_0 igual a 50 dBHz en la SES para una p.i.r.e. en la CES igual a 55 dBW. La p.i.r.e. de 55 dBW fue el valor determinado en la CES de Goonhilly (en su fase previa al funcionamiento) como la p.i.r.e. necesaria para proporcionar al satélite la potencia en la banda de 1,5 a 1,6 GHz medida en Southbury, NCS de Estados Unidos de América equivalente a la proporcionada para un canal telefónico en una SES de la norma A de INMARSAT. Sin embargo, esta cifra de 50 dBHz debe reducirse en unos 4 dB en caso de ocupación total de la capacidad del satélite (30 canales en comparación con la media de 12 canales observada en las pruebas) y, además, en 1,4 dB por las condiciones en el límite de la zona de cobertura (EOC) (ángulo de elevación 5° en contraste con el ángulo de 29° para el que se efectuaron las mediciones). Teniendo en cuenta estos factores, la C/N_0 disponible, sin desvanecimiento, en el límite de la zona de cobertura (EOC), sería igual a 44,6 dBHz.

En el cuadro VII, se indica el valor de las C/N_0 necesario en el modem para una característica de BER del 2% en diversas condiciones de desvanecimiento y se indican también los márgenes del enlace disponibles cuando se compara con la relación C/N_0 disponible calculada en el límite de la zona de cobertura.

Debe observarse que aunque la antena SES de gran anchura de haz se montó sin estabilizar en el barco RV GAUSS y se observaron alturas de olas de hasta 4,5 m, los valores medidos de la relación C/M no fueron inferiores a unos 10 dB.

7. Conclusiones

Puede concluirse que esta estación terrena de barco experimental de baja relación G/T ($G/T = -13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) funcionando en un enlace con una relación C/N_0 media de 44 dBHz podría mantener una señal telefónica vocodificada a 2400 bit/s, con una BER no superior al 2%, para el 99% del tiempo, en todas las condiciones teóricas de desvanecimiento, salvo las de caso más desfavorable. En estos casos podrían aplicarse técnicas de reducción de desvanecimiento o de corrección de errores en recepción (FEC), aunque esto aumentaría la complejidad del equipo y el coste de la estación terrena de barco.

Además de los resultados experimentales obtenidos con esta antena no estabilizada de gran anchura de haz (47° a 3 dB) en condiciones realistas de desvanecimiento, cabe concluir que, en el límite de la zona de cobertura sólo son necesarios unos requisitos mínimos para la puntería en elevación de la antena. Esto reduciría sustancialmente la complejidad y costo de los equipos situados en cubierta.

CUADRO VII

Condiciones de desvanecimiento	Relación C/N_0 medida, necesaria para una BER del 2% (dBHz)	Relación C/N_0 disponible calculada en el EOC (dBHz)	Margen de enlace (dB)
<i>Cinta 2:</i> $C/M = 11$ dB Ángulo de elevación 10°	41,6	44,6	3
<i>Cinta 3:</i> $C/M = 10$ dB Ángulo de elevación 4°	42	44,6	2,6
$C/M = 6$ dB (Canal sintético de Rice-Nakagami)	44,2	44,6	0,4
$C/M = 0$ (Canal sintético de Rayleigh)	49,6	44,6	-5

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRÄBEL, LOTZ, PAPKE, W., PLÖCHINGER 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 en virtud de ESA/ESTEC Contrato N.º 5323/82/NL/JS.
- HAGENAUER, J. y PAPKE, W. [diciembre de 1980] Data transmissions via the real and stored MARISAT channel using small ship antennas. Proc. IEEE National Telecommunications Conference (NTC '80) Houston, TX, Estados Unidos de América, 62.3.1-62.3.6.
- HOLMES, J. M. [junio de 1982] A survey of method for digitally encoding speech signals. *Radio and Electron. Eng.*, Vol. 52, 6, 267-276.
- MECROW, S. A., WHITTINGHAM, K. C. y WHEELER, A. G. [7-9 de junio de 1983] An experimental low G/T ship earth station. Proc. IEE Third International Conference on Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation, Londres, Reino Unido.
- SUBRAMANIAM, R. I. [1978] Detection of digital PSK signals from meteorological satellites. M Sc. Thesis, University of Dundee, Escocia, Reino Unido.

ANEXO III

SERVICIO DE LLAMADA DE GRUPO MEJORADA

1. Introducción

El servicio de Llamada de Grupo Mejorada (LLGM) es un servicio de radiodifusión de datos a escala mundial para llamadas de grupos comerciales, radiobúsqueda a escala mundial (FleetNET™) y difusión de información sobre seguridad marítima (SafetyNET™). Este servicio 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 un servicio 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. El servicio Safety NET prevé esta información de seguridad marítima, incluyendo las alertas de socorro costera-barco, los avisos meteorológicos y para la navegación NAVAREA y las previsiones metereológicas ordinarias que pueden recibir de forma selectiva los navíos que se encuentran en zonas geográficas específicas, utilizando una técnica flexible de direccionamiento de zona. A los receptores LLGM 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 servicio FleetNET™ permite a los usuarios comerciales basados en estaciones costeras llamar selectivamente a determinados grupos o buques con identificadores (ID) preasignados.

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 las vigorosas técnicas de modulación y codificación 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 ETV 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 servicio LLGM se extiende de 1 530 a 1 545 MHz, con una separación entre canales de 5 kHz. Regiones oceánicas adyacentes tendrán frecuencias diferentes para las portadoras LLGM. Las frecuencias de estas portadoras son almacenadas por los receptores de manera que éstos puedan volver a sintonizar automáticamente cuando un buque sale de una región oceánica y entra en otra. Los receptores pueden almacenar gran número de frecuencias de canal, para que sea posible la ampliación y la compatibilidad con futuras cargas útiles de satélite de haz puntual.

3. Balance del enlace

En el Cuadro VIII se muestra el balance del enlace de banda 1,5/1,6 GHz para el servicio LLGM. Los balances de enlace indicados corresponden a los satélites MARECS e INTELSAT-V MCS y a los satélites INMARSAT de segunda generación. La potencia MDT de la portadora por canal común es aproximadamente 3 dB mayor que la de una portadora de banda vocal de norma A. La MDT tiene modulación MDBP a 1200 símbolos por segundo (600 bits/s de velocidad binaria antes de la codificación). La codificación de la FEC es de tipo convolucional limitada a 7 longitudes e índice 1/2, con entrelazado de trama completa, y una longitud de trama de 10368 símbolos (8,64 s). Para ayudar a la sincronización y a la resolución de ambigüedades, en cada trama hay un par de palabras únicas de 64 bits.

CUADRO VIII

	Unidades	MARECS/ INTELSAT V	INMARSAT 2
p.i.r.e. de satélite (5°)	dBW	21,4	21,0
Pérdida del trayecto en el espacio libre	dB	188,5	188,5
Pérdida de absorción	dB	0,4	0,4
G/T de receptor (1)	dB/K	-23,0	-23,0
C/No media del enlace descendente	dBHz	38,1	37,7
C/No media sin desvanecimiento	dBHz	38,0	37,6
Pérdida de interferencia	dB	0,5	0,5
Pérdida aleatoria (99%)	dB	2,2	1,6
C/No global	dBHz	35,4	35,5
C/No requerida	dBHz	34,5	34,5
Margen(2)	dB	0,9	1,0

(1) Relación G/T mínima basada en una LLGM individual para un receptor de norma C con una elevación de satélite de 5°.

