



La digitalización de las comunicaciones marítimas

Estudio de la evolución de las comunicaciones marítimas: desde la voz hasta la e-Navigation

La digitalización de las comunicaciones marítimas

Estudio de la evolución de las comunicaciones marítimas: desde la voz hasta la e-Navigation

1ª edición. Noviembre 2019.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de la información contenida en el presente documento.

© GRADIANT 2019

Rúa Fonte das Abelleiras, s/n. Edificio CITEXVI
36310 Vigo, Pontevedra, Spain
(+34) 986 120 430 | www.gradiant.org

Con la colaboración de Cellnex Telecom.

Juan Esplandiú, 11-13
28007 Madrid, Spain
www.cellnextelecom.com

Contenido

Contenido	3
1. Introducción	5
2. Los inicios: comunicaciones analógicas	9
2.1. Contexto	9
2.2. Primeros sistemas de comunicaciones analógicos en el ámbito marítimo	9
2.2.1. LORAN-C	9
2.2.2. Comunicaciones por voz en MF/HF	10
2.2.3. Comunicaciones por voz en VHF	10
2.2.4. Locating beacon	11
2.2.5. Comunicaciones por voz en UHF	11
2.2.6. Radar	12
2.3. Otros sistemas de comunicaciones	13
2.3.1. NAVTEX	13
2.3.2. NBDP	13
2.4. Necesidad de modernizar GMDSS	16
3. Presente: comunicaciones digitales	18
3.1. Evolución de los sistemas iniciales	18
3.2. AIS	18
3.2.1. Introducción	18
3.2.2. Aplicaciones	18
3.2.3. Obligatoriedad de uso	19
3.2.4. Descripción general del sistema	20
3.2.5. Problemática	31
3.3. AIS satélite	33
3.3.1. Introducción	33
3.3.2. Problemática	33
3.3.3. Soluciones	35
3.3.4. Clientes y aplicaciones	36
3.3.5. Explotación	37
3.3.6. Pruebas del proyecto POLARYS	38
3.4. DSC	39
3.4.1. Introducción	39
3.4.2. Descripción general del sistema	40
3.4.3. Equipos comerciales	47
3.5. Otros sistemas de comunicaciones	49

3.5.1. Inmarsat.....	49
3.5.2. Iridium.....	49
3.5.3. Thuraya	49
3.5.4. LRIT.....	49
4. Futuro: VDE y e-Navigation	52
4.1. Saturación de AIS y aparición de VDES	52
4.2. VDES.....	53
4.2.1. Introducción	53
4.2.2. Descripción general del sistema	55
4.2.3. Características técnicas	63
4.2.4. Ventajas de VDES frente a AIS	77
4.2.5. Méritos de VDES	77
4.3. Estado del arte	79
4.3.1. Proyecto POLARYS	79
4.3.2. Proyecto VDES TESTING.....	84
4.3.3. Pruebas piloto VDES en Brisbane (Australia).....	85
4.4. e-Navigation	87
4.4.1. Contexto	87
4.4.2. Objetivos.....	88
4.4.3. Implementación	89
4.4.4. Estado del arte	89
5. Futuro de las comunicaciones marítimas y conclusiones.....	94
Referencias	96
Lista de acrónimos	99
Lista de figuras	101
Lista de tablas.....	103

1. Introducción

En este libro se recoge toda la información recabada tras la realización de un amplio estudio sobre comunicaciones marítimas, así como las conclusiones que se pueden extraer de él.

La aparición de nuevas tecnologías a principios del siglo XX potencia el comercio marítimo, lo que da lugar a un aumento del tráfico y a la necesidad de monitorizarlo. En este contexto aparecen los primeros sistemas de comunicaciones con la finalidad de mejorar la seguridad marítima, la protección del medio marino y/o la zona costera adyacente, y la eficiencia de la navegación. Si bien en un principio la necesidad de comunicarse podía cubrirse mediante el uso de balizas y otros objetos señalizadores luminosos, más adelante estos sistemas fueron sustituidos por sistemas de comunicaciones por voz. Al mismo tiempo, el paso de los años y la consecuente evolución de la tecnología propiciaron la migración de las comunicaciones analógicas hacia un escenario digital, en el cual se encuentran los sistemas que prevalecen en la actualidad, como pueden ser AIS, AIS satélite, DSC y VDES.

Hoy en día existe, además, una inquietud por comunicarse con propósitos menos triviales que los que se acaban de mencionar, como puede ser el establecer contacto intrascendente o de carácter personal desde una embarcación por parte de los integrantes de la tripulación o los pasajeros. Intereses de este tipo conllevan la necesidad de una revisión y constante evolución de los sistemas de comunicación.

La idea de llevar a cabo un estudio acerca de las comunicaciones en el mar nace con la intención de aunar toda la información disponible relativa a este sector. Por una parte, a lo largo de los siguientes capítulos, se abordan todas las cuestiones referidas a los diversos estándares, guías y planes de comunicaciones publicados hasta el momento, tratando los aspectos más técnicos de tal forma que el lector pueda tener una visión global de los mismos. Por otro lado, se hace una revisión de los distintos sistemas y tecnologías desarrollados en este contexto, así como de los proyectos impulsados dentro del marco de la seguridad en el mar, la navegación y la preservación del entorno marino; con el propósito de visibilizar la ingente transformación que han vivido las comunicaciones desde su digitalización.

Entre las organizaciones encargadas de regular el contexto de las comunicaciones marítimas se encuentran la ITU, la IALA, la IMO y COSPAS-SARSAT. La coordinación y cooperación entre ellas es fundamental para garantizar un enfoque eficaz de las comunicaciones marítimas y apoyar sus diferentes desarrollos.

- La ITU es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas reguladoras.
- La IALA es una organización no gubernamental que agrupa los Servicios de Faros de la mayoría de los países marítimos del mundo, los cuales son responsables del abastecimiento y mantenimiento de faros, boyas, sistemas de radionavegación y otras ayudas a la navegación.
- La IMO es la autoridad mundial encargada de establecer normas para la seguridad, la protección y el comportamiento ambiental que ha de observarse en el transporte marítimo internacional.
- COSPAS-SARSAT es un elemento del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos de la Organización Marítima Internacional de gran importancia en búsqueda y rescate.

El presente libro ha sido elaborado por GRADIANT con la colaboración de CELLNEX, ambas con experiencia previa y esfuerzos mantenidos en I+D en el ámbito marítimo.

CELLNEX TELECOM es el principal operador independiente de infraestructuras de telecomunicaciones inalámbricas de Europa y clasifica sus actividades en cuatro áreas: infraestructuras para telefonía móvil, redes de difusión audiovisual, servicios de redes de seguridad y emergencia y soluciones para la gestión inteligente de infraestructuras y servicios urbanos (*Smart Cities* y el “Internet de las cosas” (IOT)).

CELLNEX se ha especializado en las redes de comunicaciones móviles, de voz y datos, orientadas a grupos cerrados de usuarios o flotas que requieren de un servicio fiable y con un alto nivel de disponibilidad; utilizando, para ello, tecnologías tanto analógicas (PMR) como digitales (DMR, TETRA) y poniendo a disposición de sus clientes más de 9.000 emplazamientos distribuidos por todo el territorio español, así como personal técnico especializado y capacidad de supervisión de los centros 24x7 para la gestión eficiente de este tipo de comunicaciones, incluso en situaciones de crisis.

La compañía cuenta, por tanto, con una amplia experiencia en la gestión de redes y servicios de comunicaciones de seguridad y emergencia, y sus sistemas de radiocomunicaciones móviles dan servicio a más de 80 000 policías, bomberos, guardas forestales y personal sanitario en toda España.

En septiembre del año 2017, CELLNEX firmó junto con Salvamento Marítimo, el contrato de “*Prestación de los servicios englobados dentro del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima*” para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar. Con la adjudicación de este contrato, licitado mediante concurso público, la compañía continúa prestando el servicio, que le había sido adjudicado inicialmente en 2009.

CELLNEX presta dicho servicio a través de su Red de Estaciones Costeras, que permite la escucha permanente en los canales marítimos 24 horas al día los 365 días del año. El contrato contempla la recepción de alertas automáticas y llamadas de socorro para su traslado inmediato a los coordinadores de Salvamento Marítimo, así como la difusión de información para la seguridad marítima e información meteorológica.

La compañía instaló y puso en marcha en 2009 una red de comunicaciones entre los Centros de Control de Comunicaciones Radiomarítimas (CCRs), las Estaciones Costeras y los Centros de Coordinación de Salvamentos (CCSs) de la Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima.

Los servicios que ofrece CELLNEX TELECOM dentro del marco de las comunicaciones móviles son: ingeniería de planificación, diseño de red, explotación y mantenimiento de la misma y suministro e instalación del equipamiento.

GRADIANT, como Centro Tecnológico de Telecomunicaciones, aporta visión y conocimiento en tecnologías de telecomunicación a los procesos y productos que las empresas desarrollan.

En el ámbito de las comunicaciones, GRADIANT tiene una gran experiencia en la aplicación de técnicas de procesamiento de señal, tanto en subsistemas de radiofrecuencia/analógicos como digitales. El Centro trabaja en la investigación, diseño e implementación de sistemas de comunicación por satélite; el desarrollo de tecnologías orientadas a resolver los diferentes retos de la próxima generación de sistemas móviles; y en el modelado, análisis y explotación eficiente del espectro electromagnético.

Los subsistemas que se diseñan en GRADIANT permiten operar en distintos medios, tanto inalámbricos como guiados, terrestres y satelitales; con el fin de dar solución a las necesidades ligadas a las comunicaciones que surgen en los diferentes sectores. Asimismo, en el Centro se llevan a cabo actividades en relación con la implementación de soluciones para sistemas de posicionamiento y navegación; el diseño de sistemas embarcados basados en dispositivos programables, las plataformas embebidas y los sensores.

Otro de los desafíos que afronta GRADIANT es el de un espectro radioeléctrico con una demanda cada vez mayor. Dentro de este contexto, destacan los trabajos en materia de radio cognitiva y claros espectrales en la banda UHF, entre los que se encuentran la implementación de esquemas de monitorización espectral y el desarrollo de bases de datos geo-referenciadas en la banda de televisión. Adicionalmente, destacan las tecnologías vinculadas con el análisis y la monitorización de señal e interferencias.

La labor de GRADIANT no sólo se lleva a cabo dentro del área de las comunicaciones y el procesamiento de señal, sino que también se desarrolla en términos de computación en la nube, análisis de datos, seguridad y privacidad, IOT (*Internet of Things*) y biometría. De esta manera, el Centro se posiciona como un organismo puntero en cuanto a avance tecnológico e I+D+I.

Tanto CELLNEX TELECOM como GRADIANT cuentan con una trayectoria de varios años de experiencia en I+D en el sector de las comunicaciones marítimas, siendo partícipes en proyectos relevantes como ONDADA y POLARYS, a los que se hará referencia en capítulos posteriores.

El proyecto ONDADA ha sido impulsado por un consorcio formado por las empresas RETEVISIÓN (grupo CELLNEX), EGATEL y SCIO, además de dos organismos de investigación: GRADIANT y el Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de A Coruña. Dicho consorcio ha contado con el apoyo y financiación del CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial) mediante el programa FEDER-INNTERCONECTA-2011 (ITC-20113042). El proyecto ha sido desarrollado entre enero de 2012 y diciembre de 2014 y su principal objetivo es aumentar la cobertura de la red AIS a través de repetidores, de forma que un mayor número de embarcaciones puede beneficiarse del sistema. Esto permite, a su vez, extender el uso del mismo, haciéndolo útil no sólo para seguridad de embarcaciones, sino también de personas.

El proyecto POLARYS ha sido desarrollado por un consorcio liderado por RETEVISIÓN, que ha contado con la participación de las empresas BASTET SEGURIDAD TECNOLÓGICA, EGATEL, INSITU y SCIO, así como de los centros tecnológicos CINAIE y GRADIANT. La duración ha sido de tres años (2016 – 2018) y ha obtenido el apoyo y la financiación del CDTI a través del programa FEDER-INNTERCONECTA-2016 (EXP 00091271 / ITC -20161120). El objetivo del proyecto es incrementar la seguridad marítima, así como la eficiencia en la gestión de la navegación y las

emergencias, mediante el desarrollo de un transceptor VDES (*VHF Data Exchange System*) que permite el intercambio de información relacionada con la seguridad marítima entre embarcaciones y entre éstas e infraestructura. El desarrollo de este transceptor supone un impacto directo e inmediato sobre las limitaciones observadas en la plataforma AIS y, al mismo tiempo, abre la puerta al desarrollo de nuevas aplicaciones que antes parecían inviables.

A continuación se define la disposición de los contenidos que se tratarán a lo largo de los siguientes capítulos. Tras esta breve introducción, en el Capítulo 2 se hace un repaso de los primeros sistemas de comunicaciones y se explica la necesidad de modernizar GMDSS. Seguidamente, en el Capítulo 3, como evolución a los sistemas iniciales, se presentan los sistemas AIS, AIS satélite y DSC, y se describe cada uno de ellos. Posteriormente, en el Capítulo 4 se exponen los problemas de AIS y la consecuente aparición de VDES, detallando las características de este último estándar. Tanto en el Capítulo 3 como en el 4 se comentan algunos resultados de pruebas realizadas en el proyecto POLARYS, con la finalidad de facilitar la comprensión, a través de la explicación de casos reales, de los sistemas que se describen. Además, dentro de este último apartado, se da a conocer también el concepto de *e-Navigation* y la situación actual dentro de este ámbito, para definir hasta dónde se quiere llegar y desde dónde hay que partir para conseguirlo. Para terminar, en Capítulo 5 se presentan unas conclusiones al análisis realizado.

2. Los inicios: comunicaciones analógicas

2.1. Contexto

Tal y como se ha anticipado en la introducción, la aparición de nuevas tecnologías en el siglo XX, como el radar (1935) y el sistema LORAN (1942), revolucionaron el comercio marítimo. El aumento considerable del tráfico y la necesidad de algún mecanismo para su monitorización harían que en 1949 apareciera el primer VTS (*Vessel Traffic Services*). Un VTS se basa en una red más o menos amplia de radares, junto con la información tan completa como sea posible sobre la zona (carta electrónica, datos meteorológicos y oceanográficos, características y condiciones en las que se encuentran los buques objeto de seguimiento, etc.) y una red de comunicaciones de voz VHF-FM (*Very High Frequency - Frequency Modulation*), la cual permite el informe periódico de la posición por parte de cada buque y la recepción de información por parte de la central. Los principales objetivos de un VTS fueron mejorar la seguridad marítima, la protección del medio marino y/o la zona costera adyacente, y la eficiencia de la navegación.

2.2. Primeros sistemas de comunicaciones analógicos en el ámbito marítimo

El dominio marítimo utiliza múltiples tecnologías de comunicaciones en todo el espectro radioeléctrico, con el fin de respaldar la navegación segura, las operaciones eficientes y los aspectos comerciales. A continuación se exponen los primeros sistemas de comunicaciones empleados en este contexto junto con sus características principales.

2.2.1. LORAN-C

El LORAN-C es un sistema consistente en estaciones transmisoras, que se colocan separadas varios cientos de kilómetros y organizadas en cadenas. Dentro de una de estas cadenas, una estación se designa como la estación principal y las otras como estaciones secundarias. Cada cadena contiene al menos una estación maestra y dos estaciones secundarias con el fin de proporcionar dos líneas de posición. LORAN-C está actualmente obsoleto, sin embargo, otros sistemas como *e-Loran* y proyectos de investigación están en marcha para evaluar el uso del espectro LF.

El sistema *e-Loran*, también conocido como LORAN mejorado (*Enhanced LORAN*), es el último sistema desarrollado, aprovechando al máximo las tecnologías del siglo XXI, para navegación en baja frecuencia. Este sistema proporciona el canal de datos modulado en las señales de aproximadamente 100 kHz. Actualmente, hay disponibles dos formatos para dicho canal de datos, conocidos como *Eurofix* y *9th Pulse*. Ambas técnicas ofrecen velocidades de datos por debajo de 100 bps, aunque se han propuesto conceptos de tasa más alta.



Figura 1: Ejemplo de receptor LORAN-C Furuno, extraído de [1]

2.2.2. Comunicaciones por voz en MF/HF

Este tipo de comunicaciones ofrecen un alcance desde las centenas al millar de kilómetros. Estos sistemas de comunicaciones ofrecen la posibilidad de iniciar, recibir, atender y mantener conversaciones telefónicas y por radio tanto desde equipos fijos como desde terminales móviles.

La comunicación por voz general se lleva a cabo en los modos de operación buque-buque, buque-costa y costa-buque a través de la banda de 1,6 – 26,5 MHz, con un ancho de banda típico de 3 kHz.

2.2.3. Comunicaciones por voz en VHF

La comunicación por voz en la banda VHF (156,025 – 162,025 MHz) es predominante, pudiendo operar también en los modos buque-buque, costa-buque y buque-costa. El espaciado del canal es de 25 kHz, aunque se pueden utilizar canales intercalados de 12,5 kHz. En este caso el alcance es del orden de las decenas o alguna centena de kilómetros.

Se emplea para comunicaciones generales, de seguridad y de socorro. Para las comunicaciones de seguridad y socorro se emplean los canales primarios 6, 13 y 16.



Figura 2: Ejemplo de emisora fija VHF Garmin 300i, extraído de [2]

2.2.4. Locating beacon

El principio de funcionamiento de una radiobaliza es sencillo: cuando se activa, el dispositivo envía señales intermitentes con la información que posibilita la localización de las personas o embarcaciones en situación de emergencia.

La frecuencia 121,5 MHz es una frecuencia de emergencia aeronáutica. Las radiobalizas de 121,5 MHz se desarrollaron a mediados de los años setenta para su instalación en aeronaves como transmisores localizadores de emergencia (ELTs). Sin embargo, también se pueden utilizar a bordo de una embarcación como parte de balizas de radio de posición de emergencia (EPIRBs) o balizas de localización personal (PLBs).



Figura 3: Ejemplo de radiobaliza de emergencia McMurdo SmartFind G8 automática, extraído de [3]

2.2.5. Comunicaciones por voz en UHF

Habitualmente se utilizan radios UHF manuales y fijas en embarcaciones para comunicaciones a bordo, entre miembros de la tripulación, trabajadores portuarios u operarios con puestos relacionados. Estas radios suelen estar limitadas a irradiar menos de 2 W en la banda 450 - 470 MHz y se emplean para la comunicación por voz y datos.



Figura 4: Ejemplo de radio UHF para comunicaciones internas TechBrands, extraído de [4]

2.2.6. Radar

Los sistemas de radar operan, típicamente, en dos bandas: la banda S (2,9 – 3,1 GHz) y la banda X (9,2 – 9,5 GHz). Los radares se utilizan para la detección de objetivos y para apoyar la identificación y la navegación costera y portuaria. Estas bandas también son utilizadas por transpondedores de radar para búsqueda y rescate (RACON, SART). Los RACONs son transpondedores de señal de radar marítimo que se emplean para mejorar la detección de objetos. Los radares SART son dispositivos de localización de embarcaciones en apuros a través de la creación de una serie de puntos en la pantalla del radar de un buque de rescate.



Figura 5: Ejemplo de transpondedor Rescuer 2 SART Plastimo, extraído de [5]

2.3. Otros sistemas de comunicaciones

Pese a que en la Sección 2.2 se tratan los principales sistemas de comunicaciones para contextualizar y abordar los diferentes sistemas referidos a la seguridad marítima y a las comunicaciones de socorro, se recogen aquí otros a modo de complemento, con la intención de que el lector sea capaz de apreciar de una forma más clara las ventajas de las tecnologías que se describen más adelante en los capítulos 3 y 4.

2.3.1. NAVTEX

NAVTEX es un sistema automatizado para distribuir de forma instantánea información de seguridad marítima, tal como advertencias de navegación, pronósticos meteorológicos y advertencias o avisos de búsqueda y rescate.

La frecuencia de los mensajes NAVTEX varía en función del idioma, utilizando 518 kHz para emisiones en inglés y 490 kHz y 4.209,5 kHz para transmitir tanto en inglés como en el idioma local. Dichos mensajes están codificados y el tiempo de radiodifusión está coordinado internacionalmente por áreas para compartir la misma frecuencia.



Figura 6: Ejemplo de receptor NASA Easy NAVTEX, extraído de [6]

2.3.2. NBDP

NBDP, también conocido como radio télex, es una técnica que automatiza las señales de radio a la telegrafía. Trabaja con modulación FSK en canales HF de 0,5 kHz y soporta transmisiones de datos de baja velocidad (100 bps) en las bandas de servicio móvil marítimo dentro de 1,6 – 26,5 MHz.

NBDP forma parte de GMDSS y se puede utilizar como el texto basado en el seguimiento de las comunicaciones entre buque-buque, buque-costa y costa-buque para superar las dificultades del lenguaje. El uso de NBDP para la comunicación general está disminuyendo y se utiliza mayoritariamente para información relativa a posicionamiento de buques, advertencias meteorológicas y pronósticos de las estaciones costeras. La IMO ha indicado que el radio télex podría dejar de considerarse un sistema requerido dentro de GMDSS.

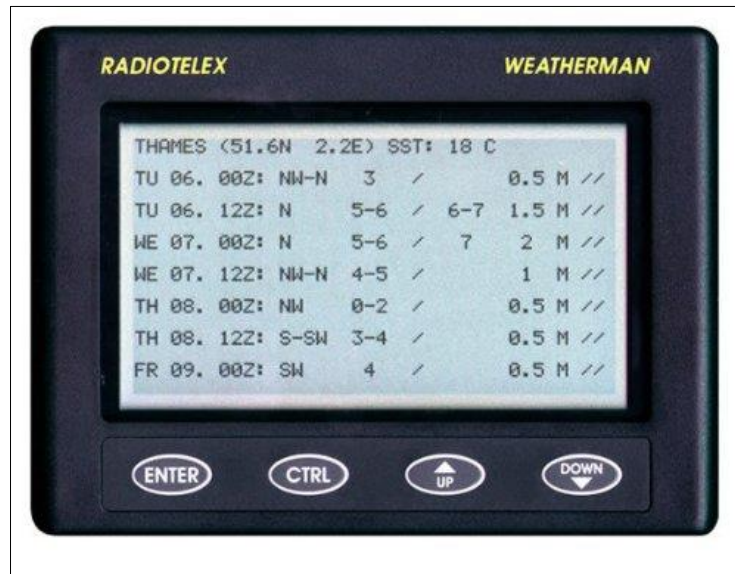


Figura 7: Ejemplo de radio télex NASA, extraído de [7]

2.3.2. Tablas resumen

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran, a modo de resumen, el conjunto de todos los sistemas tratados en este capítulo, tanto en el presente apartado como en el anterior, junto a las características más significativas de cada uno de ellos.

Sistema	Banda	Frecuencia de canal	Tasa de datos de ancho de banda	Servicio	Propósito
Comunicaciones por voz MF/HF	MF/HF	2.182 kHz 4.125 kHz 6.215 kHz 8.291 kHz 12.290 kHz 16.420 kHz	3 kHz	Móvil a móvil De móvil a fijo De fijo a móvil	Comunicaciones de socorro
Comunicaciones por voz VHF	VHF	156,300 MHz 156,650 MHz 156,800 MHz	25 kHz	Móvil a móvil De móvil a fijo De fijo a móvil	Comunicaciones de socorro
Locating beacon	VHF	121,5 MHz		Móvil a móvil	Localización
SART		9,2 – 9,5 GHz		Móvil a móvil	Localización de objetivos

Tabla 1: Principales sistemas para comunicaciones de socorro en el ámbito marítimo [8]

Sistema	Banda	Frecuencia de canal	Tasa de datos de ancho de banda	Servicio	Propósito
Comunicaciones por voz HF	MF/HF	1,6 -25,5 MHz	3 kHz	Móvil a móvil De móvil a fijo De fijo a móvil	Comunicaciones generales por voz
Comunicaciones por voz VHF	VHF	156,025 – 161,950 MHz	25 kHz	Móvil a móvil De móvil a fijo De fijo a móvil	Comunicaciones generales por voz
NBDP	MF/HF	1,6 -25,5 MHz	0,5 kHz	Móvil a móvil De móvil a fijo De fijo a móvil	Comunicación de texto general
Comunicaciones a bordo	UHF	457,5125 – 457,5875/ 467,5125- 467,5875 MHz		Móvil a móvil Comunicación interna	Comunicaciones a bordo

Tabla 2: Principales sistemas para comunicaciones generales [8]

Sistema	Banda	Frecuencia de canal	Tasa de datos de ancho de banda	Servicio	Propósito
NAVTEX	MF/HF	518 kHz 490 kHz 4.209,5 kHz	0,5 kHz	De fijo a móvil	Recepción de información sobre seguridad marítima
NBDP	HF	4.210 kHz 6.314 kHz 8.416,5 kHz 12.509 kHz 16.806,5 kHz 19.880,5 kHz 22.376 kHz 26.100,5 kHz	0,5 kHz	Móvil a móvil De móvil a fijo De fijo a móvil	Recepción de información sobre seguridad marítima
LORAN	LF	90 – 110 kHz		De fijo a móvil	Posicionamiento
Comunicaciones por voz VHF	VHF móvil	156,025 – 161,950 MHz	25 kHz	Móvil a móvil De fijo a móvil De móvil a fijo	Comunicaciones con fines relacionados con la navegación y la seguridad
Radar Banda S		2,9 – 3,1 GHz		Móvil y fijo	Evitar colisiones y ayuda a la navegación
Radar Banda X		9,2 – 9,5 GHz		Móvil y fijo	Evitar colisiones y ayuda a la navegación
RACON		2,9 – 3,1 GHz 9,2 – 9,5 GHz		Fijo	Ayuda a la navegación

Tabla 3: Principales sistemas para promulgación de información sobre seguridad marítima [8]

2.4. Necesidad de modernizar GMDSS

Las comunicaciones en el sector marítimo se enfrentan al reto de tener que transmitir cada vez más información a mayores frecuencias. El espectro es un recurso finito altamente demandado por múltiples usuarios alrededor de todo el mundo.

La aparición del sistema GMDSS data de finales de los setenta y, hasta hace apenas unos años, no se había concebido la posibilidad de que hiciese falta revisarlo. Durante todo este tiempo, la tecnología se ha desarrollado significativamente y los elementos de GMDSS han evolucionado, aunque sus funciones iniciales se mantienen hasta hoy.

En estas circunstancias, surge la necesidad de pasar de analógico a digital y de la voz a los datos, con el objetivo de permitir la compartición efectiva y eficiente de gran cantidad de información por parte de un gran número de usuarios.

Manteniendo pues todas las prioridades y usos para radiocomunicaciones que continúan haciendo falta, como sucede, por ejemplo, con las alertas de socorro y los mensajes de peligro o las comunicaciones de urgencia y seguridad, la renovación de GMDSS se centra los siguientes aspectos:

Por un lado, se pretende simplificar la redacción de la documentación, para facilitar la comprensión de GMDSS a marineros, miembros de tripulación y autoridades costeras, así como a cualquier entidad directa o indirectamente vinculada al sector marítimo.

Por otra banda, se busca introducir en el sistema todas las tecnologías emergentes y otras nuevas que llegarán en un futuro, integrar sistemas satélite móviles como Iridium o Thuraya y establecer las bases del concepto de *e-Navigation* para la explotación del mismo.

