

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1821

**Características de los sistemas de radiocomunicaciones digitales  
avanzados en ondas decamétricas**

(Cuestión UIT-R 147/9)

(2007)

**Alcance**

En esta Recomendación se especifican las características de frecuencias radioeléctricas típicas de los sistemas digitales avanzados en ondas decamétricas que habrán de utilizarse en los estudios de compartición de dos nuevos tipos de sistemas digitales avanzados en ondas decamétricas, protocolos de paso de testigo y módems de banda extensa. Los módems de banda extensa se subdividen a su vez en dos sistemas principales, multicanal y Digital Radio Mondiale. En el Anexo se recoge un cuadro de características donde se resumen los valores necesarios para los estudios de compartición.

**Acrónimos**

DRM	Digital Radio Mondiale
HFTP	Paso de testigo en ondas decamétricas ( <i>HF token passing</i> )
HFWAN	WAN en ondas decamétricas ( <i>high frequency WAN</i> )
BLI	Banda lateral independiente
LSB	Banda lateral inferior ( <i>lower sideband</i> )
NVIS	Onda ionosférica de incidencia casi vertical ( <i>near vertical incidence skywave</i> )
OFDM	Multiplexación por división de frecuencia ortogonal ( <i>orthogonal frequency division multiplex</i> )
MDP	Modulación por desplazamiento de fase
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura
USB	Banda lateral superior ( <i>upper sideband</i> )
WAN	Red de área extensa ( <i>wide area network</i> )
WTRP	Protocolo token ring inalámbrico ( <i>wireless token ring protocol</i> )

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los sistemas digitales avanzados utilizan cada vez más el espectro de las bandas de ondas decamétricas;
- b) que dichos sistemas avanzados no están normalizados y pueden tener características técnicas operativas distintas;
- c) que la falta de uniformidad, en la configuración y designación de canales en los transmisores multicanal para circuitos de largo alcance que utilizan frecuencias por debajo de 30 MHz, puede causar ciertos problemas cuando una estación transmisora ha de trabajar con varias estaciones receptoras,

*recomienda*

1 que, para efectuar los estudios de compartición, las características técnicas y operativas de los sistemas digitales en ondas decamétricas avanzados que se describen en el Anexo 1 se consideren representativas de los sistemas que utilizan las bandas de ondas decamétricas hasta 30 MHz.

## Anexo 1

### 1 Introducción

Los sistemas en ondas decamétricas tienen atributos específicos que los convierten en una solución viable para colmar muchas necesidades de radiocomunicación. Son un medio muy versátil de radiocomunicación para un gran número de usuarios y los equipos pueden transportarse fácilmente hasta zonas distantes y con poca densidad de población. Hay dos tecnologías representativas de los sistemas digitales en ondas decamétricas avanzados. En esta Recomendación se especifican las características de estos tipos de sistemas.

A los efectos de esta Recomendación, la eficacia del espectro se define como un objetivo formado por dos elementos. El primero es lograr un caudal máximo (bits/Hertz/s), y el segundo es maximizar el número de usuarios por grupo de frecuencias. Estos objetivos maximizan la capacidad de las comunicaciones fijas para lograr las metas de misión y calidad de funcionamiento.

### 2 Protocolos de paso de testigo

Los esquemas de gestión de testigos robustos son convenientes para la compartición de canales de datos en redes de ondas decamétricas, donde la tasa de pérdida de paquetes puede ser extrema a causa de variaciones imprevistas de la propagación. La calidad de funcionamiento de la red puede verse seriamente degradada si los nodos quedan desconectados. En estos casos se degrada la velocidad de los datos. Las perturbaciones de la propagación pueden reducir la eficacia con que las redes de ondas decamétricas utilizan el espectro.

El paso de testigo es un medio eficaz de controlar el acceso en redes muy cargadas. No obstante, se considera demasiado frágil para las redes con importantes tasas de pérdida de paquetes. En esta Recomendación se presenta un método de gestión de testigo que ofrece una rápida recuperación en caso de pérdida de testigos común y de duplicación de situación, y que maneja eficientemente los cambios en la conexión y el número de usuarios de la red.