(2) Margen de enlace superior a 0,9/1,0 dB en el 99% del tiempo.

4. Técnicas de encaminamiento

Hay tres métodos básicos para direccionar los receptores LLGM:

- i) encaminamiento por identificador único (FleetNET™);
- ii) encaminamiento por identificador de grupo (FleetNET™); y
- iii) encaminamiento 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 cargarse y borrarse en el enlace por satélite. El encaminamiento en el servicio SafetyNET™ se efectúa exclusivamente según la zona geográfica. Son posibles dos tipos de encaminamiento 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.

5. Resumen

El servicio 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 INMARSAT de norma A o de norma C adecuadamente equipada.

ANEXO IV

LA CORRECCIÓN DE ERRORES EN RECEPCIÓN (FEC) COMO TÉCNICA DE COMPENSACIÓN DEL DESVANECIMIENTO MULTITRAYECTO

Se midió la calidad de funcionamiento de una transmisión DECMDP codificada a través del canal marítimo de la norma C, mediante un montaje de prueba simulador de canal DFVRL con un modem de nuevo diseño, utilizando un lazo de COSTAS en combinación con un bucle CAF (control automático de frecuencias) a fin de recuperar la portadora y datos de la señal DECMDP [Hagenauer y otros, 1984]. Se evaluó la BER para transmisiones con códigos bloque y códigos convolucionales, efectuadas a través de canales sintéticos (canal Rayleigh y Canal Rice-Nakagami con $C/M = 6,3$ dB), así como para una selección representativa de canales de la norma C almacenados, que se habían grabado en el barco «Gauss» (relación C/M comprendida entre 8 y 14 dB). El conjunto de canales almacenados comprende el caso más desfavorable de un ángulo de elevación de 4° para todas las antenas probadas C3, C5, C11, C14 y una prueba con ángulo de elevación de 19° , para las antenas C3 y C11 (antenas de la norma C con ganancias en dB indicadas). Para más amplia información, véase el Informe 762 y [Hagenauer y otros, 1984].

Los códigos utilizados fueron:

- Decodificación de Viterbi de códigos convolucionales de velocidad $1/2$, de longitud límite 7, con información del estado del canal y sin ella. (Se utiliza la información sobre la profundidad desvanecimiento extraída del CAG en el proceso de toma de decisiones en el decodificador FEC.) El decodificador se realizó mediante circuitos.
- Códigos de Reed-Solomon (15 : 9 : 3) decodificador Berlekamp-Massey, realizado mediante programación en línea en el computador principal [Lutz, 1984].

Se empleó el entrelazado con distintos tamaños de entrelazador. El desentrelazador autosincronizado se instrumentó mediante un microprocesador.

En la fig. 11 se muestra un ejemplo de la calidad de funcionamiento de la FEC con un decodificador de Viterbi, para la antena de 11 dB (C11). Las mediciones revelan que con una transmisión convolucionalmente codificada de velocidad $1/2$ para un ángulo de elevación 4° , puede obtenerse una BER de 10^{-5} con una E_b/N_0 comprendida entre 12,5 dB y 15,5 dB correspondiente a una ganancia de codificación neta de 18,5 a 20,5 dB.

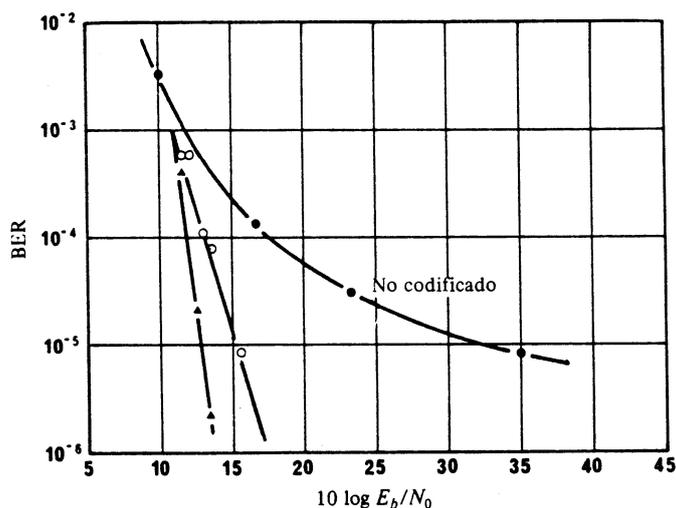


FIGURA 11 – Calidad de funcionamiento medida en BER de un decodificador de Viterbi con entrelazamiento (antena C11, elevación 4°)

Canal: Almacenado, C11, Elevación 4°

Modulación: DECMDB binaria

Modem: COSTAS/CAF

Velocidad de datos: Canal 1200 bit/s

Información 545 bit/s

Dimensión del entrelazador: 60 x 80

Decodificador: Viterbi, velocidad 1/2

Longitud límite 7

Modo de decodificador:

○ YH, AN

▲ YH, AH

YH: Variable para decisiones/decisiones firmes

AN: Sin información del estado del canal

AH: Decisión firme sobre el estado del canal

Antena:

C11: Antena norma C con ganancia 11 dB.

Las mediciones con una antena de 3 dB revelaron que para un ángulo de elevación de 19°, una BER de 10^{-5} exige una E_b/N_0 de 9,5 a 10,5 dB; la ganancia de codificación neta correspondiente se sitúa entre 4,5 y 7,5 dB [Hagenauer y otros, 1984].

Para la transmisión con códigos bloque de velocidad 1/2 a través de canales almacenados, los valores de la relación E_b/N_0 variaban de 12 dB a 18 dB, lo que corresponde a ventajas de codificación comprendidas entre 6 dB a 17 dB. El esquema utilizado de codificación de bloque sencilla fue algo inferior al de los códigos convolucionales, pero cabe concluir que se lograron resultados equivalentes utilizando una codificación de bloque más perfeccionada. En el cuadro IX, se muestra una comparación entre los códigos de bloque y convolucionales.

CUADRO IX — Comparación de los códigos bloque y convolucionales con respecto al volumen del entrelazador, esfuerzo de decodificación y relación E_b/N_0 medida para una BER = 10^{-5} y una velocidad de canal de 1200 bit/s (modem COSTAS/(CAF))

Canal	Código ⁽¹⁾	Volumen del entrelazador (bit/s)	Esfuerzo de decodificación operaciones/bits de información ⁽²⁾	Relación E_b/N_0 medida para una BER = 10^{-5} (dB)
Sintético de Rayleigh, 1 Hz	Bloque	48 · 60 = 2880	8,3	27
	Convolucional	48 · 60 = 2880	128	22,5
Almacenado, antena C3, elevación 4°	Bloque	48 · 60 = 2880	8,3	17
	Convolucional	80 · 60 = 4800	128	13,2
Almacenado, antena C3, elevación 19°	Bloque	48 · 60 = 2880	8,3	12
	Convolucional	80 · 60 = 4880	128	10,5

⁽¹⁾ Código bloque: Código Reed-Solomon (RS) (15 : 9 : 3); decodificación con decisión firme.
Código convolucional: velocidad 1/2, longitud límite 7, decodificación de Viterbi, YHAH.

