

## INFORME UIT-R M.2010-1

**MEJORA DE LA EFICACIA EN LA UTILIZACIÓN DE LA BANDA 156-174 MHz  
POR LAS ESTACIONES DEL SERVICIO MÓVIL MARÍTIMO**

(Cuestión UIT-R 96/8)

(1993-1997)

**1 Introducción**

**1.1** En la Recomendación 318 (Mob-87) de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para los servicios móviles (Ginebra, 1987) (CAMR Mob-87) se invita al UIT-R a que emprenda urgentemente estudios para determinar los medios más apropiados para promover una utilización más eficaz del espectro de frecuencias en la banda de ondas métricas del servicio móvil marítimo.

**1.2** Este Informe incluye un estudio de las tecnologías y sistemas propuestos o utilizados en los servicios móviles terrestres privados, y se examinan varias opciones en relación con su adecuación al servicio móvil marítimo en la banda de ondas métricas. Se ha seleccionado un reducido número de las tecnologías y sistemas que tienen mayores posibilidades. Este conjunto de tecnologías y sistemas se ha examinado más a fondo para determinar si es posible mejorar la utilización del espectro e identificar las cuestiones conexas, tanto técnicas como operacionales, así como las esferas que requieren mayor estudio.

**2 Examen de tecnologías y sistemas**

El servicio marítimo debe constituir en todo momento un canal de comunicación eficaz para efectuar llamadas de socorro y seguridad, realizar operaciones de búsqueda y salvamento y proporcionar información sobre la navegación. Además, el servicio puede servir para la correspondencia pública, la radiodifusión de boletines meteorológicos, las comunicaciones de control en puertos y bahías y las comunicaciones entre barcos. Estos factores se han de tener presentes al evaluar la idoneidad de las tecnologías y sistemas alternativos. Es muy importante que los cambios del sistema actual:

- se apliquen dentro de la banda marítima de ondas métricas, ya que no se prevé que en el próximo futuro pueda atribuirse espectro adicional;
- permitan aumentar significativamente la capacidad de espectro, ya que habrá que prever una capacidad suficiente para responder al crecimiento previsto durante los próximos diez años o más allá de esa fecha. No obstante, hay que señalar que los sistemas celulares terrenales existentes ya cubren ciertas aguas costeras y están atenuando parte de la presión de los canales de correspondencia pública en la banda marítima de ondas métricas;
- afecten en la menor medida posible a los servicios existentes, sobre todo tratándose del funcionamiento de los canales de socorro y seguridad;
- permitan aprovechar las nuevas tecnologías disponibles, incluida la transmisión de datos (véase el Anexo 1), para ofrecer nuevas características, tales como el cifrado, que proporcionan una mayor seguridad y privacidad.

A continuación se pasa revista a las tecnologías y sistemas alternativos.

**2.1 Modulación en banda estrecha**

Sustituir los presentes canales de 25 kHz por otros de menor anchura de banda sería un método directo para obtener más canales. En principio, reducir a la mitad la anchura de banda permitiría utilizar el doble de canales. En la práctica, suelen reducirse las características del funcionamiento en canal adyacente y cocanal, lo que redundaría en un aumento de las distancias de reutilización, y no siempre se logra toda la ganancia posible.

Se han considerado las siguientes tecnologías de banda estrecha:

- separación de canales de 12,5 kHz utilizando modulación de frecuencia (MF) analógica, lo que podría proporcionar el doble de canales;
- separación de canales de 6,25 kHz, utilizando transmisión de señales vocales y modulación digitales, lo que podría proporcionar hasta cuatro veces más de canales;
- separación de canales de 5 kHz, utilizando modulación lineal (que es una forma de modulación en banda lateral única (BLU)). Con ello se podría disponer de hasta cinco veces más de canales.

Los tres métodos precitados podrían proporcionar importantes ganancias de capacidad, son aplicables a la banda de ondas métricas y no requieren modificar radicalmente la forma en que funcionan los actuales servicios. Estos tres métodos se evalúan más a fondo en el § 3.

## **2.2 Método de modulación de acceso múltiple por división de tiempo $\times$ 4 (AMDT-4) de 25 kHz**

Es probable que para las aplicaciones móviles terrestres en algunas partes del mundo se utilice la modulación de AMDT-4 25 kHz, por lo que es posible que se obtengan ventajas de economías de escala. Un sistema AMDT-4 de 25 kHz denominado TETRA es el candidato más probable para las futuras aplicaciones móviles terrestres en Europa.

TETRA es una norma europea abierta y es un sistema de muchas características que utiliza eficazmente el espectro y que podría adaptarse fácilmente al funcionamiento en el entorno marítimo. Desde el punto de vista de la utilización eficaz del espectro, TETRA se compara bien con otros sistemas que se están estudiando y representa una ganancia bruta de canales/kHz de 4:1 con respecto a MF de 25 kHz con una capacidad de altas velocidades de datos, en particular si se utilizan múltiples intervalos de tiempo.

La utilización de TETRA se está considerando en el Reino Unido para aplicaciones marítimas limitadas a aplicaciones marítimas nacionales. En el Anexo 2 figura una descripción de este método.

## **2.3 Sustitución de transmisión de señales vocales por transmisión de datos**

En las aplicaciones en que se suelen utilizar mensajes normalizados o mensajes unidireccionales, la transmisión de texto en lugar de señales vocales puede ahorrar una importante cantidad de tiempo de canal. Por ejemplo, un mensaje vocal de 10 s puede ser enviado en forma de texto, recurriendo a una transmisión de datos a 1 200 bit/s en 2 s y en menos tiempo a velocidades binarias más elevadas. Esto permite mejorar en 1 a 5 o incluso más la capacidad del canal. No obstante, las posibilidades de aplicación práctica dependerán de la medida en que el texto pueda reemplazar a la voz.

Partiendo de la hipótesis optimista de que la mitad de todo el tráfico de operaciones portuarias, pero no así la correspondencia pública o las comunicaciones de barco a barco, pueden ser reemplazadas por la transmisión de datos, el incremento de la capacidad en el caso de frecuencias internacionales sería equivalente a seis canales dúplex y o a cuatro canales símplex adicionales. La capacidad total se incrementaría en un factor de 1,2.

## **2.4 Establecimiento automático de llamadas**

La introducción de sistemas de establecimiento automático de llamadas permite aumentar ligeramente la capacidad, por ejemplo, 20%, suponiendo que el tiempo de establecimiento manual de las llamadas sea de 0,5 min para una llamada media de 2,5 min.

# **3 Opciones seleccionadas de modulación en banda estrecha**

Todas las tecnologías de banda estrecha consideradas en este Informe se aplican por igual a los canales dúplex y símplex.

## **3.1 MF analógica a 12,5 kHz**

La modulación MF a 12,5 kHz se utiliza ya ampliamente en las radiocomunicaciones móviles terrestres y se puede adoptar para reducir a la mitad la separación entre los canales. La ventaja principal de este método consiste en que se dispone de la tecnología necesaria ya demostrada, y en que los nuevos equipos pueden interfuncionar con los equipos existentes (aunque con cierta reducción de la calidad de funcionamiento). El principal inconveniente es la limitada ganancia de capacidad, en comparación con las técnicas de modulación en banda estrecha alternativas.

### **3.1.1 Ganancia de espectro/capacidad**

Reducir a la mitad la anchura de banda de los canales permitiría doblar el número de éstos. No obstante, ello aumentaría la susceptibilidad a la interferencia cocanal con el consiguiente aumento de la distancia mínima de reutilización. En zonas donde la distancia de reutilización supera, en todo caso, a dicho mínimo, la ganancia total de capacidad se multiplicaría por dos.

### 3.1.2 Cuestiones operacionales y migración

Desde un punto de vista operacional, no habría necesidad de introducir cambios y el nuevo equipo podría interfuncionar con el antiguo. La migración sería directa. En principio, sería posible entrelazar nuevos canales (siempre que ello se planifique adecuadamente; por ejemplo, con una separación geográfica o de frecuencias suficiente), y después pasar progresivamente estos canales a 12,5 kHz. De este modo, es posible proporcionar canales adicionales en primer lugar donde más se necesite.

### 3.1.3 Equipos

En la actualidad existen y se utilizan equipos de ondas métricas en los servicios móviles terrestres privados. Es de prever que los costos sean aproximadamente iguales a los correspondientes de los equipos existentes de 25 kHz.

## 3.2 Modulación lineal en canales de 5 kHz o 6,25 kHz

La modulación lineal en BLU con compresión-expansión de amplitud (ACSSB, *amplitude compandored single sideband*) con tono transparente en la banda (TTIB, *transparent tone in band*) y regeneración de la señal con alimentación positiva ha demostrado ser un método adecuado para los servicios de radiocomunicaciones móviles terrestres en canales de 6,25 kHz [McGeehan y Bateman, 1983] y 5 kHz [Baden y Jenkins, 1990]. La ventaja principal de esa tecnología es que permite obtener una gran ganancia de capacidad de espectro con pocos cambios o ninguno en los procedimientos de explotación. El principal inconveniente es la limitada disponibilidad de equipos comerciales, aunque en parte se están utilizando equipos para canales de 5 kHz y 6,25 kHz para el servicio móvil terrestre en Estados Unidos de América, por lo que es probable que se pueda adquirir más fácilmente este tipo de equipo en el futuro.

### 3.2.1 Ganancia de espectro/capacidad

El establecimiento de canales de 5 kHz proporcionaría cinco veces más canales que los disponibles actualmente. Como sucede con la MF analógica a 12,5 kHz, ello produciría un aumento de la susceptibilidad a la interferencia cocanal y, por tanto, de la distancia mínima de reutilización. En las zonas de gran reutilización de frecuencias, la ganancia total de capacidad sería inferior a un factor de 5. En French [1979] se prevé un factor de 2,5, aunque en estudios ulteriores (no publicados) se señala que cabe esperar un factor mayor de reutilización.

### 3.2.2 Cuestiones operacionales y migración

Desde un punto de vista operacional, no habrá necesidad de introducir cambio alguno. No obstante, durante la fase de conversión, será preciso contar con equipo adicional o transceptores en modo dual. La migración podrá efectuarse mediante entrelazado (posiblemente con dos canales de BLU entre cada uno de los antiguos canales). A continuación, habrá que suprimir los canales MF y reemplazarlos por canales de banda estrecha.

### 3.2.3 Equipos

Los equipos ACSSB no se utilizan de manera generalizada. No obstante, en Estados Unidos de América se ha diseñado este tipo de equipo y se está utilizando limitadamente en 220 MHz.

## 3.3 Canales de 6,25 kHz con modulación digital

Es posible utilizar un códec vocal digital y modulación digital para obtener un único canal vocal en un canal de 6,25 kHz. Dicho sistema podría servir flexiblemente para la transmisión de señales vocales y de datos. Las ventajas del sistema son su privacidad y seguridad inherentes, lo cual atenúa los problemas de expansión.

### 3.3.1 Ganancia de espectro/capacidad

Con este método se podría aumentar el número de canales en un factor de 4. Aunque no se ha determinado aún cuál pueda ser la calidad del funcionamiento en canal adyacente y cocanal con este formato, es posible que la ganancia que pueda obtenerse sea menor en zonas caracterizadas por una intensa utilización de las frecuencias.

### 3.3.2 Cuestiones operacionales y migración

Desde un punto de vista operacional, no hay necesidad de introducir ningún cambio, pero es posible que durante la fase de transición se requiera equipo adicional o transceptores en modo dual. La migración al nuevo sistema sería similar a la del ACSSB a 5 kHz.

### 3.3.3 Equipos

No se sabe que existan prototipos de equipos. En un principio, cabría esperar que los costos superasen a los de los equipos actuales de 25 kHz, aunque disminuirían cuando se empezara la producción en serie.

## 4 Resignación de canales dúplex como canales símplex

### 4.1 Ganancia de espectro/capacidad

Se duplicaría la capacidad de cada par de frecuencias dúplex reatribuidas como canales símplex. Sin embargo, esto no podría hacerse con todos los canales dúplex. Por ejemplo, no sería adecuado explotar los canales de correspondencia pública en modo símplex. Suponiendo que todos los canales dúplex asignados exclusivamente a las operaciones portuarias y la mitad de los compartidos con el servicio de correspondencia pública pudieran reasignarse como dos canales de una sola frecuencia, el número de canales adicionales obtenidos sería 16. Esto equivale a una ganancia de capacidad de 1,3.

Se señala que normalmente habrá de evitarse el funcionamiento a una sola frecuencia en las estaciones radioeléctricas que deban funcionar en más de un canal a la vez. Recibir transmisiones por una antena al mismo tiempo que se transmite en una frecuencia próxima por una antena adyacente requiere niveles muy elevados de filtrado y supone un aumento considerable de los problemas de ingeniería y de los costos de instalación.

### 4.2 Cuestiones operacionales y migración

La introducción de canales símplex adicionales no requeriría ningún cambio operacional. Los canales dúplex podrían cambiarse individualmente o en grupos. Sería necesario disponer de nuevos equipos sólo en los casos en que los equipos existentes no fuesen reprogramables.

### 4.3 Equipos

Este cambio no ocasiona problemas técnicos ni entraña riesgo alguno.

## 5 Resumen y conclusiones

En el Cuadro 1 se resumen las principales características de las opciones seleccionadas.

CUADRO 1  
Comparación de las opciones seleccionadas

Opción	Ganancia de capacidad	Repercusiones operacionales	Migración	Equipo
MF analógica a 12,5 kHz	$\times 1,5$ a $\times 2$	Ninguna, interfuncionamiento con el equipo existente	Intercalado	Utilizado en el servicio de radiocomunicación móvil terrestre
Modulación lineal a 5 kHz o 6,25 kHz	$\times 2,5$ a $\times 5$	Se requiere equipo adicional o en modo dual	Intercalado (con planificación cuidadosa)	Uso limitado en el servicio de radiocomunicación móvil terrestre
Disposición de canales de 6,25 kHz con modulación digital	$< \times 4$	Se requiere equipo adicional o en modo dual	Intercalado (con planificación cuidadosa)	No se dispone de equipo comercial
Reatribución de canales dúplex en modo símplex	$\times 1,3$	Ninguna	Cambio rápido pero simple	Introducción de cambios menores en el equipo actual
Método AMDT-4 de 25 kHz	$\times 4$	Se requiere nuevo equipo	Largo periodo de transición	Versiones marítimas de los equipos radioeléctricos móviles

Pasar a la MF analógica de 12,5 kHz o reasignar canales dúplex para funcionar en modo símplex sería el método más sencillo si se desea mejorar la utilización del espectro. Ambas opciones tendrían una incidencia mínima sobre las operaciones actuales y suponen una migración directa. La utilización del espectro aumentaría en un factor comprendido entre 1,5 y 2, si se recurre a la MF analógica de 12,5 kHz, y en un factor de 1,3, tratándose de la reasignación de canales dúplex. Si se introducen ambos cambios, podría mantenerse a su nivel actual el número de canales dúplex e incrementar la ganancia de la utilización del espectro aproximadamente en 2,5.