Los protocolos de paso de testigo suelen ofrecer mecanismos para que los nodos integren y abandonen la red. Cuando ha de utilizarse el paso de testigo en una red de área extensa (WAN, *wide area network*), las características del medio inalámbrico introducen otros parámetros para la gestión de testigos:

- el nodo que tiene el testigo puede perder la conexión con su sucesor y, por tanto, puede perderse el testigo;
- el nodo que tiene el testigo puede perder la conexión con el resto de la red. La red pierde el testigo;

- una red puede partirse y cada subred ha de crear un nuevo testigo;
- es posible que un nodo sólo pueda ser alcanzado por otro nodo, por lo que no es posible crear una topología en anillo, si ha de incluirse ese nodo;
- los nodos de dos o más anillos que utilizan el mismo canal pueden estar al alcance uno del otro, lo que causa interferencia a menos que los anillos se fusionen o se cambie de canal(es);
- la fusión de los anillos o la recuperación tras la pérdida de testigo pueden hacer que haya múltiples testigos en un anillo.

El método para la recuperación de la conexión pone a los nodos que no forman parte de un anillo de paso de testigo activo en un estado de desconexión o espera, en el que permanecerán hasta que se les invite a ingresar en el anillo restante o a partir del cual pueden solicitar periódicamente a otros nodos conectados que los integren.

La larga reversión del enlace propia de la tecnología WAN en ondas decamétricas (HFWAN, *high frequency WAN*) existente hace que el tiempo de rotación del testigo sea del orden de un minuto. Por ejemplo, si la reversión del enlace es de 2 segundos y se permite que cada uno de los nodos  $N$  transmita hasta 8 segundos cuando recibe el testigo, se logra una eficacia de caudal del 80% como máximo con un tiempo de rotación de testigo (latencia) de hasta  $10N$  s.

Si se limitan las peticiones de ingreso en el anillo a una por rotación de testigo y la autorización de petición va pasando de un nodo a otro, cada nodo podrá solicitar el ingreso una vez cada  $N$  rotaciones de testigo.

En un anillo de diez nodos, utilizar el protocolo token ring inalámbrico (WTRP, *wireless token ring protocol*) (que no está diseñado para las ondas decamétricas) hará que los nodos desconectados queden fuera de la red unos 10 minutos (si no hay respuestas contradictorias al mensaje SOLICIT\_SUCESSOR (solicitar sucesor)). No es el mejor modo de funcionamiento de una red dinámica del servicio fijo o móvil.

Ese será el tiempo mínimo que necesita el WTRP para formar un nuevo anillo a partir de los nodos desconectados de dos anillos en conflicto. Podrá formarse rápidamente un anillo pequeño, pero los nodos restantes habrán de mantenerse inactivos y esperar a que se les invite a ingresar.

Los tiempos de recuperación del paso de testigo en ondas decamétricas (HFTP, *hf token passing*) son más atractivos. En caso de que se pierda un enlace, el mecanismo requiere  $N$  intervalos de tiempo (cuya duración equivale a la de un paquete más una reversión) para identificar un relevo. Por consiguiente, se necesita un tiempo de paquete adicional y un tiempo de reversión *en cada rotación de testigo*. En el ejemplo de la red de diez nodos, esto equivale a una pausa de menos de 30 s durante la cual se identifica el relevo y al alargamiento por parte de un bit del tiempo de rotación de testigo en un 2%.

En el caso de anillos en conflicto, las redes HFTP experimentarán colisiones de paquetes hasta que uno de los nodos inicie la fusión, mientras que los nodos WTRP quedarán en silencio en cuanto detecten un anillo extraño. No obstante, una vez recibida y aceptada la petición MERGE\_RINGS (fusionar anillos), los anillos fusionados volverán a transferir datos normalmente después de un tiempo equivalente a  $(N + 1)$  tiempo de paquete + reversión (es decir, después del SET\_SUCESSOR (establecer sucesor) y la rotación rápida de testigo del DOUBLE\_TIME\_TOKEN (tiempo de testigo doble)). Este tiempo es inferior a 30 s en la red de diez nodos ejemplo.

