

# UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

## Recomendación UIT-R M.2010-1 (01/2019)

### **Características del sistema digital «Datos de navegación para difundir información de seguridad marítima e información de seguridad conexas de costa a barco en la banda de 500 kHz»**

**Serie M**

**Servicios móviles, de radiodeterminación,  
de aficionados y otros servicios  
por satélite conexos**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	<b>Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos</b>
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2019

© UIT 2019

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.2010-1

**Características del sistema digital «Datos de navegación para difundir información de seguridad marítima e información de seguridad conexas de costa a barco en la banda de 500 kHz»**

(2012-2019)

**Cometido**

En esta Recomendación se describe un sistema de radiocomunicaciones en ondas hectométricas, denominado datos de navegación (NAV DAT), para el servicio móvil marítimo en la banda de 500 kHz, destinado a la difusión digital de información de seguridad marítima e información de seguridad conexas de costa-barco. Las características operativas y la arquitectura de este sistema de radiocomunicaciones se describen en los Anexos 1 y 2. Las características técnicas y la estructura de transmisión se detallan en los Anexos 3 y 4. En los Anexos 5 y 6 se describen la estructura de los ficheros mensaje y el modo de radiodifusión.

**Palabras clave**

500 kHz, NAV DAT, radiodifusión

**Abreviaturas/glosario**

CDU	Unidad de control y visualización ( <i>control and display unit</i> )
DRM	Digital radio mondiale
DS	Flujo de datos ( <i>data stream</i> )
GF	Campo de Galois o campo finito ( <i>Galois field or finite field</i> )
GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite ( <i>global navigation satellite system</i> )
LDPC	Verificación de paridad de baja densidad ( <i>low density parity check</i> )
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura
MDFO	Multiplexación por división de frecuencia ortogonal
MER	Tasa de errores de modulación ( <i>modulation error rate</i> )
MIS	Flujo de información de modulación ( <i>modulation information stream</i> )
NAV DAT	Datos de navegación (nombre del sistema)
NAVTEX	Télex de navegación (nombre del sistema)
OMI	Organización Marítima Internacional
PRBS	Secuencia binaria pseudoaleatoria ( <i>pseudo-random binary sequence</i> )
RS	Código Reed-Solomon
SFN	Red monofrecuencia ( <i>single frequency network</i> )
SIM	Sistema de información y gestión ( <i>system of information and management</i> )
TIS	Flujo de información del transmisor ( <i>transmitter information stream</i> )
VRC	Verificación por redundancia cíclica

**Recomendaciones e Informes de la UIT conexos**

Recomendación UIT-R BS.1514 – Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz

Recomendación UIT-R M.493 – Sistema de llamada selectiva digital para el servicio móvil marítimo

Recomendación UIT-R M.585 – Asignación y uso de identidades del servicio móvil marítimo

Recomendación UIT-R P.368 – Curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz

Recomendación UIT-R P.372 – Ruido radioeléctrico

Informe UIT-R M.2201 – Utilización de la banda 495-505 kHz por el servicio móvil marítimo para la radiodifusión digital de costa a barco de información de seguridad y protección

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la difusión de datos a alta velocidad de costa a barco mejora la seguridad marítima y la eficiencia operativa;
- b) que el sistema télex de navegación (NAVTEX) tiene una capacidad limitada;
- c) que el sistema de navegación electrónica de la Organización Marítima Internacional (OMI) aumenta la demanda de transmisión de datos de costa a barco;
- d) que la banda de 500 kHz tiene una buena cobertura para sistemas digitales,

*reconociendo*

que el Sistema Digital Radio Mondiale (DRM) mencionado en el Anexo 6 se ha incorporado en la Recomendación UIT-R BS.1514,

*observando*

que en el Informe UIT-R M.2201 se dan las bases del sistema NAVDAT,

*recomienda*

- 1** que las características operativas para la difusión de información de seguridad marítima e información de seguridad conexas estén en consonancia con el Anexo 1;
- 2** que la arquitectura del sistema de difusión de información de seguridad marítima e información de seguridad conexas de costa a barco en la banda de frecuencias HF esté en consonancia con el Anexo 2;
- 3** que las características técnicas y los protocolos de módem para la transmisión digital de costa a barco en la banda de 500 kHz estén en consonancia con los Anexos 3 y 4.
- 4** que el flujo de datos del sistema y la estructura de los mensajes se ajusten a lo dispuesto en el Anexo 5.

## Anexo 1

### Características operativas

El sistema NAVDAT utiliza una atribución de intervalo de tiempo similar a la del sistema NAVTEX, de cuya coordinación podría encargarse la OMI de la misma manera.

Este sistema NAVDAT también podría utilizar una red monofrecuencia (SFN), como se describe en el Anexo 6. En este caso, se sincroniza la frecuencia de los transmisores y los datos de transmisión deben ser idénticos para todos ellos.

El sistema digital de NAVDAT a 500 kHz permite la transmisión por difusión de cualquier tipo de mensaje de costa a barco, con posibilidad de encriptación.

#### 1 Tipos de mensajes y ficheros

Todo mensaje de difusión debe proceder de una fuente controlada y segura.

Se pueden difundir, entre otros, los siguientes tipos de mensaje:

- seguridad de navegación;
- seguridad;
- pirateo;
- búsqueda y rescate;
- mensajes de meteorología;
- mensaje del piloto o del puerto;
- transferencia de ficheros del sistema de tráfico de barcos;
- paquetes de actualización de mapas electrónicos.

#### 2 Modos de difusión

##### 2.1 Difusión general

Estos mensajes se difunden a la atención de todos los barcos.

##### 2.2 Difusión selectiva

Estos mensajes se difunden a la atención de un determinado grupo de barcos<sup>1</sup> o una zona de navegación específica<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> En la primera parte del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R M.585 se define el formato de las identidades de llamada a grupos de estaciones de barco.

<sup>2</sup> En el § 5.3 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R M.493 se hace referencia a la definición de las coordenadas geográficas.

### 2.3 Mensaje dedicado

Estos mensajes están destinados a un barco en concreto, utilizando la identidad del servicio móvil marítimo.

### 3 Prioridad para la radiodifusión

NAVDAT es capaz de transmitir mensajes de socorro, urgencia y seguridad en el orden definido en el *International SafetyNET Manual* de la OMI.

## Anexo 2

### Arquitectura del sistema

#### 1 Cadena de difusión

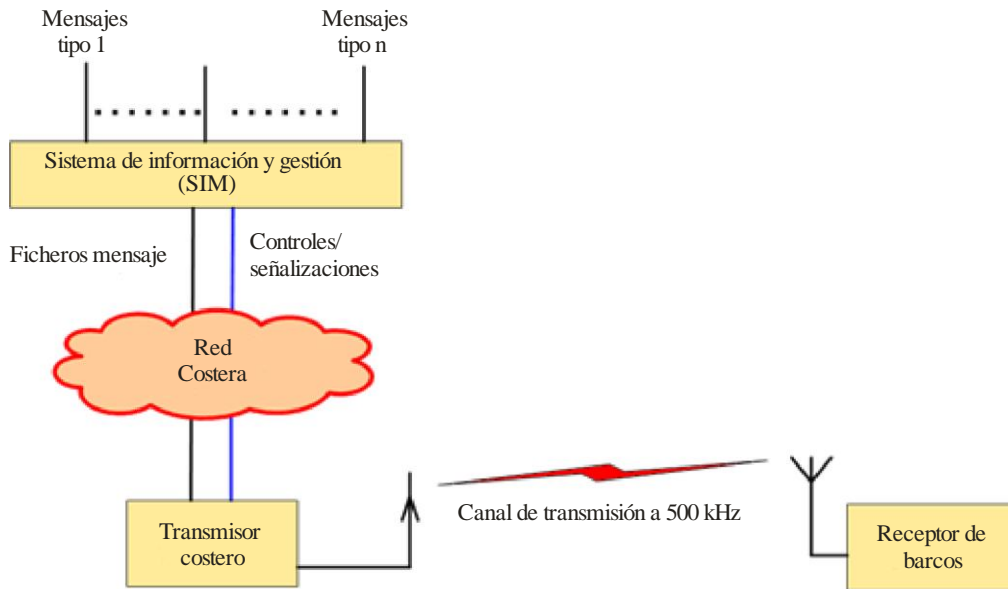
El sistema NAVDAT está estructurado en cinco vectores para realizar las siguientes funciones:

- Sistema de información y gestión (SIM):
  - recopila y controla todo tipo de información;
  - crea ficheros mensaje para su transmisión;
  - crea un programa de transmisión con arreglo a la prioridad de ficheros mensaje y la necesidad de repetición;
  - supervisa el estado operativo y la calidad de radiodifusión del transmisor costero; y
  - controla los parámetros operativos del transmisor costero.
- Red costera:
  - garantiza que los ficheros mensaje y los datos de control se transporten desde el origen a los transmisores.
- Transmisor costero:
  - recibe los ficheros mensaje del SIM;
  - traduce los ficheros mensaje a una señal MDFO (modulación por división de frecuencia ortogonal);
  - transmite la señal RF a la antena para su difusión a los barcos;
  - controla el estado operativo e informa al SIM.
- Canal de transmisión:
  - Transporta la señal RF a 500 kHz.
- Receptor de barco:
  - demodula la señal MDFO RF;
  - reconstruye los ficheros mensaje;
  - ordena y distribuye los ficheros mensaje al equipo especializado en función de la aplicación de los ficheros mensaje, o muestra el contenido de los ficheros mensaje.