⁽²⁾ Una operación para la decodificación RS, significa 1 multiplicación + 1 adición en GF (2⁴) (GF: Cuerpo de Galois)
Una operación para la decodificación de Viterbi, significa 1 adición + 1 búsqueda en un cuadro de números de coma fija.

Puede concluirse que, en condiciones de caso más desfavorable (antena C3 hemisférica con ángulo de elevación de 4°), el valor medio de la relación E_b/N_0 necesario para conseguir una BER de 10^{-5} , debe estar en la gama de 13 dB a 17 dB. Puede conseguirse el valor menor con sistemas decodificadores de Viterbi perfeccionados y un retardo de entrelazado de 4 s. Para el valor E_b/N_0 más alto, puede emplearse un decodificador Reed-Solomon relativamente sencillo, con un retardo de entrelazado de 2,4 s. En comparación con la transmisión no codificada, se han logrado ventajas netas de codificación de 9 a 13 dB. Estos resultados ponen de manifiesto que es imprescindible emplear la técnica FEC en sistemas de comunicación de datos por satélite de la norma C con transmisiones continuas para compensar los efectos de trayectos múltiples.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRÄBEL, LOTS, PAPKE, W., PLÖCHINGER 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.
- LÜTZ, E. [noviembre de 1984] Code and interleaver design for data transmission over fading channels, Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '84), Atlanta, GA, Estados Unidos de América.

BIBLIOGRAFÍA

- SCHWEIKERT, R. y HAGENAUER, J. [septiembre de 1983] Channel modelling and multipath compensation with forward error correction for small satellite ship earth stations. Proc. 6th International Conference on Digital Satellite Communications, Phoenix, AZ, Estados Unidos de América, XII-32/38.



ANEXO V

MÉTODO DE EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LA INFLUENCIA DEL MOVIMIENTO DEL BARCO SOBRE LAS COMUNICACIONES CON SATÉLITES MARÍTIMOS

1. Introducción

Se ha estudiado recientemente un sistema de antena para barco montado sobre una plataforma pasiva estabilizada por gravedad, destinado a estaciones terrenas de barco de baja relación G/T , tales como las de la norma C de INMARSAT [Sandrin y Carpenter, 1983]. En tales casos, el nivel de señal recibido resulta afectado aleatoriamente por la ganancia de descentramiento de la antena debido a que el movimiento de la antena puede estar directamente influido por el movimiento aleatorio del barco. En consecuencia, debería evaluarse estadísticamente el comportamiento de este sistema de antena montado en un estabilizador pasivo como el margen de fluctuación del nivel de señal recibido.

En este anexo, se describe un método de evaluación estadística del comportamiento de un estabilizador de antena pasivo como el margen de fluctuación del nivel de señal recibido debido a la ganancia de descentramiento de la antena, basándose en resultados experimentales y análisis estadísticos [Satoh y otros, 1984].

2. Evaluación de la influencia del movimiento del barco

La zona donde se desarrolló el experimento era próxima a las aguas japonesas. El barco utilizado para el experimento pertenecía a la clase de 200 toneladas. Se estudia aquí el análisis de movimiento de balanceo porque este método constituye el movimiento del barco dominante. Se midió el balanceo con un giróscopo vertical.

En la fig. 12 se representa un registro típico de una serie de X movimientos de balanceo instantáneo durante un periodo de 5 min. En la fig. 13 se representa la distribución de probabilidad acumulativa medida (DPA) de X que es la probabilidad de que X no rebase el nivel X , especificado. Se han calibrado los ejes de coordenadas de la fig. 13, de forma que las DPA gaussiana aparezca como una línea recta. Se ha encontrado que los valores medidos concuerdan bien con una distribución gaussiana de media cero. LA DPA gaussiana, se expresa como sigue:

$$p(X < X_0) = (1 + \operatorname{erf}(X_0/\sqrt{2} \sigma_x))/2 \quad (1)$$

donde:

σ_x : desviación típica del movimiento del barco y

$\operatorname{erf}(x)$: función error.

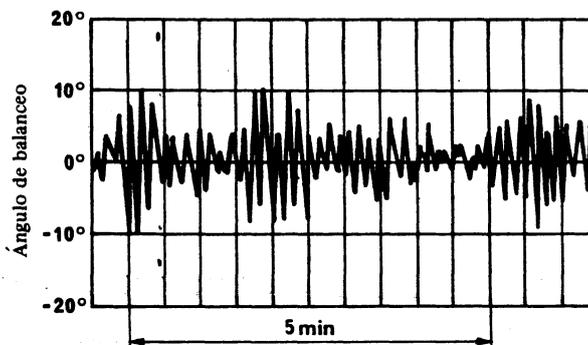


FIGURA 12 – Registro típico del movimiento de balanceo del barco

Velocidad del barco: 10 nudos

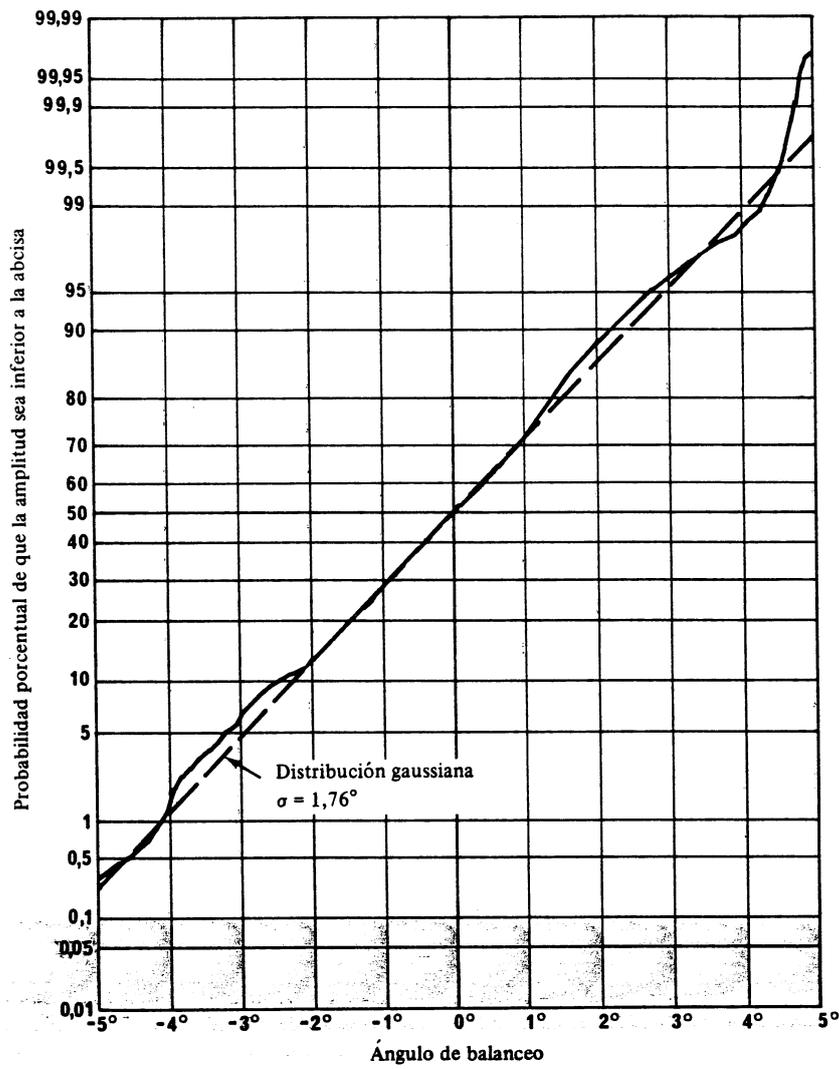


FIGURA 13 – Distribución de probabilidad acumulativa medida del movimiento de balanceo instantáneo

— : Valores medidos

- - - : Valores calculados

Altura de las olas = 1 m aproximadamente

Se estudió el estabilizador por gravedad pasivo representado en la fig. 14 como un medio de suprimir la fluctuación de la antena del barco debido a estos movimientos aleatorios del barco. En la fig. 15 se representan los efectos de estabilización medidos del estabilizador pasivo, cuando el movimiento del barco sigue una distribución gaussiana. Se observa que el movimiento de la antena se ha suprimido considerablemente y que el movimiento de la antena estabilizada se aproxima a una distribución gaussiana con media cero.