### 3 Módems de banda extensa

#### 3.1 Método multicanal

##### 3.1.1 Funcionamiento en banda lateral independiente (BLI)

Hay módems que transmiten los datos en múltiples bandas laterales independientes simultáneamente. Este tipo de módems contienen moduladores MDP/MAQ para cada canal de audio (puede encontrarse información sobre la modulación en la Recomendación UIT-R F.763-5, Anexo 6), pero emplean un único codificador de corrección de errores en el sentido de la transmisión, cuyo tren de bits de salida se distribuye por cada uno de los canales para la transmisión. Cuando estos canales se encuentran en frecuencias contiguas, la relación  $S/N$  de los canales tiende a ser similar, aunque los errores de canal no estén perfectamente correlacionados. Por tanto, se logra mejorar algo la salida recurriendo a diversos receptores.

##### 3.1.2 Funcionamiento en canales no contiguos

Cuando no se dispone de suficientes canales contiguos para soportar los requisitos de datos, es necesario utilizar canales no contiguos. En este caso, los valores  $S/N$  del canal pueden ser muy distintos, por lo que la distribución de un solo tren de bits codificado entre todos los canales no es la mejor solución. En su lugar, se generan distintos trenes de bits codificados para cada conjunto de canales. El control de flujo es independiente para cada conjunto de canales de manera que se mantiene el caudal de datos total al máximo posible para las frecuencias utilizadas.

###### 3.1.2.1 Equipos de ondas decamétricas monocanal

Un canal de anchura nominal de 3 kHz en la banda lateral superior (USB, *upper sideband*) o la banda lateral inferior (LSB, *lower sideband*) (seleccionable).

###### 3.1.2.2 Equipos de ondas decamétricas multicanal

Como se muestra a continuación, hay diversas configuraciones de canal posibles:

- dos canales de anchura nominal de 3 kHz en la USB o la LSB (dos canales independientes en la misma banda lateral, pudiendo seleccionarse esta última);
- un canal de anchura nominal de 6 kHz en la USB o la LSB (seleccionable);
- dos canales de anchura nominal de 3 kHz en la USB y dos en la LSB (cuatro canales independientes de 3 kHz – dos en cada banda lateral);
- un canal de anchura nominal de 6 kHz en la USB y uno en la LSB (dos canales independientes de 6 kHz – uno en cada banda lateral);
- un canal de anchura nominal de 12 kHz en la USB o la LSB (seleccionable);
- un canal de anchura nominal de 3 kHz en la USB y uno en la LSB (dos canales independientes de 3 kHz – uno en cada banda lateral).