Otra cuestión presente en la modernización de GMDSS es hacer un repaso de la definición del área marina.

3. Presente: comunicaciones digitales

3.1. Evolución de los sistemas iniciales

El hecho de que las comunicaciones se realicen por voz ha dado lugar a graves accidentes a lo largo de los años. Las estadísticas estiman que entre el 75% y 96% del total de accidentes marítimos son producto del error humano [9]. Los radares, por su parte, también cuentan con limitaciones inherentes que causan un pequeño número de catástrofes. Sus prestaciones se reducen en condiciones adversas y tampoco ofrecen una buena respuesta ante la presencia de obstáculos como un islote o un peñasco.

Estas circunstancias, junto con la intención de renovar el sistema GMDSS, llevaron a la IMO a estudiar la necesidad de un sistema autónomo complementario y con capacidad de comunicación entre buques, además del enlace con la estación en tierra, dando lugar a AIS.

3.2. AIS

3.2.1. Introducción

AIS es un sistema de comunicaciones *broadcast* que opera en la banda VHF asignada a los servicios marítimos móviles (156,025 MHz – 162,025 MHz). Con esta tecnología se permite el intercambio de información de navegación entre barcos y entre estos y las estaciones de control situadas en la costa. AIS emplea un protocolo abierto para el intercambio de datos de navegación, en donde los esquemas de acceso al medio son variantes de TDMA.

La información intercambiada entre las diferentes entidades se transmite sobre *slots* de 26,66 ms, lo que se corresponde con 256 bits (intervalos de guarda + *flags* + datos) a una tasa de 9,6 kbps. Este valor es más que suficiente sabiendo que el tipo de información transmitida se corresponde con parámetros básicos como velocidad, posición, identificación o rumbo.

Una de las mayores ventajas de AIS frente a la tecnología radar es la posibilidad de establecer contacto con un buque con el que no existe visión directa, ya que es capaz de sortear obstáculos. Además, los datos recibidos no dan lugar a falsos positivos (rocas, olas, etc.). Pese a esto, AIS se considera siempre como una tecnología complementaria, no suplementaria.

El sistema AIS surgió como un intento para mejorar la seguridad marítima, sin embargo, se ha demostrado que sus aplicaciones han contribuido a mejorar la eficiencia de la navegación y la protección del medio ambiente.

En la Figura 8 se muestra, de manera ilustrativa, un ejemplo de una red AIS.

3.2.2. Aplicaciones

En la actualidad, las principales aplicaciones de AIS son:

- Proporcionar información meteorológica y de navegación.
- Mejorar la planificación portuaria.
- Facilitar las comunicaciones.
- Posibilitar la navegación eficiente.
- Apoyar los sistemas de ayuda en búsquedas y rescates o en investigación de accidentes.
- Proteger el medioambiente.

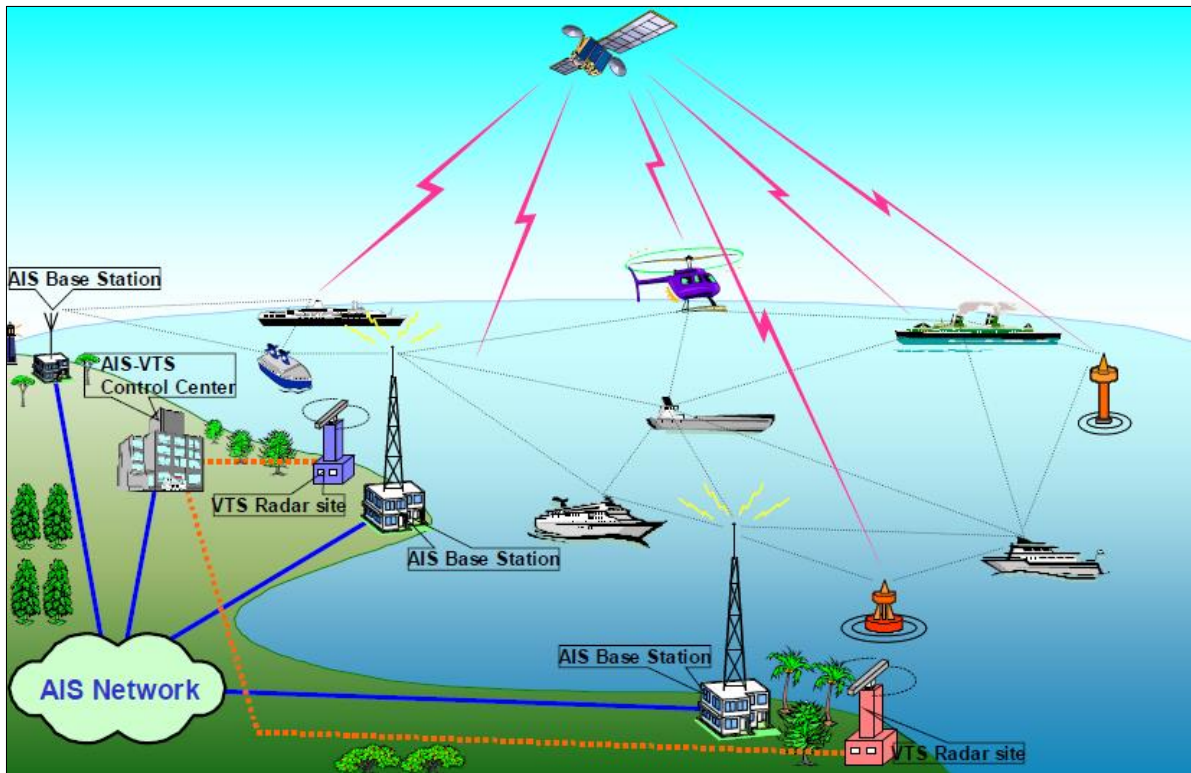


Figura 8: Ejemplo de una red AIS [10]

3.2.3. Obligatoriedad de uso

Durante la concepción del sistema AIS, que tuvo lugar a mediados de los años noventa, cooperaron numerosas organizaciones internacionales como la IMO, la IALA, la ITU o el IEC. Además, se contó con una gran aportación de entidades de Suecia y Finlandia, fundamentales para el desarrollo del modo SOTDMA.

En años posteriores, y con el objetivo de mejorar la seguridad en el transporte marítimo, la IMO instauró unos requisitos, relativos al tipo de carga y tonelaje, para que todas aquellas embarcaciones que los cumplan instalen el sistema AIS de forma obligatoria. Estos requisitos, extraídos de [11], son los siguientes:

- **Para barcos construidos a partir del 1 de julio de 2002:** AIS es obligatorio en todas las embarcaciones de pasajeros, mercantes de más de 300 toneladas en viajes internacionales y mercantes de más de 500 toneladas en viajes no internacionales.
- **Para barcos construidos antes del 1 de julio de 2002 y destinados a viajes internacionales:** a las embarcaciones de pasajeros y petroleros se les concede 1 año para la instalación (hasta el 1 de julio de 2003) y a los mercantes de 2 a 5 años dependiendo de su peso (1 de julio de 2004 para aquellos de más de 50.000 toneladas y 1 de julio de 2007 para los comprendidos entre 300 y 3.000 toneladas).
- **Para barcos construidos antes del 1 de julio de 2002 y destinados a viajes no internacionales:** 1 julio de 2008 como fecha límite para la instalación de AIS.

En 2012, el número de barcos equipados con AIS rondaba los 70.000 en todo el mundo y se estimaba que en un futuro la cifra alcanzase los 150.000 [12].

3.2.4. Descripción general del sistema

A continuación se procede a describir de forma detallada, pero a su vez proporcionando una visión global, los aspectos más relevantes del sistema AIS.

3.2.4.1. Clases de estaciones AIS

Existen varias clases de dispositivos o estaciones AIS, las cuales se agrupan en dos categorías:

- **Estaciones móviles:** generalmente, son dispositivos situados en las embarcaciones. Dentro de esta clasificación hay diferentes tipos de estaciones:
 - **Clase A:** equipos integrados en aquellos barcos que cumplen con los requisitos IMO. Disponen de un equipamiento mínimo, como un teclado y una pantalla. Su potencia de transmisión es de 12,5 W.
 - **Clase B:** dispositivos compatibles con los de Clase A pero que se instalan en embarcaciones que no cumplen con las restricciones de la IMO (por ejemplo, barcos de recreo). Se han definido dos variantes según si el modo de acceso al medio es CSTDMA (Clase B 'CS') o SOTDMA (Clase B 'SO'). Transmiten con una potencia de 2 W, por lo que tienen menor rango de cobertura que los equipos de Clase A. Su precio en el mercado también es inferior.
 - **SAR:** estación empleada por una aeronave ante una situación de búsqueda y rescate.
 - **SART:** dispositivo únicamente diseñado para transmitir. Un ejemplo del mismo es la baliza de emergencia (escenario MOB, *Man Over Board*).
 - **Receptor AIS:** opción más barata para aquellas embarcaciones "*non SOLAS*" que quieran monitorizar tráfico AIS. Únicamente disponen de circuitos receptores, por lo que no son vistas por el resto de estaciones AIS.
- **Estaciones fijas:** se instalan en un emplazamiento fijo, como en la costa o en una boya. Existen los siguientes tipos:
 - **Estación base:** utilizada por las autoridades competentes para la gestión eficiente del VDL (*VHF Data Link*).
 - **AtoN:** dispositivo diseñado para mejorar la seguridad y la eficiencia en la navegación. Pueden ser desde balizas de señalización hasta boyas que informen de las condiciones del mar: meteorología, oleaje, etc.
 - **Repetidor:** elemento empleado para extender el rango de cobertura de otras estaciones AIS.

3.2.4.2. Tipos de información y períodos de transmisión

Los mensajes AIS pueden contener los siguientes tipos de información, cada uno con su correspondiente tasa de transmisión:

- **Estática:** información asociada con parámetros que no cambian con el tiempo, como pueden ser el nombre del barco, sus dimensiones, etc. Se envía cada 6 minutos o cuando se solicita por parte de otra estación.
- **Dinámica:** aquellos datos proporcionados por los sensores del barco (velocidad, dirección, tasa de giro, latitud y longitud, etc.). En las tablas 4 y 5 se recogen los intervalos de transmisión para este tipo de información según la clase de estación y velocidad.
- **Relativa al viaje:** información que notifica sobre el estado de la navegación (destino, tiempo estimado de llegada, tipo de carga, calado, etc.). Sigue el mismo periodo de envío que la información estática.

- **De seguridad:** texto ASCII para avisar de alguna anomalía o peligro. Se transmite cuando sea necesario.

Condiciones dinámicas del barco	Período nominal de transmisión
Fondeado o amarrado y velocidad < 3 nudos	3 min
Fondeado o amarrado y velocidad > 3 nudos	10 s
Velocidad entre 0 – 14 nudos	10 s
Velocidad entre 0 – 14 nudos y rumbo cambiante	3,33 s
Velocidad entre 14 – 23 nudos	6 s
Velocidad entre 14 – 23 nudos y rumbo cambiante	2 s
Velocidad > 23 nudos	2 s

Tabla 4: Período de transmisión para un barco de Clase A [13]

Condiciones de la estación	Período nominal de transmisión
Clase B 'SO' con velocidad < 2 nudos	3 min
Clase B 'SO' con velocidad entre 2 – 14 nudos	30 s
Clase B 'SO' con velocidad entre 14 – 23 nudos	15 s
Clase B 'SO' con velocidad > 23 nudos	5 s
Clase B 'CS' con velocidad < 2 nudos	3 min
Clase B 'CS' con velocidad > 2 nudos	30 s
Aeronave de búsqueda y rescate	10 s
Ayudas a la navegación	3 min
Estación base AIS	10 s

Tabla 5: Período de transmisión para otro tipo de estación [13]

3.2.4.3. Modo de operación

Con excepción de aquellos dispositivos que han sido diseñados únicamente para transmitir o recibir, toda estación AIS debe ser capaz de recibir simultáneamente de dos canales en paralelo y de transmitir de forma alterna sobre dichos canales. Este mecanismo se conoce como *dual channel operation*. Para tal cometido son necesarios dos circuitos receptores y uno transmisor¹.

El hecho de alternar las transmisiones entre dos canales mitiga los efectos perjudiciales de la interferencia RF y equilibra la carga entre dichos canales.

Debido a que AIS es un servicio símplex, ya que las técnicas TDMA no permiten transmitir y recibir simultáneamente sobre el mismo canal, la transmisión es prioritaria sobre la recepción.

3.2.4.4. Aspectos frecuenciales

Para el servicio AIS, la ITU ha definido a nivel mundial dos canales dentro de la banda VHF marítima (156,025 – 162,025 MHz). Estos canales son el AIS 1 y el AIS 2, centrados respectivamente en 161,975 MHz y en 162,025 MHz, y con un ancho de banda de 25 kHz.

¹ Existen estaciones AIS que cuentan con un tercer receptor, el cual se emplea para recibir los comandos DSC (*Digital Selective Calling*). El estándar DSC (canal 70) constituye el núcleo de GMDSS y complementa las prestaciones ofrecidas por AIS.

Dentro de esta banda de frecuencias hay asignados tanto canales simplex como dúplex². Estos últimos están formados por dos frecuencias, una para transmisiones desde barcos (recepción por la estación costera) y la otra para la transmisión desde la estación costera (recepción en barcos). Por ejemplo, el canal VHF marítimo 87 está constituido por las frecuencias 157,375 MHz y 161,975 MHz, respectivamente para las transmisiones desde barcos y estaciones costeras (véase Anexo 4 de [14]).

Esta explicación sirve de enlace para aclarar el método de numeración empleado cuando un canal dúplex es usado para un servicio simplex, como es el caso de AIS, donde los canales AIS 1 y AIS 2 se corresponden con las frecuencias costeras de los canales 87 y 88. Bajo estas premisas, el procedimiento determina que AIS 1 se pueda numerar como 2087 u 87B y AIS 2 como 2088 u 88B. Si las frecuencias del canal simplex fueran las asociadas a las transmisiones desde barcos, el prefijo '20' se sustituiría por '10' y el sufijo 'B' por 'A'. Obsérvese la Figura 9.

En resumen, las estaciones AIS deben diseñarse para operar sobre la totalidad de la banda móvil marítima de VHF, si bien, se han asignado dos canales simplex por defecto para el uso internacional de AIS. Ambos canales tienen un ancho de banda de 25 kHz:

- AIS 1 (Channel 87B, 161,975 MHz) (numeración 2087): canal primario.
- AIS 2 (Channel 88B, 162,025 MHz) (numeración 2088): canal secundario.

En el supuesto de que alguno de estos dos canales no se encuentre disponible, ya sea porque las autoridades locales lo han asignado a otro servicio o porque existen interferencias que imposibilitan su uso, se deberán seleccionar canales alternativos mediante técnicas de gestión de canal.

Una característica relacionada con los aspectos frecuenciales es la estabilidad en la frecuencia de la portadora. Este parámetro debe ser inferior, tanto para el transmisor como para el receptor, a ± 500 Hz.

First 25 kHz Channel	CHANNEL NUMBER		FREQUENCY A		SHIP & COAST	FREQUENCY B	
	Interleaved 12.5 kHz Channel	Second 25 kHz Channel	SHIP	COAST		SHIP	COAST
01	260	60	156.025	160.625		156.0375	160.6375
			156.050	160.650		156.050	160.650
28	287	228	157.375	161.975		157.375	161.975
			158.3875	161.9875		158.3875	161.9875
			157.400	162.000		157.400	162.000
			157.4125	162.0125		157.4125	162.0125
			157.425	162.025		157.425	162.025

Figura 9: Extracto de la tabla de frecuencias de la Rec. ITU-R M.1084-5

² Se dice que un dispositivo opera sobre un canal simplex cuando emplea la misma frecuencia para la transmisión y para la recepción de la información. Por su parte, un dispositivo opera sobre un canal dúplex cuando la frecuencia a la que transmite es diferente de la frecuencia a la que recibe la información.

3.2.4.5. Bloques de la capa física

En esta sección se recogen los aspectos esenciales asociados con los bloques de capa física:

- **Codificación de los datos:** se utiliza el tipo NRZI. Una señal NRZI presenta una transición entre sus niveles de tensión cuando el bit a transmitir es un '1' y se mantiene en el mismo nivel cuando el bit es un '0'. No se emplean técnicas FEC adicionales ni tampoco otros bloques de capa física como el bit *interleaver* o el bit *scrambler*.

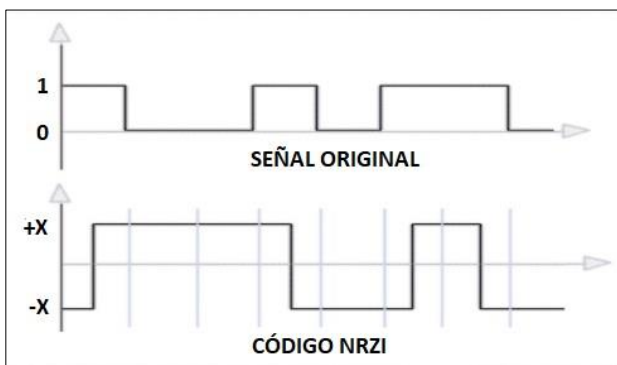


Figura 10: Ejemplo de codificación NRZI

- **Modulación:** se emplea GMSK/FM. Con el objetivo de compactar el espectro de MSK, se introduce un filtro paso bajo gaussiano antes del modulador frecuencial. El índice de modulación empleado es el propio de MSK: $h = 0,5$.

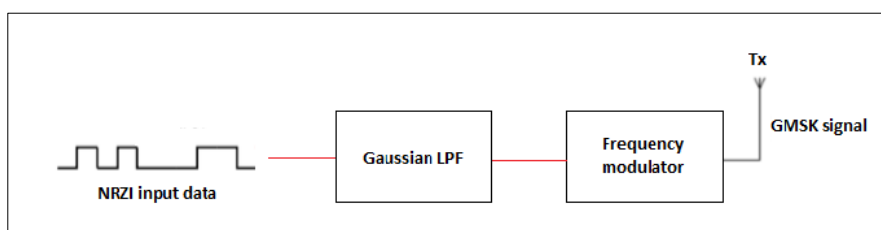


Figura 11: Diagrama de bloques de un modulador GMSK-FM

- **Producto BT (*Bandwidth x Time*):** relación entre el ancho de banda del filtro gaussiano a -3 dB y la tasa binaria. Los valores utilizados en AIS son $BT = 0,4$ para el transmisor y $BT = 0,5$ para el receptor.
- **Tasa binaria** → la tasa binaria para AIS es $9,6 \text{ kbps} \pm 50 \text{ ppm}$.
- **Potencia de transmisión de salida** → $1 - 12,5 \text{ W}$ en función del dispositivo. La tolerancia en la potencia de la portadora debe estar comprendida en el rango $\pm 1,5 \text{ dB}$.
- **Máscara espectral** → las características de la máscara espectral son: $-25 \text{ dBc @ } \pm 10 \text{ kHz}$ y $-70 \text{ dBc @ } \pm 25 \text{ kHz}$.

3.2.4.6. Formato de un paquete AIS

Un paquete AIS está constituido por 256 bits (intervalos de guarda + *flags* + datos) y su estructura se hereda del protocolo HDLC [15]. El formato mostrado en la Figura 12 se corresponde con el empleado para transmitir la mayoría de los mensajes. Sin embargo, existen escenarios (dispositivos de Clase B 'CS', transmisiones de largo alcance, mensajes que necesitan más de 1 *slot*, etc.) donde los campos del paquete se adaptan para cumplir con el contexto particular.

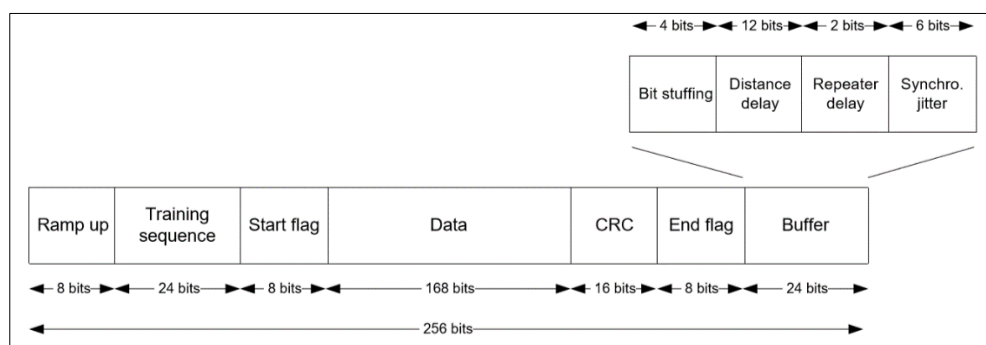


Figura 12: Formato por defecto de un paquete AIS

3.2.4.7. Mensajes AIS

En la especificación actual de AIS [13] se han definido 27 mensajes para la operatividad del sistema. Estos mensajes transportan los cuatro posibles tipos de información existentes comentados en la Sección 3.2.4.2: estática, dinámica, relativa al viaje y de seguridad.

En la Tabla 6, se especifican brevemente cada uno de los 27 mensajes. Para una explicación más detallada se remite al lector al Anexo 8 de [13].

Número	Mensaje	Propósito
1 – 3	<i>Position reports</i>	Mensajes de posición que deben ser transmitidos periódicamente por las estaciones móviles de Clase A.
4	<i>Base station report</i>	Mensaje difundido periódicamente por la estación base para informar de su posición y de los datos temporales.
5	<i>Ship static and voyage related data</i>	Mensaje empleado por los equipos de Clase A y aeronaves SAR para informar sobre datos estáticos o de viaje.
6	<i>Addressed binary message</i>	Mensaje dirigido a una estación en concreto para advertir de una determinada información. La longitud de este tipo de mensajes varía entre 1 y 5 <i>slots</i> , lo que se traduce en un máximo de entre 8 y 117 bytes de datos binarios.
7	<i>Binary acknowledge</i>	Mensaje empleado para asentir a uno o varios mensajes '6'. Debe ser transmitido por el mismo canal por el que se recibió dicho mensaje.
8	<i>Binary broadcast message</i>	Análogo al mensaje '6', pero para transmisiones <i>broadcast</i> .
9	<i>Standard SAR aircraft position report</i>	Mensaje utilizado por aeronaves en situaciones SAR. Por defecto, el intervalo de envío es de 10 segundos.
10	<i>UTC and date inquiry</i>	Mensaje utilizado cuando una estación solicita información temporal a otra.
11	<i>UTC and date response</i>	Respuesta al mensaje '10'. Comparte formato con el mensaje '4'.
12	<i>Addressed safety related message</i>	Mensaje similar al '6' para envío de texto relativo a seguridad.
13	<i>Safety related acknowledge</i>	Mensaje empleado para asentir a uno o varios mensajes '12'. Debe ser transmitido por el mismo canal por el que se recibió dicho mensaje.

Número	Mensaje	Propósito
14	<i>Safety related broadcast message</i>	Análogo al mensaje 12, pero para transmisiones <i>broadcast</i> .
15	<i>Interrogation</i>	Mensaje para solicitar información distinta a la demandada por el mensaje '10'. La respuesta debe ser transmitida por el mismo canal por el que se recibe la petición.
16	<i>Assigned mode command</i>	Una estación base puede asignar a otra estación AIS un patrón de transmisiones distinto al que ya tiene. El nuevo patrón debe haber sido reservado previamente por la estación base a través del mensaje '20'.
17	<i>GNSS broadcast binary message</i>	Mensaje transmitido por aquella estación base que esté conectada a una señal DGNS, permitiendo que el resto de estaciones calculen su posición de forma más precisa.
18	<i>Standard Class B equipment position report</i>	Mensaje similar a '1', '2' y '3', pero para dispositivos de Clase B.
19	<i>Extended Class B equipment position report</i>	Refuerzo para el mensaje '18', con un período mayor.
20	<i>Data link management message</i>	Mensaje utilizado por estaciones base para avisar de los <i>slots</i> ya ocupados por estaciones que tienen un patrón de transmisión fijo.
21	<i>Aids-to-navigation report</i>	Mensaje mediante el cual una estación AtoN informa de su funcionalidad.
22	<i>Channel management</i>	Mensaje transmitido por una estación base para notificar los parámetros del enlace VHF asignados a una determinada área geográfica.
23	<i>Group assignment command</i>	Mensaje que permite que una estación base asigne un conjunto de parámetros de operación a una clase concreta de estaciones AIS.
24	<i>Static data report</i>	Mensaje que posibilita que cualquier estación AIS asocie un MMSI con su nombre, cuya longitud máxima es de 20 caracteres de 6 bits.
25	<i>Single slot binary message</i>	Mensaje similar a '6' y '8', pero con una longitud acotada a 1 <i>slot</i> .
26	<i>Multiple slot binary message with communication state</i>	Mensaje que permite planificar la transmisión de hasta 5 <i>slots</i> con datos binarios.
27	<i>Long-range AIS broadcast message</i>	Mensaje similar a '1', '2' y '3', pero para aplicaciones de largo alcance como, por ejemplo, AIS por satélite. Está orientado a equipos de Clase A.

Tabla 6: Listado de mensajes AIS

3.2.4.8. Modos de acceso TDMA

Como ya es sabido, los dispositivos AIS operan sobre dos canales de la banda VHF marítima. Por defecto, estos canales son el AIS 1 (161,975 MHz) y el AIS 2 (162,025 MHz). Para permitir el acceso a múltiples usuarios se utilizan técnicas TDMA (*Time Division Multiple Access*), con una duración

para cada *slot* de 26,66 ms. Esta cifra da lugar a 2.250 *slots* por minuto y por canal. Un conjunto de 2.250 *slots* componen una trama (véase la Figura 13).

El período de acceso requerido para cada estación dependerá del tipo de información a transmitir, variando desde los dos segundos para información dinámica (mensajes 1 – 3) en escenarios en los que el barco navega a más de 14 nudos, hasta los seis minutos cuando la información es de tipo estática o de viaje (mensaje 5).

Para conseguir un correcto acceso al medio, es necesaria una sincronización tanto a nivel de *slot* como a nivel de trama. Esto se consigue gracias a dos factores:

- Una referencia temporal precisa como GPS u otro sistema GNSS.
- La información del campo '*communication state*', presente en algunos mensajes.

En caso de no contar con acceso directo a la referencia temporal, el dispositivo AIS deberá sincronizarse a otro que sí disponga de ella o, si esto tampoco es posible, a aquella estación AIS (estación base o no), que cuente con el mayor número de conexiones entrantes (esta estación se denomina semáforo).

Debido a que parte de los dispositivos AIS operan fuera del rango de cobertura de la estación base que los controla, por ejemplo en mar abierto, la primera de las técnicas TDMA concebidas ha sido SOTDMA (*Self-Organizing TDMA*). A través de este modo un equipo crea su propio patrón de reservas de *slots*. La premisa para establecer este patrón es evitar que sus transmisiones colisionen con las de otros dispositivos dentro de su zona de alcance. Esta técnica se utiliza principalmente en equipos de Clase A.