En la Fig. 1 se muestra el diagrama de bloques de la cadena de difusión.

FIGURA 1

Diagrama de bloques de la cadena de difusión NAVDAT a 500 kHz



M.2010-01

### 1.1 Sistema de información y gestión

El SIM comprende:

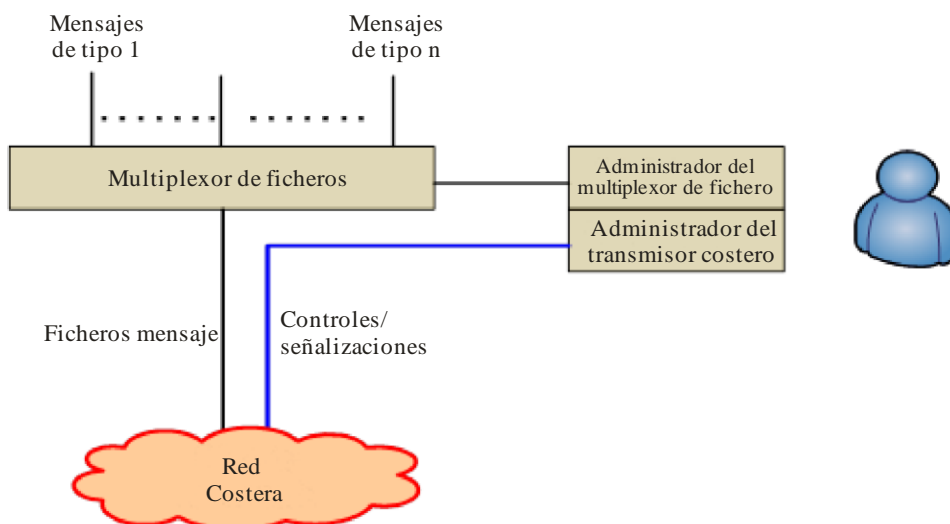
- todas las fuentes que generan mensajes fichero (por ejemplo, estaciones de meteorología, organizaciones de seguridad, etc.);
- el multiplexor de ficheros, aplicación que se ejecuta en un servidor;
- el administrador del multiplexor de ficheros;
- el administrador de transmisores costeros.

Todas las fuentes están conectadas en red al multiplexor de fichero.

En la Fig. 2 se muestra el diagrama general del SIM.

FIGURA 2

Diagrama de bloques del sistema de información y gestión de NAVDAT



M.2010-02

### 1.1.1 Multiplexor de ficheros

El multiplexor de ficheros:

- recoge los ficheros mensaje procedentes de las fuentes de datos;
- encripta, en su caso, los ficheros mensaje;
- formatea los mensajes fichero con la información del destinatario, la prioridad y la validez de tiempo;
- envía los ficheros mensaje al transmisor.

### 1.1.2 Administrador del multiplexor de ficheros

El administrador del multiplexor de ficheros es una interfaz hombre-máquina que permite al usuario realizar, entre otras, las siguientes tareas:

- echar un vistazo a los ficheros mensaje procedentes de cualquier fuente;
- especificar la prioridad y periodicidad de cualquier fichero mensaje;
- especificar el destinatario del fichero mensaje;
- gestionar la encriptación del mensaje del fichero.

Algunas de estas funcionalidades se pueden automatizar. Por ejemplo, la prioridad y periodicidad de un mensaje puede seleccionarse con arreglo a su procedencia o el origen puede especificar la prioridad del mensaje.

### 1.1.3 Administrador del transmisor costero

El administrador de la estación costera es una interfaz hombre-máquina conectada al transmisor a través de la red; hace posible supervisar indicaciones de estado del transmisor tales como:

- acuse de recibo de transmisión;
- alarmas;
- potencia de transmisión efectiva;
- informe de sincronización;
- calidad de transmisión;

y cambiar parámetros del transmisor, como por ejemplo:

- potencia de transmisión;
- parámetros MDFO (subportadoras piloto, modulación, codificación de errores, etc.);
- plan de transmisión.

## 1.2 Red costera

La red costera puede utilizar un enlace de banda ancha, un enlace de baja velocidad de datos o la compartición de ficheros locales.

## 1.3 Descripción del transmisor costero

La estación transmisora costera consta de la siguiente configuración mínima:

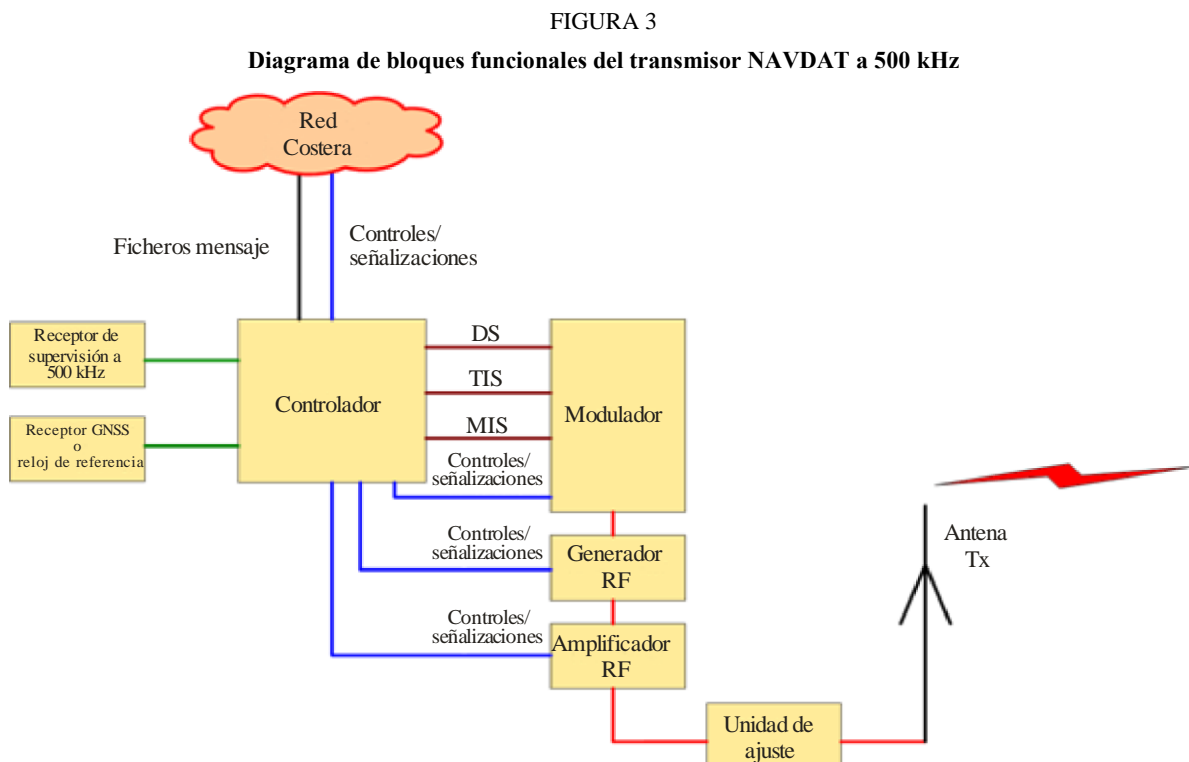
- un controlador, que es un servidor local con acceso protegido;
- un modulador MDFO;
- un generador RF;
- un amplificador de potencia RF;



- una antena de transmisión con unidad de concordancia;
- un receptor de sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) o un reloj atómico para la sincronización;
- un receptor de supervisión con su antena.