Cabe la posibilidad de obtener ganancias más considerables en la utilización del espectro, sea recurriendo a la modulación lineal con canales de 5 kHz o con canales a 6,25 kHz y señales vocales digitales. El primer método acrecentaría la utilización en un factor comprendido entre 2,5 y 5, mientras que el segundo lo haría en un factor de hasta 4, además de su seguridad y privacidad inherentes. El inconveniente sería la necesidad de contar con equipos que funcionen en modo dual durante la fase de transición, así como el incremento de los costos del equipo. Aunque ninguna de ambas tecnologías se utiliza actualmente de manera generalizada, la modulación lineal ACSSB de 5 kHz está en uso comercial limitado en Estados Unidos de América. No obstante, hay que tener presente que cualquier cambio que se introduzca en la disposición de canales del Apéndice S18 al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) exigirá una decisión al respecto de una futura conferencia mundial de radiocomunicaciones competente, que no podría celebrarse, como pronto, antes de 1997, fecha en la cual es probable que la utilización de estas tecnologías por los servicios móviles terrestres haya reducido considerablemente los costos.

Las estimaciones de la ganancia de espectro proporcionadas en el presente Informe se basan en estudios de las radiocomunicaciones móviles terrestres y como tales dan sólo una idea aproximada de la calidad de funcionamiento que puede obtenerse en la banda marítima de ondas métricas. Antes de que pueda llegarse a conclusiones definitivas, habrá que realizar nuevos estudios para verificar dichas estimaciones. En particular, la calidad del funcionamiento en canal adyacente y cocanal y sus repercusiones para la reutilización de frecuencias requiere mayor estudio.

Puede verse que la modulación lineal de 5 kHz o la disposición de canales de 6,25 kHz con transmisión digital de señales vocales o datos son los métodos que ofrecen las mayores posibilidades para aumentar significativamente la utilización eficaz de la banda de ondas métricas atribuida al servicio marítimo y, por esta razón, deben estudiarse más a fondo antes que otros.

El Anexo 1 (Fundamentos para el paso provisional a una separación de canales de 12,5 kHz) proporciona un ejemplo y la descripción de un sistema que se puede realizar en Estados Unidos de América para utilizarlo con sistemas del servicio de tráfico de barcos (VTS, *vessel traffic service*).

El Anexo 2 proporciona una descripción de cómo se podría emplear un sistema AMDT de 25 kHz en el entorno marítimo en ondas métricas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADEN, C. C. E. y JENKINS, A. P. [agosto de 1990] Linear modulation trials. Informe Final, Universidad de Bradford.
- FRENCH, R. C. [3 de agosto de 1979] The effect of fading and shadowing on channel reuse in mobile radio. *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, Vol. VT-28, 3.
- McGEEHAN, J. P. y BATEMAN, A. J. [1 de febrero de 1983] Theoretical and experimental investigation of feed forward signal regeneration as a means of combating multipath propagation effects in pilot-based SSB mobile radio systems. *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, Vol. VT-32, 1.

## ANEXO 1

### **Fundamentos para el paso provisional a una separación de canales de 12,5 kHz**

Este Anexo contiene un ejemplo y una descripción de un sistema que se puede realizar en Estados Unidos de América para utilizarlo con los sistemas VTS.

#### **1 Definición del problema**

La banda de frecuencias atribuida a los servicios móviles marítimos (156-174 MHz) sustenta las comunicaciones marítimas en zonas costeras y vías fluviales en el mundo entero. El Apéndice S18 al RR define los canales del servicio móvil marítimo. Estos canales deben apoyar una variedad de funciones que incluyen: correspondencia pública, comunicaciones entre barcos y barco-costera, operaciones portuarias, llamadas y diversos fines de seguridad.

La principal función del servicio móvil marítimo existente en ondas métricas es proporcionar comunicaciones de voz y datos entre barcos y estaciones costeras para correspondencia pública, operaciones de barcos, comunicaciones entre barcos, movimiento de barcos y seguridad. Aunque no se utilizan ampliamente, las comunicaciones de datos están disponibles en diversos canales, a reserva de acuerdos especiales entre las administraciones interesadas y afectadas. La mayor parte de las comunicaciones en el servicio móvil marítimo se realizan utilizando técnicas MF analógicas para comunicaciones vocales, aunque se prevé el aumento de las futuras necesidades de intercambio de información digital.

Además de las comunicaciones vocales, las disposiciones del Apéndice S18 del RR tienen en cuenta también la utilización de transmisiones de datos de alta velocidad y facsímil así como la transmisión de telegrafía de impresión directa de banda estrecha (IDBE) y de datos por los distintos canales, a reserva de acuerdos especiales entre las administraciones interesadas y afectadas. Actualmente, se utilizan velocidades de datos del orden de 100 ó 200 Bd. Los Artículos S51 y S52 del RR establecen las características técnicas para estas funciones.

En muchas zonas del mundo la congestión se ha convertido en un grave problema debido al rápido aumento de la utilización de MF en ondas métricas por los servicios móviles marítimos, con el resultado de que se ha degradado la efectividad de las llamadas de socorro y seguridad por el canal de llamada. Como la utilización del servicio móvil marítimo para comunicaciones de voz y datos continúa aumentando, esta situación empeorará a menos que se tomen medidas para disminuir la repercusión en los servicios críticos, incluidos los utilizados para socorro y seguridad.

Muchos proveedores de correspondencia pública desean utilizar sistemas avanzados de gestión de tráfico vocal con el fin de aumentar el volumen de tráfico que puede ser cursado. La utilización provechosa y la aplicación de estas nuevas tecnologías depende en gran medida de la disponibilidad y de la utilización eficaz de los canales que se podría lograr mediante la aplicación de un esquema de disposición de canales de 12,5 kHz.

Además, las administraciones que están introduciendo VTS modernos con técnicas tales como la vigilancia dependiente automática, necesitarán reservar radiocanales internacionalmente compatibles para transmisiones de datos. Por ejemplo, el Servicio de Guardacostas de Estados Unidos de América prevé utilizar en el futuro próximo sistemas de VTS con vigilancia dependiente automática, IDBE (por ejemplo, NAVTEX) y otras tecnologías digitales que requerirán una mejor gestión del espectro en la banda de ondas métricas. Al realizar este cambio ahora, el VTS podrá aprovechar las ventajas de la tecnología y la gestión del espectro mejoradas, con miras a desarrollar un servicio VTS «no sonoro» (voiceless).

En el futuro previsible no cabe esperar la atribución de espectro adicional. Por consiguiente, hay que utilizar más eficazmente el espectro disponible para proporcionar canales adicionales que puedan ser empleados en el servicio móvil marítimo cuanto antes. Los cambios necesarios deben tener en cuenta otros factores, tales como los transceptores de bajo costo, el interfuncionamiento con los equipos MF de 25 kHz existentes, y el periodo de tiempo en el cual se pueden lograr las mejoras deseadas. Además, cualquier nueva tecnología para reducir la congestión del espectro y mejorar su utilización eficaz en el servicio móvil marítimo a corto plazo debe ser capaz de prever las crecientes necesidades móviles marítimas a la vez que se mantiene la efectividad de las comunicaciones de socorro y seguridad. Concretamente, la disponibilidad de comunicaciones de socorro y seguridad para cada usuario no debe ser disminuida por la nueva tecnología (por ejemplo, cuando se ponga en funcionamiento el nuevo servicio, los transceptores nuevos y existentes deben interfuncionar y ser capaces de participar en el sistema de socorro y seguridad marítimos en ondas métricas).

## **2 Requisitos de diseño para los sistemas futuros**

Los futuros sistemas deben tener en cuenta varios factores clave relacionados con las actuales actividades y planes de utilización de las bandas de frecuencias en ondas métricas de acuerdo con el Apéndice S18 al RR.

### **2.1 Requisitos y aceptación del SMSSM/SOLAS**

La mayoría de las administraciones de la comunidad marítima actualmente están equipando los buques con nuevos transceptores de ondas métricas en cumplimiento del Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) de 1974, modificado en 1988, que invoca los requisitos del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM), de la Resolución A.609 (15) de la Organización Marítima Internacional (OMI) (Normas de funcionamiento de las instalaciones radioeléctricas de a bordo de ondas métricas aptas para comunicaciones telefónicas y llamada selectiva digital) y de la Recomendación UIT-R M.493 (Sistema de llamada selectiva digital para el servicio móvil marítimo). De este modo, cualquier nueva propuesta de diseño debe incluir estos requisitos sin degradar la calidad de funcionamiento de los transceptores móviles ni del entorno espectral global.

## 2.2 Aceptación generalizada de llamada selectiva digital (LLSD)

Los principales fabricantes en Europa, Asia y Estados Unidos de América ya han comenzado a producir y vender transeceptores marítimos de ondas métricas para LLSD, para estaciones móviles y de base. La LLSD proporciona el medio de aplicar todas las características necesarias y deseables de un sistema de radiocomunicaciones, a saber:

- enlaces troncales;
- llamada selectiva (individual y de grupo);
- llamada de socorro (con localización de emergencia);
- transmisión radioeléctrica de datos por paquetes;
- vigilancia dependiente automática (ADS, *automatic dependent surveillance*);
- sistema de información de tráfico de buques (VTIS, *vessel traffic information system*);
- sistemas automáticos de correspondencia pública;
- interconexión automática de líneas terrestres;
- interfuncionamiento con la actual infraestructura analógica.

Estas características ya han sido detalladas en varios documentos del UIT-R y de la OMI y ahora se están incluyendo en el diseño de los nuevos equipos.

## 2.3 Mayor importancia del interfuncionamiento de las comunicaciones

Las recientes catástrofes, con el resultado consiguiente de pérdida de vidas, de propiedades y daño al medio ambiente, han despertado la conciencia pública sobre la necesidad del interfuncionamiento mundial de los sistemas y equipos de comunicaciones marítimas. Dado que actualmente los protocolos de comunicaciones vocales MF analógicas y de datos de LLSD con separación de canales de 25 kHz se utilizan a escala mundial, cualquier nuevo diseño debe apoyar estos modos de funcionamiento. Además, cualesquiera nuevos canales de frecuencias para comunicaciones deben estar entre los canales existentes y ocupar la anchura de banda no ocupada ya por los canales actuales, con el fin de no degradar el servicio necesario existente. Por otra parte, cualquier nuevo sistema no debe perturbar la infraestructura requiriendo que los equipos de banda ancha existentes que funcionan actualmente en las bandas de frecuencias en ondas métricas según el Apéndice S18 del RR (separación de canales de 25 kHz) sean sustituidos con equipos de banda estrecha para evitar que interfieran o sean interferidos por los nuevos sistemas de banda estrecha. El nuevo esquema de frecuencias debe ser compatible con el actual, y los nuevos equipos deben interfuncionar con los equipos existentes para obtener la aceptación y garantizar la seguridad en alta mar y en vías fluviales.

## 2.4 Utilización de LLSD en ondas métricas para la vigilancia dependiente automática en sistemas de información del tráfico de buques (ADS/VTIS)

Algunas administraciones han comenzado a utilizar la LLSD en ondas métricas para ADS/VTIS. Estos nuevos sistemas se han utilizado para proporcionar informes de alta precisión y actualizados sobre las posiciones de los barcos empleando el sistema mundial de determinación de posición (DGPS, *differential global positioning system*) y el sistema electrónico de visualización de mapas (ECS, *electronic charting system*) por medio de las capacidades de radiocomunicación de datos por paquetes de la nueva generación de transeceptores de LLSD en ondas métricas. Se revisarán las Recomendaciones UIT-R para documentar estas características más recientes con adiciones y mejoras al protocolo de LLSD. Como un ejemplo, cabe citar que Estados Unidos de América y Canadá proyectan utilizar este sistema en los principales puertos de América del Norte en los próximos años. El Servicio de Guardacostas de Estados Unidos de América ya está aplicando uno de estos sistemas en Prince William Sound, Valdez, Alaska. La naturaleza crítica de estos sistemas plantea también la necesidad de agrupaciones de frecuencias dúplex, para que las frecuencias de base no sean interferidas por transmisiones de equipos móviles. La introducción de ADS/VTIS por medio de LLSD en ondas métricas plantea la necesidad urgente de nuevos canales de frecuencias de banda estrecha en ondas métricas. Esta necesidad urgente se expuso en un reciente documento de la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA) (IALA, 19 de agosto de 1994 – Provisions for data transmissions used by vessel traffic service systems in the VHF maritime mobile band (Disposiciones para las transmisiones de datos utilizadas por los sistemas de servicio de tráfico de buques en la banda móvil marítima de ondas métricas)).

## 2.5 Costo de las realizaciones

La mayoría de las administraciones han recibido el mandato de minimizar el costo de la realización de cualquier nuevo sistema y el costo del nuevo equipo de usuario es tan importante como el costo de los nuevos sistemas. La instalación satisfactoria de cualquier nuevo sistema requiere la aceptación de los usuarios, algunos de los cuales actualmente

disponen de transceptores de ondas métricas baratos y pueden ser tentados por la conversión a teléfonos celulares si los nuevos equipos de ondas métricas son muy caros. Cualquier nuevo diseño debe poder satisfacer todos los requisitos de calidad de funcionamiento con un mínimo de complejidad de circuitos. Este factor del costo desalienta todos los diseños de sistemas que no se puedan realizar sencillamente con ligeras mejoras del diseño de los transceptores de voz/datos MF analógicos para LLSd en ondas métricas.