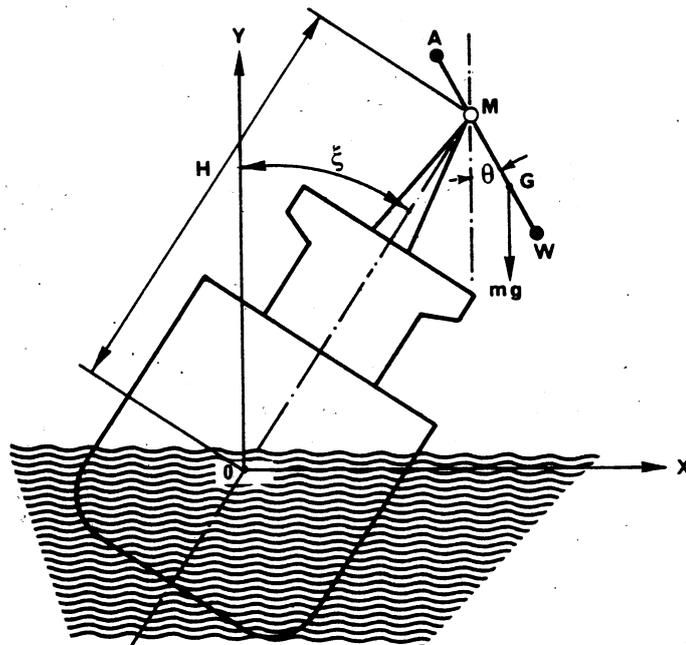
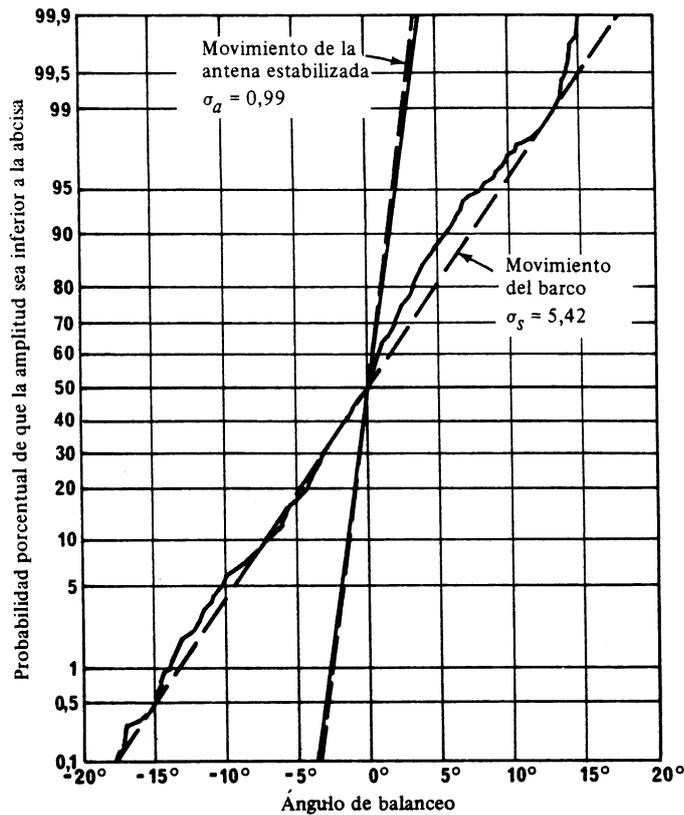


FIGURA 14 – Configuración de un estabilizador gravitatorio pasivo

- A: Antena
- W: Contrapeso
- M: Junta universal
- G: Centro de gravedad

FIGURA 15 - *Movimiento de la antena estabilizada medido*

— : Valores medidos
 - - - : Valores calculados
 Altura de las olas: 5 m aproximadamente

Si la variable p_1 representa la DPA para el movimiento de la antena estabilizada en un breve intervalo de tiempo, puede calcularse el ángulo máximo de movimiento de la antena X_a , a partir de la ecuación (1), mediante la siguiente relación:

$$X_a = \sqrt{2} \sigma_a \cdot \text{erf}^{-1}(2p_1 - 1) \quad (2)$$

donde:

σ_a : desviación típica del movimiento de la antena estabilizada y

$\text{erf}^{-1}(x)$: función inversa de la función error.

Por ejemplo para $p_1 = 99\%$: $X_a = 2,4 \sigma_a$. La directividad de la antena, a X_a (grados) del centro del haz, es equivalente a la máxima reducción del nivel de señal recibida debido al movimiento de antena con un estabilizador para la probabilidad p_1 , en un breve intervalo de tiempo. La relación entre las desviaciones típicas σ_a y σ_s depende del diseño del estabilizador.

A fin de evaluar el margen de fluctuación del nivel de señal recibido para el establecimiento de un presupuesto de enlace debe determinarse la distribución en un amplio intervalo de la desviación típica σ_s del movimiento de barco.

Es bien conocido que la envolvente de variaciones gaussianas de media cero, se distribuye según Rayleigh. En la fig. 16, se representa la DPA medida de la envolvente del movimiento de balanceo para semiamplitud R en un corto intervalo de tiempo. Se han ajustado las coordenadas en la fig. 16 de forma que la DPA de Rayleigh sea una línea recta. La DPA de R , para un corto intervalo de tiempo, concuerda bien con la distribución Rayleigh. La raíz cuadrada de la media cuadrática de R (R_{rms}), para un proceso aleatorio gaussiano, de media cero y desviación típica σ , es la siguiente:

$$R_{rms} = \sqrt{2} \sigma_s \quad (3)$$

En consecuencia, puede evaluarse la distribución σ_s para un intervalo largo mediante la distribución de R_{rms} , para un intervalo largo.