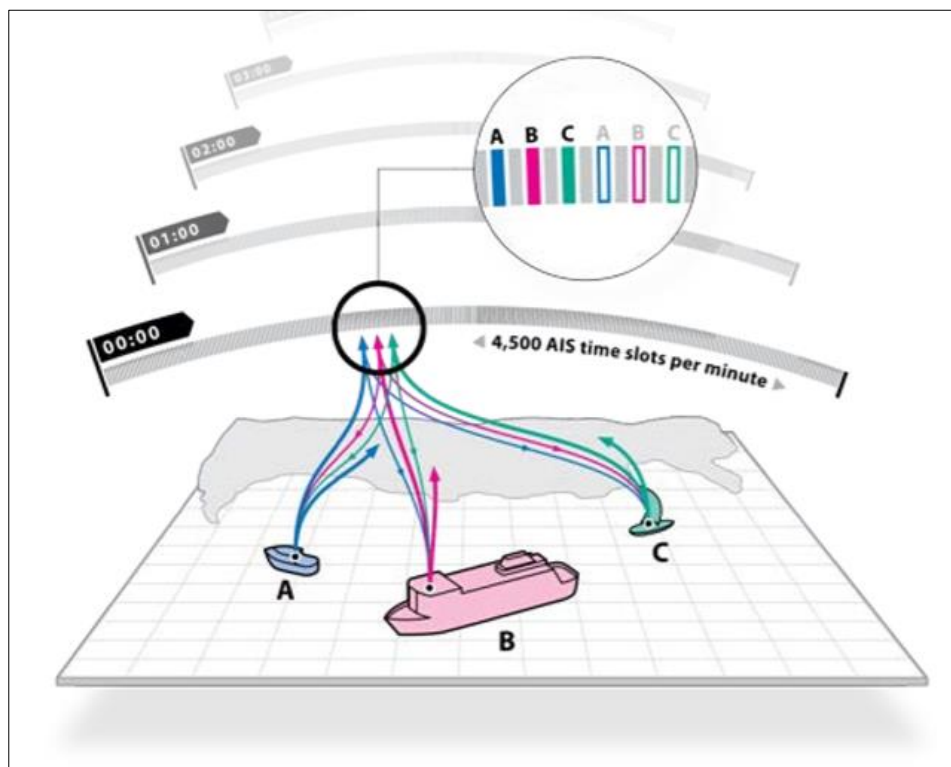


Figura 13: Sistema AIS TDMA [16]

Existen otros métodos de acceso que interoperan con SOTDMA y que se emplean en distintos tipos de dispositivos AIS. Dichos métodos son:

- RATDMA (*Random Access TDMA*).
- ITDMA (*Incremental TDMA*).
- FATDMA (*Fixed Access TDMA*).
- CSTDMA (*Carrier Sense TDMA*).
- *Modified SOTDMA*.

Antes de introducir los distintos esquemas, se exponen dos conceptos relacionados con ellos para facilitar su posterior explicación: modo de operación y *slot* candidato.

3.2.4.8.1. Modo de operación

Durante su funcionamiento, un dispositivo AIS opera en alguno de estos tres modos:

- **Autónomo o continuo:** la estación determina su propio patrón de transmisión y, por tanto, ella misma resuelve automáticamente los conflictos existentes con las transmisiones de otras estaciones.
- **Asignado:** en determinados escenarios, la autoridad competente, y a través de la estación base, puede decidir que un dispositivo transmita bajo un patrón de transmisiones concreto, el cual se especifica mediante el mensaje 16. Bajo este modo de operación, un equipo de Clase A informará de su posición con el mensaje 2, en lugar de con el mensaje 1.
- **Interrogado:** como medida de vigilancia costera, una estación puede ser interrogada, a través del mensaje 15, sobre el tipo de barco y su carga. La respuesta deberá efectuarse sobre el mismo canal por donde se recibió el mensaje de interrogación y, en ningún caso, deberá poner en conflicto la integridad de los otros dos modos. Esta respuesta se realiza a través de los mensajes 3 y 5.

No todos los tipos de estaciones AIS permiten los tres modos de operación (véase la siguiente Tabla).

Tipo de estación	Clase A	Clase B 'SO'	Clase B 'CS'	AtoN tipo 1	AtoN tipo 2	AtoN tipo 3	Estación base	Repetidor	SART	SAR	Estación base limitada
<i>Modo de operación</i>											
Autónomo	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Asignado	C	C	C	N	N	N	N	N	N	C	C
Interrogado	C	C	C	N	N	N	C	N	N	C	C
<i>C = Permitido en cualquier configuración. N = No permitido.</i>											

Tabla 7: Relación entre los tipos de estaciones y los modos de operación [17]

3.2.4.8.2. Slot candidato

Aquellas estaciones que presenten alguno de los esquemas mencionados al comienzo del apartado requieren de una fase para la monitorización de los dos canales AIS. El objetivo es determinar la actividad de los mismos, los usuarios participantes, la posición, la asignación de *slots* y la existencia de estaciones costeras. Con esto se pretende crear una memoria dinámica (*slot map*) que

almacene el estado de los *slots* y permita disponer de un punto de partida para establecer el esquema de transmisión propio de cada estación.

Los *slots* empleados para la transmisión se escogen de forma aleatoria de entre un conjunto de *slots* especiales, denominados *slots* candidatos, pertenecientes al intervalo de selección. Este intervalo está constituido por una serie de *slots* consecutivos y su duración varía según el método TDMA empleado. Por ejemplo, para RATDMA el intervalo de selección se fija a 150 *slots* (4 segundos).

Durante la selección de los *slots* candidatos para transmitir sobre un canal, se tiene en cuenta también la actividad del otro canal. Primeramente, se determinan como candidatos todos aquellos *slots* que estén libres en ambos canales. Posteriormente, y si el número de *slots* que cumplen esta condición es menor a cuatro, se aplica el proceso de reutilización de *slots*. El objetivo de reutilizar de forma intencionada *slots* para mantener un mínimo de cuatro *slots* candidatos es proporcionar una probabilidad de acceso al enlace elevada, y a la vez, aliviar la congestión del mismo. En este proceso influye el estado de cada *slot* en ambos canales y el límite de 120 millas náuticas con respecto a la estación base. La reutilización de *slots* reduce el tamaño de la celda AIS, asegurando que los mensajes de posición de los barcos más cercanos (los que realmente son relevantes para una navegación segura) no se vean afectados.

De ser necesaria esta reutilización, los *slots* candidatos deben cumplir alguna de las cinco condiciones o reglas definidas para dicho proceso (sub-apartado 4.4.1 del Anexo 2 de [13]), las cuales han de ser aplicadas en orden decreciente de prioridad hasta completar cuatro *slots* candidatos o agotar los *slots* del intervalo de selección.

3.2.4.8.3. *Self-Organizing TDMA* – SOTDMA

SOTDMA es el esquema de acceso más complejo de todos los definidos para AIS. El objetivo de este modo es ofrecer un algoritmo de acceso que resuelva las posibles colisiones sin la intervención de una estación central. Para ello, cada estación SOTDMA anuncia con adelanto cuáles serán los *slots* donde realizará las transmisiones futuras. Esto permite que el resto de estaciones sean consecuentes con dicho patrón de reservas.

Generalmente, el tipo de mensajes transmitidos bajo este modo de acceso son aquellos de carácter periódico y que informan sobre la posición del barco.

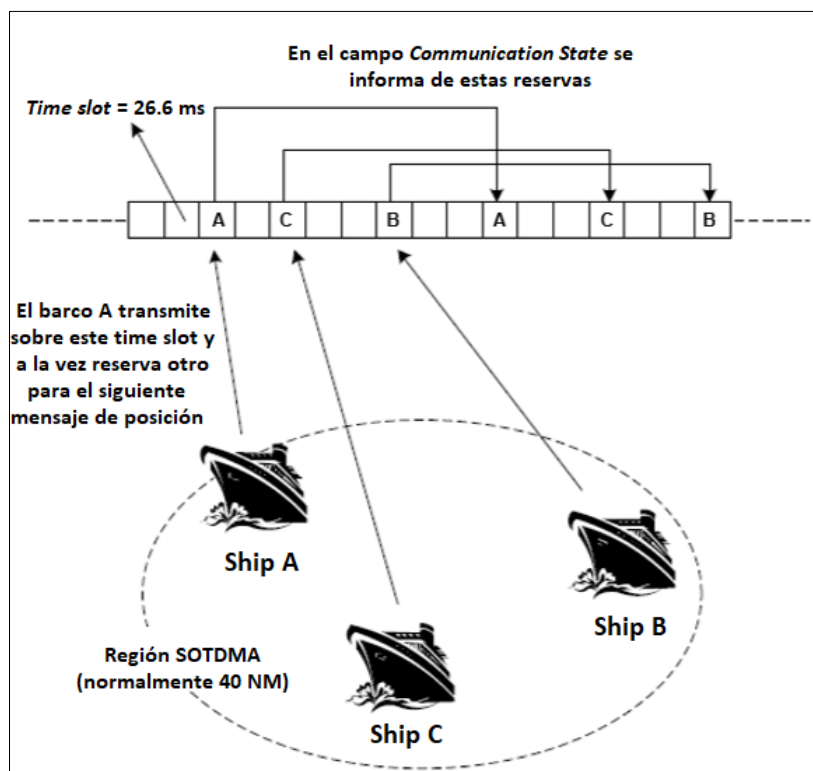


Figura 14: Acceso y reserva de slots para equipos SOTDMA

3.2.4.8.4. *Random Access TDMA* – RATDMA

Este modo de acceso se utiliza cuando se necesita reservar un *slot* que no ha sido anunciado previamente. Ejemplos de ello son la reserva del primer *slot* durante la entrada en la red de un dispositivo SOTDMA y las transmisiones de los mensajes no periódicos (mensajes de texto o retransmisiones de un repetidor símplex).

RATDMA no es adecuado para transmisiones periódicas ya que produciría un importante número de colisiones, puesto que el resto de estaciones no conocen qué *slots* son los reservados por un equipo RATDMA.

3.2.4.8.5. *Incremental TDMA* – ITDMA

ITDMA se emplea cuando una estación necesita informar de un cambio temporal en la tasa de difusión de sus mensajes periódicos, avisar de la intención de transmitir un mensaje puntual (no periódico), como los mensajes relacionados con la seguridad, o en la fase de entrada en la red³. Con ello se posibilita que el dispositivo informe al resto de estaciones de sus reservas de *slots*.

3.2.4.8.6. *Fixed Access TDMA* – FATDMA

Los dispositivos AIS que operan según FATDMA únicamente transmiten en una serie de *slots* predefinidos. La asignación de estos *slots* se realiza por parte de las autoridades competentes y se difunde al resto del sistema a través de las estaciones base mediante el mensaje 20.

El resto de estaciones señalará estos *slots* como ocupados; con lo cual no podrán ser empleados por estas entidades para su reserva de *slots* siempre que, además del mensaje 20, reciban de la

³ Durante esta fase, el primer slot deberá ser reservado mediante RATDMA.

misma estación base el mensaje 4 y comprueben que se encuentran a menos de 120 millas náuticas de la misma.

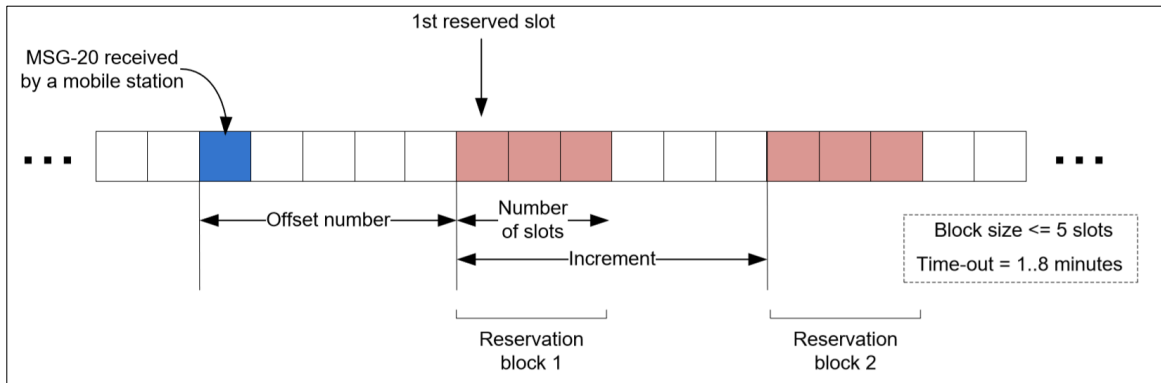


Figura 15: Ejemplo de los parámetros empleados en una reserva FATDMA

3.2.4.8.7. Carrier Sense TDMA – CSTDMA

El modo de acceso CSTDMA ha sido diseñado para las estaciones AIS de Clase B 'CS' con la finalidad de permitir dispositivos más baratos que los de Clase A (SOTDMA). Este esquema se fundamenta en escuchar la red AIS y transmitir solamente cuando se determina que la misma está libre de actividad. Así pues, las estaciones CSTDMA pueden interoperar con las transmisiones SOTDMA pero no interferir con ellas, ya que son prioritarias.

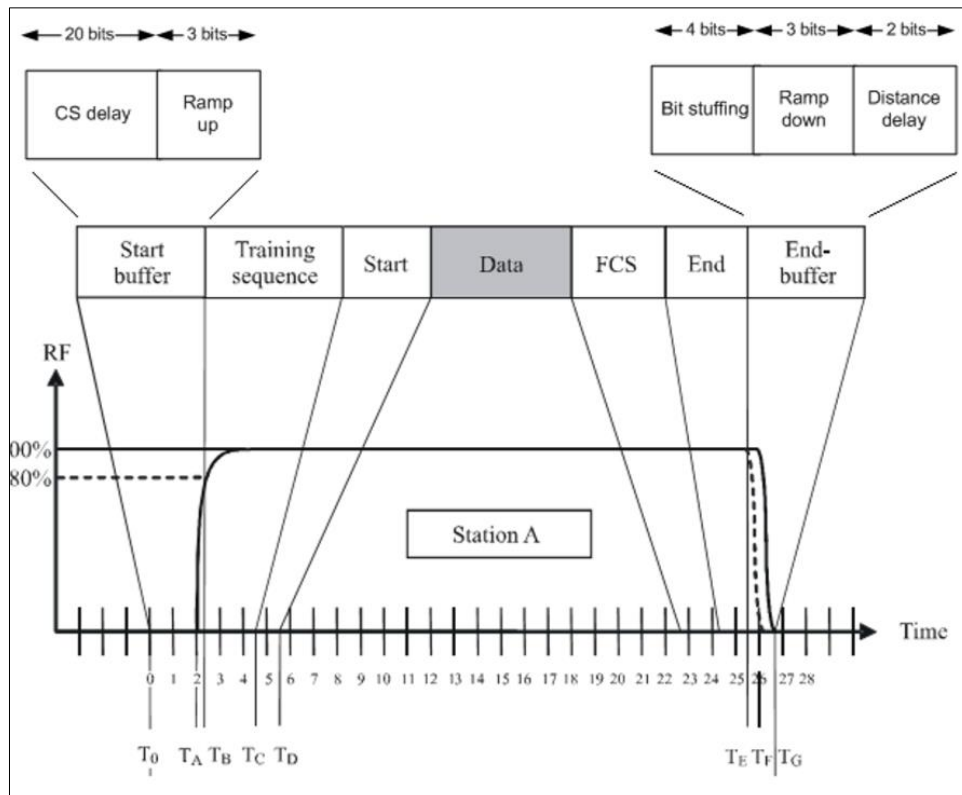


Figura 16: Formato y temporización de la transmisión para CSTDMA [13]

3.2.4.8.8. Modified SOTDMA

Este esquema ha sido definido para dispositivos sencillos que únicamente transmiten información. La aplicación más relevante es la baliza de emergencia, tal como la integrada en un equipo AIS SART.

Las estaciones que operan con SOTDMA modificado transmiten los mensajes en grupos o ráfagas de 8 *slots* por minuto (en *slots* no consecutivos). De esta manera se asegura que la transmisión tenga éxito incluso cuando el dispositivo se encuentra sobre la superficie del agua y existe bloqueo debido al oleaje. El patrón establecido para cada grupo de mensajes se repite durante un periodo de 8 minutos. Por lo tanto, durante 8 tramas se transmite sobre los mismos 8 *slots*.

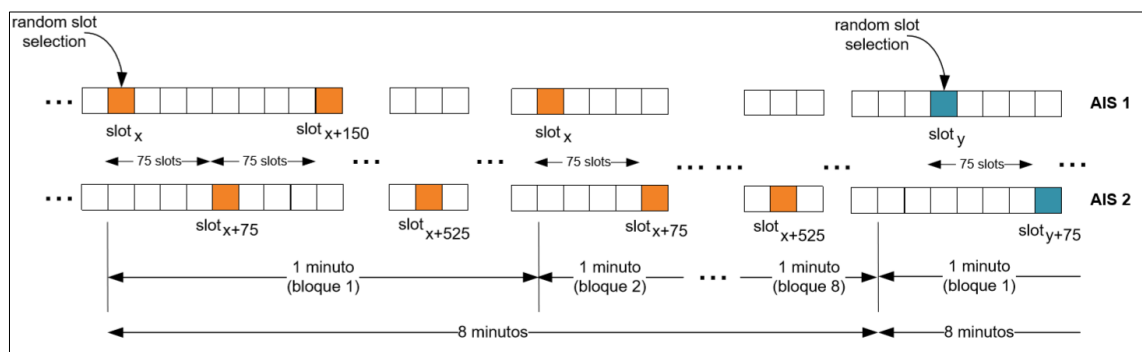


Figura 17: Esquema de transmisión para el modo SOTDMA modificado

3.2.4.9. Características hardware necesarias para los distintos modos de acceso

A modo de resumen, se recoge a continuación el equipamiento hardware mínimo necesario para soportar los diferentes modos TDMA. Estos requisitos se agrupan en tres puntos:

- **Circuitería de transmisión y recepción:** generalmente, un dispositivo AIS dispone de dos receptores y un transmisor, capaces de operar sobre la banda VHF marítima. Sin embargo, aquellos equipos cuyo acceso sea FATDMA o SOTDMA modificado no precisan de los circuitos receptores, ya que únicamente funcionan como transmisores de información.
- **Receptor para GPS:** todos los esquemas requieren de la señal GPS de forma directa o indirecta excepto CSTDMA. Dicha señal proporciona la referencia temporal necesaria para la sincronización.
- **Memoria RAM:** Los modos SOTDMA, RATDMA e ITDMA necesitan una memoria para almacenar un mapa con la utilización de los *slots*. Esta memoria debe ser lo suficientemente grande como para albergar al menos cinco minutos de actividad de los dos canales AIS [16], lo que equivale a una memoria que dé cabida a la información de estado correspondiente a $5 \times 2 \times 2 \times 250 = 22.500$ *slots*. Para tal tarea, el equipo que opere con alguno de los tres modos citados requiere de un circuito decodificador de mensajes AIS para acceder al contenido del campo '*communication state*'.

3.2.5. Problemática

A pesar de que la aparición de AIS ha supuesto una gran evolución de la tecnología dentro del ámbito marítimo, este sistema presenta una serie de inconvenientes y limitaciones a los que es necesario buscar solución para conseguir una mayor seguridad y eficiencia en la navegación.

3.2.5.1. Ataques malintencionados

El hecho de que AIS emplee un protocolo abierto⁴ ha propiciado que a lo largo de los años se hayan registrado diversos ataques malintencionados al sistema, entre los más destacados:

- **Spoofing:** modificación de los mensajes de otros buques para alterar su posición o incluso añadir uno o más buques falsos a la red.
- **Ataques de repetición:** los mensajes se almacenan para ser retransmitidos en un instante posterior.
- **Man-in-the-water:** falsificación de mensajes de alerta de “hombre al agua” (MOB). Según la regulación marítima este tipo de alerta debe ser atendida por cualquier tipo de embarcación.
- **Fake CPA:** se crean mensajes CPA (*closest-point-of-approach*) cerca de otro buque. La embarcación recibirá esta alarma y modificará su ruta para evitar una supuesta colisión.

3.2.5.2. Cobertura

Como la mayoría de los sistemas terrestres que utilizan VHF, el alcance máximo de las comunicaciones AIS viene limitado normalmente por la línea de visión directa y por mecanismos de propagación por difracción. Asumiendo un equipamiento AIS con parámetros técnicos típicos, un enlace fiable barco a barco se encuentra en el rango de las 20 – 25 millas náuticas. Las estaciones costeras, dotadas con antenas más altas, pueden recibir mensajes AIS de barcos a distancias entre las 20 y las 35 millas náuticas, dependiendo de las alturas de las antenas sobre el mar. Tal y como se comentó en capítulo introductorio, en el proyecto ONDADA se ha tratado este problema con el propósito de extender y mejorar la cobertura del servicio AIS a través de repetidores.

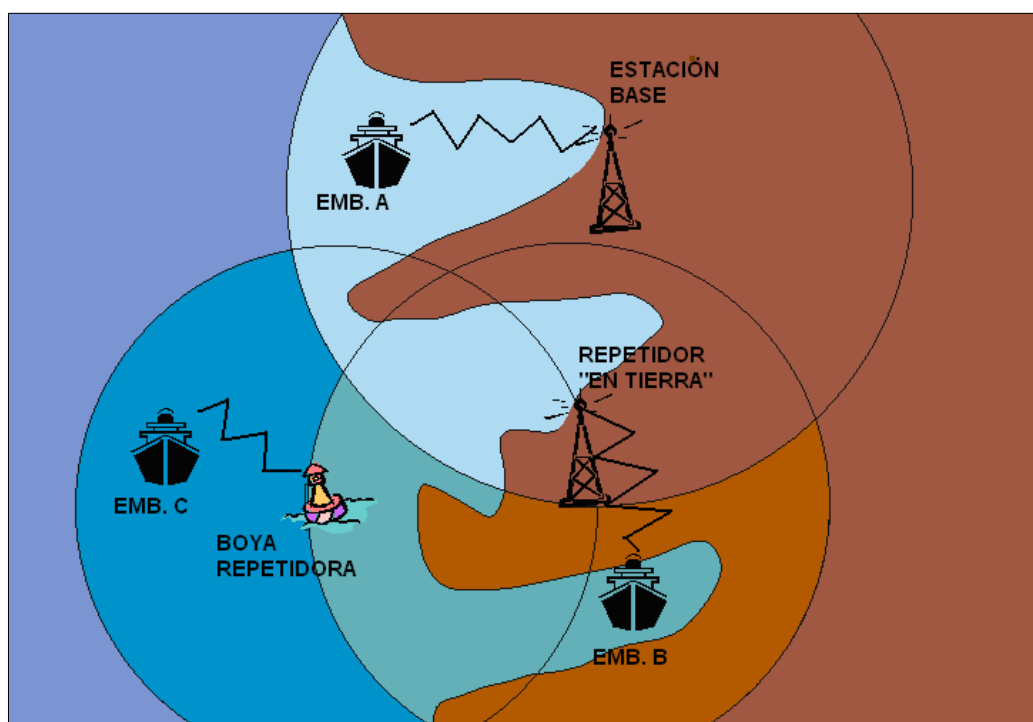


Figura 18: Esquema de extensión de la cobertura AIS empleando repetidores dúplex

⁴ El protocolo empleado por AIS no tiene como objetivo ofrecer comunicaciones seguras.

3.3. AIS satélite

3.3.1. Introducción

La aparición de AIS satélite surge con la intención de convertirse en una solución de bajo coste para las VTS, ofreciendo la posición individual de cada buque registrado en la red, las actividades que realiza y el tipo de carga que transporta.

La monitorización desde estaciones costeras del tráfico marítimo sufre la limitación del alcance de las radios VHF, unas 40 millas náuticas. El creciente interés en ampliar el área monitorizada ha llevado al despliegue de varias constelaciones de satélites con este fin.

En estas constelaciones, suelen emplearse satélites de pequeñas dimensiones, con órbitas bajas (LEO), ya que así es más sencillo dar cobertura a todo el planeta al tardar aproximadamente 90 minutos en recorrer una vuelta a la órbita. La razón por la que es necesaria una constelación de bastantes⁵ satélites es porque con este tipo de órbitas se tarda 16 días en volver a pasar por el mismo punto.

La huella de un satélite LEO es de unos 6 000 kilómetros de diámetro y, dado que las celdas SOTDMA tienen un radio de aproximadamente 40 millas náuticas, dentro de la FoV de cada satélite se incluyen varios centenares de celdas SOTDMA que no están sincronizadas entre sí. Además, el estándar define que el método de acceso al medio para AIS-S es RATDMA, lo que supone el principal problema de la recepción AIS por satélite⁶.

La tarea de estos satélites consiste en recibir los mensajes con identificador '27'⁷ del estándar AIS, en algunos casos decodificarlos y, finalmente, descargarlos a la estación terrena para que sean entregados al cliente final. Como ya se ha especificado anteriormente, la ITU define en [18] dos canales dentro de la banda de VHF marítima reservados exclusivamente para el funcionamiento de AIS, AIS 1 (161,975 MHz) y AIS 2 (162,025 MHz). El servicio AIS-S, cuenta con dos canales independientes de AIS 1 y AIS 2 para su correcto funcionamiento, se trata de los canales 75 (156,775 MHz) y 76 (156,825 MHz).

3.3.2. Problemática

La recepción de los mensajes AIS en un satélite presenta una serie de problemas que se recogen a continuación:

- **Colisión de paquetes:** las celdas SOTDMA aseguran la transmisión de un único mensaje AIS por *slot* dentro de la celda. Sin embargo, no hay relación entre las distintas celdas. La huella de un satélite incluye múltiples celdas SOTDMA y podrían colisionar varios paquetes dentro del mismo slot.

⁵ No es necesario mantener monitorizadas las embarcaciones en todo momento, pero sí cada pocas horas, ya que su posición cambia progresiva y lentamente con el tiempo.

⁶ No se puede sincronizar la comunicación barco-satélite para evitar colisiones de mensajes sin comunicación entre los barcos (inviabile por estar fuera del rango de visión unos de otros) o sin enlace de retorno desde el satélite.

⁷ Tipo de mensaje para comunicaciones de larga distancia. Sólo lo pueden transmitir equipos AIS de Clase A, su contenido es similar a los mensajes 1, 2 y 3, pero se ha reducido su longitud para soportar los retardos de propagación propios de las comunicaciones de largas distancias.

La diferencia de retardos que pueden sufrir los mensajes para alcanzar el satélite no debería suponer un problema de colisiones entre mensajes transmitidos en *slots* diferentes, ya que la diferencia de retardos entre el punto en la vertical del satélite (mínimo retardo) y en el límite de su FoV (máximo retardo) es de cerca de 8 ms, por debajo de los 9 ms de guarda que introduce el mensaje 27 del estándar AIS.