### 1.3.1 Arquitectura del sistema costero

En la Fig. 3 se muestra el diagrama de bloques de un transmisor digital a 500 kHz.



M.2010-03

### 1.3.2 Controlador

Esta unidad recibe cierta información:

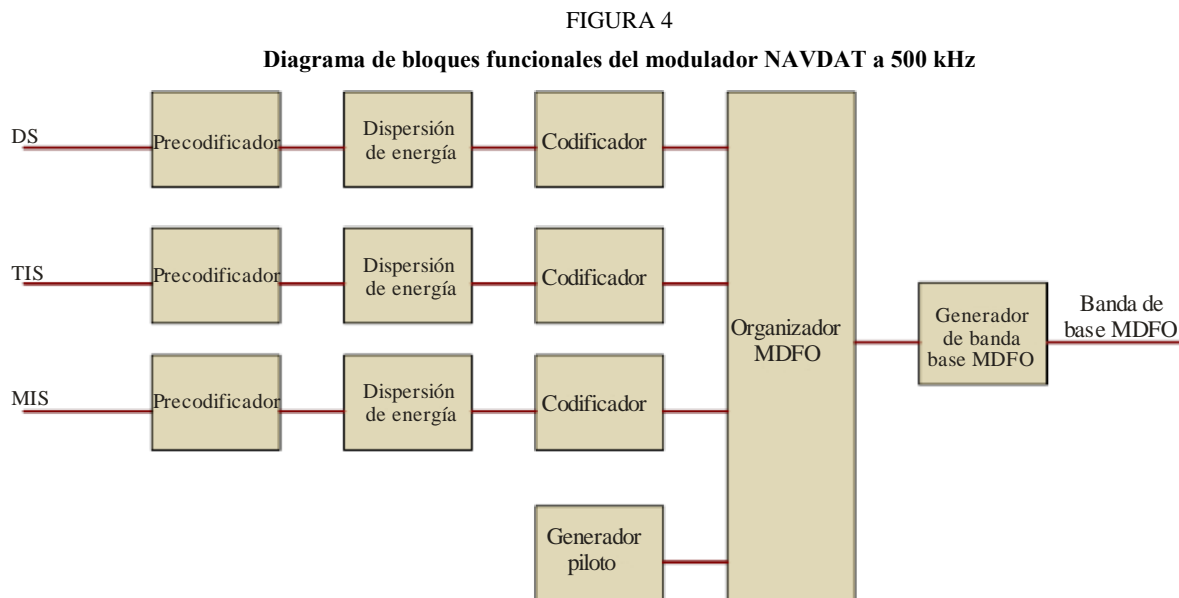
- ficheros mensaje del SIM;
- GNSS o reloj de referencia para la sincronización;
- señal a 500 kHz procedente del receptor de supervisión;
- señales de control y seguimiento del modulador, el generador de señales RF a 500 kHz y el amplificador de potencia RF.

La función del controlador es:

- comprobar si la banda de frecuencias 495-505 kHz está libre antes de transmitir;
- sincronizar todas las señales en la estación costera con el reloj de sincronización;
- controlar los parámetros de transmisión, hora y programación;
- formatear los ficheros mensaje que se van a transmitir (divididos en paquetes).

### 1.3.3 Modulador

En la Fig. 4 se muestra el diagrama del modulador.



M.2010-04

### 1.3.3.1 Flujos de entrada

Para funcionar, el modulador necesita tres flujos de entrada:

- flujo de información de modulación (MIS);
- flujo de información del transmisor (TIS);
- flujo de datos (DS).

Estos flujos se transcodifican y luego se introducen en la señal MDFO mediante un organizador de células.

#### 1.3.3.1.1 Flujo de información de modulación

Este flujo se utiliza para facilitar información sobre:

- el grado de ocupación del espectro;
- la modulación para el flujo de información de transmisión y el flujo de datos (MAQ-4, MAQ-16 ó MAQ-64).

Este flujo MIS se codifica siempre en subportadores MAQ-4 para la correcta demodulación en el receptor.

#### 1.3.3.1.2 Flujo de información del transmisor

Este flujo se utiliza para suministrar información al receptor sobre:

- la codificación de errores para flujos de datos (debería ser diferente para la propagación por onda de suelo durante el día y para la propagación por onda de suelo y ondas ionosféricas durante la noche);
- el identificador del transmisor;
- la fecha y la hora.

Este flujo TIS puede codificarse con MAQ-4 o MAQ-16.

#### 1.3.3.1.3 Flujo de datos

Contiene los ficheros mensaje que se van a transmitir (formateados previamente por el multiplexador de ficheros).

### **1.3.3.2 Codificación de errores**

El plan de corrección de errores determina la robustez de la codificación. La tasa de codificación es la relación entre la tasa útil y la tasa de datos brutos. Da una idea de la eficiencia de la transmisión y varía entre 0,5 y 0,75 dependiendo del plan de corrección de errores y los patrones de modulación.

### **1.3.3.3 Generación de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal**

Se da formato a los tres flujos (MIS, TIS y DS):

- codificación;
- dispersión de energía.

El organizador de células organiza las células MDFO con los flujos formateados y las células piloto. Las células piloto se transmiten para que el receptor estime el radiocanal y se sincronice con la señal RF.

El generador de señales MDFO crea la banda de base MDFO con arreglo a la salida del organizador de células.

### **1.3.4 Generador RF a 500 kHz**

El generador a 500 kHz en HF realiza una transposición de la señal en la banda de base a la portadora de salida RF a 500 kHz.

El amplificador aumenta la potencia de la señal RF hasta el nivel deseado.

### **1.3.5 Amplificador RF**

La función de esta etapa es amplificar la señal a 500 kHz procedente de la salida del generador hasta el nivel necesario para obtener la cobertura radioeléctrica deseada.

La transmisión MDFO introduce un factor de cresta en la señal RF, que debe permanecer en el intervalo de 7 a 10 dB a la salida del amplificador RF para obtener una tasa de errores de modulación (MER) correcta.

### **1.3.6 Antena de transmisión con unidad de ajuste**

El amplificador RF está conectado a la antena de transmisión por medio de la unidad de ajuste de impedancia.

### **1.3.7 Receptor mundial de navegación por satélite y reloj atómico de referencia auxiliar**

Este reloj se utiliza para sincronizar el controlador local y configurar un reloj de referencia de alta precisión en los casos en que se utiliza el modo SFN.

### **1.3.8 Receptor de supervisión**

El receptor de supervisión comprueba que la banda de frecuencias 495-505 kHz esté libre antes de iniciar la transmisión y ofrece la posibilidad de verificar la transmisión. Se recomienda utilizar un receptor de control a distancia para realizar un seguimiento de la calidad de recepción de la señal local.

## **1.4 Canal de transmisión: estimación de la cobertura radioeléctrica**

La cobertura podría calcularse de acuerdo con la versión más reciente de las Recomendaciones UIT-R P.368 y UIT-R P.372. Véase un ejemplo en el Informe UIT-R M.2201.

## Anexo 3

### Características técnicas de NAVDAT

#### 1 Principio de modulación

El sistema utiliza MDFO, una tecnología de modulación para transmisiones digitales.

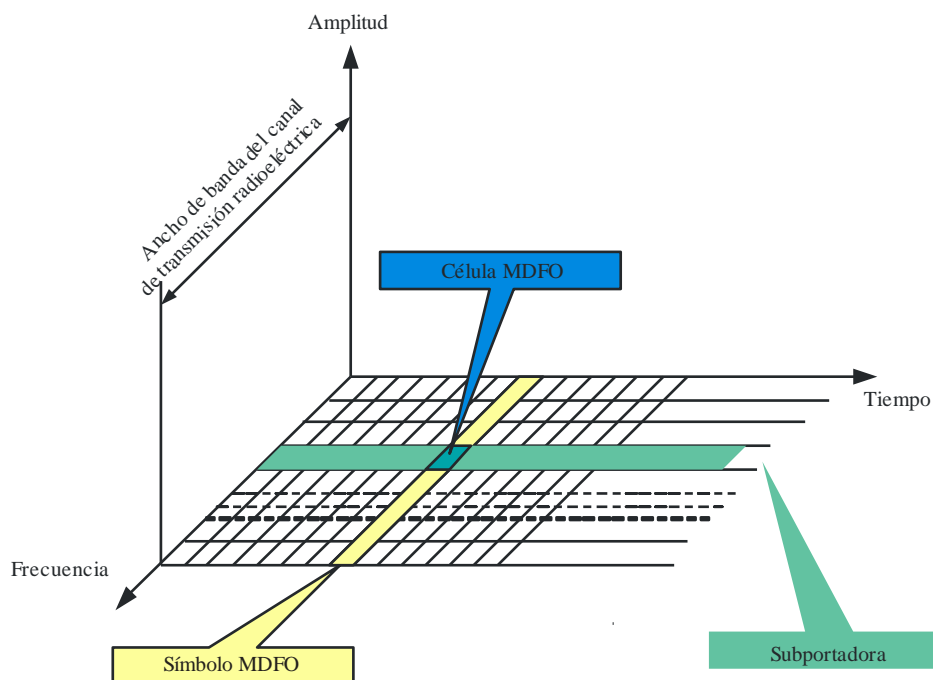
##### 1.1 Introducción

La anchura de banda del canal de transmisión radioeléctrica en el dominio de la frecuencia se divide para generar subportadoras.