## 2.6 Importancia de la utilización eficaz del espectro

La reciente proliferación de sistemas y servicios inalámbricos ha impuesto exigencias extremas al espectro radioeléctrico. Algunas administraciones han agotado ya la capacidad de su actual asignación de canales marítimos en ondas métricas. Por consiguiente, cualquier nuevo sistema que proponga utilizar intersticios entrelazados debe maximizar el caudal de información (velocidad de datos) en la anchura de banda de canal intersticial disponible.

## 3 Aplicación de métodos y transacciones

La evaluación de la actual tecnología disponible en vista de las necesidades expuestas anteriormente ha conducido a establecer los siguientes fundamentos sobre cómo aplicar mejor esta solución provisional para obtener más canales de frecuencias marítimas MF en ondas métricas.

### 3.1 Disposición y separación óptimas de canales

Dado que se debe preservar la actual disposición de canales de frecuencias e infraestructura del Apéndice S18 del RR, y que los nuevos canales se deben obtener dentro de la actual atribución de espectro, los nuevos canales serán frecuencias intersticiales colocadas entre los canales existentes con separaciones de 12,5 kHz. Esto facilitará una coexistencia sin interferencia y permitirá que los nuevos canales utilicen de manera óptima la anchura de banda disponible.

Para ADS/VTIS, se podría hacer alguna asignación tomando canales de la agrupación de canales de frecuencias dúplex que es común a todas las administraciones mundialmente, como es la agrupación de canales (24, 84, 25, 85, 26, 86, 27, 87, 28). Si se usa esta agrupación, se dispondría de ocho nuevos pares (16 nuevas frecuencias: ocho nuevas frecuencias de base, y ocho nuevas frecuencias móviles) como frecuencias intersticiales entre estas frecuencias de «correspondencia pública».

### 3.2 Transmisión vocal por los nuevos canales

En vista de que el interfuncionamiento y las consideraciones de orden económico son requisitos principales, una alternativa adecuada para la transmisión de voz por los nuevos canales es la MF de banda estrecha (MFBE) con excursión reducida. Los resultados de pruebas efectuadas han mostrado que la reducción de la excursión admisible máxima de  $\pm 5$  kHz a  $\pm 2,5$  kHz produce una pérdida de menos de 1 dB de sensibilidad de umbral RF en una relación señal/interferencia que incluye ruido y distorsión (SINAD) de 12 dB (véase el Apéndice 1). Los transceptores capaces de funcionar con los canales actuales y con los nuevos podrán utilizar un simple conmutador para reducir la excursión en los nuevos canales. Como otra posibilidad, los nuevos equipos tendrían que transmitir constantemente con una excursión reducida si se desea la transición a todos los nuevos canales/equipos de banda estrecha. Los equipos MF de banda ancha (MFBA) y de MFBE podrían interfuncionar perfectamente durante el periodo provisional con sólo una pequeña diferencia en la «sonoridad» efectiva.

### 3.3 Transmisión de datos por nuevos canales de banda estrecha entrelazados

Se ha considerado que sólo tres métodos de modulación disponibles actualmente son adecuados desde el punto de vista del costo y de la utilización eficaz del espectro para la transmisión y recepción de datos por transceptores MF en frecuencias intersticiales de banda estrecha, a saber:

- la modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) de dos tonos (actualmente utilizada en todos los transceptores de LLSd a 1 200 bit/s);
- la modulación por desplazamiento mínimo con filtro gaussiano (MDMG) (actualmente utilizada en los equipos MOBITEK a 8 000 bit/s en canales de 12,5 kHz);
- la MDF de 4 niveles (MF de envolvente constante de 4 niveles (C4FM)) con filtrado de banda de base (utilizada en sistemas de seguridad pública móvil terrestre a 9 600 bit/s por canales de banda estrecha entrelazados con separaciones de 12,5 kHz).



### 3.3.1 MDF de dos tonos, el método normalizado de LLSD

En la LLSD actualmente se utiliza este método para realizar comunicaciones de datos por paquetes con el fin de aprovechar todas sus características y funciones más allá de las simples transmisiones vocales MF. El sistema utiliza dos tonos (1 300 Hz y 2 100 Hz) a 1 200 bit/s con una combinación robusta de comprobación de errores y corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) para lograr una característica adecuada de proporción de bits erróneos (BER) para un gran alcance radioeléctrico en entornos con una relación señal/ruido ( $S/N$ ) débil. Aunque este método no proporciona los últimos adelantos para la utilización eficaz del espectro, cumple su finalidad y ha sido adoptado para aceptación mundial por todas las administraciones. Existen documentos detallados de la OMI y del UIT-R. Sin embargo, para utilizar plenamente los nuevos canales intersticiales, se debe añadir otro método a la nueva generación de equipos LLSD, de modo que los nuevos sistemas puedan maximizar la velocidad de datos cuando los buques están dentro del alcance radioeléctrico, como es el caso de la zona de cobertura del VTIS.

### 3.3.2 MDMG

El método de MDMG utiliza un esquema de excursión de frecuencia de dos niveles ( $+f$ ,  $-f$ ) con filtros gaussianos que limitan la anchura de la banda de base para lograr una característica de BER compatible con MF con relaciones  $S/N$  moderadamente bajas ( $S/N$  de 10 dB y superiores). El método MDMG se utiliza ampliamente con una separación de canales de 12,5 kHz en aplicaciones móviles terrestres a 8 000 bit/s. Un aspecto de este esquema es que la realización puede estar gravada con derechos de patente debido a las patentes del soporte físico y del soporte lógico porque ningún uso de dominio público está en vigor actualmente. Otra consideración es que en la práctica las altas velocidades de datos se utilizarán normalmente en entornos con  $S/N$  más altas ( $S/N$  de 12 dB y superiores), en los que la importancia puede cambiar de ( $S/N$  en función de BER) a (velocidad de datos en función de la anchura de banda ocupada). Esto es especialmente válido si se utiliza la FEC para mejorar la BER en condiciones moderadas de  $S/N$ . Se necesita aplicar la FEC para proteger los sistemas radioeléctricos de datos contra los desvanecimientos de señal y la interferencia de ruido de impulsos. Por estos motivos, no se considera que el método MDMG es el mejor candidato para aplicación a corto plazo. Para los resultados de las mediciones de la calidad de funcionamiento de MDMG a 8 000 bit/s, véanse las Figs. 1, 2 y 3.

FIGURA 1  
MDMG a 8 000 bit/s. Espectro de radiofrecuencia en transmisión resultante de una entrada de datos aleatoria

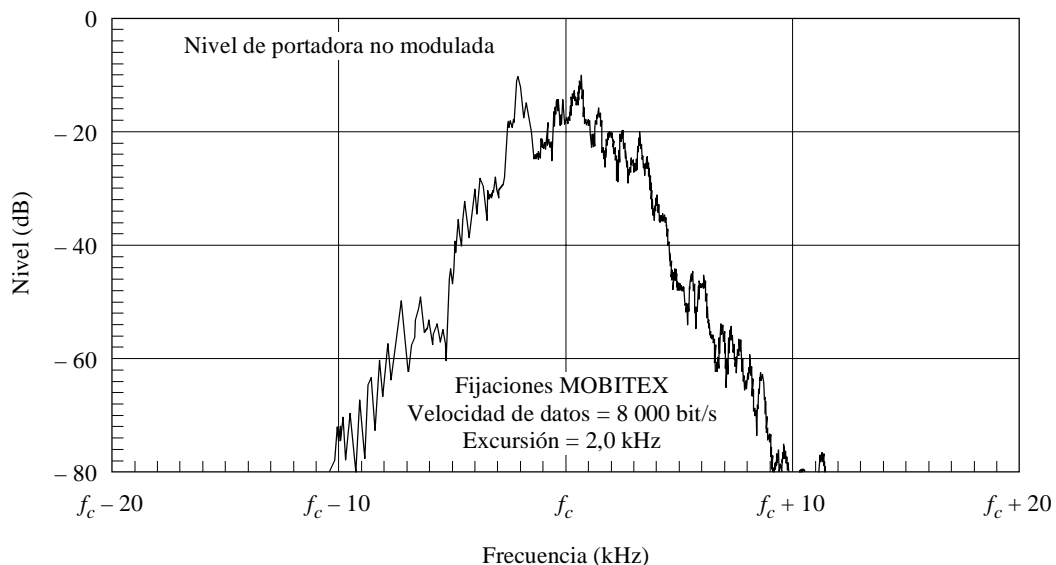
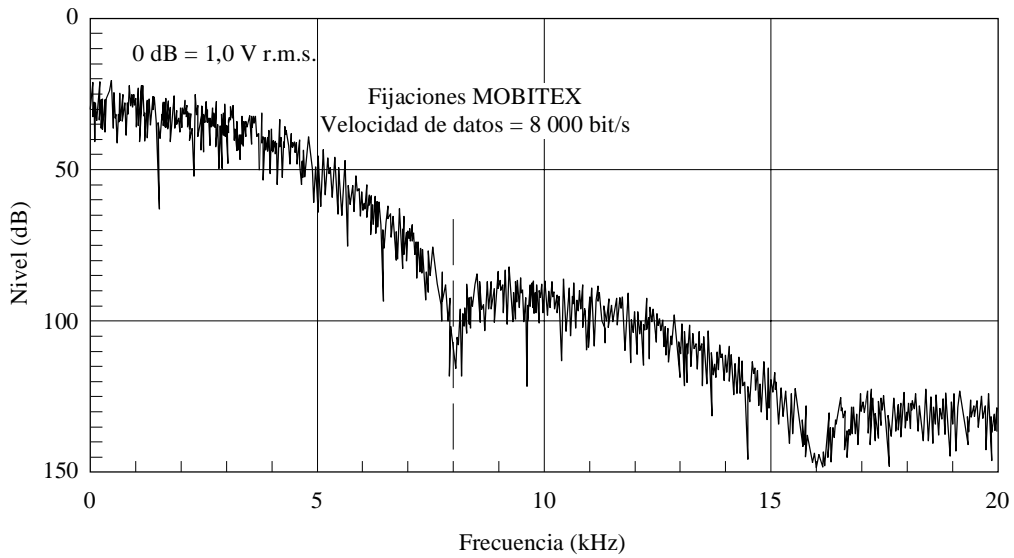
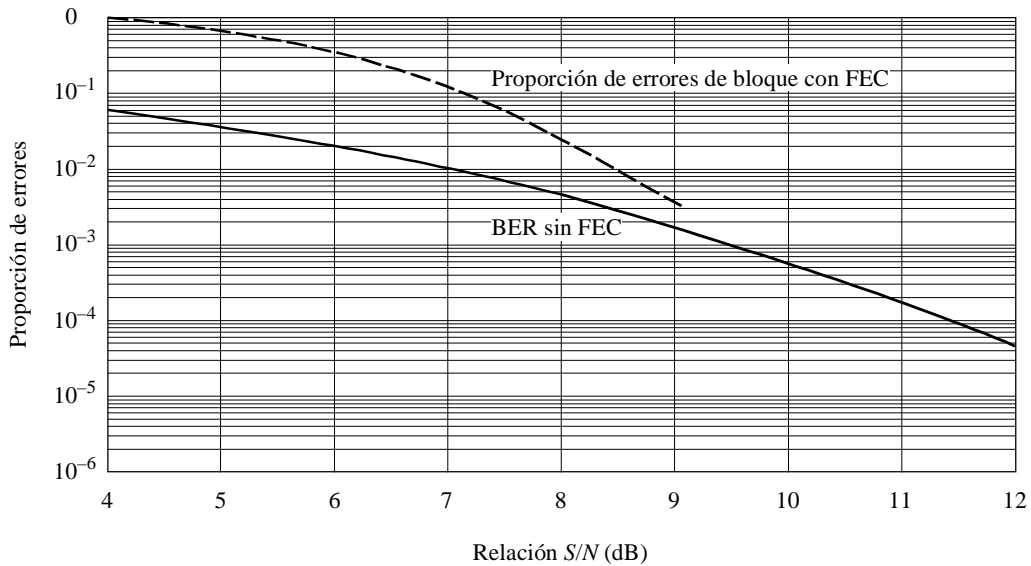


FIGURA 2  
**MDMG a 8 000 bit/s. Espectro de frecuencia típico de «salida de transmisión» para una entrada de datos aleatoria**



Rap 2010-02

FIGURA 3  
**MDMG a 8 000 bit/s. Proporciones de errores típicas**



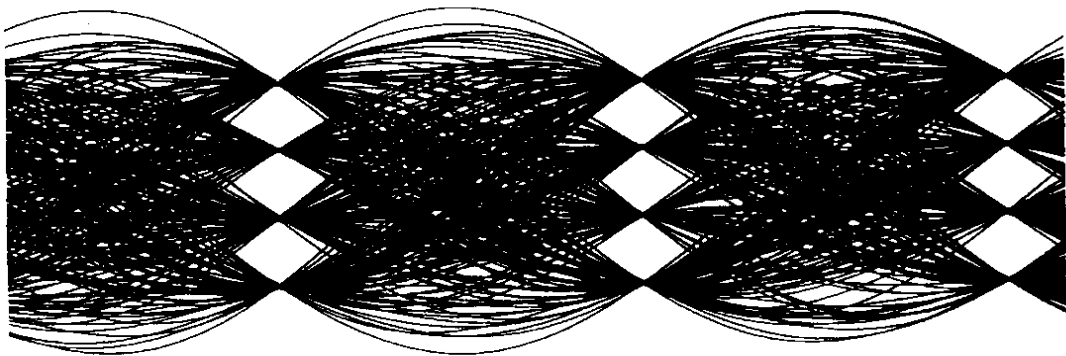
Rap 2010-03

**3.3.3 MDF de 4 niveles (C4FM) con filtrado de banda de base**

El método de C4FM utiliza un esquema de desplazamiento de frecuencia de cuatro niveles (+f, +f/3, -f/3, -f para aberturas de «ojo» iguales) (véase la Fig. 4) con filtros limitadores de anchura de banda de base para lograr la característica de velocidad de datos compatible con MF en una anchura de banda ocupada mínima con relaciones señal/ruido moderadas (S/N de 12 dB y superiores). Para la respuesta del filtro, véase la Fig. 5. La C4FM se utiliza con

una separación de canales de 12,5 kHz en aplicaciones móviles terrestres a 9 600 bit/s. La FEC es muy efectiva en este método para reducir la BER a niveles que se aproximan a la calidad de funcionamiento de MDMG con relaciones  $S/N$  entre 10 y 12 dB. La anchura de banda ocupada es menor que en la MDMG y se logra el funcionamiento a 9 600 bit/s sin ninguna intrusión en la anchura de banda ocupada del canal de banda ancha de 25 kHz. Otro factor positivo primordial es que se dispone de soporte físico y soporte lógico con experiencia de utilización en el dominio público. Esto se debe a la adopción generalizada en Estados Unidos de América, que ha sido estimulada por la influencia de un grupo internacional de usuarios gubernamentales de seguridad pública denominado «Proyecto 25». Sin embargo, la comunidad marítima no debe adoptar los protocolos/formatos de datos móviles marítimos por tres razones muy importantes: la no aplicabilidad del protocolo a los requisitos/formatos de datos móviles marítimos, la falta de control de un protocolo bajo jurisdicción reglamentaria distinta, y la aceptación mundial de los formatos y del protocolo de datos de LLSD que está puramente bajo la jurisdicción de la reglamentación marítima y han obtenido una gran cooperación con respecto al cumplimiento de todas las aplicaciones pertinentes a las comunicaciones marítimas. Por consiguiente, el protocolo de LLSD se debe preservar y mejorar a medida que surjan nuevas aplicaciones. Se prevé la necesidad de documentar algunos cambios de los formatos de paquetes y del esquema de FEC con el fin de optimizar el funcionamiento a velocidades de datos superiores a 9 600 bit/s, pero el protocolo de datos se debe preservar con los cambios mínimos. Para los resultados de las mediciones del funcionamiento del método de MDF de 4 niveles (C4FM) a 9 600 bit/s, véanse las Figs. 6, 7 y 8.