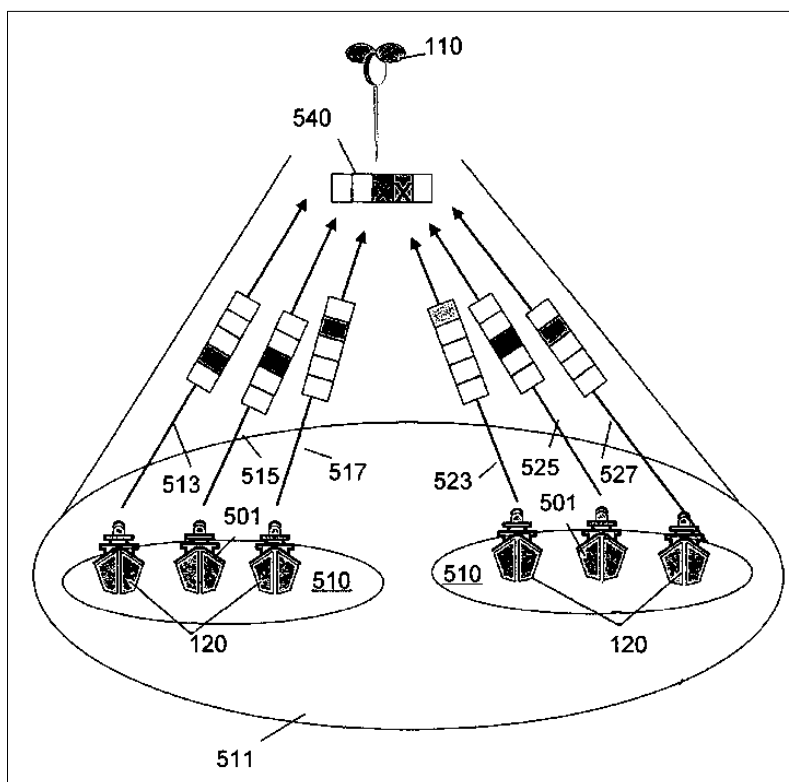


Figura 19: Colisión entre mensajes de dos celdas SOTDMA [19]

- **Diversidad de las señales:** debido a que un satélite da cobertura a una amplia área, las modificaciones que sufrirán éstas a lo largo de su recorrido desde la embarcación hasta alcanzar el satélite serán distintas en función de la posición relativa del barco respecto al satélite, las condiciones atmosféricas, velocidades relativas, etc.
- **Potencia de la señal:** la ganancia de las antenas, tanto transmisoras como receptoras, varía según el ángulo de elevación al satélite. Las pérdidas de espacio libre son cuatro veces mayores en el horizonte del satélite que en su vertical. El multitrayecto también influye en el nivel de señal que recibe el satélite, pudiendo producirse interferencias tanto constructivas como destructivas [20].
- **Efecto Doppler:** como se observa en la Figura 20, para un satélite con órbita LEO, la desviación Doppler oscila entre los -3,7 kHz y los 3,7 kHz, con la máxima desviación (absoluta) alrededor del horizonte en la trayectoria que traza el satélite, [20].

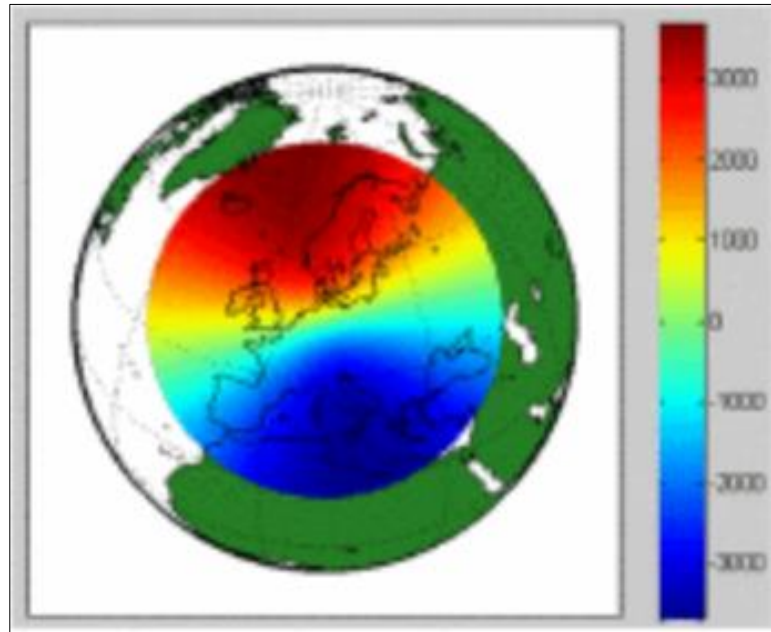


Figura 20: Efecto Doppler sobre mensajes AIS recibidos por un satélite [20]

- **Polarización:** las transmisiones AIS emplean polarización vertical en todas las direcciones. En su trayecto hasta el satélite, la polarización de estas señales sufre una rotación debida al efecto Faraday. Dado que este efecto es importante en la banda VHF, las ondas rotarán varias vueltas completas antes de alcanzar el satélite.

3.3.3. Soluciones

Los problemas relativos a la diversidad de la señal son problemas que sufren también otro tipo de sistemas, como por ejemplo GPS, y se cuenta con una tecnología ya madura para abordarlos satisfactoriamente [20]. El problema principal a abordar es el de la colisión de mensajes procedentes de distintas celdas SOTDMA. Las soluciones pueden dividirse en los siguientes grupos:

3.3.3.1. Minimización del problema

En [21], [22] y [23], se proponen diversas medidas para minimizar el número de mensajes colisionados que alcanzan el satélite. A continuación se listan aquellas que se propusieron y se implantaron en la cuarta revisión de [13]:

- Creación de un mensaje específico, mensaje 27, para la recepción en satélite. Se trata de un mensaje con una duración más corta: 96 bits en lugar 256 bits. Esto aumenta el intervalo de guarda entre *slots*, permitiendo un mayor retardo de propagación.
- Definir un periodo de retransmisión de 3 minutos para el mensaje 27, en lugar de los periodos de repetición descritos en las Tablas 2 y 3 de [24]. Limitar las estaciones que pueden emitir el mensaje 27 únicamente a las Clase A⁸ y además excluir aquellas estaciones Clase A que se encuentren dentro del rango de una estación costera.
- Reservar otra pareja de canales para la transmisión del mensaje 27 AIS. Las únicas frecuencias en la banda VHF marítima definidas a nivel global, además de AIS 1 y AIS 2,

⁸ Equipos con mejores prestaciones, lo cual introduce menos problemas de sincronismo.

eran los canales⁹ 16, 70, 75 y 76. Dado el propósito de los canales 16 y 70 (seguridad), se descartó el uso de estos para introducir el nuevo servicio y, tras determinar que la transmisión de mensajes de 17 ms repetidos cada tres minutos con una potencia de 12,5 W no suponía una interferencia notable en las comunicaciones por voz en los canales 75, 16 y 76, se asignaron para la transmisión de mensajes AIS satélite. Con la excepción de AIS, las comunicaciones del servicio móvil marítimo no pueden exceder 1 W de potencia en estos canales.

3.3.3.2. Recuperación de colisión

Existen diversas soluciones implementadas y en uso para abordar este problema, un ejemplo son las descritas en [25], propietarias de exactEarth®:

- **OBP:** consiste en aplicar a las señales recibidas por el satélite filtros muy selectivos en frecuencia para conseguir separar los mensajes. Aprovechando los distintos desplazamientos en frecuencia que sufren las señales provenientes de distintos puntos, los decodifica y los almacena para su posterior transmisión a tierra. Este método no requiere ningún procesamiento adicional, por lo que la latencia introducida es muy baja. Como contrapunto, tiene la desventaja de solo ser efectivo en áreas poco densas, como el centro del Océano Pacífico.
- **SDP:** requiere el uso de algoritmos complejos para decodificar satisfactoriamente los mensajes AIS. Estos algoritmos también son muy costosos computacionalmente, por ello es necesario almacenar los datos RF recogidos y transmitirlos a las estaciones terrenas para realizar en ellas el procesamiento, recuperación y decodificación de los mensajes. Este método ofrece una alta probabilidad de detección incluso en áreas con alta densidad de embarcaciones.

También existen otras soluciones orientadas más hacia la capa física que consisten en la cancelación de interferencias como en [26] o en [27]. Otras soluciones recurren a configuraciones de *arrays* de antenas, como en [20].

3.3.4. Clientes y aplicaciones

La implantación de AIS por satélite conlleva una gran inversión y, para poder llevar a cabo la explotación de este servicio, es necesario analizar a qué clientes puede interesar:

- **Usuarios institucionales, autoridades portuarias, cuerpos de guardacostas, etc.:** el interés que despierta AIS Satélite en estas instituciones radica en cuestiones como el control de embarcaciones pesqueras o la gestión portuaria más allá de las áreas ya cubiertas por las estaciones costeras.
- **Usuarios comerciales, compañías marítimas legales, clubes náuticos, compañías de seguros, etc.:** algunas aplicaciones que pueden interesar a estos usuarios son temas de seguimiento de flotas o la optimización de recursos.
- **Usuarios de defensa o seguridad, agencias y cuerpos de seguridad y defensa costeras, Policía Portuaria, Policía Fronteriza, Autoridades de Inmigración, etc.:** una clara aplicación de este servicio es el seguimiento de embarcaciones globalmente, control de aguas fronterizas o el trazado de las rutas seguidas por una o varias embarcaciones.

⁹ El canal 50 ya tiene como única función la transmisión de comunicaciones DSC. Los canales 75, 16 y 76 (contiguos y de frecuencia ascendente en ese orden), tienen como propósito la transmisión de voz por radio.

Otros usos que se le están dando a AIS por satélite son:

- Respuesta a desastres: por ejemplo, monitorizar movimientos de barcos en la trayectoria de un huracán.
- Búsqueda y rescate: conocer el recorrido realizado por una embarcación facilita las labores de búsqueda.
- Respuesta y protección medioambiental: por ejemplo, evaluando el perfil de riesgo de contaminación de una embarcación en concreto.
- Modelado de riesgos.

3.3.5. Explotación

En la actualidad son varias las empresas y gobiernos que tienen en funcionamiento programas para explotar AIS Satélite. En este apartado se analizan tanto el hardware como el software sobre el que se sustenta el servicio, así como las empresas que lo ofrecen.

3.3.5.1. Satélites

Como pieza fundamental del sistema, en los últimos años se ha trabajado bastante en la línea del desarrollo de satélites especializados en la recepción de AIS. La tendencia ha sido desarrollar satélites de tamaño reducido dedicados en exclusiva a la recepción de mensajes AIS, aunque también se han introducido receptores AIS en satélites de gran tamaño como carga secundaria.

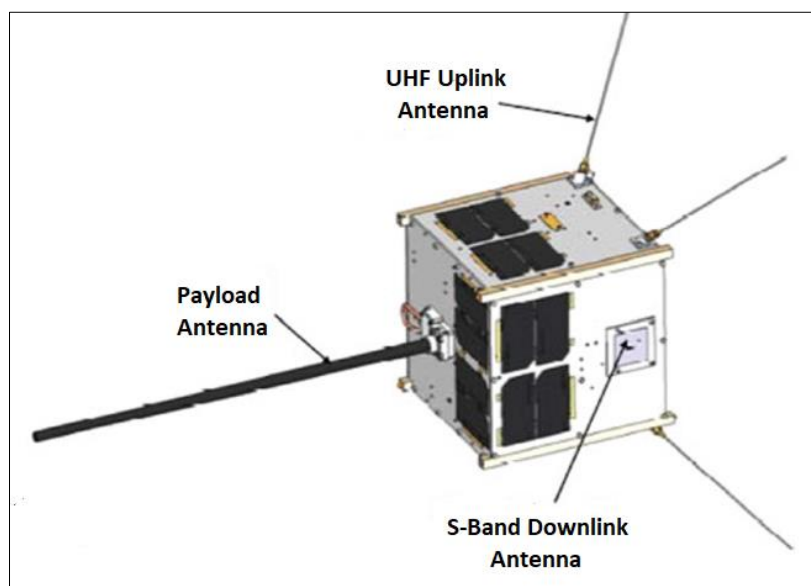


Figura 21: Nanosatélite diseñado para recepción AIS [21]

El papel que juegan estos satélites en el sistema no es el mismo en todos los casos. Algunos se limitan a recibir las señales procedentes de las embarcaciones, almacenarlas en crudo y retransmitirlas a las estaciones base cuando el enlace está disponible. Otros realizan tareas algo más complejas, desde la simple decodificación del mensaje AIS, descartando algunos mensajes que no se pueden decodificar, hasta el procesamiento necesario para recuperar aquellos mensajes que han colisionado con otros.

Se citan a continuación algunos satélites y/o constelaciones de satélites vinculados a la recepción de AIS-S:

- AprizeSat.
- PAZ.
- ADS1B.
- ResourceSat-2.
- M3MSat.
- AISat 1 – 3.
- VesselSat 1 – 2.

3.3.5.2. Algoritmos

En la mayoría de los casos, los satélites destinados a la recepción de mensajes AIS (o que incorporan equipos para tal fin), implementan algoritmos para recuperar toda la información posible a partir de la señal recibida. Por lo general, se trata de algoritmos propietarios con patente, [27] y [28] son dos ejemplos de ellos.

3.3.5.3. Empresas

Una empresa puntera en este sector es exactEarth. Entre sus servicios destaca el rastreo de buques marítimos en tiempo real a partir de su ubicación, valiéndose para ello de la tecnología de AIS satélite. Otras empresas de interés son:

- FleetMon.
- Norwegian Space Center.
- ORBCOMM.

3.3.6. Pruebas del proyecto POLARYS

Durante la ejecución del proyecto POLARYS se han realizado una serie de pruebas para validar la utilización de la componente de AIS satélite, cuyos resultados pueden ser interesantes para ratificar el uso de la transmisión de AIS-S.

Para la verificación de este conjunto de pruebas se ha contado con la colaboración de HISDESAT, *partner* de exactEarth, a través del cual se gestiona el sistema de información del tráfico marítimo por satélite. Además, también se ha contactado con el Centro de Comunicaciones Radiomarítimas de A Coruña para comprobar y comparar el funcionamiento con ellos.

Para las distintas pruebas llevadas a cabo se ha utilizado el transceptor VDES, desarrollado por EGATEL y Gradiant, conectado a una antena multibanda situada en las oficinas de GRADIANT. Todas las transmisiones realizadas han sido con la máxima potencia que define la recomendación [29]: 12,5 W. Dichas pruebas se pueden resumir en los puntos que se citan a continuación:

- Transmisión de los mensajes 18 y 27 con valores por defecto con diferentes niveles de potencia a lo largo de una hora.
- Transmisión del mensaje 14 una vez cada minuto durante una hora.
- Transmisión de los mensajes 18 y 27 con valores reales con potencia máxima a lo largo de dos horas.
- Transmisión de los mensajes 18 y 27 con datos reales una vez cada tres minutos durante 24 horas.
- Transmisión AIS en modo autónomo de los mensajes 1 y 3 a lo largo de seis horas.

Las conclusiones que se extraen en base a los resultados obtenidos son las que siguen:

- Los mensajes con valores por defecto o fuera de rango que propone [29] son filtrados y no permiten verificar que la transmisión y recepción sean correctas.
- La recepción satélite depende totalmente de la hora a la que se realice y de que la huella de las pasadas del satélite coincida con la posición desde la que se transmite.
- El mensaje 27 se recibe adecuadamente una vez que se incluyen datos reales relativos a posición, velocidad, rumbo, etc.
- El sistema puede funcionar durante períodos largos de tiempo.
- El número de mensajes recibidos y la posición de los satélites en un instante determinado influye en la congestión de la zona y, por tanto, repercute en el número de colisiones.

Es importante destacar que los resultados de estas pruebas carecen de medidas e información relativa a la calidad de la señal recibida. No obstante, teniendo en cuenta las numerosas pruebas realizadas y que ciertos mensajes pueden ser filtrados, se puede afirmar que la recepción AIS satélite es funcional y operativa.

3.4. DSC

3.4.1. Introducción

DSC es un sistema de comunicaciones digital, englobado dentro de GMDSS, que permite realizar transmisiones punto a punto o punto a multipunto¹⁰. El propósito de este estándar es enviar mensajes digitales de alerta.

DSC fue desarrollado para sustituir los sistemas de llamada convencionales, proporcionando una señal más estable y de menor ancho de banda, permitiendo comunicarse a mayores distancias (incremento de hasta un 25%) con mayor velocidad. El sistema está pensado para enviar alertas de socorro de forma rápida, ya que el equipo cuenta con el MMSI y la posición del barco, obtenida del equipo GPS.

Las transmisiones de DSC pueden ser tanto semi-dúplex como full-dúplex, en función de si se utiliza únicamente una frecuencia, lo que solo permitiría estar recibiendo o emitiendo, pero no ambas simultáneamente; o si, por el contrario, se puede transmitir y recibir simultáneamente en frecuencias distintas.

¹⁰ Una transmisión punto a punto consiste en una transmisión costa-buque, buque-buque o buque-costa. Una transmisión punto a multipunto está dirigida a un grupo con un interés común o a un área geográfica.

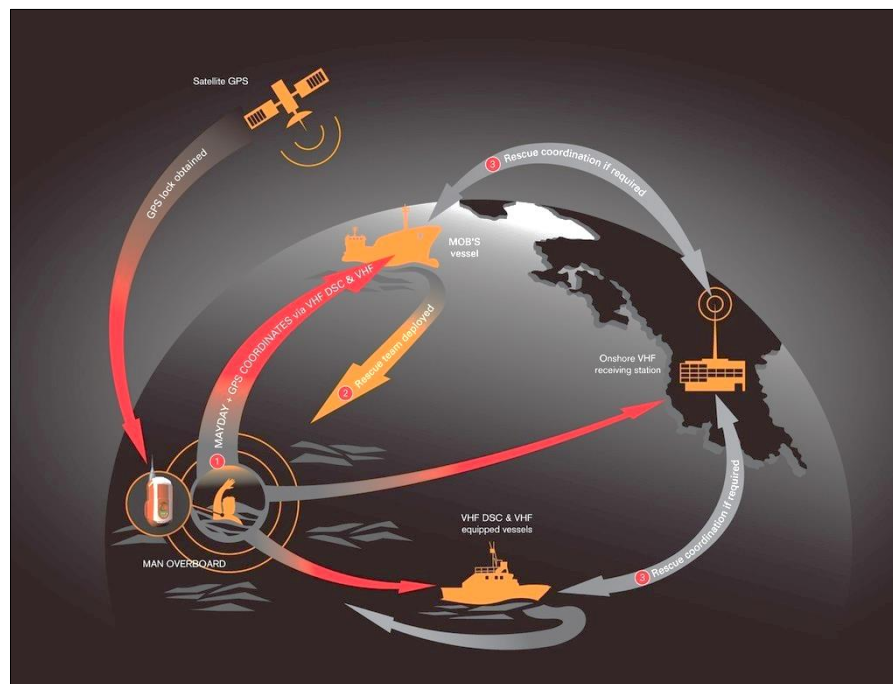


Figura 22: GMDSS en el caso de una alerta de socorro por "hombre al agua"

3.4.2. Descripción general del sistema

DSC puede operar en las bandas MF, HF y VHF del servicio móvil marítimo. El acceso al medio se realiza libremente en el momento que se desee realizar una transmisión. Los propios equipos deben incorporar los mecanismos necesarios para determinar si el canal está libre antes de comenzar una transmisión.

Las transmisiones DSC se denominan llamadas, secuencias de llamada o secuencias. Estas secuencias, a su vez, están formadas por una cadena de cabecera, un conjunto de mensajes y una cadena de fin. La información transmitida por las secuencias DSC son mensajes preestablecidos que incluyen alertas de socorro, seguridad o urgencia, o simplemente intención de establecer comunicación con una o varias estaciones DSC. Las tasas de transmisión son extremadamente bajas debido a la poca cantidad de información intercambiada entre estaciones, pero resultan suficientes para el propósito que acometen. En las bandas MF y HF se emplea una tasa de 100 bps, mientras que para la banda VHF la tasa es de 1.200 bps.

3.4.2.1. Clases de equipos DSC

Los equipos DSC pueden clasificarse en cuatro tipos según sus características:

- **Clase A:** incluye todas las características que recomienda el GMDSS de la IMO para las bandas MF, HF y/o VHF.
- **Clase B:** cumple los requisitos mínimos impuestos por el GMDSS para un equipo de a bordo en las bandas HF y/o VHF. Estos equipos son válidos para aquellos buques donde no sea preciso un equipo de Clase A.
- **Clase D:** estos equipos incluyen las características mínimas para realizar y recibir llamadas DSC, pero sin cumplir necesariamente los requisitos mínimos que impone el GMDSS para los equipos en las bandas VHF.

- **Clase E:** al igual que los equipos de Clase D, ofrecen las características mínimas para realizar y recibir transmisiones DSC, pero no cumplen necesariamente las exigencias mínimas del GMDSS para equipos en las bandas MF y HF.

Los equipos de Clase A y Clase B permiten el uso del servicio de forma semiautomática/automática.

3.4.2.2. Requisitos mínimos

La IMO impone unos requisitos mínimos del equipo según el área de operación de las embarcaciones. A su vez, es el estado al que pertenece cada embarcación, el encargado de regular el tipo de equipo que debe emplearse en cada caso. El equipo GMDSS requerido por la IMO en función del área de operación es:

- **Zona A1:**
 - Distancia: 20 – 50 millas náuticas de la costa (dentro del alcance de las estaciones costeras en VHF).
 - Banda, frecuencia: VHF, 156,525 MHz (DSC).
- **Zona A2:**
 - Distancia: 50 – 400 millas náuticas de la costa (dentro del alcance de las estaciones costeras en MF).
 - Bandas, frecuencias: MF y VHF, igual que zona A1 más 2.187,5 kHz (DSC), 2.182 kHz (radiotelefonía), 2.174,5 kHz (NBDP) y 518 kHz (NAVTEX).
- **Zona A3:**
 - Distancia: entre 70º N y 70º S, dentro del alcance satelital geoestacionario (INMARSAT).
 - Bandas, frecuencias: HF/satélite, MF y VHF, las mismas frecuencias que la zona A2 más todas las frecuencias HF o la banda de 1,5 a 1,6 GHz (INMARSAT).
- **Zona A4:**
 - Distancia: Al norte de 70º N y al sur de 70º S, más allá del alcance satelital geoestacionario (INMARSAT).
 - Bandas: MF, HF y VHF.

3.4.2.3. Tipos de llamadas

La ITU define dos tipos de llamadas con distintos niveles de prioridad y distintas frecuencias asignadas:

- **Socorro, seguridad y urgencia:** son las llamadas de máxima prioridad y disponen de frecuencias exclusivas para su transmisión. Van destinadas a todos los barcos que dispongan de un equipo DSC.
- **Rutina:** son llamadas de baja prioridad, y tienen tres tipos de destinatarios diferentes:
 - Un barco concreto o una única estación costera.
 - Un grupo de barcos con un interés común (misma compañía, mismo armador, etc.) dentro una zona geográfica.
 - Todos los barcos.

3.4.2.4. Aspectos frecuenciales

La ITU ha definido a nivel internacional un gran abanico de frecuencias reservadas para transmisiones DSC, que se extienden desde la banda MF hasta VHF y se clasifican según la finalidad de la llamada:

3.4.2.4.1. Transmisiones de socorro, seguridad y urgencia

Las frecuencias de la Tabla 8 son las designadas por la ITU para transmisión únicamente de llamadas de socorro, seguridad y urgencia. En ellas está prohibida la transmisión de señales de voz, así como de mensajes DSC que no correspondan a las categorías citadas. En este caso las comunicaciones son de tipo semi-dúplex.

El canal 70 de VHF alberga también las transmisiones con otros fines ya que es el único canal reservado para este fin en la banda VHF, pero mantiene la prohibición de transmitir señales de voz.

3.4.2.4.2. Transmisiones con otros fines

En la Tabla 9 se listan las frecuencias que la ITU asigna para transmisiones DSC de categoría “rutina”, aunque en caso de que las frecuencias de emergencia no estuviesen disponibles, también sería posible transmitir llamadas de socorro, urgencia y seguridad en estas frecuencias.

Las frecuencias que aparecen en la Tabla 9 se corresponden con frecuencias de transmisión, pudiendo realizarse la escucha en cualquiera de los canales. En la Figura 23 se puede observar una comunicación semi-dúplex entre dos barcos donde ambos transmiten y reciben en la misma frecuencia. La Figura 24 representa el caso en el que ambos emplean frecuencias distintas de escucha y envío, lo que permite una comunicación full-dúplex. Por último, la Figura 25 recoge una comunicación full-dúplex entre una estación costera y un barco.

Las frecuencias designadas por la ITU y listadas en las Tablas 8 y 9, son las frecuencias internacionales de primera elección para transmitir llamadas DSC, pero es preferible la transmisión de llamadas de rutina por los canales DSC nacionales si se conociesen.