El canal de transmisión radioeléctrica se organiza en el tiempo para componer símbolos.

Una célula MDFO equivale a una subportadora en un símbolo MDFO.

FIGURA 5  
Introducción a la MDFO



M.2010-05

##### 1.2 Principio

La MDFO utiliza un gran número de subportadoras ortogonales cercanas (41,66 Hz) para que la transmisión de datos se realice con una elevada eficiencia espectral. Estas subportadoras están separadas en frecuencia ( $F_u = 1/T_u$ ), donde  $T_u$  es la duración de un símbolo MDFO.

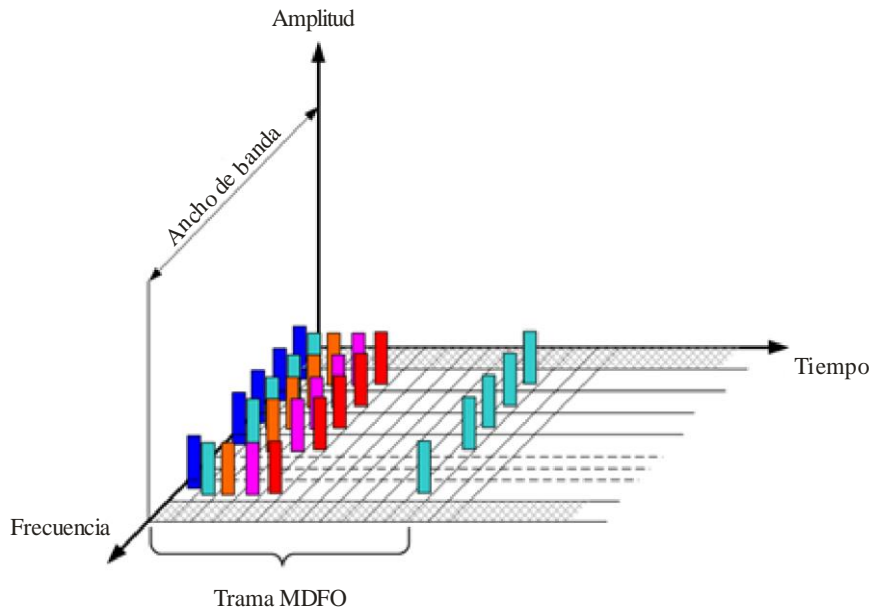
Las fases de las subportadoras son ortogonales entre sí para mejorar la diversidad de la señal causada por los trayectos múltiples, particularmente en distancias largas.

En cada símbolo MDFO se inserta un intervalo de guarda ( $T_d$ ) para reducir el efecto de los trayectos múltiples, reduciendo así la interferencia entre símbolos.

La duración del símbolo MDFO es  $T_s = T_u + T_d$ .

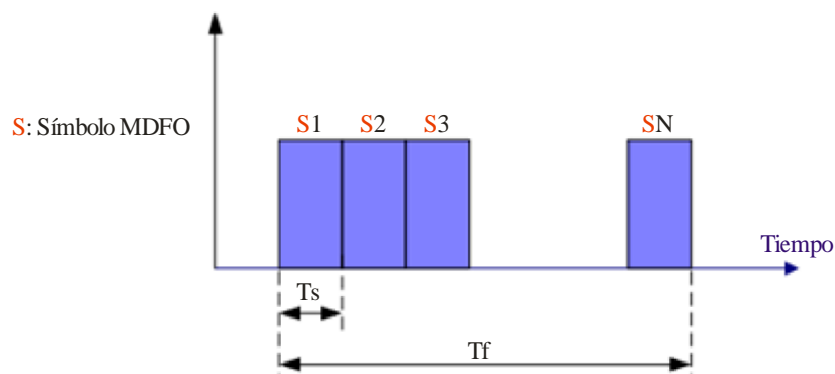
Los símbolos MDFO se concatenan para constituir una trama MDFO.  
 La duración de la trama MDFO es  $T_f$ .

FIGURA 6  
 Representación espectral de una trama MDFO



M.2010-06

FIGURA 7  
 Representación temporal de una trama MDFO



M.2010-07

### 1.3 Parámetros de multiplexación por división de frecuencia ortogonal

Los valores de los parámetros MDFO se enumeran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

**Valores de los parámetros de multiplexación por división de frecuencia ortogonal**

$T_u$	$1/T_u$	$T_d$	$T_s = T_u + T_d$	$N_s$	$T_f$
24 ms	$41^{2/3}$ Hz	2,66 ms	26,66 ms	15	400 ms

$T_u$ : duración de la parte útil de un símbolo MDFO

$1/T_u$ : distancia entre portadoras

$T_d$ : duración del intervalo de guarda

$T_s$ : duración de un símbolo MDFO

$N_s$ : número de símbolos por trama

$T_f$ : duración de la trama de transmisión.

**1.4 Ancho de banda de canal**

El sistema de radiodifusión digital de NAVDAT define distintos anchos de banda de canal y determina el número de subportadoras correspondiente a las diversas tasas de ocupación del espectro. Los valores de ancho de banda de canal y el número de subportadoras figuran en el Cuadro 2.

CUADRO 2

**Relación entre el ancho de banda del canal y el número de subportadoras de multiplexación por división de frecuencia ortogonal**

	Ocupación del espectro			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Ancho de banda de canal (kHz)	1	3	5	10
Número de subportadoras	23	69	115	229
Subportadora número k	k = -11 a 11	k = -34 a 34	k = -57 a 57	k = -114 a 114

**1.5 Modulación**

Cada subportadora se modula en amplitud y en fase (MAQ, modulación de amplitud en cuadratura).

Los esquemas de modulación pueden ser de 64 estados (6 bits, MAQ-64), 16 estados (4 bits, MAQ-16), o 4 estados (2 bits, MAQ-4).

El esquema de modulación es función de la robustez deseada de la señal.

FIGURA 8  
Constelación MAQ-4

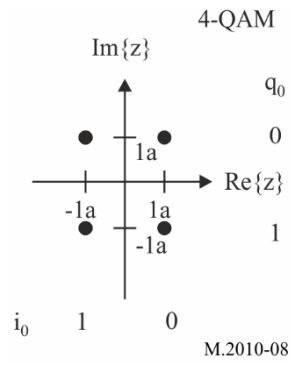


FIGURA 9  
Constelación MAQ-16

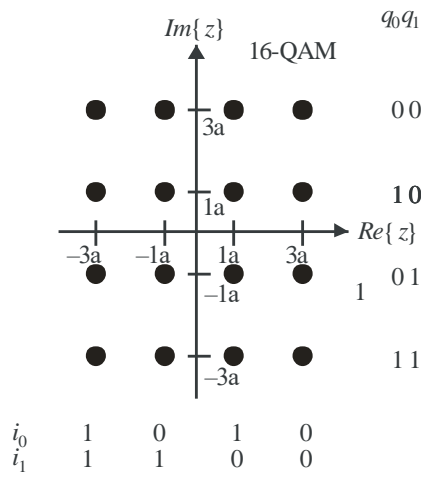
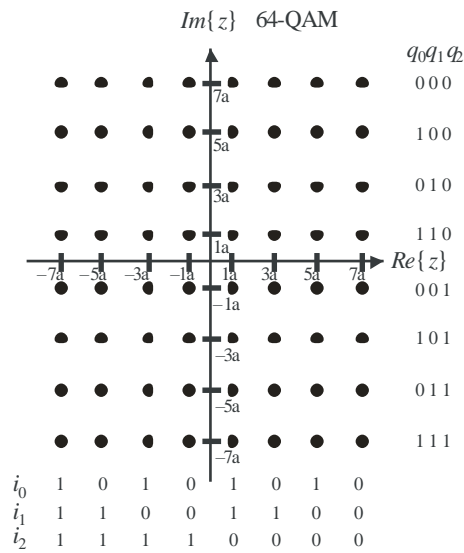