FIGURA 4  
MDF de 4 niveles (C4FM) a 9 600 bit/s



Señal de ojo en recepción

Datos recibidos pseudoaleatorios

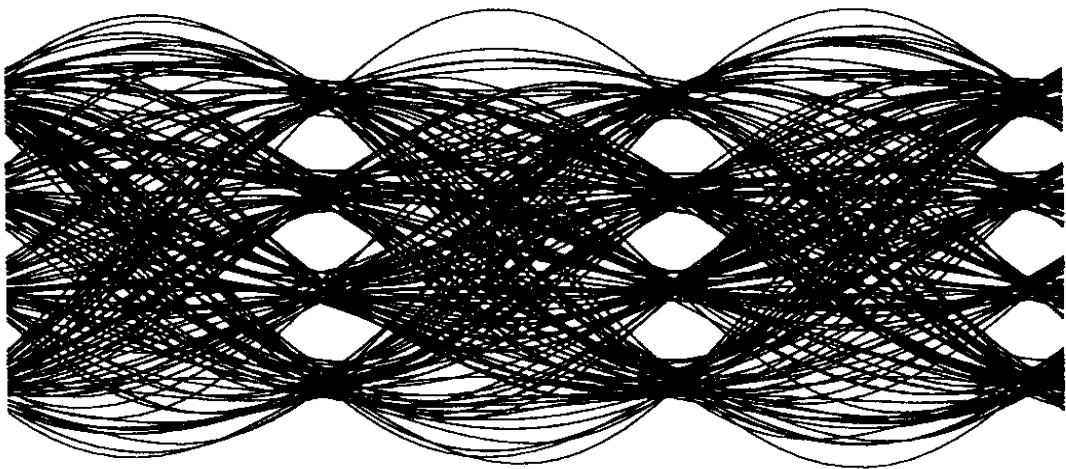
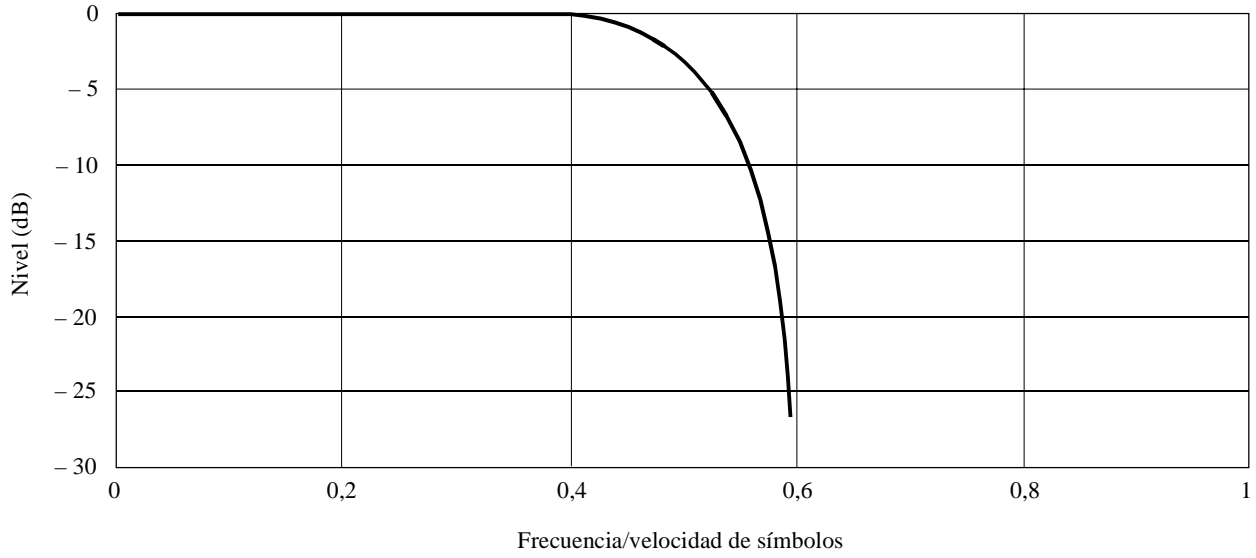


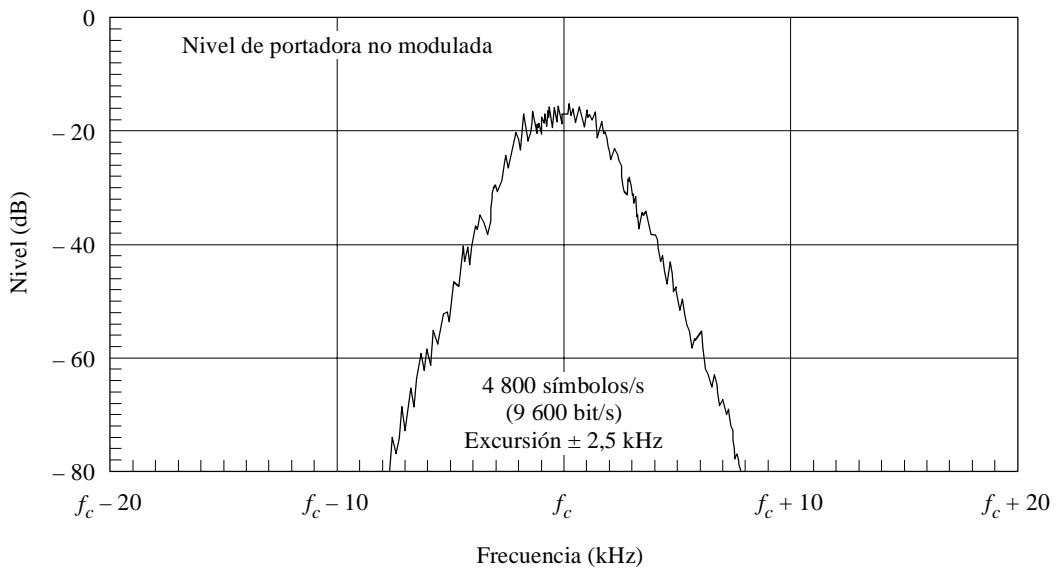
Diagrama de ojo en transmisión

FIGURA 5  
**MDF de 4 niveles (C4FM) a 9 600 bit/s. Respuesta del filtro**



Rap 2010-05

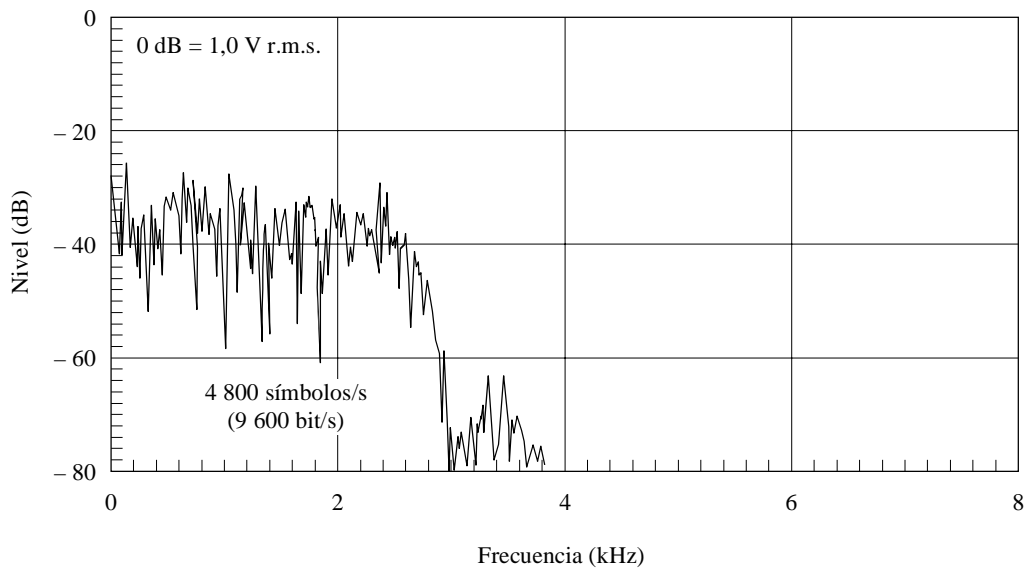
FIGURA 6  
**MDF de 4 niveles (C4FM) a 9 600 bit/s. Curva del espectro RF**



Rap 2010-06

FIGURA 7

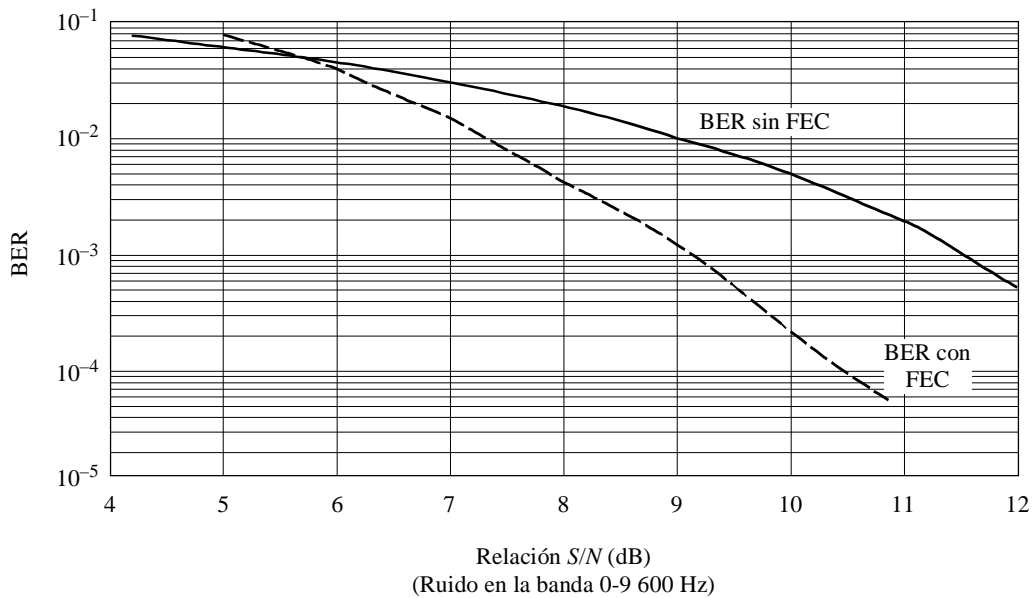
MDF de 4 niveles (C4FM) a 9 600 bit/s. Curva del espectro de «salida de transmisión»



Rap 2010-07

FIGURA 8

MDF de 4 niveles (C4FM) a 9 600 bit/s. Proporciones de errores típicas con 4 800 símbolos/s



Rap 2010-08

### 3.3.4 Conclusiones sobre la transmisión de datos

Habida cuenta de las inversiones hechas en el protocolo de LLSd y su aceptación generalizada, es probable que los formatos de mensajes de LLSd se utilicen para todas las transmisiones de datos, tanto a alta velocidad como a baja velocidad. Se deben emplear dos métodos de modulación: la transmisión de LLSd normal a 1 200 bit/s, y la MDF de

4 niveles (C4FM) para la transmisión de datos formateados de LLS D a alta velocidad a 9 600 bit/s. La excursión se debe limitar a  $\pm 2,5$  kHz para las transmisiones de LLS D por los nuevos canales (intersticiales) de banda estrecha entrelazados. Actualmente se están considerando nuevas mejoras del protocolo de LLS D para perfeccionar y documentar la funcionalidad de ADS/VTIS y la utilización de los nuevos canales intersticiales propuestos.

#### 4 Recomendaciones relativas a las normas de calidad de funcionamiento

Se necesitan nuevas normas de calidad de funcionamiento para los nuevos transceptores en el servicio marítimo en ondas métricas con el fin de asegurar el funcionamiento apropiado en un entorno RF mucho más congestionado. Muchos usuarios están experimentando ya interferencia en las comunicaciones debido a la selectividad del receptor y a la gama dinámica inadecuada en las vías fluviales congestionadas de Estados Unidos de América (por ejemplo, los pilotos del río Mississippi han tenido que ordenar aparatos radio LMR especiales para funcionar en los canales de frecuencias marítimas porque los aparatos disponibles carecen de la característica adecuada para suprimir la interferencia debida a distorsión de intermodulación en la unidad frontal del receptor causada por los transmisores de radiobúsqueda móviles terrestres cercanos que se mezclan con el denso tráfico marítimo). Se ha probado la especificación mostrada en el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1084 y se ha verificado que se puede aplicar mediante una mejora sencilla y barata de un transceptor de LLS D marítimo de ondas métricas de buena calidad disponible en el mercado. Esta mejora se ha detallado en el Apéndice 1 al Anexo 1. Las recientes modificaciones de la Recomendación UIT-R M.1084 sirven para documentar nuevas normas detalladas, como se indica en el § 4 del *recomienda* y en el Anexo 2.