MF	2.187,5 kHz
HF	4.207,5 kHz
	6.312 kHz
	8.414,5 kHz
	16.804,5 kHz
VHF	156,525 MHz (Canal 70)

Tabla 8: Frecuencias DSC internacionales para fines de socorro, seguridad y urgencias

	Estación barco	Estación costera
MF		455,5 kHz
	458,5 kHz	
	2.177 kHz (sólo entre barcos)	2.177 kHz
	2.189,5 kHz	
HF	4.208 kHz	4.219,5 kHz
	4.208,5 kHz	4.220 kHz
	4.209 kHz	4.220,5 kHz
	6.312,5 kHz	6.331 kHz
	6.313 kHz	6.331,5 kHz

	Estación barco	Estación costera
	6.313,5 kHz	6.332 kHz
	8.415 kHz	8.436,5 kHz
	8.415,5 kHz	8.437 kHz
	8.416 kHz	8.437,5 kHz
	12.577,5 kHz	12.657 kHz
	12.578 kHz	12.657,5 kHz
	12.578,5 kHz	12.658 kHz
HF	16.805 kHz	16.903 kHz
	16.805,5 kHz	16.903 kHz
	16.806 kHz	16.904 kHz
	18.898,5 kHz	19.703,5 kHz
	18.899 kHz	19.704 kHz
	18.899,5 kHz	19.704,5 kHz
	22.374,5 kHz	22.444 kHz
	22.375 kHz	22.444,5 kHz
	22.375,5 kHz	22.445 kHz
	25.208,5 kHz	26.121 kHz
	25.209 kHz	26.121,5 kHz
	25.209,5 kHz	26.122 kHz
VHF	165,525 MHz (Canal 70)	165,525 MHz (Canal 70)

Tabla 9: Frecuencias DSC internacionales para fines distintos de socorro, seguridad y urgencia

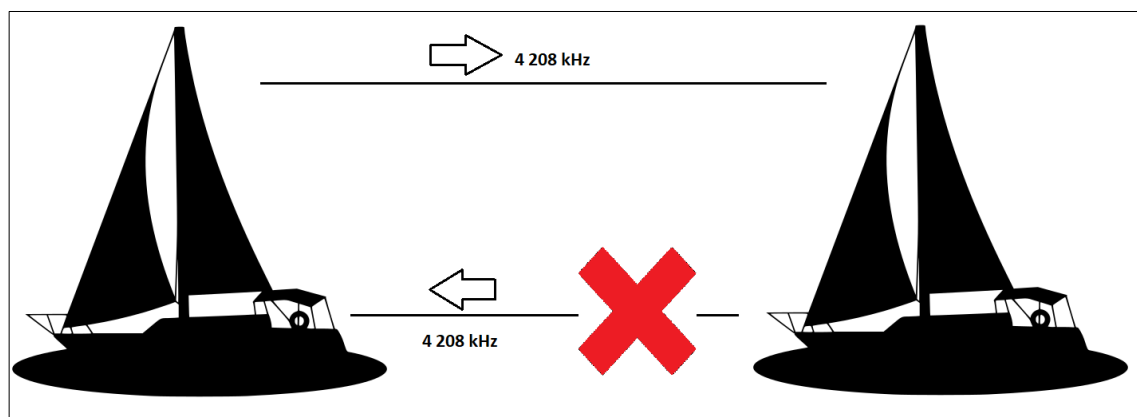


Figura 23: Comunicación DSC de rutina semi-dúplex entre dos barcos

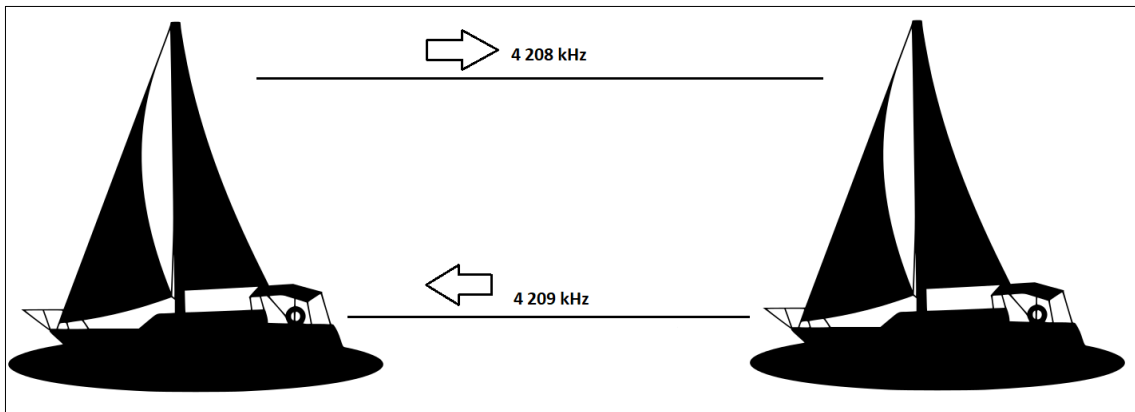


Figura 24: Comunicación DSC de rutina full-dúplex entre dos barcos

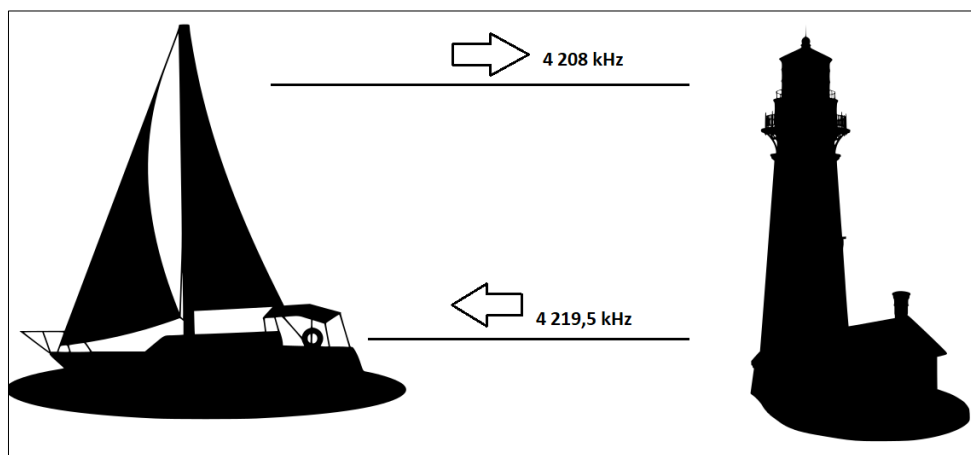


Figura 25: Comunicación DSC de rutina full-dúplex entre un barco y una estación costera

3.4.2.5. Bloques de la capa física

En este apartado se definen los bloques relacionados con la potencia, el ancho de banda y la modulación para el sistema DSC.

- **Potencia y ancho de banda:** el estándar DSC estipula que todos los equipos han de ofrecer la opción de transmitir las secuencias bien a bajo nivel, con una potencia transmitida de entre 0,1 y 1 W, o a nivel alto, con una potencia transmitida de entre 6 y 25 W. Esta posibilidad de elección es obligatoria para todos los canales, excepto el 70, donde se transmitirá siempre a nivel bajo.

En las bandas MF y HF, la canalización es de 500 Hz y el ancho de banda de la señal modulada con J2B es de 170 Hz. Por otra parte, en la banda VHF, la canalización de los servicios marítimos es de 25 kHz, aunque en ocasiones puede subdividirse en 12 kHz y el ancho de banda de la señal modulada con G2B es de 1,6 kHz. Como se observa, las transmisiones DSC, tanto en MF como HF y VHF son de banda estrecha.

- **Modulación:** el estándar DSC recoge en su documentación dos tipos de modulación según la banda de frecuencia que se emplee en la transmisión: F1B6, J2B para las bandas MF y HF y G2B para banda VHF.

3.4.2.6. Secuencias

Como se explicó en la descripción general, los mensajes se denominan llamadas, secuencias de llamada o simplemente secuencias. Cada secuencia está compuesta por una serie de elementos formados por uno o más caracteres. Un carácter es un conjunto de 10 bits que forman un código detector de errores.

El estándar DSC, además de la protección frente a errores proporcionada por el código detector de errores, proporciona diversidad temporal a cada carácter transmitiéndolo dos veces con una separación de cuatro caracteres entre ellos, lo que se corresponde a una diferencia temporal de 400 ms en las bandas MF y HF y 33,33 ms en la banda VHF.

Una secuencia DSC completa seguiría la estructura descrita en la Figura 26.

Serie de puntos	DX/RX Secuencia de puesta en fase	A Especificador de formato 2 caracteres idénticos	B Dirección del usuario llamado 5 caracteres	C Categoría 1 carácter	D Auto-identificación 5 caracteres
E Mensaje de telemando 2 caracteres	F Mensaje de frecuencia 3 caracteres	G Mensaje de frecuencia 3 caracteres	H Fin de secuencia 3 caracteres idénticos DX 1 carácter RX	I Carácter de comprobación de errores 1 carácter	

Figura 26: Formato técnico de una secuencia de llamada de rutina [30]

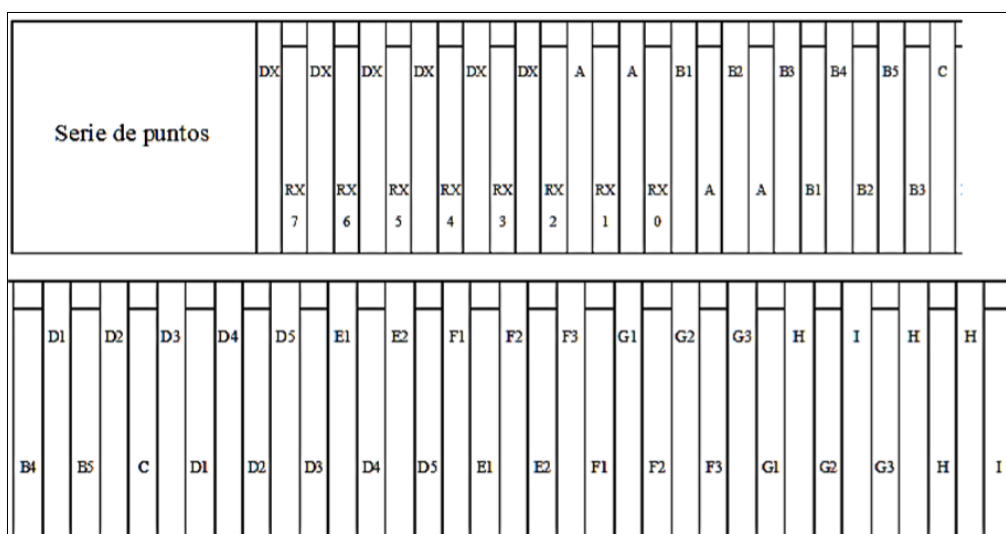


Figura 27: Secuencia de transmisión [30]

3.4.2.7. Mensajes DSC

Los mensajes que se incluyen en una secuencia de llamada DSC dependen del fin de la llamada. No varía únicamente el contenido de los mensajes, sino que también lo hace su número.

3.4.2.7.1. Alerta de socorro

La información de socorro está contenida en cuatro mensajes cuyo formato está especificado en la tabla 4.1 de [30].

Nº. de mensaje	Contenido
1	Indica la naturaleza del peligro codificada según la Tabla 3 de [30].
2	Indica las coordenadas del lugar de socorro. Las coordenadas se codifican con 10 dígitos, 5 caracteres, donde la primera cifra se corresponde con el cuadrante geográfico, las cuatro cifras que siguen con la latitud en grados y minutos y las cinco siguientes con la longitud en grados y minutos. Si se desconocen las coordenadas o si no se han actualizado en las últimas 23 horas y media, todas las cifras han de transmitirse como "9".
3	Indica la hora cuando las coordenadas eran válidas. Se codifica con 4 cifras, 2 caracteres, indicando con las dos primeras las horas en horas y con las otras dos la fracción de hora en minuto. En caso de no poder incluir la hora ha de completarse con la cifra "8" repetida cuatro veces.
4	Indica, en un único carácter según la Tabla 3 de [30], el tipo de comunicación preferido por la estación en peligro para posteriores intercambios de tráfico de socorro.

Tabla 10: Mensajes de una alerta de socorro

3.3.2.7.2. Retransmisiones de alertas de socorro, acuses de recibo de alertas de socorro y de retransmisiones de alertas de socorro

En estos casos la información de peligro se incluye en cinco mensajes descritos en las Tablas 4.2 a 4.4 de [30].

El primer mensaje es el MMSI del buque en peligro. Los cuatro mensajes siguientes son idénticos a los de la Tabla 10.

3.3.2.7.3. Otros tipos de llamadas

El resto de secuencias de llamada DSC incluyen tres mensajes, cuyos formatos se pueden consultar en las Tablas 4.5 a 4.10.2 y Figuras 2 y 3 de [30].

Nº. de mensaje	Contenido
1	Indica la información de telemando, que se compone de dos caracteres de telemando codificados según la Tabla 3 de [30]. Es posible transmitir uno, dos o ningún telemando.
2	Puede contener dos elementos de frecuencia o canal, de 3 caracteres cada uno, o la posición del barco, en 6 caracteres. Si el primer carácter es 55, los restantes 5 caracteres representan la posición del barco tal como se describió en el segundo mensaje de las llamadas de socorro. En caso contrario, si la primera cifra es '3', las cinco cifras siguientes indican un canal MF/HF, si es '9', las cinco cifras siguientes indican un canal VHF y, si es menor que '3', lo que se indica es la frecuencia en múltiplos de 100 Hz.
3	El tercer mensaje, cuando una estación de un barco inicia una llamada que requiere una conexión semiautomática o automática, contiene el número de teléfono al que se desea llamar.

Tabla 11: Mensajes para otros tipos de llamadas

3.3.2.7.4. Control de errores

Tal y como se ha especificado, el sistema DSC dispone de tres sistemas de protección: un código detector de errores, diversidad temporal y un carácter de comprobación de errores.

El estándar requiere el uso de toda esta información para la correcta decodificación de las secuencias, no pudiéndose realizar ninguna acción hasta haber decodificado el último carácter de la secuencia y comprobado la integridad de todos los datos.

3.4.3. Equipos comerciales

Son los estados los encargados de legislar qué equipos se exigen en cada caso y de homologar los equipos del mercado. En el caso de España, el organismo que realiza estas funciones es la DGMM.

Existen numerosos fabricantes de equipos de radio VHF que incorporan DSC, pero en su mayoría son de Clase D, homologados como "DSC non-SOLAS"¹¹ por la DGMM. Tan solo tres compañías fabrican equipos homologados como "DSC SOLAS": Furuno, J.R.C. y Thrane & Thrane. Estos fabricantes ofrecen tanto equipos VHF¹², como HF y MF¹³ homologados.

¹¹ Equipos DSC, pero que, según la DGMM, no cumplen con todas las características de GMDSS.

¹² Cuatro modelos que incluyen servicios de radioteléfono y DSC.

¹³ Nueve modelos: ocho incluyen radioteléfono, DSC y radiotélex; uno incluye sólo radioteléfono y DSC.



Figura 28: Ejemplo de radioteléfono semi-dúplex Furuno FM-8900S, extraído de [31]



Figura 29: Ejemplo de equipo J.R.C JSS-2150 sin radiotélex, extraído de [32]



Figura 30: Ejemplo de equipo Thrane & Thrane SAILOR TT-6310, extraído de [33]

3.5. Otros sistemas de comunicaciones

Así como ya se ha especificado en ocasiones anteriores, el objetivo de este libro es proporcionar una visión global acerca de las comunicaciones marítimas. Partiendo de esta base, se hace un recorrido temporal desde sus inicios, describiendo las primeras tecnologías surgidas en este dominio, pasando por la evolución y digitalización de las mismas, para finalmente introducir los nuevos sistemas que prevalecen en la actualidad. De esta manera, en los diferentes capítulos se hace hincapié en los sistemas de comunicaciones por voz surgidos para el ámbito marítimo, su evolución hacia AIS y DSC y la presentación de VDES e introducción del concepto de *e-Navigation*.

No obstante, existen muchos más sistemas de comunicaciones dentro del entorno marítimo y, pese a que no se van a describir todos ellos, conviene, al menos, hacer mención a alguno.

3.5.1. Inmarsat

Inmarsat es un sistema satélite móvil marítimo. Dicho sistema cuenta con una capacidad inherente, conocida como *SafetyNET*, que permite, a través de llamadas de grupo mejoradas (EGC), que los mensajes de difusión se hagan a grupos seleccionados de estaciones de barco ubicadas en cualquier lugar dentro del rango de cobertura satelital. Existen cuatro satélites geoestacionarios que proporcionan cobertura casi mundial para *SafetyNET*, con excepción de las regiones polares.

SafetyNET y NAVTEX son los principales medios de difusión de información sobre seguridad marítima. Los buques SOLAS que operan fuera de las zonas cubiertas por NAVTEX deben llevar un receptor *SafetyNET* Inmarsat.

3.5.2. Iridium

Iridium es una constelación de satélites no geoestacionarios diseñada para proveer servicios satelitales móviles con cobertura global. El objetivo del sistema consiste en proporcionar comunicación de voz y datos mediante dispositivos portátiles en áreas fuera de cobertura de los sistemas de comunicación tradicional (telefonía fija/móvil).

3.5.3. Thuraya

Thuraya es un sistema de satélites móviles geo-síncronos que proporciona acceso a los servicios satelitales y GSM desde un mismo teléfono. Como operador de comunicaciones, ofrece servicios de voz, fax y datos a una tasa de 9,6 kbps. Su cobertura no es mundial, cubre principalmente Europa, África del Norte y Central y todo Oriente Medio.

3.5.4. LRIT

LRIT es un esquema exigido por la IMO a través del cual todos los buques de pasajeros, mercantes y unidades móviles de perforación submarina que participan en viajes internacionales deben reportar su posición de forma regular (al menos cuatro veces al día) a su administración de banderas.

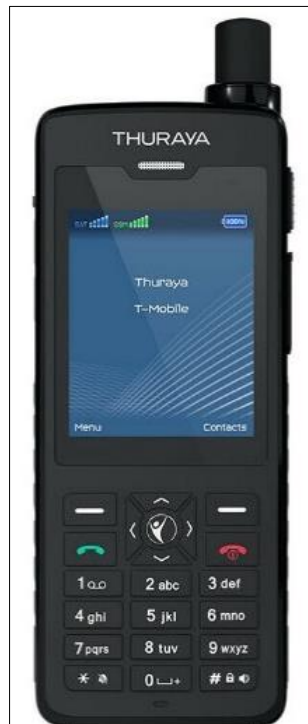
En general, las comunicaciones por satélite se utilizan como método de transmisión de estos reportes, que son recibidos y autenticados por un proveedor de servicios autorizado antes de ser enviados al centro de datos. Los datos del buque pueden aumentarse con información adicional por parte de las autoridades costeras. Otros estados pueden tener derecho a solicitar esta información a la administración de banderas.



Figura 31: Ejemplo de teléfono satélite Inmarsat IsatPhone 2, extraído de [34]



Figura 32: Ejemplo de teléfono satélite Iridium 9575 Extreme, extraído de [35]



**Figura 33: Ejemplo de teléfono satélite
Thuraya XT Pro, extraído de [36]**

4. Futuro: VDE y e-Navigation

4.1. Saturación de AIS y aparición de VDES

AIS es una tecnología muy importante, útil y efectiva como asistente a la navegación, pero no es apropiada para la transferencia de datos. Por ello, el creciente porcentaje de embarcaciones registradas junto con la inclusión de nuevas aplicaciones (AIS SART, AIS MOB, EPIRB AIS, AtoN, ASM, etc.) han dado lugar a un incremento significativo de la carga VDL en zonas de tránsito, lo que provoca la saturación y consiguiente degradación del sistema AIS y AIS satélite.

Pese a su éxito como servicio de apoyo a la seguridad y emergencias marítimas, el sistema AIS presenta una serie de inconvenientes que pretenden ser subsanados o mitigados con la introducción de un nuevo concepto tecnológico conocido como VDES. VDES mejorará sustancialmente las posibilidades de AIS, integrando nuevos canales, servicios AtoN y VTS, que podrán hacer frente al creciente número de nuevas aplicaciones.

A continuación, se citan dichos inconvenientes con el fin de poder tener una visión de las limitaciones de AIS que han motivado el nacimiento del sistema VDES:

- **Sobrecarga:** un estudio realizado por la ITU en 2013 revela que en ciertos lugares del mundo donde el tráfico marítimo es elevado se ha superado el umbral crítico [37] del 50% de carga para el modo de acceso SOTDMA [38]. En 2014 se han detectado cargas del 64 % en el Golfo de México y 40 % en Corea y Japón [39]. Este aumento en la carga del sistema corresponde al creciente número de estaciones AIS existentes, así como al aumento de los servicios integrados dentro del sistema, lo que intrínsecamente ya constituye una sobrecarga del mismo.

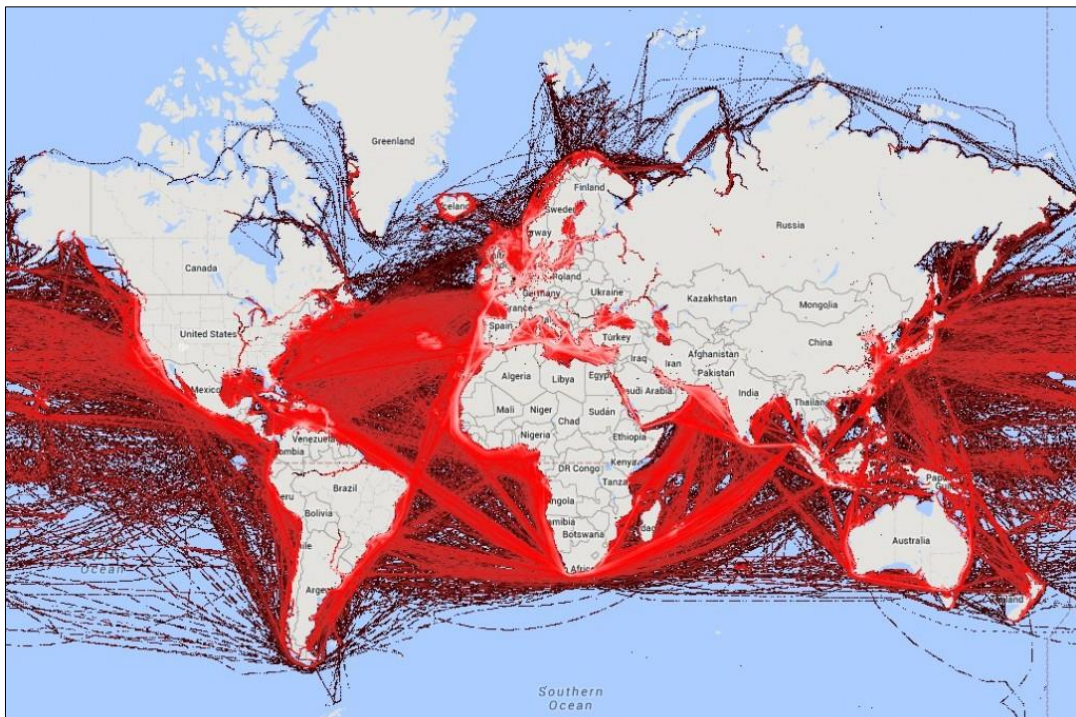


Figura 34: Tráfico global de buques con dispositivos AIS (2016) [40]

- **Seguridad:** como ya se ha comentado en apartadores anteriores, AIS es un sistema abierto, lo que significa que las emisiones no están codificadas y pueden ser recibidas (o generadas) por cualquier equipo que cumpla las especificaciones del sistema. Esto lo convierte en un sistema altamente vulnerable.
- **Tasa:** el sistema AIS, con una tasa de transmisión de 9,6 kbps, no fue concebido para dar soporte al envío de las cantidades de información que se demandan para las nuevas aplicaciones (por ejemplo, *e-Navigation*) en los servicios de radiocomunicaciones marítimas. Su propósito, que sigue prevaleciendo en la actualidad, es servir como medio de seguimiento de los navíos bajo SOLAS a nivel mundial, proporcionando informes de posición, avisos de alerta y seguridad y servicios SAR.

4.2. VDES

4.2.1. Introducción

El sistema de intercambio de datos en ondas métricas (*VHF Data Exchange System, VDES*) integra las funciones del intercambio de datos en ondas métricas (VDE), mensajes específicos de aplicación (ASM) y el sistema de identificación automática (AIS) en la banda de ondas métricas del servicio móvil marítimo (156,025 – 162,025 MHz). En la siguiente figura (Figura 35) puede verse su concepto de operación al completo.

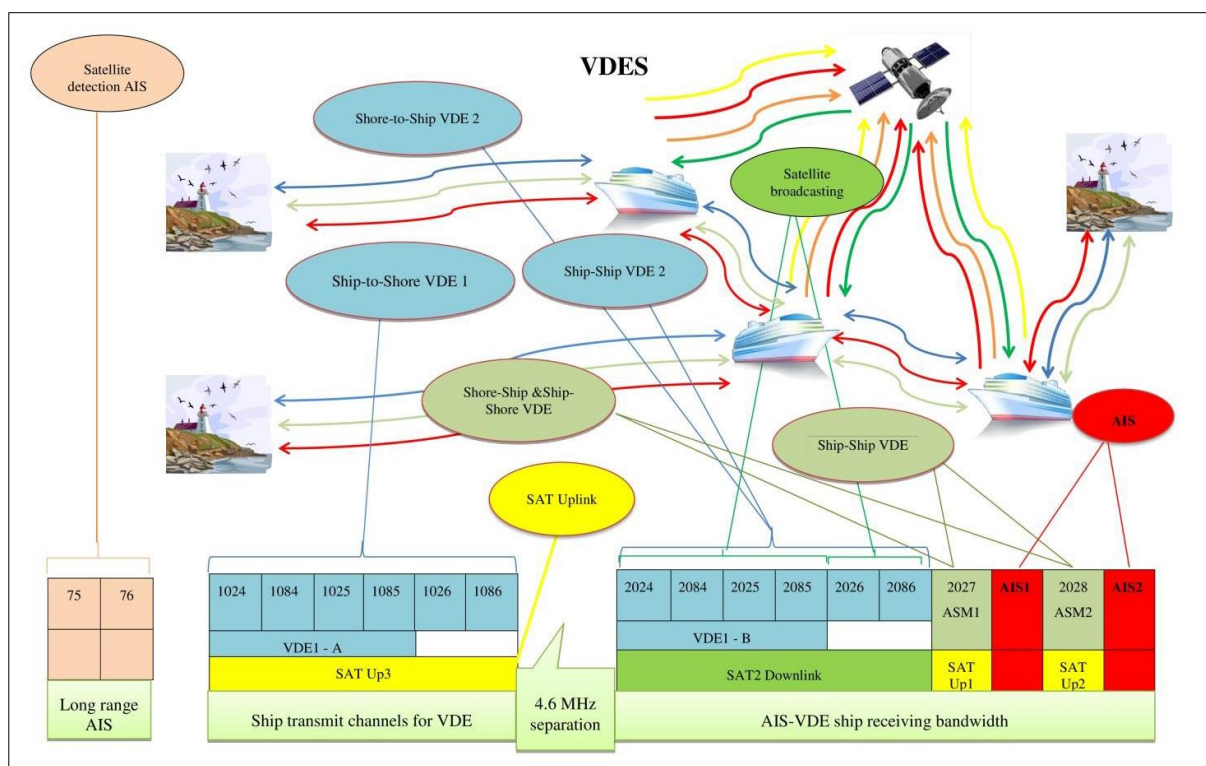


Figura 35: Concepto de operación del sistema VDES [39]

Para satisfacer la creciente necesidad de aumentar las capacidades y los usos del sistema AIS, VDES presenta soporte para:

- Intercambio de datos relacionados con seguridad, emergencia, mejora de la eficiencia y protección del medio ambiente.
- Interoperabilidad y disponibilidad global dedicada a las comunicaciones de seguridad marítima.
- *e-Navigation*.
- Enlaces de datos marítimos y modernización del servicio GMDSS, sin interferir en ningún caso con el DSC (Canal 70) ni las comunicaciones vocales de socorro, seguridad y llamada (Canal 16).
- Nuevas aplicaciones que no pueden ser desarrolladas sobre AIS.

En el aumento de capacidades arriba mencionado se engloban:

- Mayores tasas binarias soportadas, que permiten aumentar la cantidad de información transmitida.
- Incremento de su alcance operativo gracias a la definición de la componente satélite para sus servicios integrados.
- Descongestión del sistema AIS, descargándolo de la tarea de transmitir ciertos contenidos que pasan a ser competencia de otras componentes del sistema VDES, con la consiguiente protección de la prestación de servicios del mismo.
- Capacidad de integrar nuevos servicios y aplicaciones en el marco del sistema.
- Posibilidad de cifrar la información, aumentando de este modo la seguridad frente a ataques malintencionados.

El sistema VDES se encuentra todavía en fase de desarrollo e implementación, no estando definido actualmente el marco regulatorio necesario para la estandarización de su uso. En la Figura 36 puede verse un diagrama de tiempo referente al proceso de desenvolvimiento.