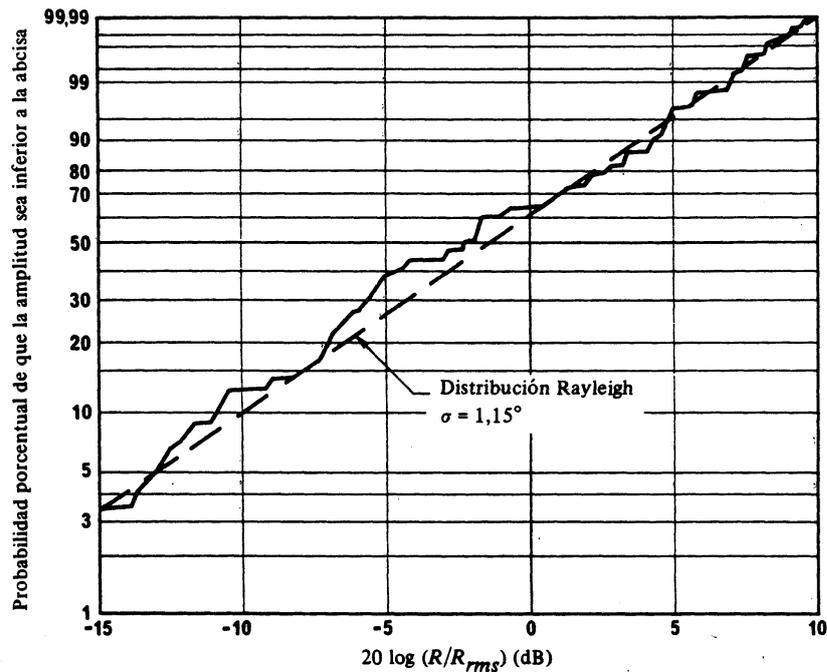


FIGURA 16 – Distribución de probabilidad acumulativa medida de la envolvente de la amplitud del balanceo para un breve intervalo de tiempo

— : Valores medidos
 - - - : Valores calculados

Se ha estudiado la distribución de R_{rms} a largo plazo durante un tiempo largo habiéndose aproximado por la distribución lognormal [Jasper, 1956]. Sin embargo, de acuerdo con estudios recientes de la distribución a largo plazo durante una estación, se ha visto que la distribución de Weibull concuerda mejor con los valores medidos, en una amplia gama de probabilidades, que la distribución lognormal [Nishinokubi y Kawashima, 1976]. No obstante, debe estudiarse más profundamente la distribución de largo intervalo de R_{rms} . Aquí, para examinar el método de valoración estadística se empleará la distribución de Weibull.

La distribución de Weibull se utiliza en el campo de la tecnología de resistencia de barcos. La función de distribución de probabilidad se expresa como sigue:

$$p(x) = q(x/k)^{q-1} \cdot \exp(-(x/k)^q)/k, \quad x > 0 \quad (4)$$

donde q y k son parámetros determinados experimentalmente. La función DPA viene dada por:

$$p(R_{rms} < R_0) = 1 - \exp(-(R_0/k)^q) \quad (5)$$

Utilizando las ecuaciones (3) y (5), puede expresarse la desviación típica máxima del movimiento de barco $\sigma_{s,0}$, para $R_{rms} = R_0$ y $DPA = p_2$ como sigue:

$$\sigma_{s,0} = R_0/\sqrt{2} = k(-1n(1 - p_2))^{1/q}/\sqrt{2} \tag{6}$$

De acuerdo con evaluaciones experimentales del movimiento de balanceo del barco (altura de olas de 1 m) durante la estación invernal en las proximidades de aguas japonesas, se obtuvieron los valores 1,9 y 5, aproximadamente para los parámetros q y k , respectivamente [Nishinokubi y Kawashima, 1976]. En la fig. 17, se representa la DPA a largo plazo de R_{rms} ajustándose las coordenadas de manera que la DPA lognormal sea una línea recta. Por ejemplo para $P_2 = 99\%$ puede estimarse que la desviación típica máxima del movimiento del barco $\sigma_{s,0}$, será inferior a unos 8° durante la estación para la que el movimiento del barco es más importante.

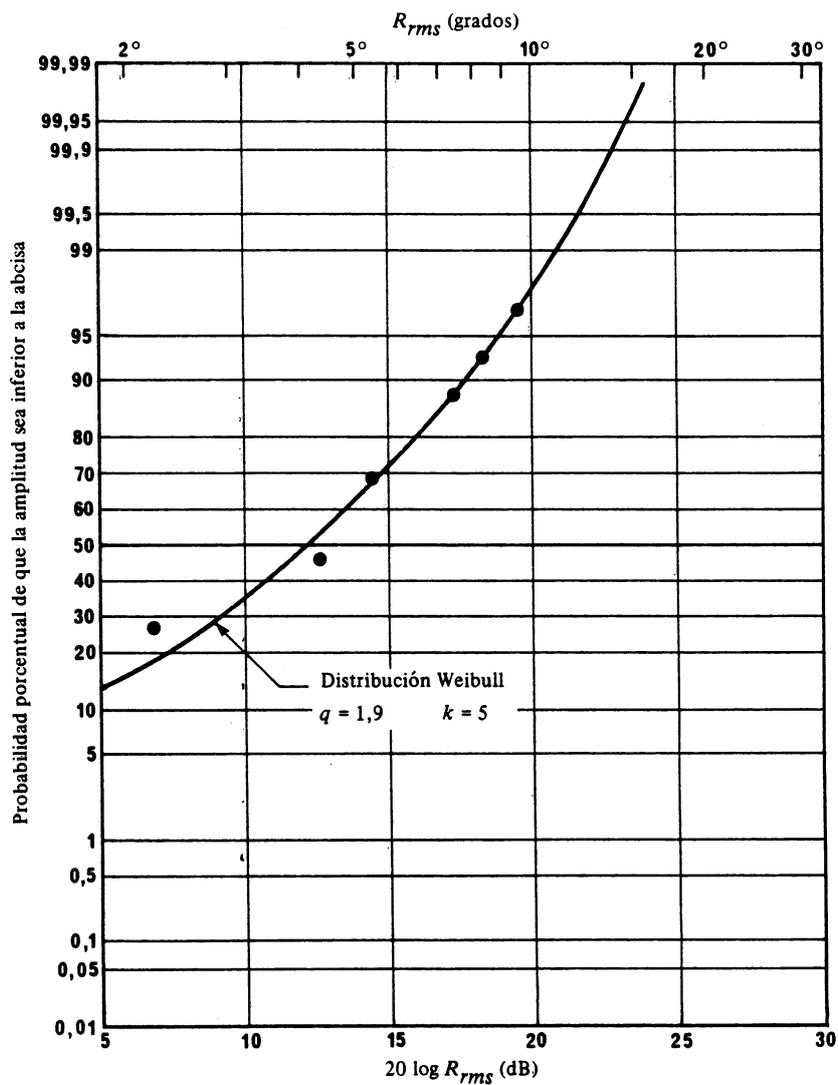


FIGURA 17 – Distribución de probabilidad acumulativa medida de la raíz cuadrada de la media cuadrática de la envolvente de amplitud del balanceo, en la estación invernal, en aguas próximas a Japón

● : Valores medidos
 Altura de olas: 5 a 10 m

La desviación típica máxima del movimiento de antena estabilizada es σ_{a0} . Se ha determinado experimentalmente la relación entre σ_{a0} y σ_{v0} , que depende del diseño del estabilizador pasivo. La reducción resultante del nivel de señal recibida debido al descentramiento de antena, puede entonces contemplarse como el margen de fluctuación para el establecimiento del presupuesto del enlace de un sistema de comunicación móvil marítimo por satélite.

3. Conclusiones

El estudio del comportamiento del estabilizador pasivo para el desarrollo de estaciones terrenas de barco de baja relación G/T , requiere una evaluación estadística. El margen de fluctuación del nivel de señal recibida debido al movimiento aleatorio de la antena puede estimarse entonces mediante las funciones de distribución de probabilidades acumulativa instantánea y a largo plazo del movimiento del barco, directividad de la antena y comportamiento del estabilizador.