#### 5 Viabilidad de adoptar una separación de canales de 12,5 kHz

La tecnología actual proporciona muchas alternativas para la transmisión eficaz de mensajes vocales. Se han propuesto diversos tipos de modulación, tales como modulación de frecuencia analógica de banda estrecha (MFBE), la ACSSB y las variantes digitales (C4FM, CQPSK (modulación por desplazamiento de fase cuaternaria coherente), MDPD (modulación por desplazamiento de fase diferencial), MDP-4 (modulación por desplazamiento de fase cuaternaria), MDF, MDM (modulación por desplazamiento mínimo), MD MG, etc.). Los factores antes mencionados de seguridad (Convenio SOLAS y SMSSM), el interfuncionamiento de las comunicaciones (barco-barco, barco-costera, coordinación entre organismos, operaciones portuarias mundiales), el costo de realización (mejoras o readaptaciones completas), (transceptores multimodo complejos o sencillas mejoras del diseño) y utilización del espectro (adiciones intersticiales o una reorganización completa de la alineación de trama de canales de frecuencias) se deben considerar antes de «ordenar» cualquier nuevo sistema. La viabilidad de adoptar cualquiera de estas tecnologías debe tener en cuenta lo siguiente:

- a) las características operacionales de las nuevas tecnologías que proporcionan nuevas prestaciones, tales como encriptación para mayor seguridad y privacidad, así como transmisiones de voz, IDBE, FAX, LLS D y datos;
- b) la posibilidad de aplicación en la actual banda marítima de ondas métricas;
- c) la posibilidad de proporcionar un aumento considerable de la capacidad espectral;
- d) la consideración de los factores económicos, la efectividad del sistema, la disponibilidad de equipos y la sencillez de funcionamiento;
- e) la efectividad y accesibilidad universal de las comunicaciones de socorro y seguridad marítimas en ondas métricas no deben ser disminuidas por la introducción de la nueva tecnología a corto ni a largo plazo;
- f) cualquier nueva tecnología no debe interrumpir la disponibilidad continua de las comunicaciones de socorro y seguridad marítimas del Apéndice S18 del RR en las bandas de ondas métricas para todos los usuarios;
- g) cualquier nueva tecnología debe basarse en transceptores baratos y fácilmente disponibles, como los utilizados actualmente.

##### 5.1 Gestión de la transición («Proyecto 25»)

Las variantes MFBE (MF analógica de 12,5 kHz y C4FM/CQPSK digital de banda estrecha parecen ser las candidatas más viables y practicables para reducir la congestión del espectro y mejorar su utilización eficaz en el servicio móvil marítimo a corto plazo, puesto que será fácil obtener los nuevos equipos, su costo será comparable a los equipos MF analógicos de 25 kHz existentes (aumento de 5 a 10%), pueden interfuncionar con los actuales equipos MF analógicos de 25 kHz y es una tecnología probada (varias administraciones utilizan la MFBE y las C4FM/CQPSK para aplicaciones

móviles). Además, la capacidad adicional de canales permite introducir y ampliar otros servicios, tales como la transmisión de datos y facsímil a alta velocidad. La introducción de MFBE y C4FM/CQPSK no interrumpirá ni afectará negativamente la eficacia de las comunicaciones de socorro y seguridad. Los resultados de las pruebas de evaluación de sencillas modificaciones de una unidad radio MF actual para que funcione con MFBE/C4FM han demostrado que puede interfuncionar completamente con las unidades existentes con poca degradación de la calidad de funcionamiento (véase el Apéndice 1 al Anexo 1). El costo de la modificación ha sido mínimo y podrá ser efectuada por cualquier técnico acreditado en cualquier taller de reparaciones radioeléctricas normalmente equipado.

Se debe señalar que la elección de MFBE/C4FM supone que se utilizarán canales intersticiales entrelazados («separación» de 12,5 kHz) en vez de «reestructurar» todo el espectro con una separación de canales mucho menor (6,25 kHz). Si se produce esta «reestructuración» y cuando se produzca, otras tecnologías (tales como la CQPSK lineal o digital) proporcionarán una calidad de funcionamiento superior con respecto a la MFBE, puesto que la excursión MF admisible tendría que reducirse aún más. De este modo, la MFBE o canales entrelazados con una separación de 12,5 kHz es el «siguiente paso» mejor para la transmisión vocal. Esto no excluiría alguna otra opción en el futuro. La C4FM proporciona el mejor caudal de datos a bajo costo y es perfectamente adecuada para utilización en canales entrelazados. El Proyecto 25 ha adoptado ya un plan de transmisión para pasar de canales de 25 kHz a canales de 6,25 kHz aplicando un esquema de canales entrelazados con una separación de 12,5 kHz y un esquema de modulación C4FM/CQPSK seguido por la aplicación completa de CQPSK en canales de 6,25 kHz.

Las estaciones costeras podrán coordinarse fácilmente con sólo ajustar la excursión MF de los transmisores e instalar filtros de frecuencia intermedia de banda estrecha. Como un paso provisional, la separación espacial de 10 km como mínimo proporcionaría el aislamiento suficiente para asegurar la compatibilidad y el funcionamiento sin interferencia. Las administraciones que coordinan sistemas de seguridad pública móvil terrestre ya han utilizado este método añadiendo canales de 15 kHz entre sus asignaciones de canal originales de 30 kHz.

## APÉNDICE 1

### AL ANEXO 1

## **Adición de la funcionalidad MFBE, C4MF y ADS/VTS a los transceptores MF LLSD (en inglés: DSC) del SMSSM**

### **1 Prueba de la unidad radio**

Varios transceptores MF de ondas métricas comerciales han recibido una certificación para funcionar en el SMSSM y son conformes a la Recomendación UIT-R M.493 y a la Resolución A.609 (15) de la OMI. A los fines de esta evaluación, la unidad seleccionada fue ROSS DSC500 porque está contenida en un equipo (incluido el receptor del canal 70). En consecuencia, se ha supuesto que era el caso de prueba más práctico para verificar los criterios de este Informe y la aplicación indicada. Es interesante señalar que esta unidad ya ha sido utilizada como parte del equipo a bordo de barcos para vigilancia dependiente automática (ADSSE, *automatic dependent surveillance shipboard equipment*) por dos fabricantes que han suministrado equipos para satisfacer las necesidades de un VTS existente en Prince William Sound. Al mismo tiempo que este Informe, los Estados Unidos de América han presentado al UIT-R otras dos nuevas Recomendaciones y actualizaciones de Recomendaciones vigentes, que documentan la utilización actual del VTS 2000 junto con algunas nuevas mejoras propuestas. Todos estos nuevos requisitos se han tenido en cuenta en la modificación de esta unidad radio.

### **2 Modificaciones de la unidad radio de prueba**

La Fig. 9 «Diagrama funcional de bloques» ilustra la arquitectura interna de la unidad radio de prueba. Obsérvese que el \* denota adiciones al circuito y \*\* denota modificaciones del circuito.





## 2.1 Adiciones al circuito

### 2.1.1 Conmutador modo dual MFBE/MFBA

Como en este Informe se sugiere que el equipo debe poder interfuncionar completamente, se ha considerado que sería conveniente un conmutador de modos en vez de un cambio del «cableado duro» de los limitadores de amplitud para fijar la excursión de cresta máxima a 2,5 kHz. La unidad central de procesamiento (UCT) conmutará ahora en un atenuador 2:1 en el trayecto de modulación cuando el usuario programe el aparato radio a uno de los canales de frecuencias intersticiales de 12,5 kHz propuestos. Esta característica no es absolutamente esencial en un aparato radio solamente vocal, porque el aparato de radio capaz de MFBE se podrá ajustar simplemente para permitir sólo la excursión reducida. En este caso, el aparato MFBE tendría una «sonoridad» reducida cuando sus transmisiones vocales fuesen recibidas por un aparato radio MF de banda ancha «normal». Sin embargo, si el aparato ha de tener capacidad LLSD así como para datos y voz, es necesario el atenuador conmutado. Para la modificación del aparato radio de prueba se utilizó una sección disponible de un conmutador de circuito integrado y una línea de instrucciones de UCT discreta no utilizada previamente.

### 2.1.2 Entrada adicional del modulador

El modulador MF lineal debe tener puertos para aceptar una entrada de cuatro niveles acoplada en c.c. del módem de LLSD. Esta nueva entrada permite la activación de «LLSD C4FM a 9 600 bit/s» de la unidad de proceso de señales digitales – circuito integrado específico de aplicación (DSP ASIC, *digital signal processor – application specific integrated circuit*) cuando el aparato está funcionando en el modo de transferencia de datos a alta velocidad.

### 2.1.3 Entrada adicional de modulación del sintetizador de frecuencias

El sintetizador de frecuencias debe tener un excitador de modulación de dos puntos para ejecutar el modo transferencia de datos C4FM. Esto se debe a que el bucle enganchado en fase alrededor del oscilador controlado por tensión (VCO, *voltage control oscillator*) resiste al empuje de la frecuencia portadora a bajas velocidades de excursión acopladas en c.c. De este modo, el oscilador de cristal de referencia debe ser también modulado con el excitador acoplado en c.c. a un varactor en paralelo con el cristal (modo resonante paralelo).

## 2.2 Modificaciones del circuito

### 2.2.1 Modulador MF lineal

El modulador MF lineal se debe modificar para que acepte una entrada adicional acoplada en c.c. en un «nodo sumador» del módem de LLSD. Esto se puede realizar por una sencilla adición de resistencias y algunos cambios de valor a las partes actuales.

### 2.2.2 Módem de LLSD

El actual módem de LLSD utiliza generadores y detectores de tonos para generar y decodificar los tonos de LLSD de 1 300 Hz y 2 100 Hz a 1 200 bit/s. Estos circuitos no se utilizan en el modo C4FM. En vez de los tonos, el método C4FM utiliza cuatro niveles de desplazamiento de portadora (MDF-4) para transmitir un símbolo de 2 bits con cada nivel. El protocolo LLSD utiliza 10 bits para describir un carácter (7 bits de información y 3 bits de comprobación), por lo que se requieren cinco símbolos C4FM por carácter. Como DSP ASIC contiene procesamiento de audio A/D/A de ocho bits bajo el control del UCT, requiere solamente un nuevo soporte lógico para coordinar el UCT, el módem de LLSD y DSP ASIC para realizar la función del módem C4FM LLSD en 4 800 símbolos/s (9 600 bit/s). Afortunadamente DSP ASIC ya tiene un generador de reloj de velocidad de baudios capaz de tratar 1 200, 2 400, 4 800 y 9 600 bit/s. Este aspecto particular de la modificación del aparato radio para aplicar C4FM es una coincidencia imprevista con el aparato ROSS DSC 500, puesto que ya tenía las facilidades de soporte físico necesarias. Es probable que otros nuevos aparatos radio MF de ondas métricas utilicen circuitos y técnicas DSP en el futuro próximo, porque el costo actualmente es muy bajo.

### 2.2.3 Filtro limitador de banda

Los requisitos para la certificación reglamentaria han requerido un filtro de audio limitador de banda a la salida del modulador MF lineal en la mayoría de los aparatos radio modernos. Este filtro sirve para una finalidad doble: no sólo para limitar la «banda de paso de audio» sino también para separar los componentes de frecuencias armónicas de

distorsión causados por el mecanismo de «recorte» del limitador de modulación. Se debe tener cuidado en las realizaciones de «filtro activo» para no introducir otras no linealidades debidas a los armónicos por la «sobreexcitación» del filtro más allá de sus límites de gama de funcionamiento dinámico. El aparato radio de prueba tenía ya un filtro activo complejo para este fin. Este filtro se debe sustituir por los dos filtros cuyas características se describen en los § 2.9.5.2 y 2.9.5.3 del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1084, el gráfico de la Fig. 5 del presente Informe, para proporcionar las características necesarias de «retardo de grupo plano» y el factor de conformación de banda de paso/atenuación. Esta función de filtro se realiza mejor con la tecnología de «resistencia conmutada», junto con sencillos componentes R-C externos para «contrasolape» y rechazo de ruido de alta frecuencia.

#### 2.2.4 Sintetizador de frecuencia

El sintetizador de frecuencia se debe modificar para proporcionar la nueva separación de canales de 12,5 kHz con respecto al actual diseño de 25 kHz. Asimismo, algunos aparatos tendrán un mejor cristal de oscilador de referencia para lograr la tolerancia de frecuencia propuesta de  $5 \times 10^{-6}$  con respecto a la temperatura. Este cristal necesitará estar en «paralelo» con el varactor mencionado en el § 2.1.3 para reducir la modulación de baja frecuencia hasta el nivel c.c. Afortunadamente, el aparato radio de prueba ya tenía un cristal superior a  $5 \times 10^{-6}$  y un sintetizador con dos contadores programados en serie (por el UCT) (el contador de referencia y el contador de realimentación) con una gama suficiente de modo que se pueda efectuar la programación de 12,5 kHz con sólo un cambio del soporte lógico del UCT. De este modo, todo lo que es necesario para el aparato de prueba (además del soporte lógico) es un varactor, dos cambios de valores de componentes en el filtro de bucle y dos componentes discretos adicionales.

#### 2.2.5 EPROM (cambios del soporte lógico)

El aparato radio tiene toda su memoria de programa en una memoria de lectura solamente eléctricamente programable (EPROM, *electrically programmable read-only memory*). De este modo, los cambios necesarios del soporte lógico del UCT para admitir todas las mejoras indicadas en este Informe se pueden realizar sencillamente enchufando una nueva pastilla EPROM. Afortunadamente, hay suficiente espacio de código, RAM disponible y capacidad de dirección de memoria debido a la estructura del esquema de memoria. La memoria del aparato de prueba DSC 500 ha sido reestructurada recientemente para admitir algunos nuevos requisitos de ADS/VTS y de gestión de datos. Para los nuevos diseños de aparatos radio funcionalmente complejos, sería mejor mantener la memoria de programa en EPROM con memoria de lectura solamente borrrable eléctricamente (EEROM, *electrically erasable ROM*) para variantes y alteraciones menores. El aparato de prueba tenía esta estructura para proporcionar el soporte del producto a los usuarios en el servicio real.