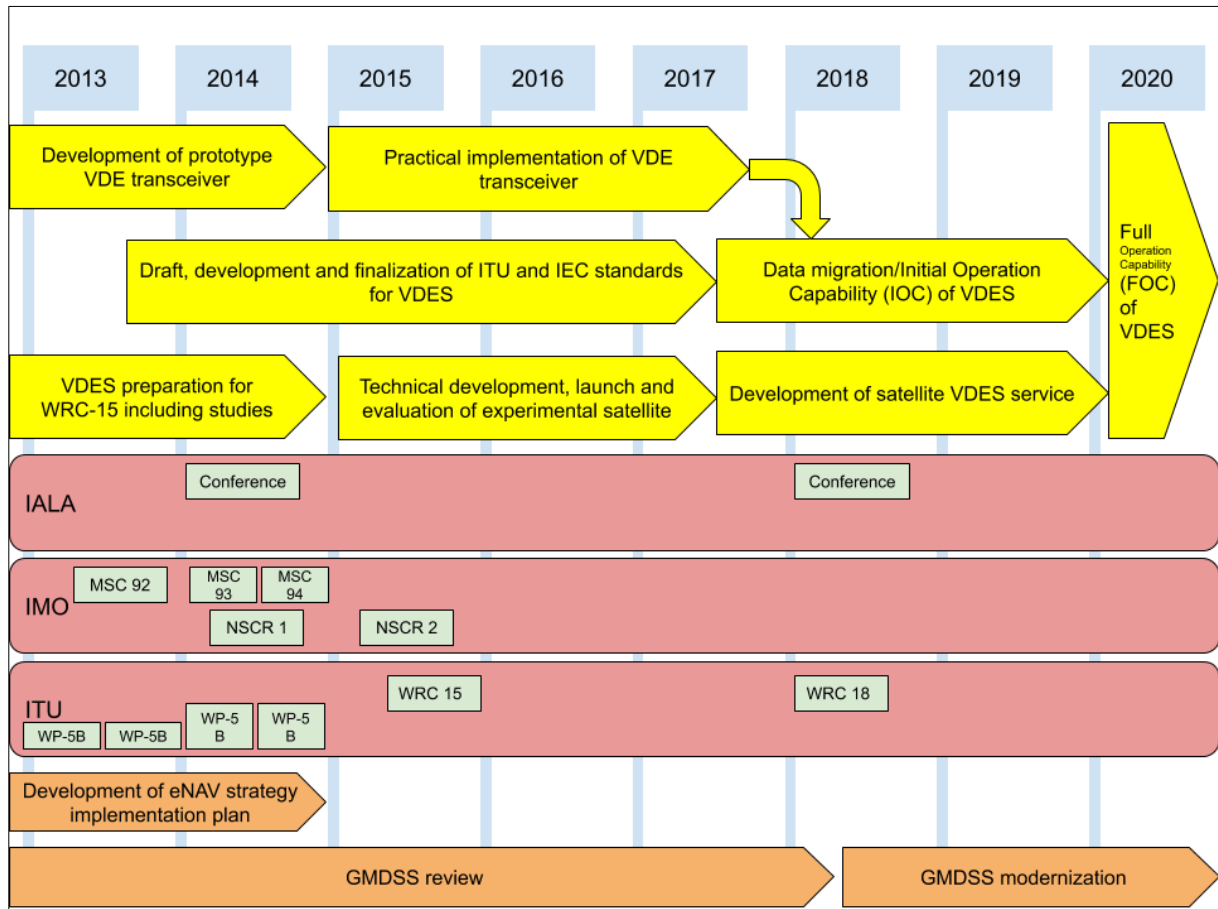


Figura 36: Timeline sobre el desarrollo del sistema VDES [39]

4.2.2. Descripción general del sistema

Se describen en los siguientes sub-apartados las generalidades y características del sistema VDES.

4.2.2.1. Requisitos

En el documento que define las características técnicas del sistema VDES [41] se detallan una serie de requisitos que deben cumplirse y que a continuación se listan:

- Debe asignar máxima prioridad a los informes de posición del sistema AIS y a toda información de seguridad relacionada.
- Debe ser capaz de recibir y procesar los mensajes digitales y las llamadas de interrogación definidas en la recomendación.
- Debe ser capaz de transmitir información adicional de seguridad cuando se le solicite.
- Después de ser instalado, debe ser capaz de funcionar ininterrumpidamente cuando el barco esté navegando, atracado o fondeado.
- Para los enlaces terrestres, debe emplear técnicas de acceso múltiple por división en tiempo (TDMA), sistemas de acceso y métodos de transmisión de forma sincronizada y conforme a la Recomendación.
- Debe poder operar en diversos modos, entre ellos en modo autónomo, en modo asignado y en modo interrogado.

- Debe poseer la flexibilidad necesaria para priorizar ciertas aplicaciones y, por ello, adaptar determinados parámetros de transmisión (para dotar a esta de mayor robustez o capacidad).
- Debe habilitarse un procedimiento automático de parada y alerta que actúe en caso de que el transmisor se quede transmitiendo durante más de dos segundos. Este procedimiento de parada debe ser independiente del control del software.

Así mismo, todas las estaciones VDES deben estar identificadas de forma exclusiva. Puede utilizarse un identificador numérico adecuado con fines de identificación, por ejemplo la identidad del servicio móvil marítimo (MMSI) definida en la versión más reciente de [42].

4.2.2.2. Servicios integrados

El sistema VDES puede descomponerse en tres subsistemas o servicios principales: VDE, ASM y AIS, todos ellos con segmento terrestre y satelital, aunque sólo en el caso de VDE este segmento es bidireccional. A continuación, se exponen las características más significativas de los tres subsistemas:

4.2.2.2.1. VDE

El servicio VDE (*VHF Data Exchange*) proporciona un enlace eficaz para la transferencia de datos. Gracias a su uso pueden incorporarse una serie de aplicaciones importantes para la comunidad marítima que el sistema AIS por sí solo no sería capaz de soportar. Debido a poseer una estructura diferente a los mensajes AIS y ASM, las tasas de transmisión ofrecidas por VDE son mayores que en los otros dos servicios.

- **VDE terrestre:** la transmisión de datos se lleva a cabo en la banda móvil marítima en ondas métricas (VHF) del espectro atribuido a las bandas VDE1-A y VDE1-B¹⁴. Además, dicho espectro puede utilizarse agrupado en canales de 25 kHz, 50 kHz o 100 kHz.

El alcance típico de un enlace VDE terrestre suele encontrarse entre 20 – 50 millas náuticas, ligeramente superior a las 25 – 40 millas de alcance que ofrece el sistema AIS.

Para transmisiones entre buques se establece el modo símplex, mientras que en transmisiones buque-costa y costa-buque se establece el modo dúplex, en el que se emplean las partes baja y alta del espectro asignado respectivamente y solo uno de los extremos transmite en un momento determinado (semi-dúplex).

Dentro de la componente terrena de VDE, es importante mencionar las estaciones de control. Dichas estaciones son estaciones base costeras que transmiten tablones de anuncios, en este caso terrestres (TBBs). Los tablones de anuncios permiten asignar los principales parámetros del entorno operativo al área de servicio de una estación de control. Esto incluye las frecuencias que se están utilizando y las dimensiones del área de servicio, entre otros detalles técnicos. Al monitorizar el TBB, las embarcaciones determinan si están dentro de un área de servicio de la estación de control.

¹⁴ VDE1-A constituye el conjunto de canales utilizados para comunicaciones costa-buque y buque-buque empleando el servicio VDE. Por su parte, VDE1-B es el conjunto de canales que se utilizan en las comunicaciones buque-costa, también haciendo uso del servicio VDE.

Las estaciones de control pueden transmitir un tablón de anuncios a través del área de servicio. El contenido del TBB se aplica únicamente a las embarcaciones que se encuentran dentro del área de la estación de control correspondiente.

Mientras las embarcaciones estén dentro de un área perteneciente a una estación, todas las transmisiones de sesión de datos entre buques deben efectuarse a través de la estación de control. Los buques fuera del área de servicio de la estación pueden comunicarse directamente. En este caso, se pueden emplear las recepciones de AIS para determinar si una embarcación está dentro del alcance.

Para proporcionar protección al entorno de comunicación, se autentica el TBB. La autenticación confirma que el TBB ha sido transmitido por una entidad de confianza.

Con el fin de incrementar la seguridad, se establece una infraestructura de clave pública (PKI) con la IMO como principal autoridad de certificación. La idea es adjuntar una firma digital al tablón de anuncios emitido por una estación de control para autenticar a la estación que emite el TBB. De esta forma, aumenta la protección y se establece una medida frente a posibles ataques malintencionados (*spoofing*, ataques de repetición, *man-in-the-water*, *fake CPA*, etc.).

Para ello, los buques necesitan contar con una unidad de PKI dedicada a su sistema de conexiones o construir la funcionalidad en el equipo VDES. Esta unidad proporciona servicios criptográficos a aplicaciones de red generales y de conexión, y necesita una tarjeta inteligente para el almacenamiento a prueba de manipulaciones de la red de seguridad.

En caso de que la verificación de la firma falle en la estación móvil de VDES, ésta será notificada al usuario. El sistema continuará con su funcionamiento como si se hubiera verificado la firma.

El algoritmo criptográfico para las firmas digitales de entidades finales es el algoritmo de firma digital de curvas elípticas (ECDSA). La clave pública será de 256 bits. Con este tamaño, las recomendaciones de la RFC 5480 indican que el número de bits de seguridad mínimo debe ser, al menos, 128.

La comunicación con una unidad PKI separada se basará en el protocolo de red.

- **VDE satelital:** el servicio VDE satelital proporciona un enlace de comunicaciones más allá del rango de una estación costera o en aquellos puntos en los que ésta no exista.

Soporta en su *downlink* la transferencia de datos multipaquete y *multicast*, y la transferencia por satélite de datos multipaquete y *unicast* con origen en tierra (estaciones costeras). En su *uplink* soporta la recopilación de información de las estaciones VDES y las comunicaciones buque-costa de largo alcance.

4.2.2.2.2. ASM

Los mensajes binarios 6, 7, 8, 12, 13, 14, 25 y 26, empleados por el sistema AIS para la transmisión de ASMs (*Application Specific Messages*), suponen una carga para éste [38] [39].

Los ASMs definidos en el Anexo 5 de [29] son mensajes binarios en los que el contenido está definido por la aplicación. Resultan pues un medio idóneo donde integrar nuevas aplicaciones que hagan uso de los mismos para transmitir información meteorológica, relativa a navegación, gestión de puertos, etc. Esto constituye también una amenaza para el sistema AIS, ya que nuevas aplicaciones sobrecargarían más el sistema. Por ello, se ha propuesto sacarlos de los canales AIS y realizar la asignación de los canales 2027 y 2028 (169,950 y 162,000 MHz) para su uso en el servicio ASM empleando una modulación diferente (n/4 QPSK) tanto en su componente terrena como satelital (*uplink*). Esta propuesta ha sido aceptada y en el año 2015 se ha incorporado al documento de la ITU que define las características técnicas del sistema VDES [41].

- **Modo de operación:** al igual que AIS, el servicio ASM debe ser capaz de recibir simultáneamente de dos canales en paralelo y transmitir de forma alterna en dos canales independientes.
- **Identificador de aplicación:** los mensajes binarios direccionados y difundidos deben contener un identificador de aplicación de 16 bits, estructurado como se indica en la Tabla 12.
- **Definición de mensajes funcionales (FM):** cada combinación única de identificación de aplicación (AI) y datos de aplicación dan lugar a un mensaje funcional. Los mensajes funcionales pueden ser de carácter internacional o regional. Dichos mensajes pueden consultarse en [29] y [43].

Bit	Descripción
15 – 6	Código de zona designada (DAC). Este código se basa en las cifras de identificación marítima (MID). '0' (prueba) y '1' (internacional) son excepciones. Aunque la longitud es de 10 bits, los códigos DAC iguales o mayores que 1 000 se reservan para uso futuro.
5 – 0	El significado debe ser determinado por la autoridad responsable de la zona dada en el código de zona designada.

Tabla 12: Definición del Identificador de Aplicación (AI) para mensajes binarios ASM [29]

4.2.2.2.3. AIS

Como es sabido, AIS es un sistema de comunicaciones *broadcast* que opera en la banda VHF asignada a los servicios marítimos móviles (156,025 – 162,025 MHz). Emplea un protocolo abierto para el intercambio de datos de navegación, en donde los esquemas de acceso al medio son variantes de TDMA.

Su incorporación dentro del sistema VDES no cambia en absoluto su propósito, únicamente sirve para disminuir su carga operativa y así poder realizar mejor la función para la que ha sido diseñado: el intercambio de información relacionada con la identificación de navíos, informes de posición y seguimiento de los mismos y soporte de salvamento y rescate.

Por su parte, el servicio de AIS por satélite es una tecnología que proporciona valor añadido a diferentes sectores: medioambiental, gestión de flotas, seguridad marítima, lucha contra la piratería, etc. Esto es posible al resultar una solución de bajo coste para las VTS.

4.2.2.3. Prioridad de servicios

El sistema VDES debe respetar y proteger la función original del sistema AIS. Sabiendo que durante las transmisiones las estaciones móviles VDES con una sola antena sufren una disminución de la sensibilidad del receptor, hay que cerciorarse de que la transmisión de AIS tenga la prioridad más alta. Teniendo esto en cuenta, se definen cuatro niveles de prioridad:

Prioridad	Tipo de mensajes
1	Mensajes críticos para la gestión del enlace.
2	Mensajes relacionados con la seguridad.
3	Mensajes de interrogación y respuesta.
4	Todos los demás mensajes

Tabla 13: Niveles de prioridad de servicios

Los mensajes serán atendidos por orden de prioridad tanto en transmisión como en recepción. Aquellos mensajes con igual prioridad se procesan en orden FIFO¹⁵.

4.2.2.4. Aspectos frecuenciales

En 2014, la IALA recomendaba en [44] el uso del Plan de Frecuencias A de [45], atendiendo a los requisitos técnicos que debe cumplir el sistema. Este plan de atribución de frecuencias asegura la coexistencia con VDES de servicios de voz VHF y DSC.

Para la operación del sistema, la ITU ha aprobado en su WRC-15 [46] (y posteriormente incorporada al RR y a la descripción técnica de VDES [41]) la asignación de frecuencias para el mismo dentro de la banda VHF marítima (156,025 – 162,025 MHz).

Actualmente las únicas frecuencias que no han sido asignadas (pero si propuestas y a falta de ser aprobadas por la WRC-19) corresponden con la componente satélite VDE.

En la Tabla 14 se expone la asignación de frecuencias a ser empleadas.

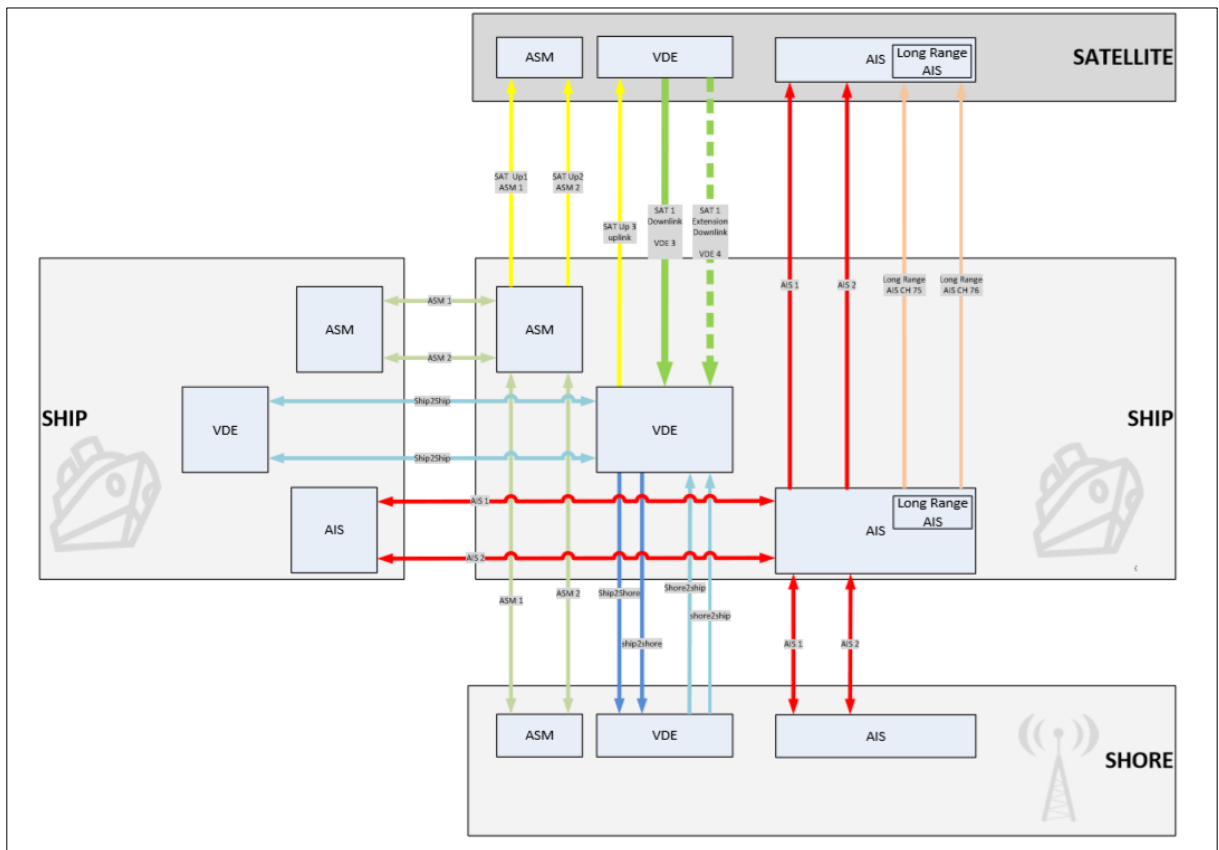
Dentro de la banda VHF marítima hay asignados tanto canales símplex como dúplex. Esto últimos están formados por dos frecuencias, una para transmisiones desde barcos (recepción por la estación costera) y otra para la transmisión desde la estación costera (recepción en barcos).

Componente	Canales
Terrena	AIS 1 (canal 2087) y AIS 2 (canal 2088) son canales empleados por el sistema AIS.
	ASM 1 (canal 2027) y ASM 2 (canal 2028) son los canales asignados para los mensajes específicos de la aplicación (ASM).
	VDE1-A (canales 1024, 1084, 1025 y 1085) ha sido asignado para comunicaciones de barcos hacia estaciones costeras empleando el servicio VDE.
	VDE1-B (canales 2024, 2084, 2025 y 2085) ha sido asignado para comunicaciones desde estaciones costeras a buques o entre buques (modo símplex) empleando el servicio VDE.

¹⁵ Para un orden FIFO, lo que primero entra al almacén debe ser aquello a lo que primero se dé salida.

Componente	Canales
Satélite	AIS 1 (canal 2087) y AIS 2 (canal 2088) son canales terrenales de AIS que pueden ser empleados también como <i>uplink</i> para la componente satélite de AIS.
	Los canales 75 y 76 han sido asignados como <i>uplink</i> del servicio AIS satélite.
	SAT Up1 (canal 2027) y SAT Up2 (canal 2028) han sido asignados como <i>uplink</i> del servicio ASM satélite (compartido con la componente terrena).
	SAT Up3 (canales 1024, 1084, 1025, 1085, 1026 y 1086) ha sido asignado como <i>uplink</i> del servicio VDE satélite.
	SAT Downlink (canales 2024, 2084, 2025, 2085, 2026 y 2086) ha sido asignado como <i>downlink</i> del servicio VDE satélite.

Tabla 14: Asignación de canales para los diferentes servicios en las componentes terrena y satelital



ship2shore & sat uplink							shore2ship & ship2ship & sat downlink					
1024 157.200	1084 157.225	1025 157.250	1085 157.275	1026 157.300	1086 157.325	4.45 MHz	2024 161.800	2084 161.825	2025 161.850	2085 161.875	2026 161.900	2086 161.925
VDE1-A							VDE1-B					
VDE-SAT uplink							VDE-SAT downlink					

ASM 1	AIS 1	ASM 2	AIS 2
2027	XXXX	2028	XXXX
161.950	161.975	162.200	162.025
SAT 1 Up		SAT 2 Up	

Figura 37: Diagrama de asignación de frecuencias del sistema VDES [41]

4.2.2.4.1. Modo de operación

Al activarse, la estación deberá explorar los canales TDMA durante un minuto para determinar:

- La actividad de los mismos.
- La identidad de los demás miembros participantes.
- Las asignaciones vigentes de intervalos, así como la posible existencia de estaciones costeras.

Durante ese período de tiempo se ha de establecer un directorio dinámico de todas las estaciones que funcionan en el sistema.

Debe crearse un mapa de la trama que refleje la actividad de los canales TDMA. Al cabo de un minuto la estación podrá estar disponible para transmitir mensajes de acuerdo con su propio programa.

Para el sistema VDES se definen tres modos de funcionamiento, dejando abierta la posibilidad de incluir modos adicionales (sin suprimir los tres definidos). Estos son:

- **Modo autónomo:** las estaciones que funcionen bajo este modo deberán establecer su propio programa de transmisión, resolviendo automáticamente los conflictos de programación eventuales con otras estaciones.
- **Modo asignado:** las estaciones en este modo deberán tener en cuenta el programa de transmisión del mensaje asignante al determinar cuándo se deben transmitir. En determinados escenarios la autoridad competente puede decidir que un dispositivo transmita bajo un patrón de transmisiones concreto, el cual se especifica a través de la estación base.
- **Modo interrogado:** las estaciones que funcionen en modo interrogado deberán responder de forma automática a los mensajes de interrogación. Este modo deberá ser interoperable con los demás modos en el sentido de que no deberá afectar al correcto funcionamiento de los mismos. A tener en cuenta el hecho de que la respuesta deberá transmitirse por el canal por el que se recibió el mensaje de interrogación y no por otro.

También se encuentra definido cuál debe ser el modo de funcionamiento por defecto (el autónomo) y es requisito que pueda conmutarse a otros modos desde estos.

4.2.2.5. Modos de acceso TDMA

4.2.2.5.1. Generalidades

El sistema VDES emplea modos de acceso TDMA con una duración para cada *slot* de 26,66 ms. Esto da lugar a 2.250 *slots* (una trama) por minuto y canal.

Estos modos de acceso funcionarán de manera continua y en paralelo, en el mismo enlace de datos físico. Todos ellos se atenderán a las reglas establecidas por TDMA y, como ya se ha mencionado en

ocasiones anteriores, los servicios VDE y ASM deberán otorgar prioridad al sistema AIS en el acceso al enlace de datos físico.

Los *slots* utilizados para la transmisión se escogen de forma aleatoria de entre un conjunto de *slots* especiales, denominados *slots* candidatos (Sección 3.2.4.8.2), pertenecientes al intervalo de selección (SI).

El intervalo de selección está constituido por una serie de *slots* y su duración se fija a 150 *slots* (4 segundos), formados principalmente por intervalos libres de los servicios AIS y ASM. El proceso de selección de intervalos candidatos deberá considerar, además, los períodos de tiempo reservados para la recepción del tablón de anuncios. Dichos intervalos se definen en [29] y sólo deben tomarse de la estación o estaciones más distantes del SI.

Debe haber, al menos, cuatro intervalos candidatos, para así poder elegir entre ellos. Si el conjunto de intervalos candidatos contiene menos de cuatro intervalos, podrán obtenerse candidatos adicionales aplicando las siguientes reglas en el orden en el que se especifican:

- **Regla 1:** intervalo disponible en un canal AIS y libre en todos los demás canales AIS y ASM.
- **Regla 2:** intervalo disponible en ambos canales AIS y libre en todos los canales ASM.

Al seleccionar candidatos para mensajes cuya longitud sea mayor de un intervalo, el candidato deberá ser el primer intervalo de un bloque consecutivo de intervalos que se ajusten a los criterios de selección indicados anteriormente.

Cuando la estación no pueda encontrar un número suficiente de candidatos, se abstendrá de transmitir y reprogramará la transmisión.

El objetivo de mantener un mínimo de cuatro intervalos candidatos con la misma probabilidad de ser utilizados para la transmisión es que la probabilidad de enlace sea alta.

VDES hereda los modos de acceso empleados por el sistema AIS.

4.2.2.5.2. AIS

Tal y como se ha explicado en la Sección 3.2.4.8, el método principal de acceso al medio en los dispositivos AIS de Clase A es SOTDMA. Los otros modos de acceso que interoperan con él son:

- RATDMA (*Random Access TDMA*).
- ITDMA (*Incremental TDMA*).
- FATDMA (*Fixed Access TDMA*).
- CSTDMA (*Carrier Sense TDMA*).
- *Modified SOTDMA*.

4.2.2.5.3. ASM

En ASM el acceso al medio se gestiona y controla mediante cuatro variantes del modo TDMA, a saber: ITDMA, RATDMA, SOTDMA y FATDMA.

4.2.2.5.4. VDE

El servicio VDE presenta los siguientes esquemas de acceso al medio en función del servicio ofrecido:

- **Comunicaciones buque-costa y costa-buque:** reserva mediante ITDMA desde ASM.

- **Comunicaciones buque-buque:** inicialmente CSTDMA (primera transmisión en una trama) y posteriormente ITDMA.
- **Downlink VDE-SAT:** FDMA (canales 2026 y 2086) o TDMA (FATDMA, CSTDMA y AMDTI).
- **Uplink VDE-SAT:** FDMA o TDMA.

Cabe recordar que las transmisiones VDE no deben exceder los cinco intervalos contiguos.

4.2.3. Características técnicas

A lo largo de esta sección y sus correspondientes sub-secciones se tratan, *grosso modo*, diferentes aspectos de carácter técnico referidos a las componentes VDE, ASM y AIS tanto terrestres como satelitales. Para una descripción más profunda, se recomienda consultar [41].

4.2.3.1. Generalidades

En este apartado se definen una serie de características que deben cumplirse para todas las componentes, tanto terrenas como satelitales, del sistema VDES.

4.2.3.1.1. Modelo OSI

De acuerdo con el documento definido en [41], el sistema VDES debe utilizar las capas 1 a 4 de la interconexión de sistemas abiertos (capas física, de enlace, de red y de transporte) ilustradas en la Tabla 15.

Capa de aplicación
Capa de presentación
Capa de sesión
Capa de transporte
Capa de red
Capa de enlace
Capa física

Tabla 15: Modelo OSI de siete capas [41]

- **Capa física:** en esta capa se realiza la transmisión y recepción de los trenes de bits no procesados sobre el medio físico; así como la modulación de la señal, su filtro previo a la transmisión y la amplificación, filtrado, sincronización, demodulación y decodificación tras la recepción.
- **Capa de enlace:** garantiza la transmisión fiable de las tramas de datos entre barcos, entre éstos y tierra y entre éstos y los satélites.
- **Capa de red:** esta capa se encarga de gestionar la prioridad de los mensajes, distribuir los paquetes de transmisión entre canales y resolver la congestión del enlace de datos.
- **Capa de transporte:** garantiza la transmisión fiable de los segmentos de datos entre los barcos, entre éstos y tierra y entre éstos y los satélites, incluida su segmentación, el acuse de recibo y la multiplexación. Para el servicio VDE, ésta debe soportar los protocolos de Internet existentes, entre ellos: TCP, UDP, SNMP, el protocolo de transferencia segura de ficheros (SFTP) y el protocolo de transferencia de correo simple (SMTP).
- **Capa de presentación:** para los transceptores VDES los datos pueden introducirse a través de la interfaz de presentación para que los transmita la estación VDES. Los datos recibidos por la estación VDES deberán salir a través de la interfaz de presentación. Los formatos y protocolo empleados para el flujo de datos a presentar en la interfaz de presentación están definidos en las series IEC 61162.

4.2.3.1.2. Canales

El sistema VDES emplea varios canales para transportar los datos. Estos canales están diferenciados en canales físicos y lógicos.

Los canales físicos (PC) se definen por su frecuencia central y ancho de banda. Los canales lógicos (LC) se clasifican en canales de señalización y canales de tráfico, y se describen en los sub-apartados de esta sección.

La frecuencia central predeterminada del canal físico está situada en el centro de cada tramo VDE1 (157,2375 – 161,8375 MHz) y el ancho de banda predeterminado se establece en 100 kHz.

Las definiciones de los canales lógicos pueden formularse a partir del canal físico y de la información del tiempo del mensaje (jerarquía de tramas, tiempo de comienzo, etc).

Un *slotmap* define el canal lógico de todos los *slots* en una trama. Cada canal físico de VDES tendrá un *slotmap* definido. Al monitorizar el TBB, los barcos determinan si están dentro del área de servicio de la estación de control y adoptan el canal físico y el *slotmap* del tablón de anuncios. En ausencia de dicho tablón de anuncios, se adoptarán el canal físico y el *slotmap* predeterminados.