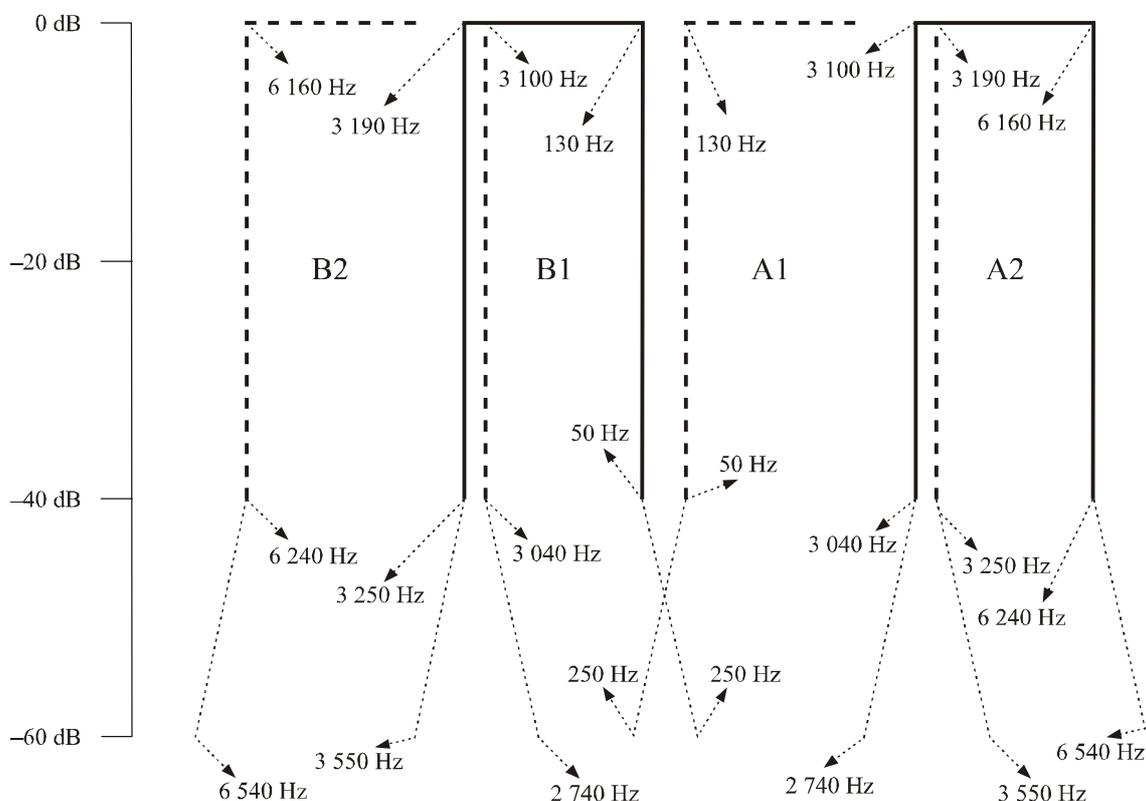
Cuando se ha recurrir al funcionamiento en banda lateral con cuatro canales independientes, cada uno de los canales de 3 kHz ha de configurarse como se muestra en la Fig. 1, donde también se ve la respuesta de amplitud de los cuatro canales. Han de invertirse los canales A2 y B2 y desplazarse con respecto a los canales A1 y B1, como se indica en la figura. Esto puede hacerse empleando frecuencias subportadoras de 6 290 Hz por encima y por debajo de la frecuencia portadora central, o con cualquier otra técnica adaptada que logre los desplazamientos e inversiones de los canales necesarios.

Puede suprimirse cualquier subportadora si se encuentra, como mínimo, 40 dB por debajo del nivel del tono único en el canal A2 o B2 que modula el transmisor al 25% de la potencia de cresta de la envolvente, como se muestra en la Fig. 1. La respuesta de amplitud RF con respecto a la frecuencia en cada canal BLI está dentro de 2 dB entre 250 Hz y 3 100 Hz, para cada portadora de canal (real o virtual). Para cada portadora de canal, la atenuación del canal ha de ser, como mínimo, de 40 dB a 50 Hz y 3 250 Hz, y, como mínimo, de 60 dB a 250 Hz y 3 550 Hz.

La distorsión de retardo de grupo no deberá superar los 1 500  $\mu$ s entre 370 Hz y 750 Hz, y entre 3 000 Hz y 3 100 Hz; ni superar los 1 000  $\mu$ s entre 750 Hz y 3 000 Hz, y los 150  $\mu$ s en cualquier incremento de frecuencia de 100 Hz entre 570 Hz y 3 000 Hz. El retardo absoluto debe ser inferior a 10 ms en la gama de frecuencias entre 300 Hz y 3 050 Hz. Las mediciones se realizan de extremo a extremo (de la entrada de audio del transmisor a la salida de audio del receptor) disponiendo los equipos de manera que estén adosados y no haya equipos intermedios.

FIGURA 1

## Funcionamiento en banda lateral independiente con cuatro canales



Nota 1 – Las frecuencias mostradas son el nivel límite de 3 dB del filtro en la Fig. 1.

1821-01

### 3.2 Digital Radio Mondiale (DRM)

Se han efectuado pruebas experimentales de los sistemas DRM (véase la Recomendación UIT-R BS.1514-1) para su utilización por los servicios fijo y móvil.