En el diseño de sistemas de antena de barco y cálculo del presupuesto del enlace para futuros sistemas de comunicaciones del servicio móvil marítimo por satélite, que emplee estaciones terrenas de barco sencillas y de baja relación G/T , será útil el estudio estadístico del comportamiento del estabilizador pasivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JASPER, N. H. [1956] Statistical distribution patterns of ocean waves and of wave-induced ship stresses and motions, with engineering applications. *Trans. SNAME.*, 64, 357-417.
- NISHINOKUBI, H. y KAWASHIMA, R. [1976] On the sea keeping qualities of fishing by field measurement-III. *J. Japan Inst. Nav.*, 55, 1-6.
- SANDRIN, W. A. y CARPTENTER, E. W. [1983] Antenna studies for INMARSAT Standard-C terminals. IEE Conf. Publ., 125-129.
- SATOH, K., NAKAMAE, M. y MISHIMA, H. [1984] A simple ship-borne antenna stabilizer for limited area maritime satellite communication systems. 35th Congress of the International Astronautical Federation (IAF), IAF-84-86.

ANEXO VI

UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS ÚNICAMENTE PARA SERVICIOS MÓVILES POR SATÉLITE

1. Introducción

El presente anexo describe un sistema de comunicación de datos únicamente, denominado PRODAT, adecuado para tres posibles campos de aplicación de los servicios móviles por satélite, por ejemplo, el servicio móvil terrestre por satélite, el servicio móvil marítimo por satélite y el servicio móvil aeronáutico por satélite. El sistema PRODAT está introduciéndolo actualmente la Agencia Espacial Europea en el marco del Programa PROSAT que es un programa de prueba y demostración relativo a futuros servicios de comunicaciones móviles por satélite. El sistema PRODAT se basa en los datos experimentales que se reunieron durante la primera fase del Programa PROSAT. El sistema se utilizará durante la segunda fase para realizar demostraciones y evaluaciones a largo plazo de datos de servicios de comunicación de datos únicamente adecuados para estaciones terrenas móviles de baja relación G/T en los tres campos de aplicación antes citados.

Los experimentos de la fase 1 PROSAT demostraron que los «canales» de los servicios móviles por satélite (aeronáutico, marítimo y terrestre) son diferentes. Sin embargo, a nivel de sistema su comportamiento es muy similar: el canal es bueno durante la mayor parte del tiempo, pero puede ser también muy malo en ciertas condiciones (por ejemplo, pequeño ángulo de elevación, entorno en el caso móvil terrestre). A fin de minimizar los suplementos de protocolo y codificación cuando el canal es bueno y poder, no obstante, hacer frente a la mayoría de las condiciones desfavorables, es necesario encontrar un sistema de comunicación que se adapte a las características de los canales. Es éste uno de los criterios básicos que se han utilizado para definir el sistema PRODAT. Los esquemas de codificación ARQ utilizados en el PRODAT tanto para enlaces de ida como de retorno, se adaptan bien a las condiciones de propagación con las que tienen que enfrentarse las estaciones terrenas móviles PRODAT de baja relación G/T ($G/T = -24 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$).

2. Sistema PRODAT

2.1 Frecuencias

Los terminales móviles tienen posibilidad de operar en toda la atribución marítima y aeronáutica, pero la banda de frecuencias empleada para las pruebas PRODAT se limita a la parte de la banda móvil marítima por satélite utilizable con el MARECS.

Móvil a satélite: 1 638,6 MHz - 1 644,5 MHz

Satélite a móvil: 1 537,75 MHz - 1 542,5 MHz.

2.2 Antenas móviles (véase diagrama de radiación de referencia en la Figura 18)

Los móviles estarán equipados con una antena y un diplexor, o bien con dos antenas separadas unos 80 cm.

El diagrama de radiación de referencia es hemisférico, con una ganancia entre 0 y 2 dBi.

La polarización es circular dextrógira con una relación de elipticidad mejor que 5 dB.

2.3 Características del transmisor móvil

- La potencia RF es de 10 dBW (+ 1 dB/- 1 dB);
- el transmisor se activa únicamente cuando va a transmitirse un mensaje;
- la modulación es de espectro ensanchado de secuencia directa. La velocidad de chips es de 266,7 kHz. La velocidad de símbolos es de 300 baudios;
- máximo error de frecuencia \pm 300 Hz.

2.4 Características del receptor móvil

El receptor se engancha a un MDT transmitido por el satélite y comprueba los intervalos de tiempo de señalización. A efectos de las pruebas PRODAT, los parámetros del receptor son:

- velocidad de símbolos del MDT: 750 baudios;
- duración de la trama: 1 segundo;
- modulación MDPB;
- densidad de flujo nominal del MDT del satélite en tierra: -133 dBW/m^2 .