FIGURA 10  
Constelación MAQ-64



### 1.6 Sincronización

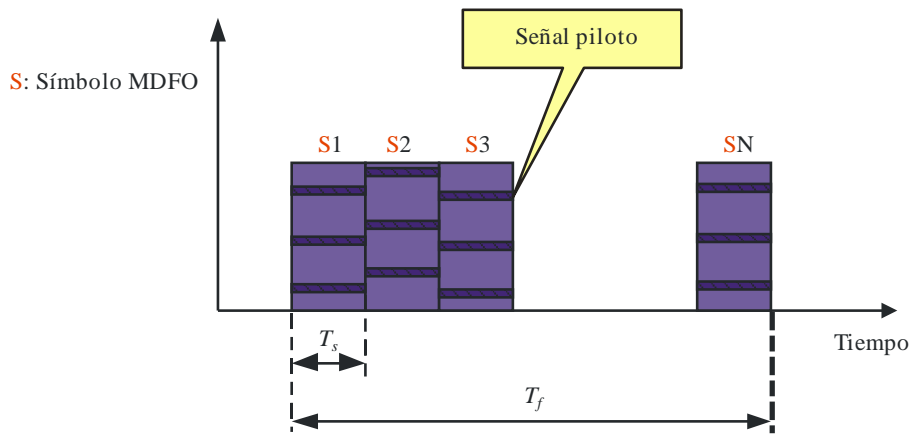
Para una correcta demodulación de las subportadoras, la respuesta del canal radioeléctrico debe estar determinada para cada subportadora, siendo recomendable la ecualización. Por este motivo, algunos símbolos MDFO pueden transportar señales piloto.

La señal piloto permite al receptor:

- detectar si se ha recibido una señal;
- estimar el desplazamiento de frecuencia;
- estimar el canal de transmisión radioeléctrica.

El número de señales piloto depende de la robustez deseada de la señal.

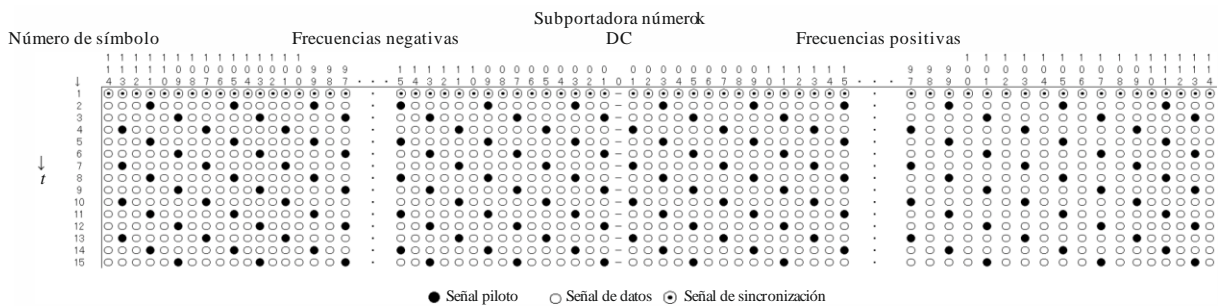
FIGURA 11  
Señal piloto MDFO



M.2010-11

La posición de la señal piloto en cada símbolo MDFO de una trama puede ilustrarse como sigue:

FIGURA 12  
Posición de la señal piloto



M.2010-12

Siendo  $t$  es la dirección del dominio de tiempo y  $f$  la dirección del dominio de frecuencia. El primer símbolo de cada trama MDFO debe rellenarse con una secuencia de señales de sincronización que constituyen el encabezamiento de sincronización (véase el Cuadro 7) y se utilizan como referencia temporal para facilitar la sincronización del receptor. La célula negra y la célula blanca representan la señal piloto y la señal de datos, respectivamente. El valor de la señal piloto, que se modula en 2-QAM (BPSK) en un símbolo MDFO, figura en el Cuadro 3.

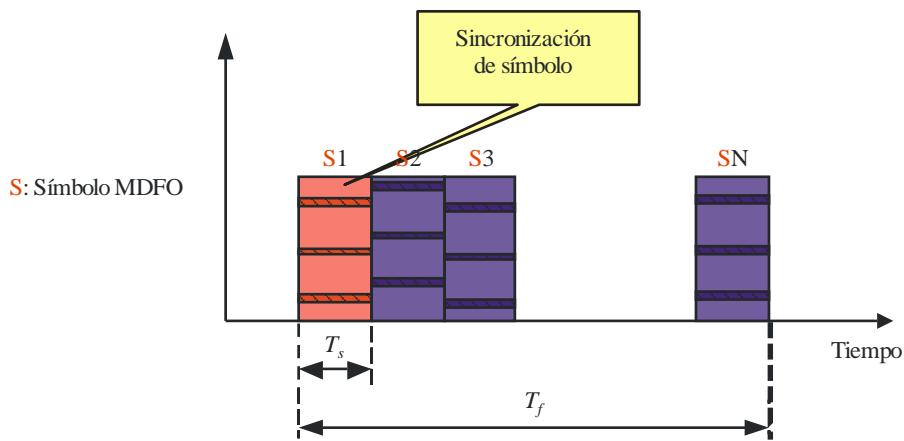


CUADRO 3  
Secuencia piloto

Número de subportadoras	Secuencia piloto
229	-1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1
115	-1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1
69	-1 1 -1 1 -1 1 1
23	-1 1 -1

En el primer símbolo de cada trama MDFO, el receptor utiliza las subportadoras como referencia de tiempo para su sincronización.

FIGURA 13  
Sincronización de símbolos



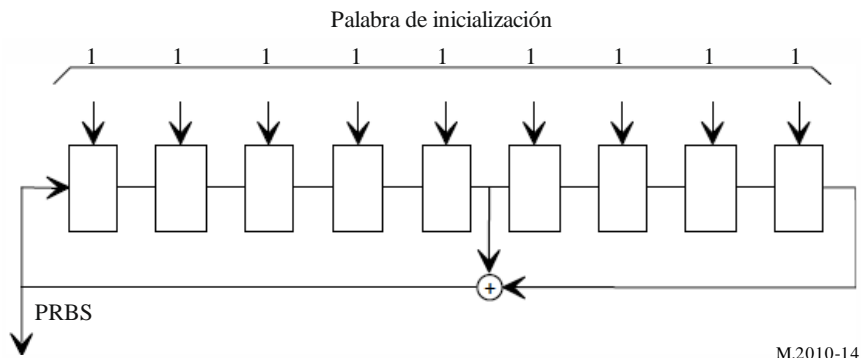
M.2010-12

### 1.7 Dispersión de energía

La finalidad de la dispersión de energía es evitar la transmisión de patrones de señal que resulten en una regularidad no deseada. Antes de codificar el canal, un módulo 2 con una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) debe aleatorizar las entradas individuales de los aleatorizadores de dispersión de energía. La secuencia PRBS se define como el producto del registro de desplazamiento con realimentación de la Fig. 14. En este caso, debe utilizarse un polinomio de grado 9 definido por:

$$P(X)=X^9 +X^5 +1$$

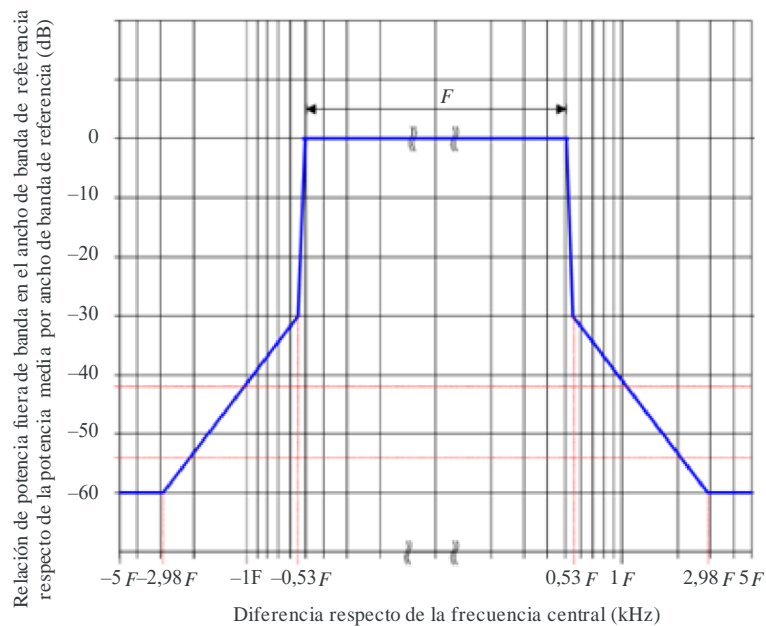
FIGURA 14  
Generador de secuencia binaria pseudoaleatoria



M.2010-14

## 1.8 Ocupación espectral de la señal RF

FIGURA 15  
Ocupación espectral de la señal NAVDAT RF con ancho de banda  $F = 10$  kHz



M.2010-13

## 2 Velocidad de datos utilizable estimada

En el ancho de banda del canal 10 kHz con propagación a 500 kHz, la velocidad de datos brutos para el DS suele ser de unos 25 kbit/s con una señal MAQ-16.