Para el caso en el que el buque se encuentra fuera del área de servicio de la estación de control, el barco receptor debe ser capaz de asignar un canal lógico a otro barco después de la recepción de un mensaje de solicitud de recursos. La asignación del LC se debe hacer seleccionando aleatoriamente un canal libre del mapa de uso de los canales lógicos.

Los canales lógicos predeterminados para las fases inferior y superior de VDE se definen como se muestra en las siguientes Figuras:

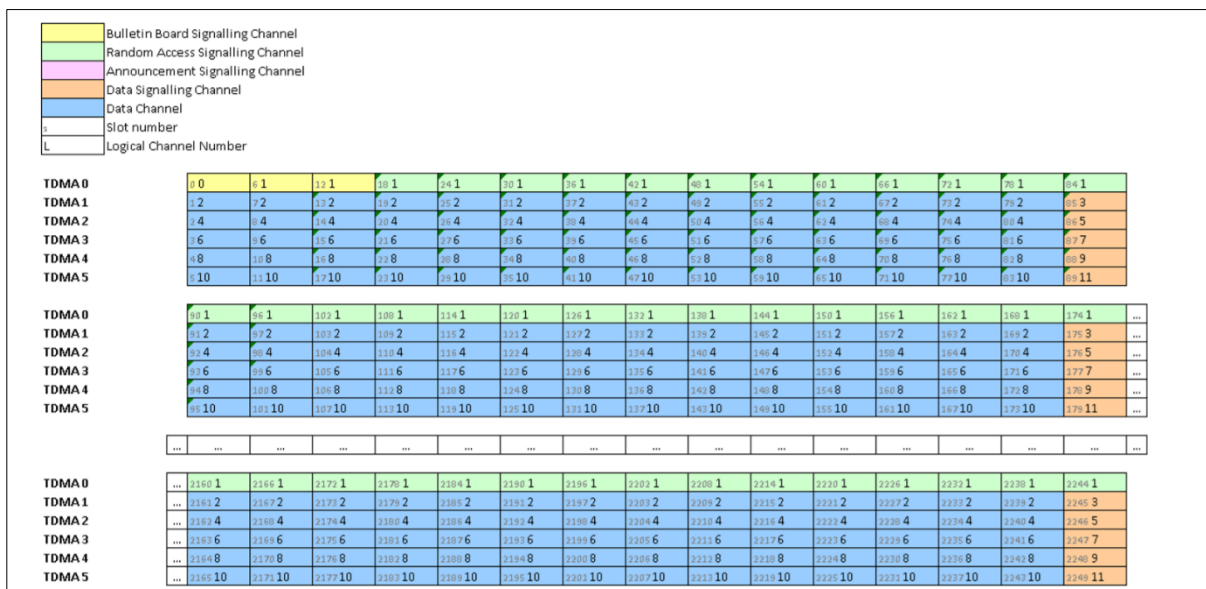


Figura 38: Slot predeterminado en el caso buque-costa para el mapeado de canales lógicos en la etapa descendente

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
TDMA 0	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
TDMA 1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100			
TDMA 2	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100					
TDMA 3	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100							
TDMA 4	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100									
TDMA 5	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100											

Figura 39: Slot predeterminado en el caso buque-buque para el mapeado de canales lógicos en la etapa descendente

4.2.3.1.2.1. Canales de señalización

Todos los canales de señalización utilizan el esquema de modulación y codificación más robusto.

- **Canal de señalización del tablón de anuncios terrestre (TBBSC):** cada estación costera VDE debe emplear un canal lógico fijo para el TBB.

Todos los canales lógicos TBB se basan en una de varias estructuras predefinidas de la jerarquía de tramas del canal físico costa-buque de 50 kHz (2024 y 2084 combinados). Los canales se definen de forma que sólo ocupen una porción de la trama para permitir la posibilidad de que se compartan recursos de espectro y tiempo con satélites.

El TBB define los parámetros de configuración de la red tales como los canales de señalización (canales de control) y el canal o canales de datos, las versiones del protocolo y la futura configuración de la red.

El TBB tiene prioridad en la atribución de los recursos (canal lógico) de espectro. Esto puede coordinarse con el canal de señalización del tablón de anuncios de satélite para facilitar la compartición de recursos de espectro mutuos.

La información del TBB comprende las zonas de aplicabilidad. El TBB cambia poco y debe transmitirse a intervalos periódicos.

Los canales lógicos suelen repetirse tomando como base la jerarquía de tramas VDES. La utilización de canales terrenales VDE para la zona de servicio de la estación costera VDE se define el TBB.

- **Canal de señalización del tablón de anuncios (BBSC):** el BB define los parámetros de configuración de la red tales como los canales de señalización (canales de control) y el canal o canales de datos, las versiones de protocolo y la futura configuración de la red. También se facilitan los parámetros del satélite, el ID de red e información sobre otros satélites y redes.

El BBSC debe ser transmitido una vez cada minuto en los canales específicos de VDE-SAT *downlink* (canales 2046 y 2086), empezando en el *slot* '0 y con una duración de 90 *slots* (2,4 segundos).

Para un satélite LEO, basta con recibir el tablón de anuncios una vez por paso y, para la mayoría de los pasos, con repetirlo una vez por minuto es suficiente.

El BB completo puede ser repetido cada cierto número de tramas. La información esencial del BB debe ser repetida en cada trama (cada 60 segundos).

El receptor del barco debe ser capaz de recibir BBs de hasta ocho satélites diferentes. Para ello, se debe utilizar un esquema CDMA a fin de permitir que diferentes satélites con coberturas solapadas transmitan sus BBs al mismo tiempo.

La estructura del BBSC puede consultarse en el apartado 3.8.1 de [41].

- **Canal de señalización de anuncios (ASC):** este canal suele transportar anuncios, información de la MAC, atribución de recursos VDE de ida y vuelta, CQI, ARQ y ACK.

Los anuncios también comprenden la coordinación de los datagramas (de difusión) de unidifusión y multidifusión.

Se definen, del mismo modo que el TBB, para que ocupen únicamente una porción de la trama, permitiendo así la multiplexación de espectro y tiempo con los satélites.

La información de la MAC comprende los cambios de versión de la red, el control de la congestión (intervalo de aleatorización –espera- y nivel mínimo de prioridad).

El ASC define la utilización del canal físico (canal lógico, frecuencia e intervalo) para un barco individual tras una petición de recurso.

La estación costera VDE utiliza la información del CQI del terminal del barco para seleccionar el formato de caudal máximo con un margen de enlace adecuado.

- **Canal de petición de recurso de acceso aleatorio (RQSC):** las embarcaciones utilizan este canal para acceder a la red. La selección del tiempo de transmisión a partir de los intervalos atribuidos al canal en el tablón de anuncios es aleatoria.

El canal para anuncios del *downlink* proporciona parámetros de control de congestión, como el intervalo de reintento y la prioridad de los mensajes.

- **Canal de respuesta a anuncios (ARSC):** los barcos utilizan este canal para informar al satélite de que están preparados para recibir el mensaje.
- **Canal de acuse de recibo (ACK):** los barcos utilizan este canal para informar al satélite de que se ha recibido correctamente el mensaje (correspondencia CRC).
- **Canal de señalización de petición automática de repetición (ARQSC):** las embarcaciones utilizan este canal para informar al satélite de que no se ha recibido correctamente un mensaje (fallo CRC). Pueden solicitar que se vuelva a transmitir todo el mensaje o hasta cuatro fragmentos.

4.2.3.1.2.2. Canales de tráfico.

Los canales de tráfico pueden utilizar una combinación de esquemas de modulación y codificación robustos y de velocidad binaria superior.

- **Canal de tráfico *multicast* (MDC):** este canal de tráfico se utiliza para enviar mensajes con destino a un gran número de barcos. Por defecto, los mensajes *multicast* se dirigen a todas las estaciones, es decir, son de difusión.
- **Canal de tráfico *unicast* (UDC):** este canal se atribuye a un barco específico mientras dura el datagrama *unicast*. Se establece tras la respuesta de un barco a un anuncio, cuando la respuesta incluya la información de la calidad del canal recibido (CQI), permitiendo que la estación costera maximice al caudal.
- **Canal de mensajería breve y acceso aleatorio (RADC):** este canal se emplea para los mensajes breves que caben en una única transmisión.

El envío terrenal puede requerir hasta 254 bytes, y cada barco utiliza, en consecuencia, una tabla de consulta de 2 bytes en la estación terrena costera para la traducción de direcciones.

- **Canal asignado a la transferencia de datos (ADDC):** el satélite asigna este canal después de una solicitud de recurso procedente de un barco. Está pensado para mensajes más largos y optimizado para alcanzar un caudal mayor.

4.2.3.1.2.3. Mixtos.

Estos canales lógicos son distintos de los canales lógicos del TBB.

- **Canal de acceso aleatorio (RAC):** este canal tiene las características de un canal Aloha ranurado, utiliza un esquema de acceso aleatorio y se selecciona de una lista predefinida de canales lógicos.

En comunicaciones entre costa y buque, la estación de barco utiliza este canal para acceder a la red o enviar un mensaje corto.

En comunicaciones entre buques, cuando éstos se encuentran fuera de la zona de control de una estación costera VDE, la estación de buque utiliza estos canales para comunicarse

directamente con otras estaciones de buque mediante mensajes cortos y coordinar la comunicación con otros buques para mensajes más largos.

Estos canales lógicos se basan en varias estructuras predefinidas de la jerarquía de tramas de los canales físicos empleados en comunicaciones buque-buque (2024 y 2084 combinados).

Los canales de acceso aleatorio para comunicaciones entre barcos deben tener asignaciones fijas de canales físicos y emplear el esquema de modulación y codificación más robusto.

4.2.3.1.3. Jerarquía de trama

El sistema VDES utiliza el concepto de trama de la recomendación ITU-R M.1371. Una trama es igual a un minuto y se divide en 2 250 intervalos.

Por defecto, el acceso al enlace de datos se da al comienzo de un intervalo. El inicio y el fin de una trama coinciden con la señal de minuto UTC. Cada trama tiene una duración de 2.250 *slots* (o lo que es lo mismo, 60 segundos).

Todos los transmisores VDES deben sincronizarse con esta estructura de trama común y utilizar idéntico direccionamiento de los componentes de la trama, de modo que cada intervalo pueda identificarse inequívocamente por trama.

La trama '0' comienza en 00:00:00 UTC y hay 1.440 tramas distintas en un día. Se debe tener en cuenta el efecto de los segundos intercalares a fin de evitar la propagación de errores.

Los componentes de la trama pueden dividirse en diversos niveles, en un formato que se define a continuación:

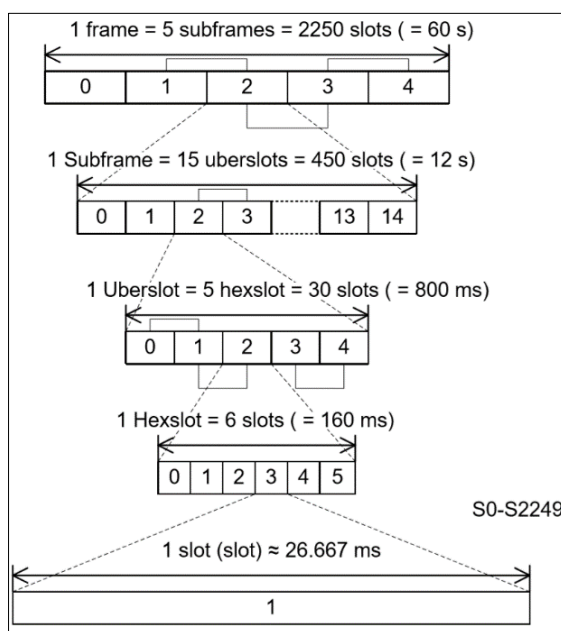


Figura 40: Jerarquía de tramas para uso compartido de frecuencia [41]

4.2.3.2. VDE

A lo largo de los siguientes subapartados se particularizan las características técnicas de VDE.

4.2.3.2.1. Terrestre

En cuanto a los parámetros de transmisión, se listan a continuación los puntos más relevantes:

- Pueden utilizarse para el servicio VDE antenas como las ya existentes a bordo de numerosos barcos hoy en día, pero se necesita que posean una ganancia mínima a la entrada del receptor de 3 dBi a 0 grados de elevación.
- El sistema VDE puede compartir antena con otros subsistemas (AIS, ASM, VDE-SAT) siempre y cuando se respete la protección del sistema AIS.
- La EIRP mínima en función del ángulo de elevación se define en la Tabla 16 y se basa en un transmisor lineal que satisface los niveles máximos de interferencia de canal adyacente. Para el funcionamiento en condiciones de elevación, la EIRP deberá ser 3 dB mayor.
- Una estación transmisora VDE debe presentar un error en frecuencia no mayor de 3 ppm para una potencia de transmisión comprendida entre 1 y 25 W ($\pm 1,5$ dB normal, $+2/-6$ dB extrema).
- La máscara espectral que se ha de respetar varía en función del ancho de canal a considerar y puede verse en la Figura 41.
- Para el caso de las emisiones espurias, estas deben respetar las especificaciones de la Tabla 17.
- Los niveles de sensibilidad y relación portadora/interferencia para el servicio VDE varían en función del esquema de modulación y codificación empleado. Pueden consultarse en la Tabla 18.
- Las tasas de transmisión ofrecidas varían entre 38,4 – 307,2 kbps en función de la modulación y el ancho de canal empleados.
- La tasa de símbolo debe poseer una variación menor que 5 ppm en su temporización y una fluctuación de fase inferior al 5% de pico.
- La precisión en la transmisión del intervalo de salida debe ser inferior a 100 μ s de pico relativos al tiempo de referencia UTC para la estación de barco e inferior a 50 μ s para la estación costera.
- Los modos de funcionamiento que se deben emplear son: simplex para comunicaciones buque-buque y dúplex para comunicaciones costa-buque y buque-costa.
- El servicio debe emplear técnicas de acceso TDMA de forma sincronizada.
- Las estaciones costeras deben transmitir un mensaje de tablón de anuncios terrenal (TBB) que defina la configuración de los canales VDE.

Ángulo de elevación del barco	Ganancia de la antena embarcada	EIRP mínima en barco con transmisor de 6 W.
Grados	dBi	dBW
0	3	10,8
10	3	10,8
20	2,5	10,3
30	1	8,8

Ángulo de elevación del barco	Ganancia de la antena embarcada	EIRP mínima en barco con transmisor de 6 W.
40	0	7,8
50	-1,5	6,3
60	-3	4,8
70	-4	3,8
80	-10	-2,2
90	-20	-12,2

Tabla 16: EIRP mínima del transmisor embarcado en función del ángulo de elevación [41]

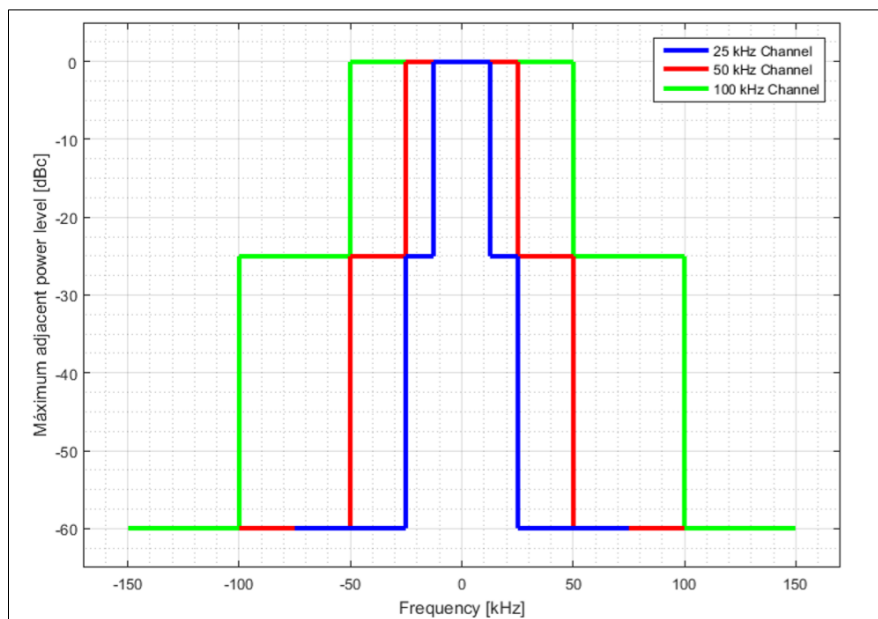


Figura 41: Niveles máximos de potencia en el canal adyacente del servicio VDE

Requisito	Condición
Inferiores a -36 dBm	9 kHz – 1 GHz
Inferiores a -30 dBm	1 GHz – 4 GHz

Tabla 17: Requisitos sobre las emisiones espurias del servicio VDE

Esquema de modulación y codificación	25 kHz		50 kHz		100 kHz	
	Sensibilidad (dBm)	CIR (dB)	Sensibilidad (dBm)	CIR (dB)	Sensibilidad (dBm)	CIR (dB)
MCS – 1*	-110	8	-107	8	-104	8
MCS – 3*	-104	14	-101	14	-98	14
MCS – 5*	-102	16	-99	16	-96	16

Tabla 18: Sensibilidad y relación portadora/interferencia para el servicio VDE [41]

La estructura de trama del servicio VDE se ilustra en la Figura 42.

Con respecto a la modulación, la componente terrestre de VDE se modula de acuerdo a diversos MCS (*Modulation and Coding Schemes*) mediante los cuales es posible modificar las velocidades brutas de caudal de canal, así como la robustez de las transmisiones frente a errores. En la actualidad se han definido completamente tres MCS y trece más se han reservado para su uso en el futuro. Para mayor detalle acerca de los esquemas de modulación, véase [41]. Los mapas de bits de las modulaciones empleadas se definen en la Figura 43. Para n/4 QPSK, la fase de cada una de las transmisiones subsiguientes se gira n/4.

La adaptación de la tasa de código se obtiene perforando la salida del codificador siguiendo el procedimiento descrito en la Cláusula 5.3.1 de [47].

Las características del barajador pueden encontrarse detalladas en [41].

Se emplea un código de redundancia cíclica CRC 0X04C111DB7 del polinomio de 32 bits de [48] y se calcula para todos los fragmentos del datagrama.

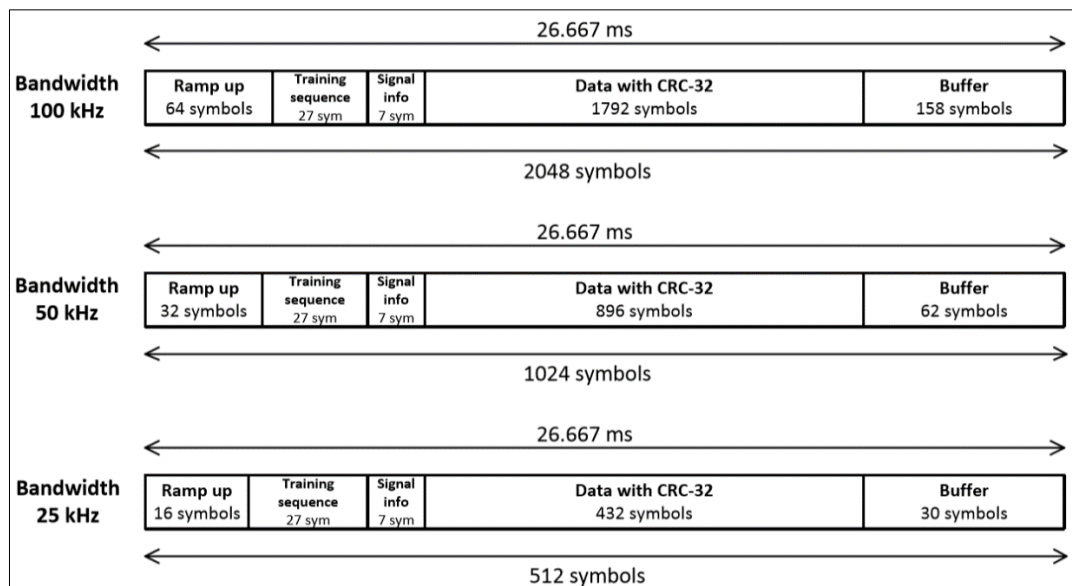


Figura 42: Estructura de trama para el servicio VDE [41]

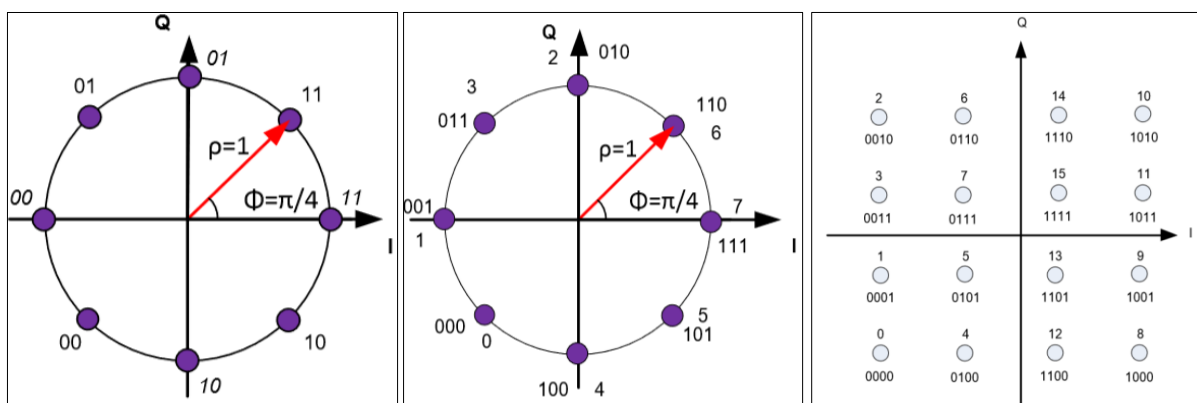


Figura 43: Bit mapping para n/4 QPSK, 8-PSK y 16-QAM [41]

4.2.3.2.2. Satélite

La máscara de emisión, las características de la antena embarcada y las potencias de transmisión del servicio VDE-SAT coinciden con las definidas para la componente terrestre de VDE. Lo mismo sucede con la corrección de errores en recepción y el código de redundancia cíclica. Sin embargo, no existe información acerca de la aplicación de adaptación de la tasa de código.

Para la componente VDE satélite, al igual que para las otras componentes satélite de VDES, se considera el uso de satélites LEO. La distancia mínima de trayecto de la señal será pues igual a la altura de la órbita (suponiendo al satélite en la vertical del transceptor). Para un satélite LEO la distancia mínima será de 600 kilómetros. Este valor se emplea para determinar el retardo de propagación mínimo. Tomando una distancia máxima de 3 000 kilómetros, el retardo de trayecto oscilará entre 2 y 10 ms, es decir, existirá una variación de 8 ms.

El sistema puede ser configurado para satélites semi-dúplex o full-dúplex.

Además de los retardos relativos debidos a la propagación de la señal satélite, puede haber un retardo absoluto debido a otras causas, como el retardo de procesamiento de la señal.

El error de frecuencia en la comunicación, definido como la suma de los errores de frecuencia en transmisión, el efecto Doppler y la incertidumbre de frecuencia en el receptor, debe ser inferior a 1 ppm, es decir, ± 160 Hz.

Para el *downlink*, la EIRP máxima del satélite en función del ángulo del barco debe ser:

Ángulo de elevación del barco, θ (grados)	Densidad de flujo de potencia en tierra (dBW/m ² /4 kHz)	Distancia al satélite (kilómetros)	Máxima EIRP del satélite en enlace descendente (dBW en 25 kHz)
0	-149	2 831	-1
10	-147,4	1 932	-2,7
20	-145,8	1 392	-4
30	-144,2	1 075	-4,6
40	-142,6	882	-4,7
50	-139,4	761	-2,8
60	-134	683	1,6
70	-133	635	2
80	-132	608	2,6
90	-131	600	3,5

Tabla 19: EIRP máxima del satélite en función del ángulo de elevación del barco para la componente VDE-SAT [41]

La zona de cobertura y el tiempo de visibilidad del satélite serán mayores cuando el ángulo de elevación sea bajo. La cobertura para ángulos de elevación grandes podrá sacrificarse sin una pérdida de capacidad significativa del sistema.

En [41] se han analizado dos tipos de antena satelital: *Yagi* e *Isoflux*. En el citado documento se profundiza en las características de las mismas.

La jerarquía de tramas para el servicio VDE satélite es idéntica y está sincronizada con el resto de componentes del sistema VDES mediante el tiempo UTC en la superficie de la Tierra (al igual que AIS).

Las técnicas de modulación empleadas son diferentes en el *uplink* y en el *downlink*.

Se considera un barajador de canal de bloque a fin de reducir las consecuencias del bloqueo corto de canal debido, por ejemplo, a la transmisión AIS del buque o a eventos de desvanecimiento rápido. El barajador se aplica a las palabras código en la salida del codificador.

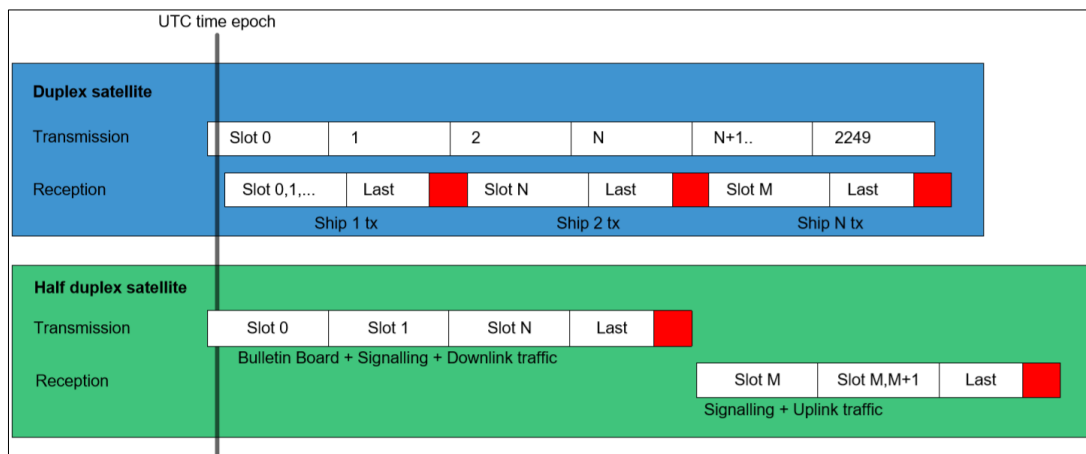


Figura 44: Funcionamiento del servicio sobre satélite full-dúplex y semi-dúplex [41]

	Tipo de modulación
Uplink	QPSK y OQPSK con codificación Gray
	8-PSK con codificación Gray
	16-APSK
	Dispersión de espectro con envolvente constante
Downlink	BPSK
	QPSK con codificación Gray
	8-PSK con codificación Gray
	16-APSK

Tabla 20: Modulaciones disponibles en el uplink y en el downlink de VDE-SAT [41]

4.2.3.3. ASM

A lo largo de los siguientes subapartados se particularizan las características técnicas de ASM.