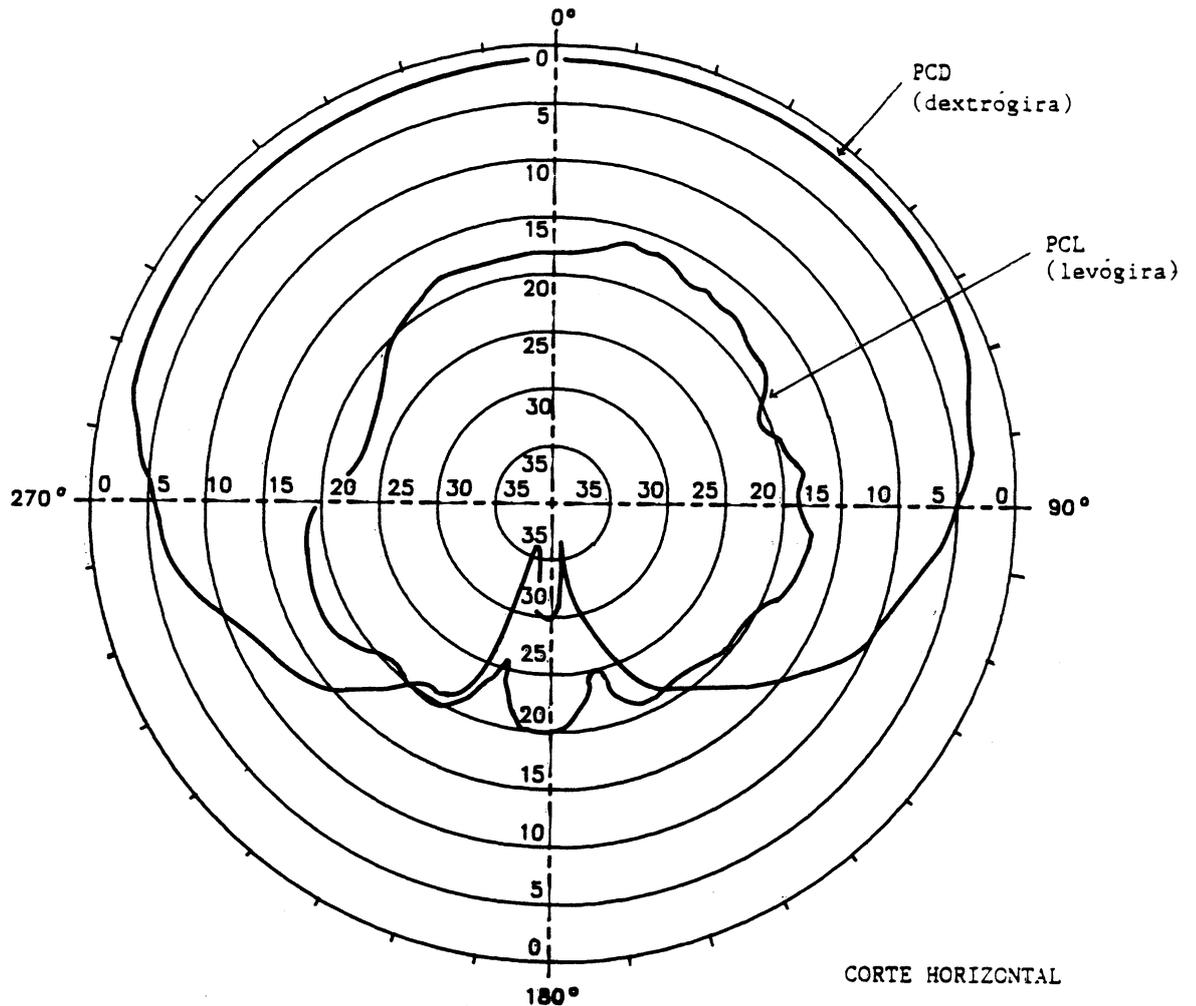


FIGURA 18

Diagrama típico de antena

Las características principales de la MDT de ida son:

Velocidad de señalización:	1500 Bd
Duración de trama:	1,098 s
Velocidad de datos (por canal):	46 bit/s

La codificación se basa en los códigos Reed-Solomon GF (2⁴) de bloque corto y se introduce redundancia de mensajes según un esquema de petición automática de repetición (ARQ).

2.5 Enlace de retorno

El enlace de retorno es un enlace digital desde las estaciones móviles al sistema de gestión de red a través del satélite. Los datos procedentes de las estaciones móviles se transmiten según un esquema de acceso múltiple por distribución por código (AMDC).

Las características principales del AMDC de retorno son las siguientes:

Número de códigos:	32
Velocidad de señalización (por canal):	300 Bd
Velocidad de datos (por canal):	150 bit/s
Longitud de código de chip:	889

La codificación se organiza de modo similar a la del enlace de ida.

2.6 *Funciones de comunicación*

El sistema PRODAT proporcionará las siguientes funciones:

- transmisión de mensajes de usuario fijo a usuario móvil y viceversa y entre usuarios móviles;
- transmisión de mensajes a múltiples usuarios móviles;
- diálogo entre un usuario fijo y un usuario móvil;
- función de petición/respuesta;
- interrogación secuencial periódica de las estaciones móviles;
- radiobúsqueda.

No todo usuario tendrá necesariamente acceso a todas las funciones.

Para los fines de las demostraciones de la fase 2 PROSAT, el sistema de gestión de red proporcionará interfaces a la red pública de datos, a la red telefónica pública y a la red télex.

2.7 *Esquema de codificación y función ARQ*

El sistema PRODAT se basa en el uso de un esquema de codificación bidireccional y en la aplicación de un esquema ARQ.

La información se organiza en «bloques» siendo cada bloque un conjunto de vectores de código RS (16 : 12) (codificación vertical). Cada vector de código ocupa un intervalo de tiempo MDT. Los símbolos de los vectores de código son elementos del cuerpo Galois GF (2⁴) que contienen cada uno cuatro bits de señalización. La codificación vertical se utiliza para corregir errores aleatorios. El Informe 509, anexo II, incluye una descripción detallada del esquema de codificación.

2.8 *AMDC en el enlace de retorno*

El esquema de acceso elegido en el enlace de retorno es el AMDC. La señal modulada se dispersa utilizando un código Gold 127 escalonado por una secuencia Barker de 7 bits. La modulación por el código de dispersión es MDP-2, y la velocidad de chips 266,7 kHz. La máxima cresta de correlación cruzada es menor que -13 dB (con respecto a la cresta de autocorrelación) y la degradación de interferencia mutua menor que 2 dB.

Las ventajas que permitirá el AMDC son las siguientes:

- mejor protección contra señales interferentes,
- mayor eficacia en las prestaciones del canal de acceso aleatorio (pueden distinguirse dos señales espaciadas por uno o dos chips),
- mayor eficacia del enlace de datos de retorno con relación al AMDT (no se necesita tiempo de guarda para evitar la deformación de la señal),
- dispersión de los productos de intermodulación en el transpondedor de retorno del satélite (y por ende, posibilidad de acomodar una mayor dinámica de la señal o mejorar las prestaciones del enlace),
- mejor posibilidad de utilización de frecuencias para antenas multihaz de satélite, y
- menor potencia de cresta que para el AMDT en el transmisor de la estación terrena de barco.

2.9 *Canales*

Se proporcionan los siguientes canales en la trama MDT de ida:

- S0: Funcionamiento único
- S1: Canal de señalización (acceso)
- S2: Submúltiplex para el subcanal de vuelta (acuse de recibo)
- S3: Canal de señalización (acceso)
- D001-017: Canales de datos (17)

En el enlace de retorno se utilizan 30 códigos AMDC, cada uno correspondiente a un canal determinado:

- RA1: Canal de llamada de acceso aleatorio
- D051-62 Canales de datos (12)
- D101-117: Subcanales de vuelta (17)

Los subcanales de vuelta se utilizan para transmitir mensajes de accuse de recibo.

2.10 Sincronización (enlace de retorno)

Las transmisiones por un determinado canal, con excepción del canal de acceso aleatorio, se producen una vez que el canal se asigna a una determinada estación móvil. Por tanto, sólo una estación móvil transmite durante el periodo por un determinado canal.

3. Programa de la fase 2 PROSAT

Como parte de la segunda fase del programa PROSAT, se han iniciado las actividades de PRODAT, que prevén pruebas del sistema de comunicaciones. Se ha adquirido al efecto un sistema de control de la red, situado en las instalaciones de control por satélite de Villafranca, y que proporciona un interfaz entre las redes públicas de datos y de télex, y el satélite MARECS del Atlántico. Hay también interfaz con la red SITA en Villafranca.

Además, se han adquirido aproximadamente 30 móviles que cubren las tres categorías del servicio móvil por satélite. Las pruebas comenzaron en mayo de 1987 y continuarán hasta diciembre de 1988. Durante las mismas, además de cuestiones puramente técnicas, como la calidad del enlace, se explorarán aspectos de servicio y la reacción de los usuarios, con exclusión de la tarificación.

ANEXO VII

SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA LA NORMA C DE INMARSAT

1. Introducción

El sistema de comunicaciones para la norma C se ha diseñado para permitir la instalación de modernos sistemas de comunicaciones bidireccionales por satélite a bordo de los barcos más pequeños. El sistema se ha aceptado 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 un servicio 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 un servicio de radiodifusión solamente, denominado servicio de llamada de grupo mejorada.

1.1 El sistema de norma C puede describirse brevemente como sigue:

- a) la relación G/T es de $-23 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ 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) la explotación en un entorno de haces puntuales se facilita mediante la identificación automática del haz puntual del satélite en el momento de su activación.

1.2 Estas técnicas permitirán realizar los siguientes servicios:

- 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.