### 2.3 Costo de las modificaciones

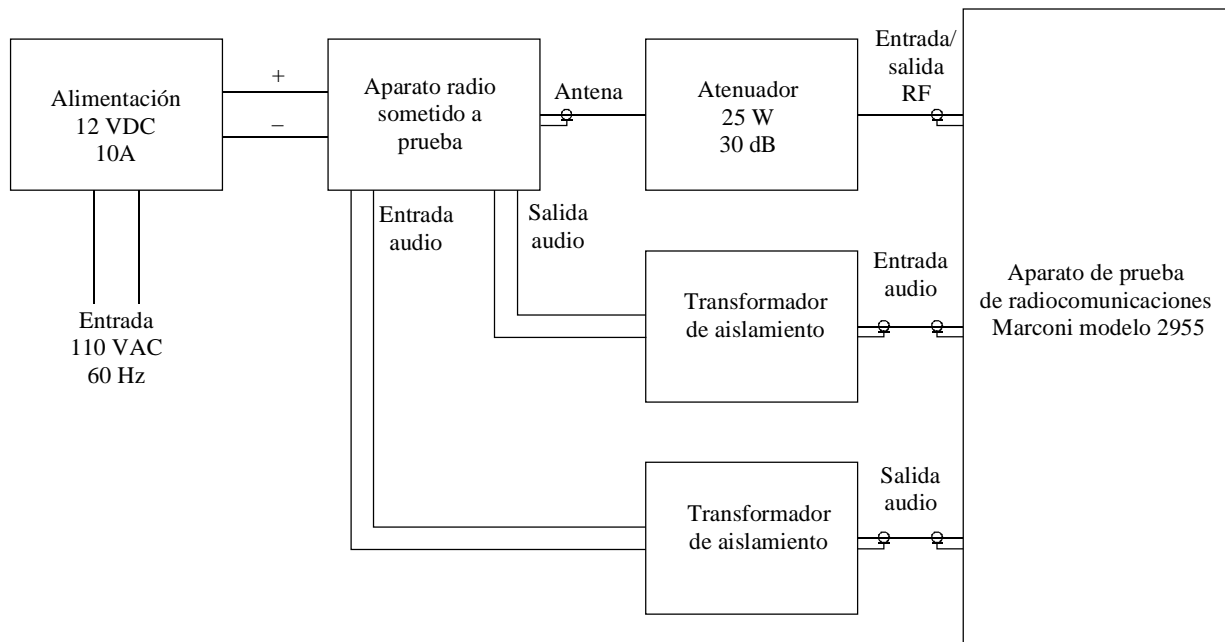
El costo total de los materiales necesarios para modificar el aparato de prueba con el fin de proporcionar todas las mejoras indicadas fue menos de 20 dólares estadounidenses. Un técnico de un taller de reparaciones acreditado pudo realizar las modificaciones y comprobar el aparato en una hora utilizando el equipo de prueba preparado (aparatos de prueba de radio y computadores personales con programas especiales).

## 3 Resultados de las pruebas

### 3.1 Sensibilidad vocal de MFBE (véase el montaje de la prueba en la Fig. 10)

Se efectuaron mediciones de la sensibilidad de umbral RF utilizando un aparato de prueba de comunicaciones radio Marconi, modelo 2955. El aparato DSC 500 no modificado fue capaz de alcanzar una relación SINAD de 12 dB en la entrada RF de  $-122$  dBm con un tono de prueba de 1 kHz y una excursión de 3 kHz. La excursión de 3 kHz es una «excursión de prueba normalizada» para utilización en equipos diseñados para una excursión máxima de 5 kHz (valor límite) en una separación de canales de 25 kHz. Cuando la excursión se redujo de 3 kHz a 2 kHz (la nueva «excursión de prueba normalizada» (véase el § 1.1 del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1084) para canales con separación de 12,5 kHz con límite de excursión fijada en 2,5 kHz de cresta), el nivel RF necesario tuvo que ser aumentado a  $-121,5$  dBm para restablecer la relación SINAD de 12 dB. De este modo, se determinó que los aparatos radio MF de banda ancha experimentarían una degradación del umbral RF de unos 0,5 dB al ser modificados según los criterios de MFBE mediante la reducción de los límites de excursión de modulación de 5 kHz a 2,5 kHz.

FIGURA 10  
Montaje de prueba de la sensibilidad vocal de MFBE



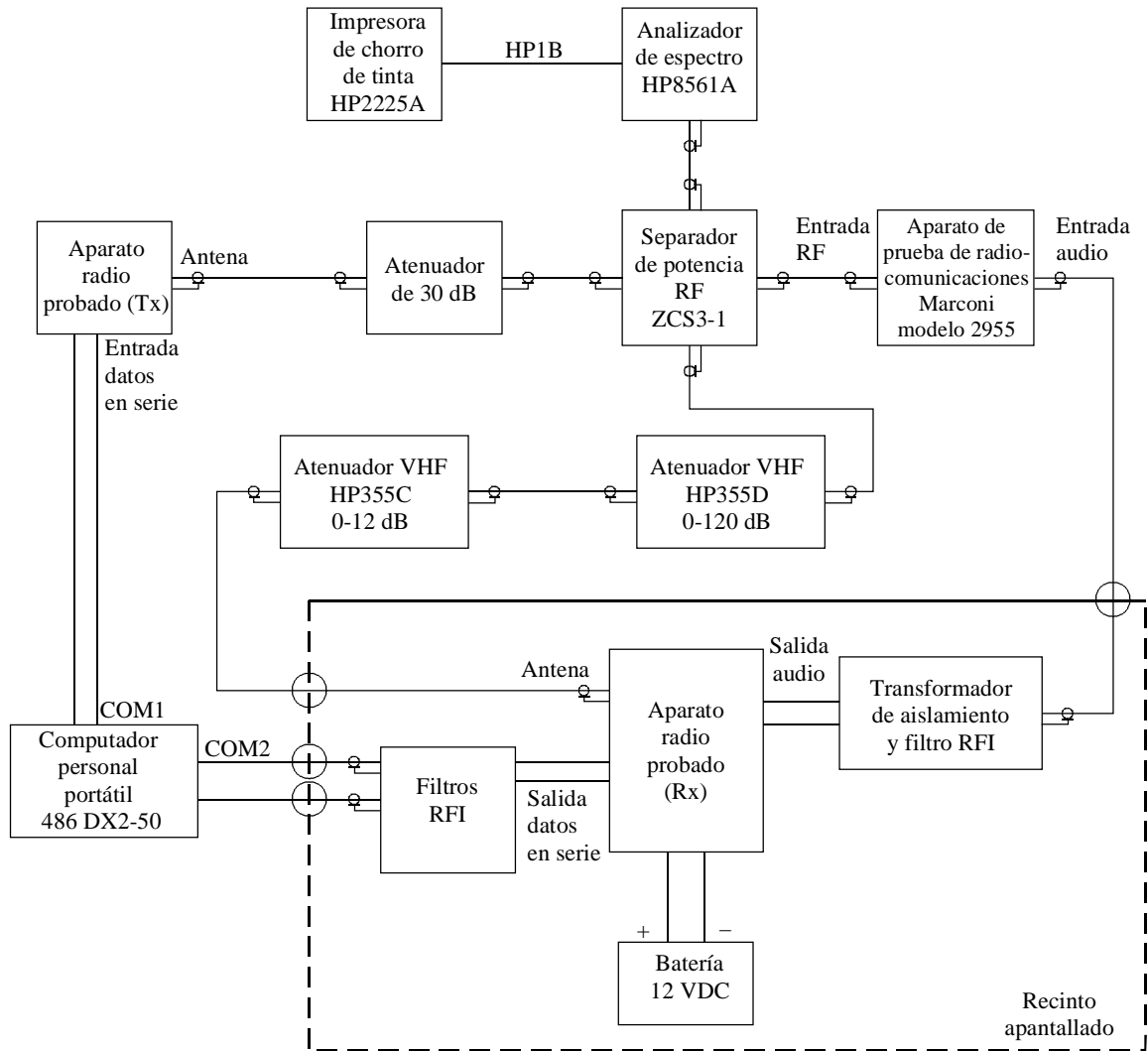
	Aparato de prueba Marconi	Aparato radio probado
Frecuencia RF	156,700 MHz	Canal 14 (fijado)
Modulación	1 kHz MF sinusoidal	
<i>Prueba N.º 1</i>		
Excursión MF	Cresta 3 kHz	
Nivel RF	-92 dBm (-30 dB)	SINAD 12 dB (med.)
<i>Prueba N.º 2</i>		
Excursión MF	Cresta 2 kHz	
Nivel RF	-91,5 dBm (-30 dB)	SINAD 12 dB (med.)

Rap 2010-10

### 3.2 Sensibilidad de datos de LLSD (véase el montaje de la prueba de la Fig. 11)

El módem de LLSD en el aparato radio de prueba logra una BER de  $1 \times 10^{-3}$  con una relación SINAD de 10,5 dB aproximadamente, lo que corresponde a un umbral RF de unos -122,5 dBm. El tono de 2 100 Hz se fija para una excursión de 3,5 kHz y el tono de 1 300 Hz se fija para una excursión de 2,17 kHz (preacentuación). Con fijaciones de excursión reducidas de 2,3 kHz y 1,42 kHz, respectivamente, el nivel de la señal RF tiene que ser aumentado a -121,5 dBm para restablecer la BER de  $1 \times 10^{-3}$ . De este modo, se experimentó una degradación de 1 dB en el umbral RF imponiendo la reducción de excursión de MFBE. Los aparatos radio de prueba están configurados para pasar datos a través de un transmisor-receptor asíncrono universal (UART, *universal asynchronous receiver-transmitter*) por los puertos en serie (entrada datos y salida datos en la Fig. 9) a computadores personales en cada extremo. Las curvas de funcionamiento de MDMG y C4FM se muestran en las Figs. 3 y 8, respectivamente, según se ha descrito anteriormente en los § 3.3.2 y 3.3.3 del Anexo 1. Obsérvese que estos datos se tomaron con una excursión de 2,5 kHz y el nuevo límite propuesto para la separación de canales de 12,5 kHz.

FIGURA 11  
Montaje de prueba de la sensibilidad de datos de LLSD



Frecuencia RF: 156,700/canal 14  
 Aparato de prueba Marconi: Medición de niveles de referencia de SINAD sin datos (MF sinusoidal de 1 kHz)  
 Analizador de espectro HP e impresora: Medición e impresión de espectro de salida RF  
 Computador personal portátil: Transmisión/recepción de ficheros de texto de datos y comprobación/medición de errores

## ANEXO 2

## Correspondencia de TETRA con la función requerida por los usuarios de comunicaciones marítimas en ondas métricas, propuesta para aplicaciones en el Reino Unido

### 1 Introducción

Este Anexo examina la manera en que un sistema de AMDT como TETRA se podría emplear en el entorno de comunicaciones marítimas en ondas métricas.

Las comunicaciones marítimas en ondas métricas actualmente funcionan utilizando el acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF) que hace relativamente directa la planificación del espectro y la asignación de canales. Si bien la introducción del AMDT proporcionaría numerosos beneficios a los usuarios, hay que considerar cuidadosamente las repercusiones de tener múltiples usuarios en un solo canal RF.

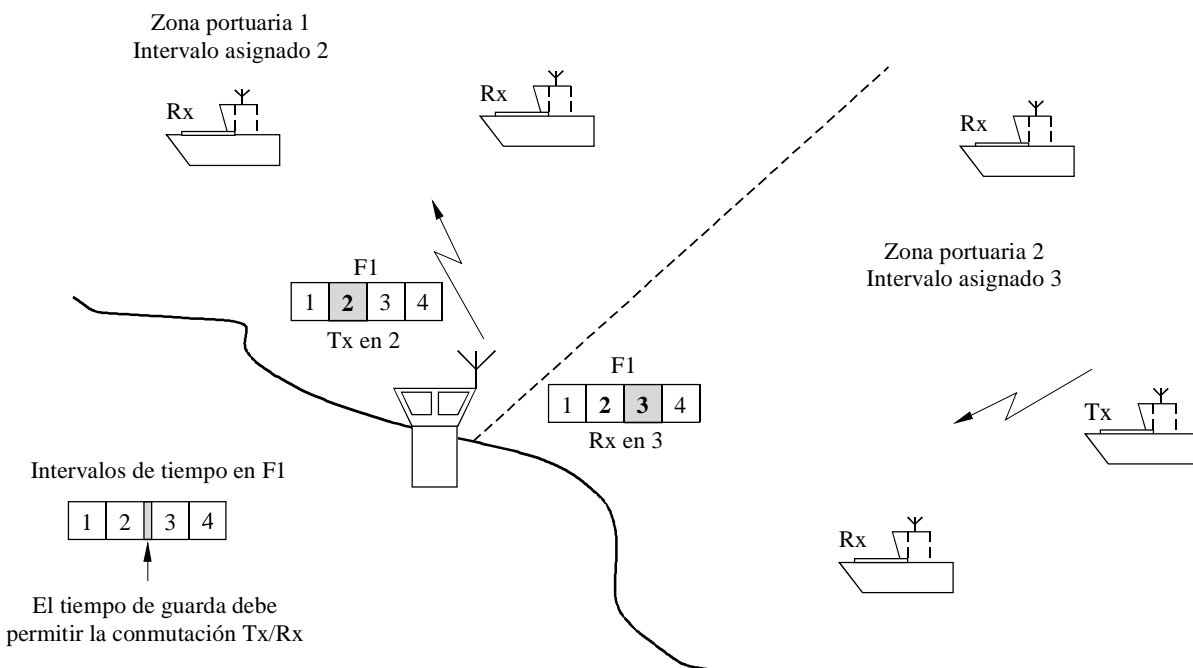
A continuación se examinan diferentes modos de funcionamiento de las comunicaciones marítimas en ondas métricas y, en cada caso, la manera en la que se utilizaría TETRA.