El número de subportadoras que guardan datos puede variar a fin de ajustar la protección del canal. Cuanto mayor sea la protección del canal (protección contra trayectos múltiples, desvanecimiento, retraso, etc.) menor será el número de subportadoras útiles.

Debe aplicarse una codificación de errores a la velocidad de datos brutos para obtener una velocidad de datos útil. Con una velocidad de código de 0,5 a 0,75, la velocidad de datos útil estará comprendida entre 12 y 19 kbit/s.

Cuanto mayor sea la velocidad de código mayor será la velocidad de datos útil, no obstante, la cobertura radioeléctrica se verá reducida en consecuencia.

A continuación se indica la velocidad de datos útil para cada modulación y velocidad de código.

CUADRO 4  
Velocidad de datos

Modo	Modulación (nQAM)	Velocidad de código	Velocidad de datos estimada (kbps)
0	MAQ-4	0,5	6,36
1	MAQ-4	0,75	9,56
2	MAQ-16	0,5	12,76
3	MAQ-16	0,75	19,16
4	MAQ-64	0,5	19,16
5	MAQ-64	0,75	28,76

### 3 Especificaciones de calidad de funcionamiento del transmisor NAVDAT

CUADRO 5

Especificaciones mínimas de calidad de funcionamiento del transmisor NAVDAT

Parámetros	Resultados requeridos
Banda de frecuencias	Entre 495 y 505 kHz
Error en la frecuencia de la portadora	Dentro de $\pm 2,5$ Hz de la frecuencia nominal
Máscara de espectro	Cumplimiento de los requisitos de la Fig. 15
Relación de rechazo de intermodulación de tercer orden del transmisor	$\geq 40$ dBc
Radiaciones no esenciales del transmisor (todas las gamas de potencia)	-50 dB sin exceder el nivel absoluto de 50 mW (17 dBm)

### 4 Receptor de barco NAVDAT

#### 4.1 Descripción del receptor de barco NAVDAT

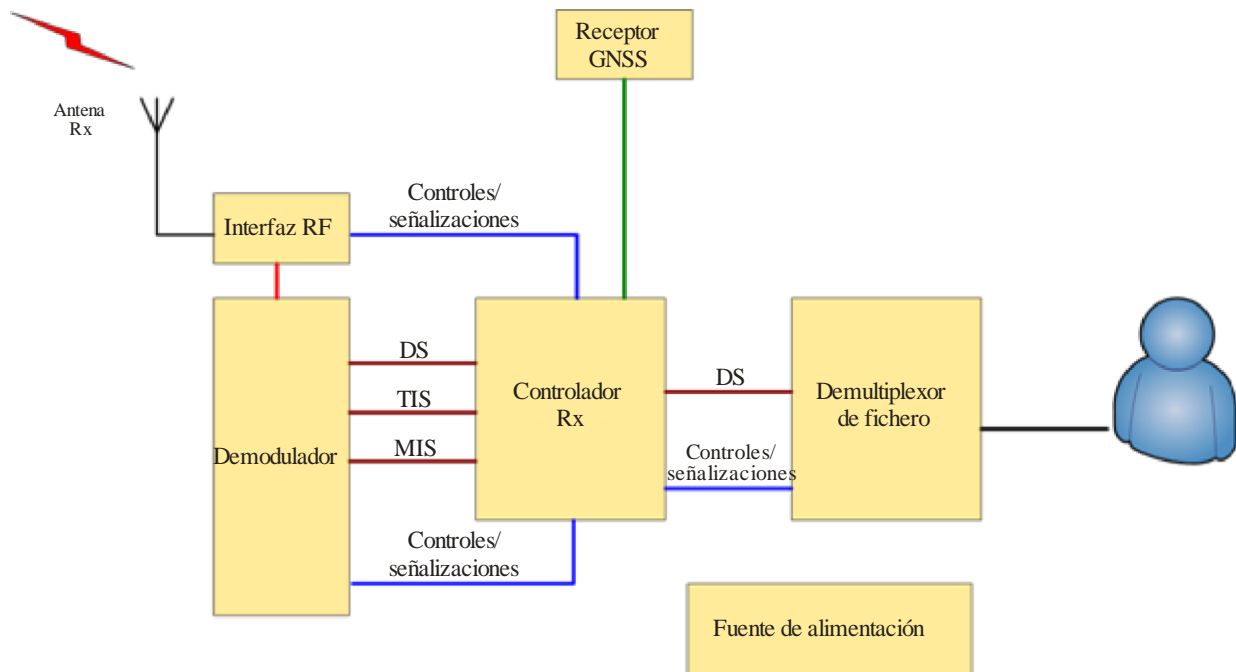
La Fig. 16 ilustra el diagrama de bloques del receptor de barco.

El receptor digital típico de NAVDAT 500 kHz está integrado por varios bloques básicos:

- antena de recepción en ondas hectométricas y antena GNSS opcional;
- interfaz RF;
- demodulador;
- demultiplexor de ficheros;
- controlador;
- unidad de control y visualización (CDU);
- interfaz de datos;
- fuente de alimentación.

El receptor de barco NAVDAT puede recibir y decodificar el canal principal en ondas hectométricas y el canal principal en ondas decamétricas al mismo tiempo con 2 subreceptores completos. El primer subreceptor escucha constantemente la frecuencia 500 kHz y el segundo subreceptor se centra en la frecuencia 4 226 kHz. De no encontrar ninguna señal de recepción en la frecuencia 4 226 kHz, el subreceptor explorará los 6 canales en ondas decamétricas deteniéndose 500 ms en cada canal. El diseño de este segundo receptor permitirá la recepción y decodificación de futuros transmisores regionales o locales que utilicen canales en ondas hectométricas o decamétricas.

FIGURA 16  
Diagrama lógico del receptor NAVDAT



M.2010-14

#### 4.1.1 Antena de recepción y antena del sistema mundial de navegación por satélite

La antena receptora a 500 kHz puede ser una antena de campo H (recomendado en un barco ruidoso) o una antena de campo E. Opcionalmente, el receptor de barco NAVDAT también puede recibir canales NAVDAT en ondas decamétricas. En este caso, al sistema de antena receptora le corresponderá una banda entre 300 kHz y 25 MHz.

También se necesita una antena del GNSS (o la conexión al receptor GNSS disponible en el barco) para poder obtener la posición del barco.

#### 4.1.2 Interfaz RF

Este componente integra el filtro RF, el amplificador RF y la salida en la banda de base.

Se requiere una sensibilidad y una gama dinámica elevadas.

### 4.1.3 Demodulador

Esta etapa demodula la señal MDFO en la banda de base y crea de nuevo el flujo de datos que contiene los ficheros mensaje transmitidos.

Realiza las siguientes funciones:

- sincronización de tiempo/frecuencia;
- estimación del canal;
- recuperación automática de la modulación;
- corrección de errores.

El receptor NAVDAT debe ser capaz de detectar automáticamente los siguientes parámetros de modulación:

- MAQ-16 o MAQ-64;
- plan de subportadoras;
- tipo de codificación de errores.

Además del flujo de datos, contiene información aportada en el TIS y el MIS. Asimismo, incluye información complementaria sobre el canal, como:

- valor estimado de la SNR;
- BER;
- MER.

### 4.1.4 Demultiplexor de ficheros

El demultiplexor de ficheros:

- recibe los ficheros mensaje del controlador;
- verifica que los ficheros mensaje estén marcados para su atención (tipo de modo difusión);
- descifra los ficheros mensaje si procede o puede;
- pone los ficheros mensaje a la disposición de la aplicación del terminal que los utilizará;
- borra los ficheros mensaje obsoletos.