El sistema DRM es un sistema de transmisión digital de datos codificados ortogonalmente con poca anchura de banda, que es capaz de adaptar sus características de transmisión para ajustarse a las necesidades del servicio y los factores de propagación radioeléctrica. Se aplica a cada una de las distintas subportadoras la modulación de amplitud en cuadratura (MAQ) para transmitir el contenido de información, que también comprende elementos de código para la corrección de errores en el sentido de la transmisión. Se utilizan dos constelaciones MAQ primarias: 64-MAQ y 16-MAQ. Además, para lograr una señalización muy robusta, puede utilizarse la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (MDPQ). Asimismo, los datos se intercalan en el tiempo entre las subportadoras para contrarrestar el desvanecimiento temporal y de frecuencia selectivo. El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación ha publicado la opción DRM en su «Data Applications Directory», que puede consultarse en <http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp>, introduciendo en la función de búsqueda «data application directory».

### 3.3 Características

CUADRO 1

**Características de los sistemas digitales de radiocomunicaciones avanzados en ondas decamétricas**

Parámetro	Modo de propagación		
	Onda de superficie	Onda ionosférica	
		NVIS	Incidencia oblicua
Banda de frecuencias (MHz)	2-10	2-10	3-30
Zona de servicio aproximada	Hasta 80 km	Entre 80 y 200 km	Más de 200 km
Polarización de la antena	Vertical	Horizontal	Vertical/horizontal
Ganancia de la antena transmisora (dBi)	1-3	1-6	6-15
p.i.r.e. máxima (dBW)	1-29	10-32	16-55
S/N (dB) <sup>1</sup>	SSB 17 DRM 18	SSB 25 DRM 26	SSB 26 DRM 26
Anchura de banda necesaria y tipo de emisión <sup>2</sup>	BLU/BLI: 3, 6, 9 y 12 kHz 3K00J2D, 6K00J2D, 9K00J2D y 12K0J2D		
	DRM: 3, 4,5, 5, 9, 10 y 20 kHz 3K00J2D, 4K50J2D, 5K00J2D, 9K0J2D, 10K0J2D, 20K0J2D		

NOTA 1 – Puede encontrarse más información sobre la relación S/N necesaria en la Recomendación UIT-R F.339.

NOTA 2 – En el tipo de emisión, la última letra (D) se refiere a la transmisión de datos. De no ser datos (D), habrá de sustituirse por (E) para voz, (C) para facsímil, (W) para una combinación, o (X) para otros casos.

#### 4 Conclusión

Con las ondas decamétricas pueden lograrse radiocomunicaciones inalámbricas más allá de la línea de visibilidad directa para aplicaciones que van de la línea de visibilidad directa ampliada en una pequeña región a la cobertura mundial para la aviación comercial, el socorro marítimo y los mensajes de correo electrónico. Con los enlaces de largo alcance disponibles empleando equipos en ondas decamétricas transportables, también se consiguen comunicaciones rápidas con zonas que hayan sufrido una catástrofe, a raíz de la cual la infraestructura terrenal haya quedado muy dañada o destruida.

A pesar de esta capacidad para comunicar más allá de la línea de visibilidad directa, las variaciones de la propagación y otros efectos medioambientales pueden causar la inactividad de algunos enlaces de ondas decamétricas, dejando otros intactos. Por tanto, la fiabilidad de las redes de ondas decamétricas se mejora cuando se recurre al encaminamiento indirecto. La mayoría de los caminos de una red de ondas decamétricas no suelen necesitar más de un único enlace. No obstante, cuando se necesitan múltiples opciones de encaminamiento para mantener la calidad de servicio, puede resultar útil un mecanismo de encaminamiento con un solo relevo.

Cuando múltiples nodos de ondas decamétricas quieren compartir un canal para efectuar comunicaciones punto a multipunto o punto a punto eficaces, se necesita un protocolo de acceso al canal. Un método posible es el protocolo de paso de testigo. Las características del canal de ondas decamétricas (poca anchura de banda, mucho retardo y altas pérdidas) imponen requisitos muy restrictivos a dicho protocolo.

Cuando los requisitos de transmisión de datos superan las velocidades que pueden lograrse con una atribución nominal de 3 kHz, pueden emplearse mecanismos que reparten la transmisión de datos entre múltiples canales de este tipo. Existen módems de banda extensa que pueden aumentar significativamente el caudal de datos de una red. El funcionamiento en banda lateral independiente puede soportar que se utilicen múltiples canales para aumentar la anchura de banda manteniendo al mismo tiempo la eficacia espectral.

---