### 2 Modo de funcionamiento

Cualquier nuevo sistema de radiocomunicaciones debe proporcionar las funciones del modo de funcionamiento del sistema existente y apoyarlo ampliamente. Las características suplementarias o modos de funcionamiento serán bien acogidos, pero el sistema no se utilizará si no es aceptado en su totalidad. Para la industria marítima, el modo de funcionamiento preferido es la llamada en difusión símplex. Se considera que no será aceptado cualquier sistema que sólo permita el funcionamiento dúplex o semidúplex punto a punto.

La Fig. 12 ilustra el principio del funcionamiento símplex de un solo canal con TETRA.

FIGURA 12  
Funcionamiento eficaz en modo difusión símplex con TETRA



Se presenta una situación típica de control de tráfico de buques, en la que actualmente se utilizarían dos canales de 25 kHz para el control del tráfico para las dos zonas designadas. Esto se podría cambiar por dos intervalos de tiempo TETRA que funcionan en un solo canal de 25 kHz. La difusión símplex se podría mantener con todos los barcos en la zona que recibe todas las llamadas. Puede ser posible efectuar hasta cuatro llamadas simultáneas.

Aunque no hay nada en las especificaciones de TETRA que impida el funcionamiento símplex en un canal, no está claro si esto es aceptado por algunos fabricantes en su primera ronda de ofertas de productos. Las llamadas símplex están asociadas con el «modo directo» (las llamadas de móvil a móvil en las actuales especificaciones de TETRA y llamadas en difusión a una estación de base serían tratadas normalmente en el modo conversación). La conversación con la estación de base tiene la ventaja de la retransmisión que emplea la potencia más alta de la estación de base pero utiliza menos eficazmente el espectro. Se está elaborando aún esta parte de la especificación.

### **3 Móviles sincronizados y no sincronizados**

La diferencia esencial entre los sistemas AMDT y AMDF analógico es que en un sistema AMDT no se puede establecer una comunicación hasta que se logra la sincronización de tiempo entre el llamante y el oyente. Por lo general con un sistema AMDT esto no limita la comunicación porque la sincronización se puede lograr mucho antes de que sea posible la comunicación vocal inteligible. Se diseñaría un sistema con la estación (costera) fija como la directora de temporización. TETRA no requiere anticipar la temporización porque la velocidad binaria y las bandas de guarda son suficientes (comparadas, por ejemplo, con GSM).

Un móvil que se aproxima a una estación costera puede sincronizar bien con otros móviles antes de sincronizar con la estación directora de temporización. Aunque pueda recibir comunicaciones de otros móviles, se le debe aconsejar que no transmita por el canal de la estación costera hasta que esté sincronizado con la estación directora de temporización. Se considera que los canales de móvil a móviles estarán disponibles para transmitir en esta circunstancia (véase el § 7 del presente Anexo). Al llegar y sincronizar con un sistema como el que se muestra en la Fig. 12, el móvil decidiría el intervalo de tiempo apropiado por conocimiento previo, el sentido (posiblemente de manera automática) o las transmisiones de supervisión. Se debe señalar que la estación de base estará transmitiendo información de control que puede ser utilizada para la sincronización, incluso si no hay llamadas en curso.

### **4 Múltiples sistemas en una sola ubicación**

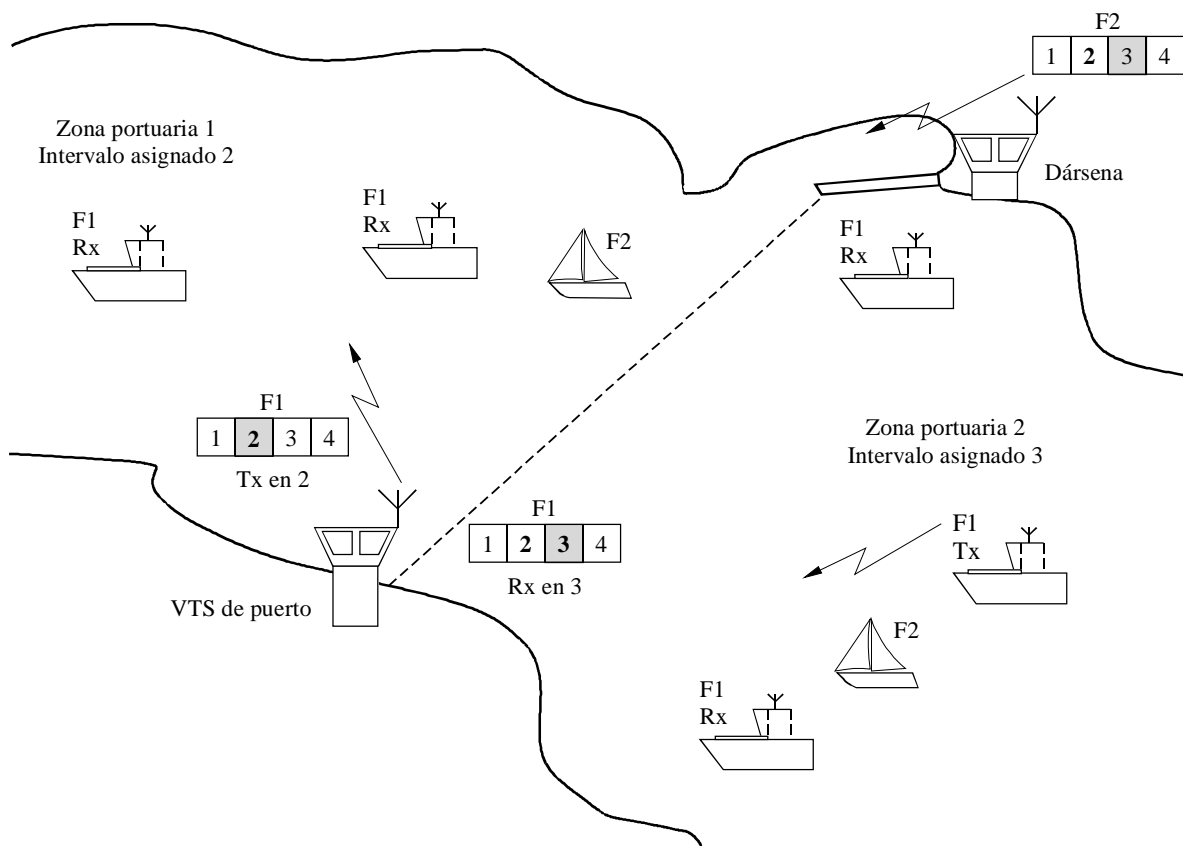
Actualmente una multitud de diferentes «sistemas de comunicación» estarán funcionando en la banda de comunicaciones marítimas en ondas métricas en una sola ubicación separada por frecuencia. Esta situación será directamente transferible a TETRA como se muestra en la Fig. 13. Algunos de los sistemas, tales como el control de tráfico de buques y la dársena mostrados serán de acceso público, algunos pueden ser privados y sólo accesibles a móviles programados especialmente.

Los sistemas no tienen que estar sincronizados temporalmente entre sí. Los móviles estarían sincronizados con un «sistema de base» pero podrían conmutar a otro sistema y sincronizar con él, si es necesario. Es posible también prever una situación como la que se muestra en la Fig. 14, donde dos estaciones, distantes entre sí están funcionando con sistemas sincronizados en la misma frecuencia. Uno de los sistemas se podría denominar como director de temporización, o podrían tomar la temporización de una fuente común (por ejemplo, Droitwitch o GPS). El tiempo de transmisión entre las dos estaciones fijas no es extensible infinitamente, pero se podría mejorar la utilización del espectro y reducir la congestión en una zona donde (digamos), estén funcionando varias dársenas.

### **5 Sistemas adyacentes y superpuestos**

También en el caso de los sistemas adyacentes, la correspondencia de la práctica actual con TETRA debe ser directa. Como se muestra en la Fig. 15, un móvil que transita entre sistemas adyacentes puede comunicar con otros, esté o no en superposición. Los sistemas adyacentes deben estar en diferentes frecuencias si no pueden sincronizar, de no ser así habrá interferencia.

FIGURA 13  
Funcionamiento de múltiples sistemas



Rap 2010-13

## 6 Capacidad de vigilancia dual y funcionamiento del canal de socorro

En el sistema actual, el canal de llamada principal y el canal de socorro son el mismo. Esto tiene la ventaja de que los aparatos radio sencillos pueden escuchar llamadas de socorro mientras no están en uso, pero la gran desventaja es que el sistema de socorro es muy frágil y puede ser inefectivo si se utiliza mal el canal de llamada. Los operadores comerciales y las estaciones fijas utilizarían aparatos radio de vigilancia dual y supervisarían el canal de socorro y su canal de funcionamiento simultáneamente.

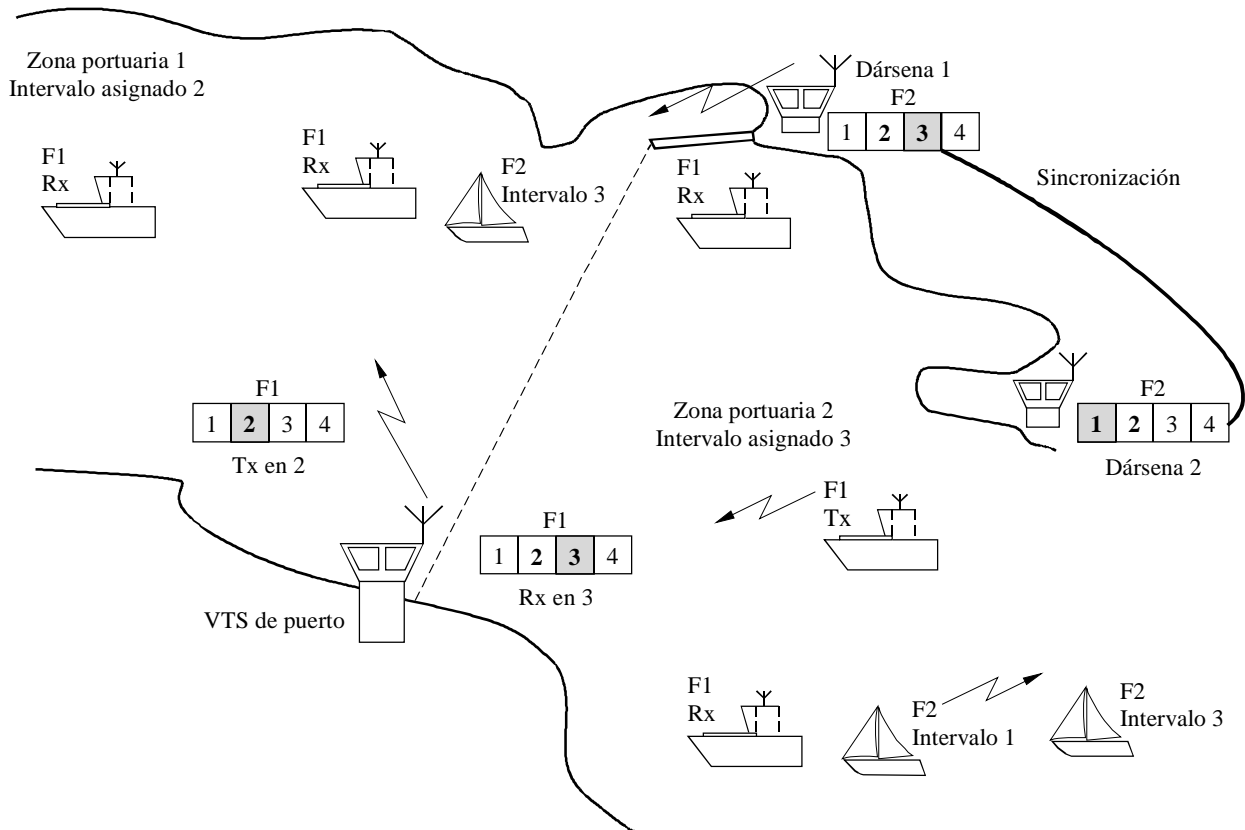
Con la introducción de la LLSA, la situación mejorará, con menos probabilidad de que se abuse del canal 70 (el nuevo canal de socorro y llamada). Sin embargo, existen algunas dudas sobre la carga del canal 70 cuando se pongan en servicio los sistemas automáticos de seguimiento de buques (AVTS, *automatic vessel tracking systems*).

La situación se podría mejorar aún más con TETRA, con aparatos incluso sencillos capaces de supervisar su frecuencia del sistema de base y las frecuencias de socorro (FD, *frequency for distress*). Para las estaciones fijas, que probablemente estén muy recargadas, se necesitaría aún un receptor dual para supervisar eficazmente la FD. La situación se ilustra en la Fig. 16.

Obsérvese que un aparato sencillo está supervisando en el intervalo de tiempo  $T + 2$  módulo 4 con respecto al que está en su sistema de base. El canal de FD no estaría normalmente sincronizado. Sin embargo, la transmisión de socorro se puede organizar de modo que siempre sea oída dentro de cuatro tramas (aproximadamente 200 ms). La velocidad de recogida y la subsiguiente velocidad de transferencia de datos sería considerablemente mejor que con la LLSA. Una vez que se ha detectado la señal de socorro, se puede dejar el monitor en el sistema de base y se puede establecer una llamada directa al buque en dificultad. Una estación fija con un receptor dual podrá supervisar todos los intervalos de tiempo en el canal de FD, y podrá recoger la llamada de socorro dentro de una trama.

FIGURA 14

## Múltiples sistemas, estaciones fijas distantes en una sola frecuencia



Rap 2010-14

Pudiera ser que el guardacostas considerase el canal de socorro como su sistema de base, lo que daría a los buques en dificultad dentro del alcance la opción de sincronizar con una estación fija para hacer una llamada de socorro. Para las operaciones de búsqueda y salvamento, se podrá aún asignar un canal de trabajo distinto del canal de socorro y éste puede ser también un candidato para el canal de sistema de base del guardacostas.