Dependiendo de la aplicación final, el fichero mensaje puede:

- almacenarse en un servidor abordo accesible por la red del barco;
- mostrarse en el receptor CDU directamente;
- enviarse directamente a la aplicación final.

### 4.1.5 Controlador

El controlador:

- extrae los ficheros mensaje del flujo de datos (fusiona paquetes en ficheros);
- interpreta el TIS y el MIS y otros elementos de información que ofrece el demodulador;
- recaba la siguiente información procedente del demultiplexor de ficheros:
  - número total de ficheros mensaje decodificados;
  - número de ficheros mensaje disponibles;
  - eventos de error (por ejemplo, descifra los errores).

#### 4.1.6 Unidad de control y visualización

El receptor puede proporcionar una unidad de visualización y control, cuya función es:

- mostrar la información especial y, mediante la configuración de la interfaz, conectarse a una aplicación de equipo específica (por ejemplo, de cibernavegación) y gestionar el contenido objeto de licencia del buque (véanse la identificación del buque y el cifrado);
- mostrar y comprobar los parámetros de recepción;
- mostrar el contenido de mensaje según la clasificación de la aplicación del fichero mensaje.

Esta CDU puede ser una aplicación especial ejecutada en un ordenador externo y el receptor puede ser una caja negra.

#### 4.1.7 Interfaz de datos

El receptor obtiene los datos de dispositivos externos, por ejemplo un sistema GNSS, a través de la interfaz de datos. El controlador clasifica los ficheros mensaje según sus aplicaciones y transmite dichos ficheros a los dispositivos de aplicación a través de la interfaz de datos.

El equipo debe proporcionar una interfaz de datos que se ajuste a los requisitos de la serie IEC 61162. Es aconsejable proporcionar interfaces Ethernet y USB para la transmisión de archivos a alta velocidad, junto con una interfaz de impresión.

#### 4.1.8 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación principal debe adaptarse a la fuente de alimentación principal del barco.

### 5 Especificaciones mínimas de calidad de funcionamiento del receptor de barco NAVDAT

Las especificaciones del receptor de barco que figuran a continuación permiten obtener supuestamente una mínima SNR para la buena demodulación del MDFO (MAQ-4, MAQ-16 o MAQ-64).

CUADRO 6

#### Especificaciones de calidad de funcionamiento del receptor de barco NAVDAT

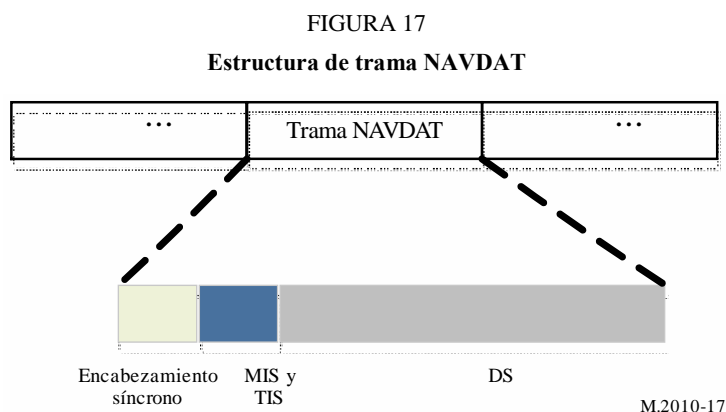
Parámetros	Requisitos
Banda de frecuencias	495 a 505 kHz
Protección del canal adyacente	> 40 dB @ 5 kHz
Factor de ruido	< 20 dB
Sensibilidad utilizable para BER (tasa de error en los bits) = $10^{-4}$ después de la corrección de errores	< -100 dBm
Dinámica	> 80 dB
Mínimo campo RF utilizable (con antena de recepción adaptada)	25 dB( $\mu$ V/m)

## Anexo 4

### Estructura de transmisión

#### 1 Estructura de trama

La estructura de trama NAVDAT comprende el encabezamiento de sincronización (primer símbolo) y los flujos MIS, TIS y DS (flujo de datos), según se indica *infra*:



#### 2 Encabezamiento de sincronización

El encabezamiento de sincronización es el primer símbolo MDFO de cada trama que el receptor sincroniza. La información de cada subportadora se muestra en el Cuadro 7.

CUADRO 7  
Secuencia de encabezamiento de sincronización

Número de subportadoras	Secuencia de encabezamiento de sincronización
229	-1 1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1
115	1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1
69	1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1
23	1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1

### 3 Flujo de información de modulación

#### 3.1 Estructura

El flujo MIS se utiliza para proporcionar información sobre el grado de ocupación del espectro del canal, así como sobre la modulación del TIS y el DS:

- información sobre el grado de ocupación del espectro 2 bits
- información sobre la modulación del TIS 1 bit
- información sobre la modulación del DS 2 bits
- bit de relleno 1 bit (=0)
- verificación por redundancia cíclica (VRC) 8 bits.

CUADRO 8

#### Información sobre el grado de ocupación del espectro

Patrones de bits	Ocupación del espectro (kHz)
00	1
01	3
10	5
11	10

CUADRO 9

#### Información sobre la modulación del flujo de información del transmisor

Patrones de bit	Modulación
0	MAQ-4
1	MAQ-16

CUADRO 10

#### Información sobre la modulación del flujo de datos

Patrones de bit	Modulación
00	MAQ-4
01	MAQ-16
10	MAQ-64

#### 3.2 Codificación

El flujo MIS viene codificado por el RS(4,2) de GF(128), cuyo polinomio de origen es  $p(x) = x^7 + x^3 + 1$ .



## 4 Flujo de información del transmisor

### 4.1 Estructura

El flujo TIS se utiliza para proporcionar información sobre la codificación del DS, el transmisor y el tiempo del receptor:

- codificación de errores del DS      5 bits
- identificador del transmisor      30 bits
- día y tiempo      17 bits
- reservado      23 bits (valor por defecto: 0)
- VRC      8 bits.

CUADRO 11

### Codificación del flujo de datos

Patrones de bits	Modo de transmisión		
	Ocupación del espectro (kHz)	Velocidad de código	Modulación
00000	1	0,5	MAQ-4
00001	1	0,75	MAQ-4
00010	1	0,5	MAQ-16
00011	1	0,75	MAQ-16
00100	1	0,5	MAQ-64
00101	1	0,75	MAQ-64
01000	3	0,5	MAQ-4
01001	3	0,75	MAQ-4
01010	3	0,5	MAQ-16
01011	3	0,75	MAQ-16
01100	3	0,5	MAQ-64
01101	3	0,75	MAQ-64
10000	5	0,5	MAQ-4
10001	5	0,75	MAQ-4
10010	5	0,5	MAQ-16
10011	5	0,75	MAQ-16
10100	5	0,5	MAQ-64
10101	5	0,75	MAQ-64
11000	10	0,5	MAQ-4
11001	10	0,75	MAQ-4
11010	10	0,5	MAQ-16
11011	10	0,75	MAQ-16
11100	10	0,5	MAQ-64
11101	10	0,75	MAQ-64

CUADRO 12

**Identificador del transmisor**

Codificación	ID del transmisor
D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> D <sub>3</sub> D <sub>4</sub> D <sub>5</sub> D <sub>6</sub> D <sub>7</sub> D <sub>8</sub> D <sub>9</sub> D <sub>10</sub>	Código alfanumérico de 10 componentes

CUADRO 13

**Información de tiempo**

Parámetro	Número de bit	Descripción
Hora de inicio en UTC	5	Hora
Minuto de inicio en UTC	6	Minuto
Duración de la radiodifusión	6	0-59 minutos

**4.2 Codificación**

El flujo TIS viene codificado por el RS(29,9) del GF(128), cuyo polinomio de origen es:  $p(x) = x^7 + x^3 + 1$ .

**5 Flujo de datos****5.1 Estructura**

El flujo de datos suele componerse de información de texto o de archivos de información. La entrega de paquetes generalizada permite la entrega de información de texto y de archivos a varios servicios en el mismo flujo de datos. Los servicios pueden ser transportados por una serie de paquetes individuales.

Los paquetes presentan la siguiente estructura:

- encabezamiento                    32 bits
- campo de datos                    n bytes
- VRC                                    16 bits.

El encabezamiento presenta la siguiente estructura:

- longitud de datos                    12 bits
- bit de conmutación                    1 bit
- primera bandera                    1 bit
- última bandera                    1 bit
- ID de paquete                    10 bits
- indicador de paquete de relleno    1 bit
- reservado                            6 bits.