2. Implicaciones de diseño

La adopción de una relación G/T de $-23 \text{ dB(K}^{-1})$ limita el servicio 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 bits por segundo, 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.

3. Balances de 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_0 sólo afecta al número de retransmisiones, y por tanto al retardo del mensaje y a la capacidad del sistema.

Los presupuestos de enlace presentados en los Cuadros X y XI se denominan "del caso más desfavorable", que se definen así:

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

Debería señalarse que la relación C/N_0 será mejor en la mayoría de los casos, en la mayor parte del tiempo.

CUADRO XBalance 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 ⁻¹))	- 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)	20,4
Pérdida de trayecto	(dB)	188,5
Pérdida por absorción	(dB)	0,4
G/T de la ETB	(dB(K ⁻¹))	- 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
Márgen	(dB)	0,0

CUADRO XI

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 ⁻¹))	- 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 ⁻¹))	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 total del sistema de satélite (99%)	(dB)	1,7	1,7
C/N ₀ global	(dBHz)	31,9	32,5
C/N ₀ requerida	(dBHz)	31,5	31,5
Márgen	(dB)	+ 0,4	+ 1,0

4. Sistemas de tratamiento de la señal

4.1 Características de tratamiento de la señal

Debido a la antena de baja ganancia de la ETB, ambos enlaces de ida y de retorno tienen energía limitada, como puede verse en los balances de enlace. Se utiliza codificación convolucional de velocidad mitad (longitud limitada a $k = 7$), para suministrar corrección de errores sin canal de retorno, que puede proporcionar una ganancia de codificación de unos 5 dB en un enlace sin desvanecimiento (véase por ejemplo el Informe 921).

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 de modo continuo, y para el de mensajes de la ETB en modo cuasi-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 (véase el Informe 384), 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 intercalador para producir secuencias más largas sin las transiciones de símbolos que podrían esperarse con datos aleatorios.

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 realizaciones 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 de bit 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. Canales en la norma C

En el sistema de norma C se utilizan diferentes tipos de canales, que se describen a continuación:

5.1 Canal común de la ECR

El canal común de la ECR es transmitido continuamente por ésta. El canal trabaja a 1.200 símbolos por segundo con una trama de longitud fija de 8,64 s. Trama por trama, la información se aleatoriza, intercala y codifica convolucionalmente a velocidad mitad. La velocidad de información es por tanto de 600 bits por segundo.

En cada trama hay disponibles 591 bytes para paquetes y 48 bytes para boletines. Estos boletines se utilizan para transferir información sobre la utilización por la ETB de los canales de señalización asociados.

5.2 Canal MDT de la ETC

El canal MDT de la ETC se utiliza para el enlace de ida cuando se comunica con una ETB. Su estructura es idéntica a la del canal común de la ECR antes descrito, y se utiliza para enviar señalización de establecimiento de llamada, mensajes costera-barco, acuses de recibo y señalización de liberación de la llamada.

Una ETC puede trabajar con más de un canal MDT de ETC, y cada canal puede ser asignado por demanda por la ECR.

5.3 Canal de señalización de la ETB

El canal de señalización de la ETB es utilizado por la ECR y por la ETC para la señalización del enlace de retorno. Se asocian de uno a cuatro canales de señalización de la ETB con un canal MDT de ida.

El acceso por las ETB al canal de señalización de la ETB se realiza por medio de un esquema Aloha con intervalos y mediante la adición de un mecanismo para reservar intervalos en el canal.

La temporización de los intervalos se basa en la trama MDT de 8,64 s. Cada tiempo de trama se divide en 14 intervalos para los satélites de la generación actual y 28 para los satélites de la generación futura.

La información transmitida en un intervalo se aleatoriza y codifica convolucionalmente a velocidad mitad.

La velocidad de transmisión es de 600 símbolos por segundo en los satélites de generación actual y de 1.200 símbolos por segundo en los satélites de la generación futura. Cada intervalo puede transportar 120 bits de información. Las ráfagas transmitidas en los intervalos no tienen preámbulos de adquisición reservados, a fin de maximizar la utilización del canal.

La transmisión por más de un ETB en el mismo intervalo produce una "colisión" vista en la ETC de recepción. A fin de minimizar el tiempo transcurrido antes de que una ETB sepa que su transmisión no tuvo éxito, se utiliza el boletín en el MDT de ida, para realimentar los resultados de las transmisiones de la ETB.

5.4 Canal de mensajes de la ETB

Los canales de mensajes de la ETB son utilizados por las ETB para transmitir sus mensajes a la ETC elegida. Se emplea un canal de señalización de la ETB durante la fase de establecimiento de llamada de la transferencia, pero el mensaje propiamente dicho se envía por un canal de mensajes de la ETB asignado por la ETC.

El acceso al canal por las ETB se realiza por MDT. La ETC de destino indica a la ETB que espera para transmitir el momento en que puede iniciar la transmisión. Una vez asignado un tiempo de comienzo, una ETB transmitirá todo su mensaje sin interrupción.

El formato de la información a enviar es el de paquetes de tamaño fijo, y se dispone en tramas. Hay más de un tamaño de trama disponible, aunque éste se fijará para una transmisión determinada. Según su tamaño, una trama puede contener de 1 a 5 paquetes. Cada paquete contiene a su vez 127 bytes de información.

Trama por trama, las tramas se aleatorizan, intercalan y codifican convolucionalmente a velocidad mitad. Antes de la transmisión, se añade un preámbulo de adquisición. La velocidad de transmisión es de 1.200 símbolos por segundo o de 600 símbolos por segundo según el respondedor de satélite que se utilice.

5.5 Enlaces entre estaciones

Cada ETC que ofrece servicios de la norma C tiene un enlace bidireccional con la ECR de la misma región. Este enlace se utiliza para transferir anuncios y mensajes por Llamada de Grupo Mejorada (LGM) de una ETC a la ECR para su transmisión posterior por el canal común de la ECR. Además, se intercambia señalización por este enlace para asegurar la sincronización de acceso a las ETB, y para la atribución de los canales MDT de la ETC por la ECR.

El canal utiliza los procedimientos de acceso al enlace de la Recomendación X.25 del CCITT (Libro Rojo). La velocidad de transmisión es de 1 200 bit/s y no se emplean más técnicas de corrección de errores que las incluidas en la Recomendación X. 25.

5.6 Enlace interregional

Cada ECR está enlazada con las demás ECR por medio de un canal de enlace interregiones. Este canal se utiliza principalmente para que las otras regiones estén al corriente de cualquier actividad de registro por las ETB de una región determinada.

Este enlace utiliza canales de datos de banda vocal de marcación automática por la RTPC. Para el intercambio de información se emplean los procedimientos de capa de enlace de la Recomendación X.25 del CCITT (Libro Rojo). Estos enlaces trabajan a 600 bit/s, utilizando los modems duplex de la Recomendación V.22 del CCITT.

6. Tipos de norma C

- Tipo 1 Capaz de proporcionar comunicaciones de norma C solamente.
 - Tipo 2 Capaz de proporcionar comunicaciones de norma C y recepción de transmisiones por Llamada de Grupo Mejorada (LLGM) cuando no intervienen en comunicaciones que utilicen el único receptor (receptor común LLGM/SGDC).
 - Tipo 3 Capaz de proporcionar simultáneamente comunicaciones de norma C y LLGM utilizando dos receptores.
-