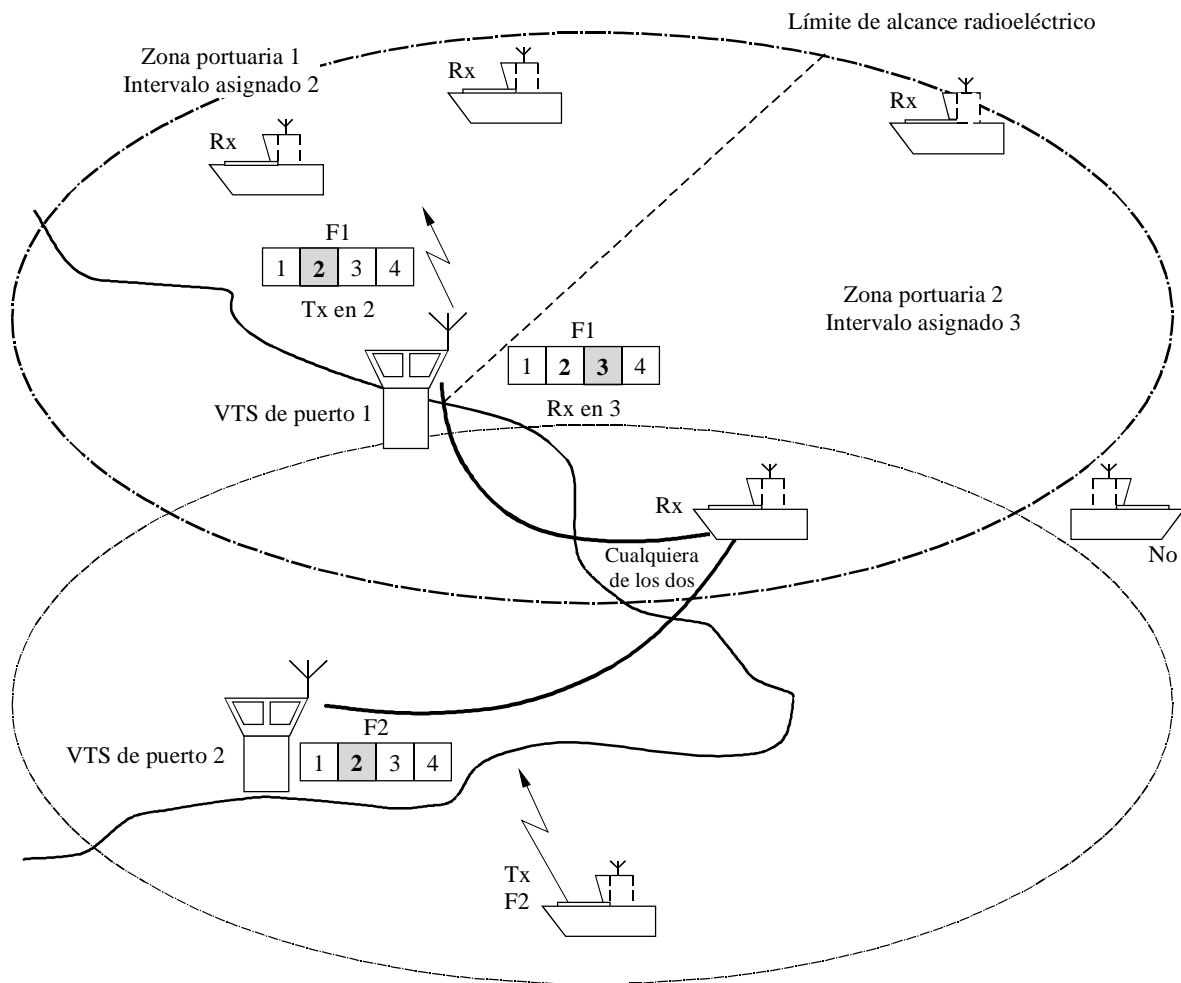
Se debe señalar que TETRA ofrece otras posibilidades, incluido el modo de repetidores manual o automático, por el cual la llamada de socorro podrá ser encaminada directamente a través de un barco a una estación costera que de otro modo, estaría fuera de alcance.

## 7 Funcionamiento dúplex

El modo normal de funcionamiento dúplex en los sistemas TETRA es llamada dúplex con división de frecuencia, con intervalos de tiempo desplazados. Este modo se podrá utilizar para comunicaciones marítimas cuando se desee, en particular en la correspondencia pública y servicios similares. En las llamadas dúplex con división de frecuencia, un simple móvil transmite en un intervalo de tiempo y recibe en el intervalo de tiempo  $T + 2$  módulo 4, como se muestra en la Fig. 17. Esto significa que un simple móvil con un receptor dual no puede supervisar una frecuencia de socorro de la manera descrita en el § 5 de este Anexo, a la vez que mantiene una conversación en dúplex.



FIGURA 15  
Sistemas TETRA adyacentes



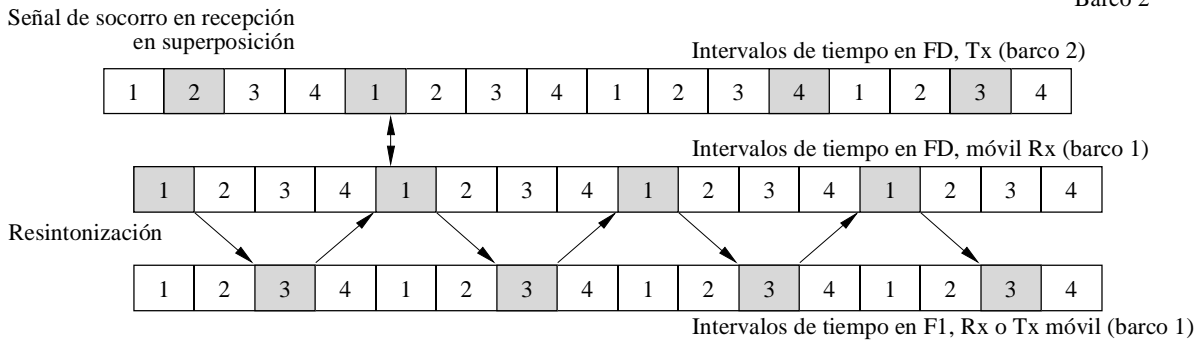
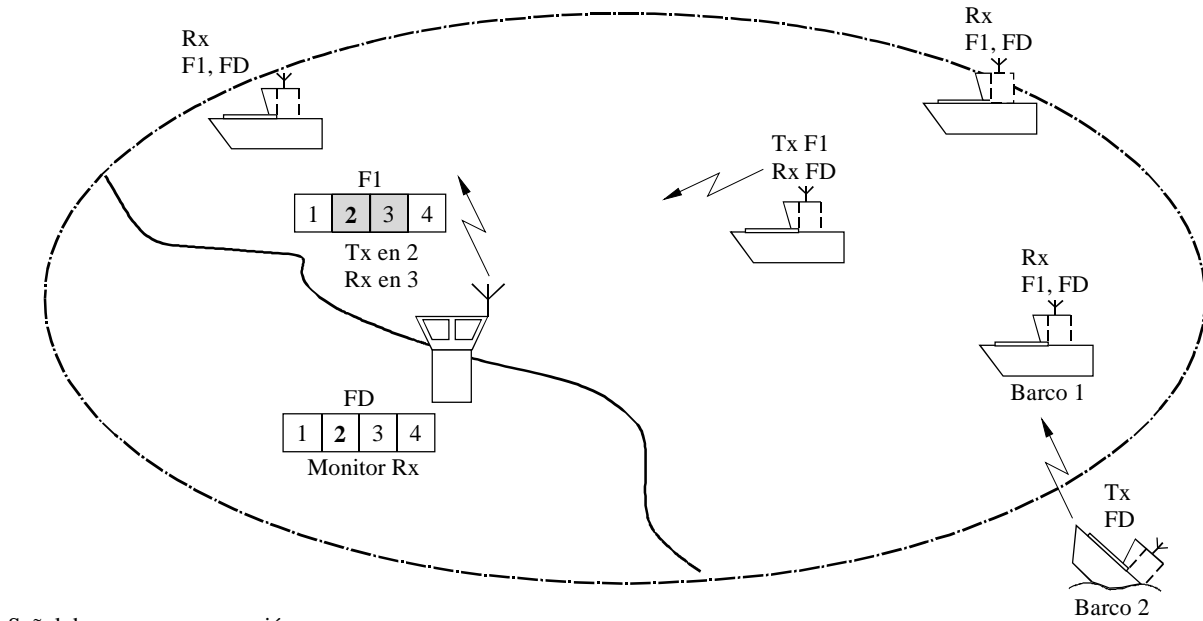
Rap 2010-15

## 8 Llamadas de barco a barco

El sistema TETRA admite llamadas en «modo directo» (de móvil a móvil) que se podrán mantener en las actuales frecuencias de barco a barco. Cuando está fuera del alcance de una estación costera, un móvil puede desear supervisar el canal de barco a barco o un canal de llamada general designado, así como el canal de socorro, de la manera descrita en el § 5 de este Anexo. Una llamada de barco se establecería de la misma manera que una llamada de socorro.

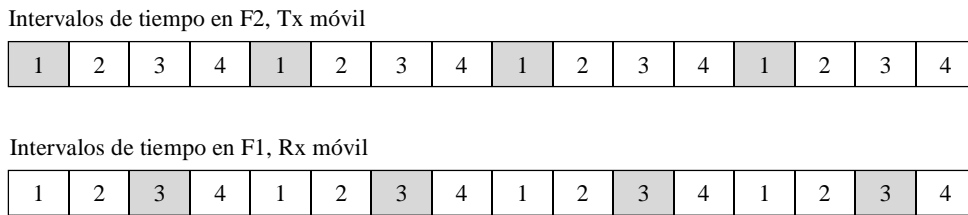
Asimismo, sería posible que los móviles supervisasen más de un canal de frecuencia distintos del canal «del sistema de base». Esto permitiría situaciones tales como la mostrada en la Fig. 18, en la que una llamada de barco a barco desde un barco que está fuera del alcance de una estación costera es recogida por un buque que supervisa una estación costera y el canal de socorro. La desventaja de supervisar más canales es que aumentará el tiempo máximo para detectar una llamada (a  $\approx 400$  ms en este caso). Actualmente esto no forma parte de la especificación de TETRA, pero no sería un problema.

FIGURA 16  
Supervisión del canal de socorro en el sistema TETRA



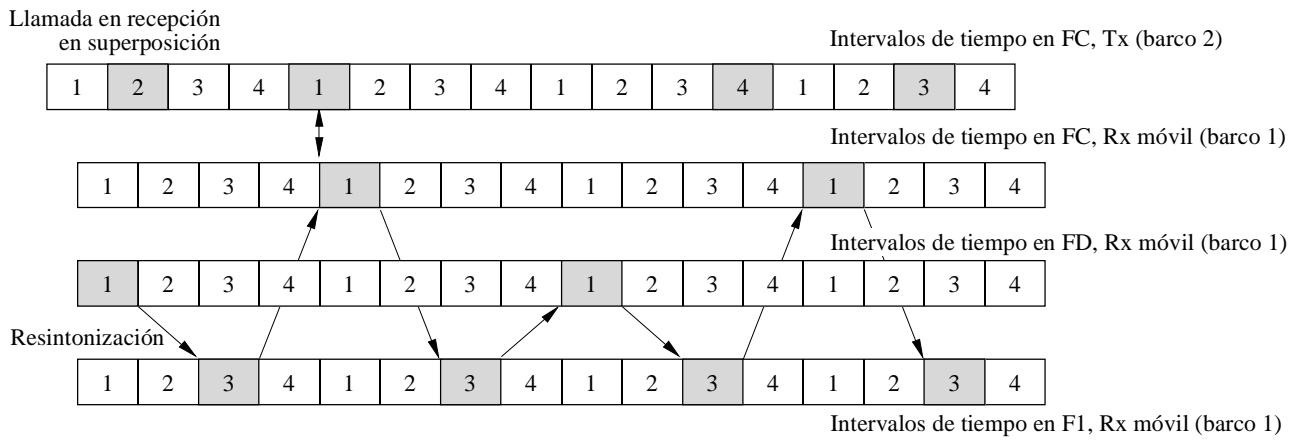
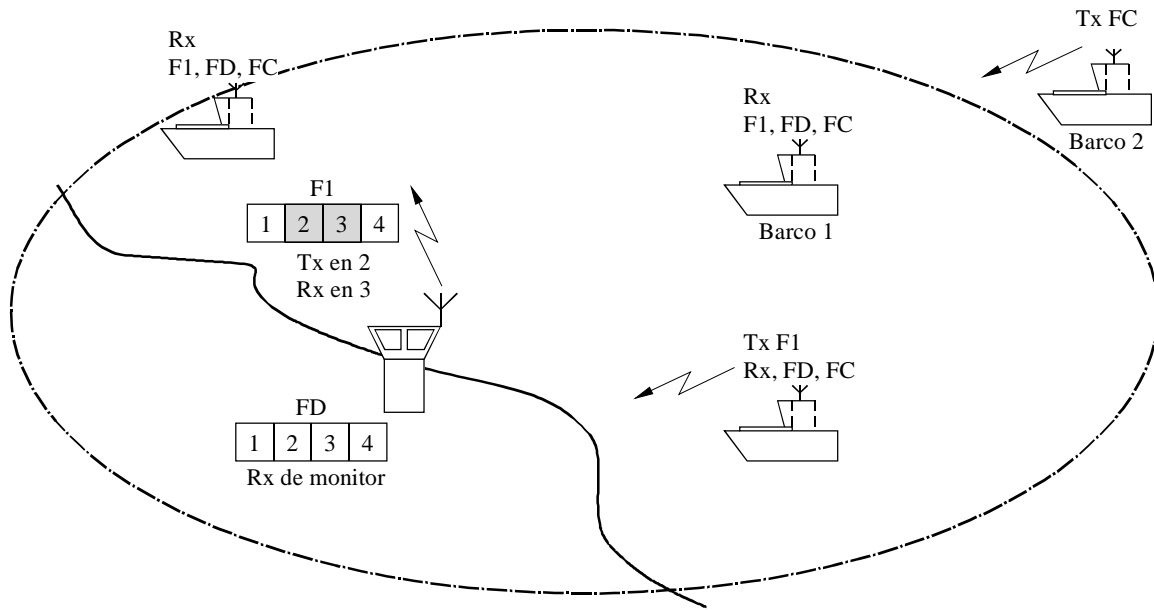
Rap 2010-16

FIGURA 17  
Utilización de intervalos de tiempo por un móvil en llamada dúplex



Rap 2010-17

FIGURA 18  
Supervisión de múltiples canales



FC: Frecuencia para llamada