**Longitud de datos:** Este campo de 12 bits indica la longitud de un paquete en bytes.

**Bit de conmutación:** Este bit se mantendrá en el mismo estado siempre que se transmitan paquetes del mismo mensaje de texto o archivo. Cuando se envíe por primera vez un paquete de un mensaje de texto o un archivo diferente, el estado previo de este bit se invertirá. En caso de repetición de un mensaje de texto o un archivo, que puede constar de varios paquetes, este bit no se modifica.

**Primera bandera, última bandera:** Estas banderas se utilizan para identificar paquetes concretos que integran una sucesión de paquetes. Las banderas se asignan como sigue:

CUADRO 14

**Codificación de la primera bandera y la última bandera**

Primera bandera	Última bandera	El paquete es
0	0	un paquete intermedio
0	1	el último paquete de una unidad de datos
1	0	el primer paquete de una unidad de datos
1	1	el único paquete de una unidad de datos

**ID de paquete:** Este campo de 8 bits indica el ID de paquete de este paquete.

**Indicador de paquete de relleno:** Esta bandera de 1 bit indica si el campo de datos lleva relleno o no, según se indica a continuación:

0: no hay relleno; todos los bytes de datos del campo de datos son útiles;

1: hay relleno: los dos primeros bytes indican el número de bytes de datos útiles en el campo de datos.

**Reservado:** Este campo de 6 bits está reservado para uso futuro.

**Campo de datos:** Contiene los datos útiles destinados a un servicio concreto. Puede tratarse de información de texto o de información de archivo.

**VRC:** Esta VRC de 16 bits debe calcularse en el encabezamiento y en el campo de datos.

**5.2 Codificación**

Para codificar el flujo de datos NAVDAT se utiliza la verificación de paridad de baja densidad (LDPC) y se adoptan distintos parámetros de codificación en diversos modos (véase el Cuadro 11). En el siguiente cuadro se indican los parámetros LDPC en un modo de 10 kHz.

CUADRO 15

**Parámetros LDPC del flujo de datos**

Modulación	Velocidad de código	Parámetros LDPC
MAQ-4	0,5	LDPC (2560,512)
MAQ-4	0,75	LDPC (3840,5120)
MAQ-16	0,5	LDPC (2560,5120) × 2
MAQ-16	0,75	LDPC (3840,5120) × 2
MAQ-64	0,5	LDPC (2560,5120) × 3
MAQ-64	0,75	LDPC (3840,5120) × 3



**7 Verificación por redundancia cíclica**

Para detectar errores de bits en el flujo DS, debe calcularse la verificación por redundancia cíclica de 16 bits al final de cada flujo DS. El polinomio generador debe ser:  $G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ .

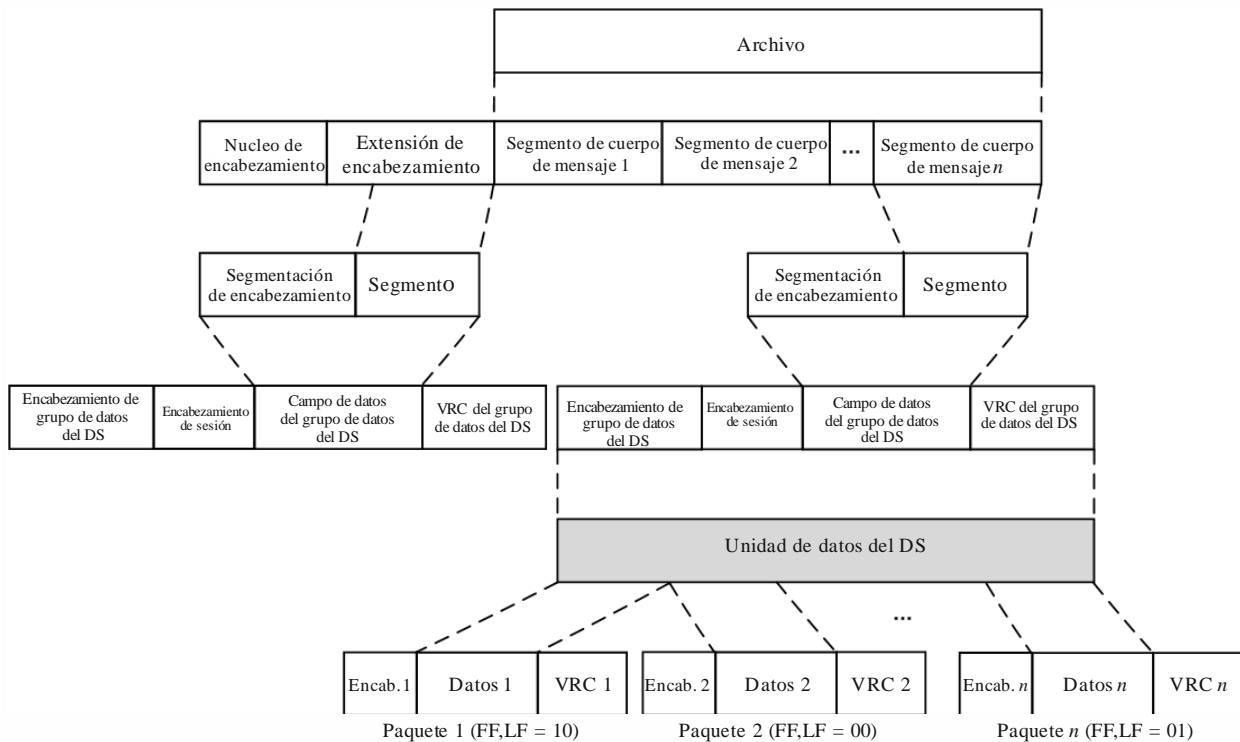
Para los flujos MIS y TIS, debe calcularse la verificación por redundancia cíclica de 8 bits y el polinomio generador debe ser:  $G_8(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ .

**Anexo 5**

**Estructura del archivo mensaje**

La Fig. 18 ilustra la construcción de un archivo mensaje a partir de un grupo de datos. En primer lugar, se crea un encabezamiento que describa el cuerpo (un fichero mensaje). El encabezamiento contiene los datos de gestión del archivo. A continuación, tanto el encabezamiento como el cuerpo se dividen en segmentos de igual tamaño (sólo el último segmento de cada entidad puede ser más pequeño). Se adjunta un encabezamiento de segmento a los segmentos y se procede a asignar cada segmento a un grupo de datos. Entonces, cada grupo de datos con su encabezamiento correspondiente se asigna directamente a una unidad de datos. La unidad de datos se divide en paquetes para su transporte. «FF» y «LF» representan el estado de los bits de «primera bandera» y «última bandera» de cada paquete.

FIGURA 18  
Estructura del archivo mensaje



## Anexo 6

### Modo de red monofrecuencia de Digital Radio Mondiale

#### 1 Descripción de Digital Radio Mondiale

DRM es una norma internacional de radiodifusión digital utilizada para la radiodifusión digital radio en ondas hectométricas (MF) y decamétricas (HF). DRM es una tecnología de eficacia probada que ofrece mayor cobertura, mejora la fidelidad de la señal (mediante la codificación digital de errores), elimina la interferencia por trayectos múltiples (comprendida la interferencia por ondas ionosféricas) y, por ende, amplía la cobertura de las señales propagadas por ondas ionosféricas. La difusión DRM utiliza los modos de modulación MAQ-16 y MAQ-64, dependiendo de los requisitos de cobertura, la ubicación del transmisor, la potencia y la altura de la antena.

#### 1.1 Modo de funcionamiento de red monofrecuencia

El sistema es capaz de funcionar en el denominado modo de funcionamiento de SFN. Consiste en que varios transmisores emiten en la misma frecuencia y al mismo tiempo señales de datos idénticas. Por lo general, estos transmisores están dispuestos para traslapar zonas de cobertura, donde las radios recibirán señales procedentes de más de un transmisor. Siempre que estas señales lleguen con una diferencia de tiempo de menos de un intervalo de guarda, reforzarán la señal. De este modo se mejora la cobertura del servicio en dicha ubicación respecto a la que se obtendría con un solo transmisor. Si la SNF se diseña meticulosamente y se utiliza un número adecuado de transmisores, se puede abarcar totalmente una región o país utilizando una sola frecuencia y, en esta aplicación, un solo intervalo de tiempo, lo que mejora enormemente la eficiencia espectral y permite liberar segmentos de radiodifusión.

---