4.2.3.3.1. Terrestre

Los puntos más relevantes relativos a los parámetros de transmisión son los siguientes:

- El servicio ASM puede compartir antena con otros (AIS, VDE y VDE-SAT), teniendo en cuenta las restricciones sobre la misma.
- El servicio ASM requiere cumplir la máscara de emisión que se muestra en la Figura 45, con una potencia de salida comprendida entre 1 y 12,5 W con una tolerancia de $\pm 1,5$ dB.

- Del mismo modo ocurre con parámetros como la potencia de salida del transmisor, la tolerancia o la sensibilidad del receptor. Todos estos datos pueden consultarse en [41].

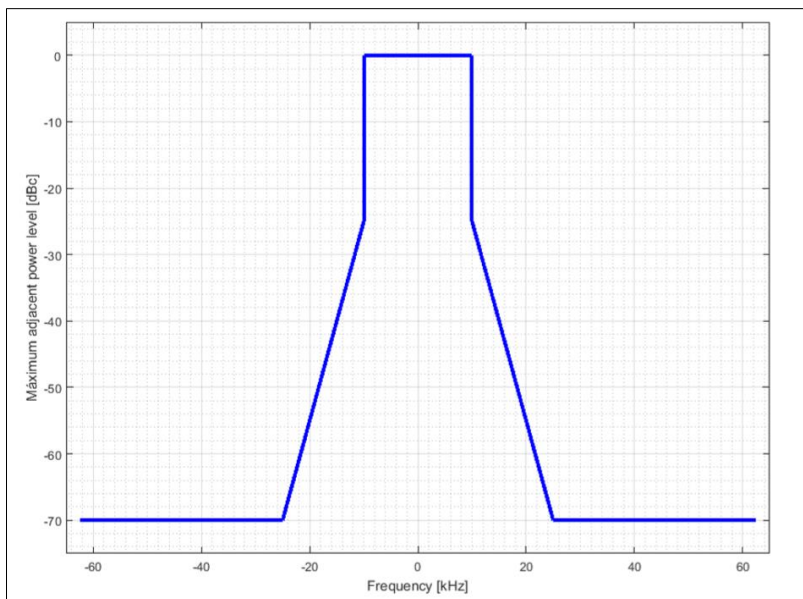


Figura 45: Niveles máximos de potencia en canal adyacente en los transmisores embarcados del servicio ASM

La estructura de trama es similar a la del sistema AIS, pero presenta algunas diferencias significativas. El tamaño total del paquete de transmisión pasa de 256 bits a 512, siguiendo la estructura definida en la siguiente Figura:

Ramp up	Training sequence	Signal Information	Data Length	Data	CRC	Buffer
16	27	7	10	380 (Maximum)	32	40

Figura 46: Formato por defecto de un paquete de transmisión ASM [41]

El esquema de modulación empleado por el servicio ASM debe ser la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura n/4 (n/4 QPSK), tanto en la componente terrena como en la componente de ASM por satélite. El *bit mapping* de dicha modulación aparece en la Figura 43.

La corrección de errores es análoga a la citada en los apartados anteriores, al igual que el código de redundancia cíclica. Se utiliza un barajador de acuerdo con el FEC designado en el campo '*signal information*'.

No hay adaptación de la tasa de código.

4.2.3.3.2. Satélite

Los parámetros de transmisión para el servicio ASM por satélite son idénticos a los de la componente terrestre.

El enlace ascendente puede proporcionarlo el equipo VDES o un equipo dedicado que utilice el esquema de acceso TDMA con detección de portadora en el intervalo (SCTDMA) para consolidar las comunicaciones AIS y las comunicaciones terrenales ASM.

La constelación de satélites que se considera para dar soporte a este servicio es una de satélites de órbita baja (LEO).

En función del método de acceso empleado, se definen dos tipos de estructuras de trama para el servicio ASM por satélite:

Ramp up	Pre training sequence	Training sequence	Signal information	Data length	Data field	CRC	Buffer	Total
16	100	27	7	10	166	32	154	512

Figura 47: Campos de un paquete de ASM por satélite para RATDMA, ITDMA y FATDMA

Carrier sense period	Ramp up	Pre training sequence	Training sequence	Signal information	Data length	Data field	CRC	Long-range ASM receiving system buffer	Total
56	16	44	27	7	10	166	32	154	512

Figura 48: Campos de un paquete de ASM por satélite para CSTDMA

La modulación empleada por el servicio ASM satélite es la misma que la de su componente terrestre. Ocurre lo mismo con el barajador, la corrección de errores y el código de redundancia cíclica. No se realiza adaptación de la tasa de código.

4.2.3.4. AIS

A lo largo de los siguientes subapartados se particularizan las características técnicas de AIS.

4.2.3.4.1. Terrestre

Se comentan los siguientes puntos relativos a los parámetros de transmisión:

- La antena a emplear por el sistema AIS coincide con la definida para la componente terrena de VDE.
- La máscara de emisión del servicio AIS, así como los parámetros de transmisión y recepción para una estación de Clase A son idénticos a los del servicio ASM.
- Para estaciones de Clase B, la máscara de emisión es la que se puede observar en la Figura 49, mientras que los parámetros de transmisión y recepción se recogen en [29].
- Tanto los transceptores AIS de Clase A como los de Clase B deben ser capaces de ofrecer una tasa de 9,6 kbps.

La estructura de trama ya se ha descrito previamente en la Sección 3.2.4.6 del Capítulo 3. El esquema de un paquete de transmisión AIS puede consultarse en la Figura 12. En el capítulo referido a AIS también se mencionan los aspectos relativos a la modulación.

El servicio AIS no emplea técnicas de corrección de errores adicionales ni realiza adaptación a la tasa de código.

Se emplea un código de redundancia cíclica de 16 bits.

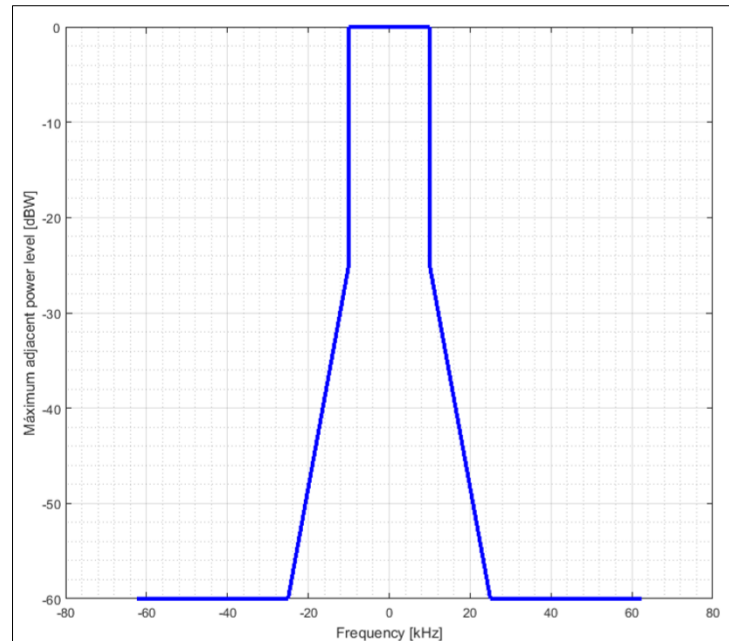


Figura 49: Máscara de emisión para transmisiones AIS de Clase B [29]

4.2.3.4.2. Satélite

Los parámetros de transmisión del servicio AIS por satélite coinciden con los de la componente terrestre.

Las transmisiones de AIS por satélite implican que la señal debe recorrer un camino mayor que la componente terrena para llegar a su destino. Esta clase de transmisiones de larga distancia únicamente es obligatoria para los equipos de Clase A, siendo el modo de acceso utilizado RATDMA y la potencia de transmisión la nominal.

Así mismo, es necesario modificar la estructura del paquete AIS para permitir su recepción en los satélites, tal y como se recoge en la siguiente Figura:

Ramp up	Training sequence	Start data	Data field	CRC	End flag	Long-range AIS receiving system buffer	Total
8	24	8	96	16	8	96	256

Figura 50: Paquete AIS para aplicaciones de larga distancia [29]

Sobre este formato de paquete se inserta un mensaje especialmente diseñado para dichas aplicaciones. Este mensaje es el 27 (*Long-range AIS broadcast message*), el cual representa una versión simplificada de los mensajes de posición 1, 2 y 3.

La modulación empleada para las comunicaciones AIS por satélite es la misma que la de la componente terrena. El código de redundancia cíclica, también. No se emplean técnicas de corrección de errores adicionales ni se adapta la tasa de código.

4.2.4. Ventajas de VDES frente a AIS

La aparición de VDES proporciona una serie de funcionalidades y mejoras con respecto al sistema AIS, entre las que cabe destacar:

- **Mejorar la capacidad de las comunicaciones marítimas:** el nuevo estándar permite una tasa de información hasta diez veces superior a la proporcionada por AIS, incluyendo codificación y modulación adaptativa.
- **Aumentar la seguridad:** en VDE existe la posibilidad de cifrar la información, aumentando en consecuencia la seguridad frente a ataques malintencionados de diversa índole. Así mismo, el estándar VDES contempla la firma del TBB por parte de las estaciones de control, permitiendo de esta forma autenticar al emisor de un mensaje.
- **Compatibilidad con AIS y nuevo estándar VDES:** la compatibilidad con AIS permite proteger el uso de la red actualmente existente, al mismo tiempo que VDES amplía la capacidad de las comunicaciones marítimas. Además, contribuirá en la migración paulatina hacia VDES.
- **Procesado adaptativo:** capacidad para llevar a cabo diferentes técnicas de codificación y modulación, permitiendo adaptar la comunicación a las características del canal.
- **Operación simultánea de varios canales:** capacidad para adaptar su ancho de banda y poder hacer frente a posibles agrupaciones dinámicas de los canales VDE, lo cual permite el nuevo estándar.
- **Reducción de la carga actual de AIS:** la implementación del nuevo sistema de comunicaciones marítimas disminuirá la sobrecarga del sistema AIS en zonas donde existe congestión del servicio.
- **Incremento del alcance de AIS:** debido a una capa física con codificación y modulación avanzada, será posible extender el rango de cobertura de las estaciones terrenas en un 15 – 20 %.
- **Despliegue de la e-Navigation:** las prestaciones de este sistema de comunicaciones abren la puerta al desarrollo de nuevas aplicaciones para ofrecer novedosos servicios a los buques.
- **Cobertura global:** la disposición del segmento satelital actual permite la extensión de la cobertura a una gran parte del globo.

4.2.5. Méritos de VDES

Tal y como se ha explicado previamente, el sistema VDES se encuentra todavía en fase de desarrollo e implementación. En la Figura 51 se puede ver un cronograma del estado actual de VDES presentado en el seminario de la ITU celebrado en junio de 2018 en San Petersburgo [49].

A día de hoy no se han publicado nuevas versiones de los estándares ni guías de implementación posteriores a la documentación ya conocida (ITU R. M.2092-0, ITU-R. M.1371-5, IALA Guideline “VHF Data Exchange System (VDES) Overview”, IALA Guideline “The technical specification of

VDES”). Sí que se sabe, aun así, que tanto los estándares como las guías están casi completos y las frecuencias ya han sido asignadas, exceptuando los canales satélite, que se decidirán en el WRC-19.

En cuanto a las embarcaciones, se ha dado a conocer que, si bien el cableado y las antenas pueden mantenerse, se requiere una actualización y/o reemplazo del hardware de AIS. Actualmente, existen datos fiables sobre el sistema VHF “cerrado” y no hay coste para los mensajes.

Otro avance positivo en relación con la implantación de este nuevo sistema es que hay buena cobertura tanto en zonas portuarias como en la costa.

Pese a que el desarrollo del sistema todavía no está terminado, VDES ya es una realidad y hoy en día ya existen proyectos que se valen de esta tecnología. Prueba de ello son, por ejemplo, el proyecto POLARYS, comentado ya en capítulos anteriores; proyectos de la ESA, como VDES TESTING; el desarrollo del propio satélite NORSAT-2, que lleva un receptor AIS de próxima generación y una carga útil para el intercambio de datos VHF; la manufacturación de equipos por parte de distintas empresas o la numerosa lista de proyectos y bancos de pruebas que están explotando el concepto de *e-Navigation*.

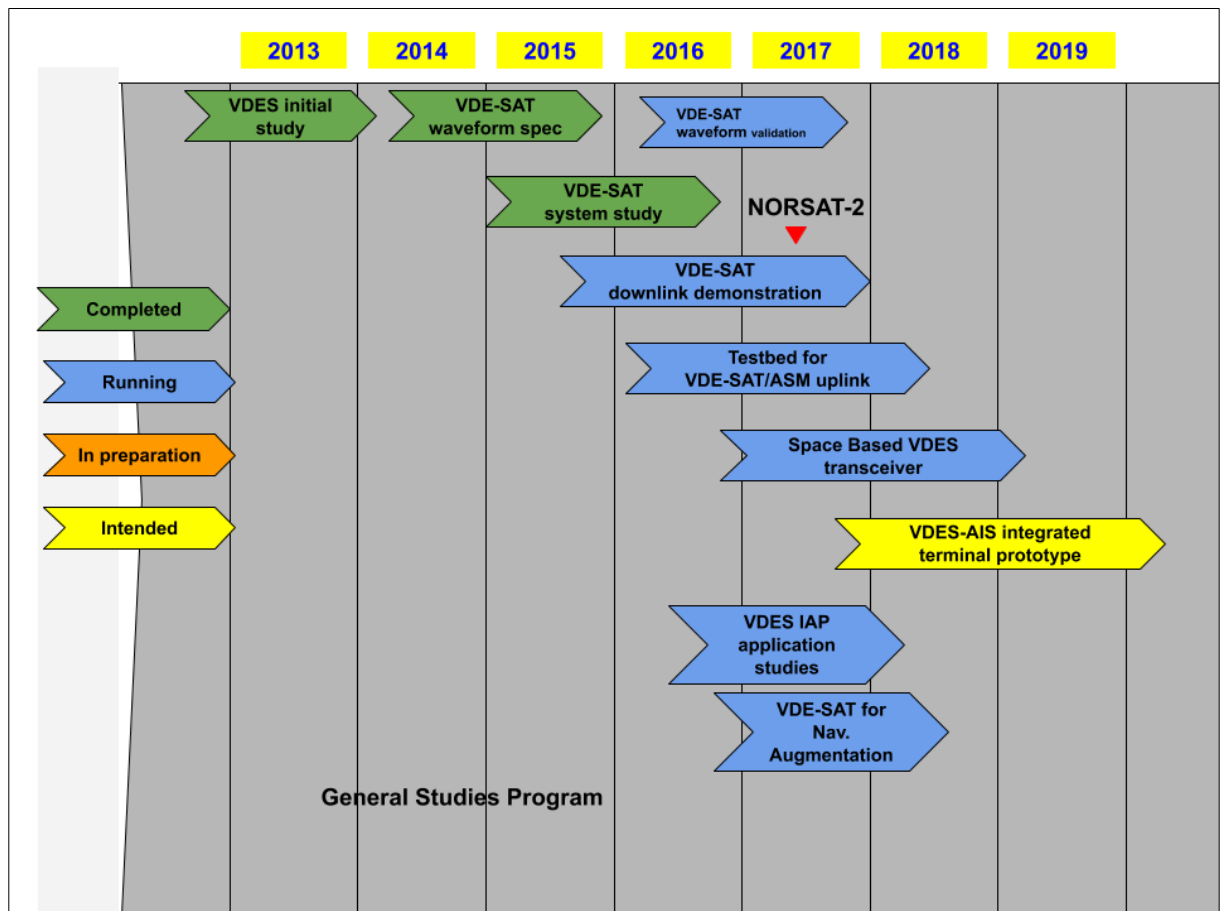


Figura 51: Cronología del estado de desarrollo del sistema VDES [49]

4.3. Estado del arte

En este apartado se hace hincapié en diversos proyectos desarrollados dentro del marco de VDES, con la intención de acercar al lector a este sistema de una manera más práctica a través de la descripción de cada uno de ellos.

4.3.1. Proyecto POLARYS

El proyecto POLARYS, que ya se ha presentado en el capítulo introductorio y comentado en la sección dedicada a AIS satélite, tiene como principal objetivo incrementar la seguridad marítima y la eficiencia en la gestión de la navegación y las emergencias mediante el desarrollo de un transceptor VDES y un sistema de vigilancia y asistencia a la navegación.

El transceptor desarrollado amplía significativamente la capacidad de la plataforma AIS en términos tanto de tasa de información como de cobertura, lo cual supone un impacto directo sobre las limitaciones de dicha plataforma. Al mismo tiempo, abre la puerta al desarrollo de nuevas aplicaciones, lo que supone una oportunidad para la innovación y un impacto muy significativo en el paradigma de las comunicaciones marítimas.

El sistema de vigilancia y asistencia a la navegación está basado en el uso de plataformas VDES embarcadas con capacidades de detección autónoma. El sistema cuenta con todos los elementos relevantes para el escenario de prestación de servicios alrededor de VDES y se basa en la incorporación, de forma automática, de información relevante para la navegación a la plataforma AIS/VDES. Entre esa información se incluye la relativa a embarcaciones y otros objetos sobre el mar obtenida mediante análisis inteligente de vídeo a partir de imágenes aéreas. Toda ella está disponible en tiempo real a través de una aplicación GIS-3D, concebida para ser utilizada tanto en puestos de mando y control como en plataformas móviles que cuenten con receptores AIS/VDES. Adicionalmente, la aplicación permite la integración de diferentes sensores y alarmas relacionadas con la seguridad marítima y física de las embarcaciones, proporcionando así un sistema de seguridad integral a bordo compatible con VDES.

4.3.1.1. Arquitectura y módulos del sistema

En la Figura 52 se muestra una imagen de la arquitectura global de POLARYS, así como las distintas interfaces que comunican unos módulos con otros. Los elementos principales que componen el sistema son el transceptor VDES, el módulo de visión aérea, el vehículo aéreo no tripulado (UAV) y el centro de control. Se describen a continuación, *grosso modo*, cada uno de ellos.

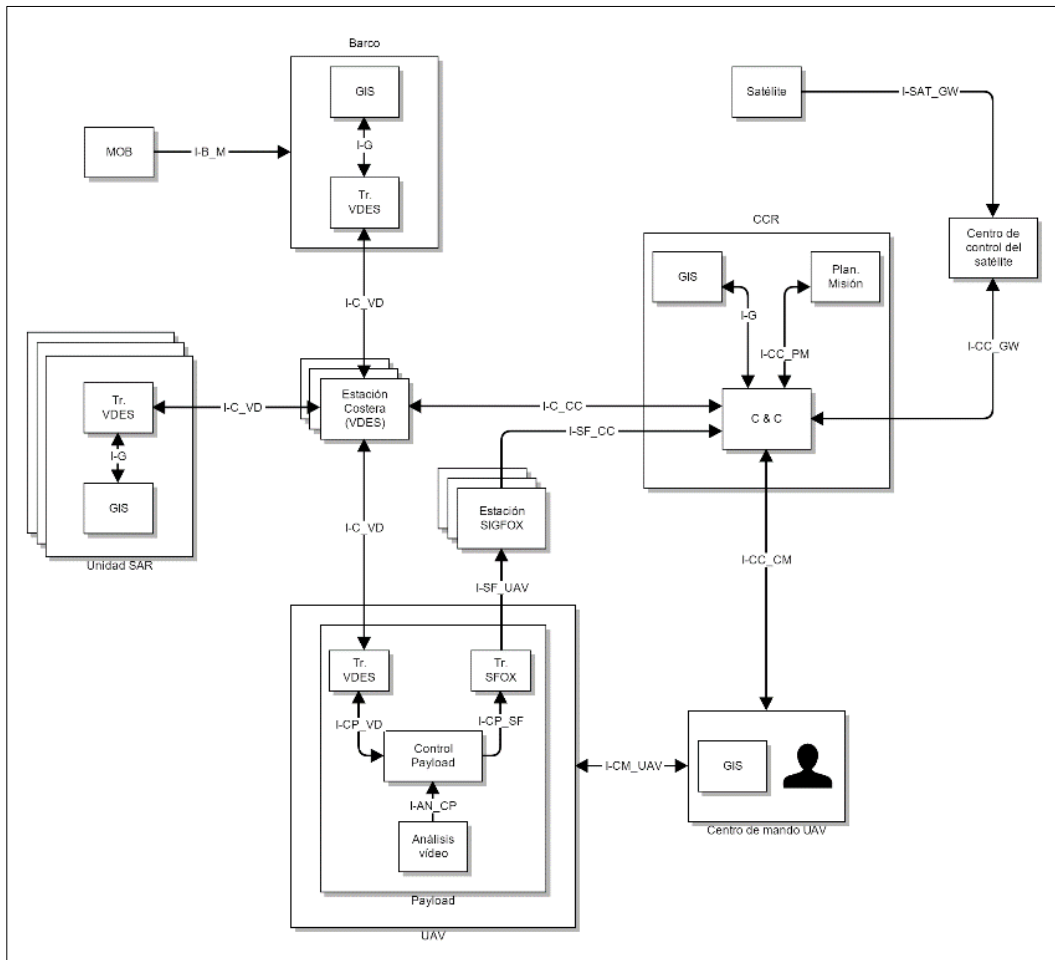


Figura 52: Arquitectura global del sistema para el proyecto POLARYS

4.3.1.1.1. Transceptor VDES

El transceptor VDES implementa las funcionalidades del estándar VDES, pudiendo operar en cualquiera sus frecuencias. Es compatible con el intercambio de datos en VHF (VDE) y con los sistemas AIS, AIS satélite y ASM. La Figura 53 muestra un prototipo del transceptor VDES.

El transceptor se divide, a su vez, en dos bloques: una plataforma SDR, encargada de ejecutar el estándar VDES, y un frontal de RF, para amplificar en las etapas tanto de transmisión como de recepción.

Es importante destacar que el hecho de contar con una plataforma SDR permite una gran flexibilidad y soporte a la hora de adaptarse a las especificaciones, en este caso de VDES, ya que ofrece la posibilidad de actualizar el transceptor en un futuro para adecuarlo a versiones posteriores del estándar de una manera cómoda y sencilla.



Figura 53: Prototipo transceptor VDES desarrollado por EGATEL y Gradient en el proyecto POLARYS

4.3.1.1.2. Módulo de visión aérea

El módulo de visión aérea comprende los elementos desarrollados e implementados para el reconocimiento de embarcaciones y generación de alertas.

Mediante análisis inteligente de vídeo se detectan, automáticamente, objetos en el mar. La información relativa a los objetos detectados (identificador, coordenadas, estimación del tamaño, imagen, sello temporal, etc.) se suministra al transceptor VDES aeroembarcado.

Paralelamente al envío de esta información, un transmisor *Sigfox*, integrado dentro del transceptor VDES, genera alarmas, que integra en la red del mismo nombre, por cuestiones de redundancia.

4.3.1.1.3. UAV

El UAV es el vehículo aéreo no tripulado sobre el que se han instalado los diferentes módulos. El peso total en vuelo del UAV con todo el sistema montado es de aproximadamente 14 kilogramos.



Figura 54: UAV del proyecto POLARYS durante la realización de las pruebas, con el transceptor VDES en su parte inferior

4.3.1.1.4. Centro de control

El centro de control de POLARYS está compuesto por la aplicación GIS-3D, el planificador de la misión y el centro de mando del UAV.

La aplicación GIS-3D es la cartografía y el control del sistema POLARYS. Muestra información relativa al estado de la red VDES en una interfaz gráfica tridimensional.

Por su parte, el planificador de la misión permite obtener la ruta de vuelo óptima del UAV en función de diversos factores: área que se pretende recorrer, carga útil instalada, requisitos del módulo de análisis de vídeo correspondientes a la misión, altura de vuelo, características del UAV seleccionado, etc.

Finalmente, el centro de mando del UAV se encarga de la gestión del vuelo del vehículo en función de la ruta que se ha calculado con el planificador de la misión. Desde este centro se pilota el UAV.

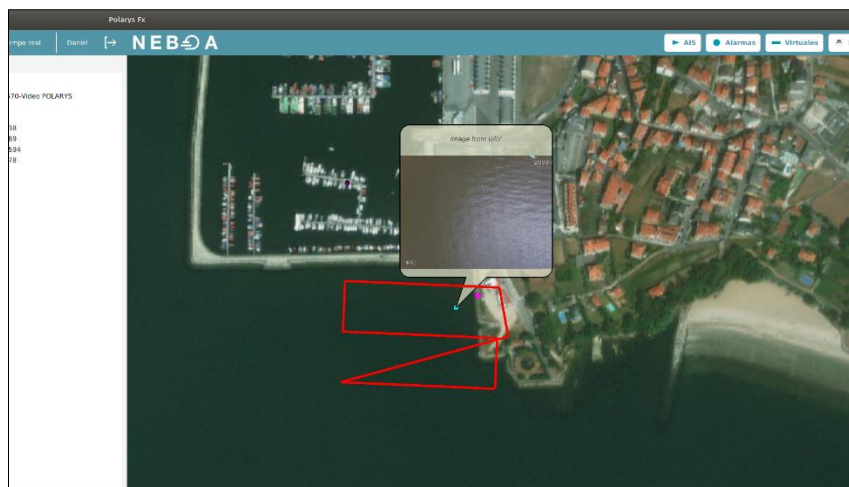


Figura 55: Captura de pantalla de la aplicación GIS-3D del proyecto POLARYS

4.3.1.2. Pruebas piloto

El piloto del proyecto POLARYS ha ido tomando forma con la realización de distintas pruebas que se han ido ejecutando de manera incremental: desde las fases más tempranas hasta la prueba de concepto del sistema completo con todos los componentes. En los siguientes sub-apartados se explica brevemente en qué ha consistido cada una de estas pruebas.

4.3.1.2.1. Primera fase: captura de imágenes

Durante esta fase se han montado los módulos correspondientes a la captura y análisis de vídeo y se han realizado pruebas sobre escenarios reales para verificar su correcto funcionamiento. Las pruebas han consistido en la adquisición de vídeo por parte de los sensores RGB e infrarrojo. El vídeo grabado se ha empleado para entrenar los algoritmos de procesado de imagen *a posteriori*.

4.3.1.2.2. Segunda fase: prueba del sistema VDES

Para comprobar el funcionamiento del transceptor VDES montado en el UAV, se han llevado a cabo vuelos de prueba a distintos niveles de potencia y en diferentes escenarios. De esta forma se ha verificado la correcta recepción de la señal, y que ésta no afecte al control y vuelo del UAV. Se ha comprobado también toda la integración eléctrica de los sistemas de alimentación de la plataforma.

4.3.1.2.3. Tercera fase: prueba del módulo de control de misión y generación y envío de alertas

La ejecución de pruebas de esta fase se ha realizado en laboratorio, poniéndose en conjunto varias integraciones realizadas previamente, con la intención de hacer diversos ajustes y calibraciones de los diferentes sistemas en un entorno controlado.

4.3.1.2.4. Fase 4: prueba de concepto del sistema completo.

En esta última fase se ha llevado a cabo una prueba del sistema completo. Se ha simulado un escenario MOB con un kayak hinchable, el cual llevaba un receptor VDES, un receptor AIS y GPS. Se generó un plan de vuelo y se desplegó el UAV, que se dirigió a la zona especificada por dicho plan. El UAV detectó el kayak y tomó y envió fotografías y vídeos cada cierto tiempo. Asimismo, se generaron también las alarmas pertinentes. La información se presentó en la aplicación GIS-3D en tiempo real.

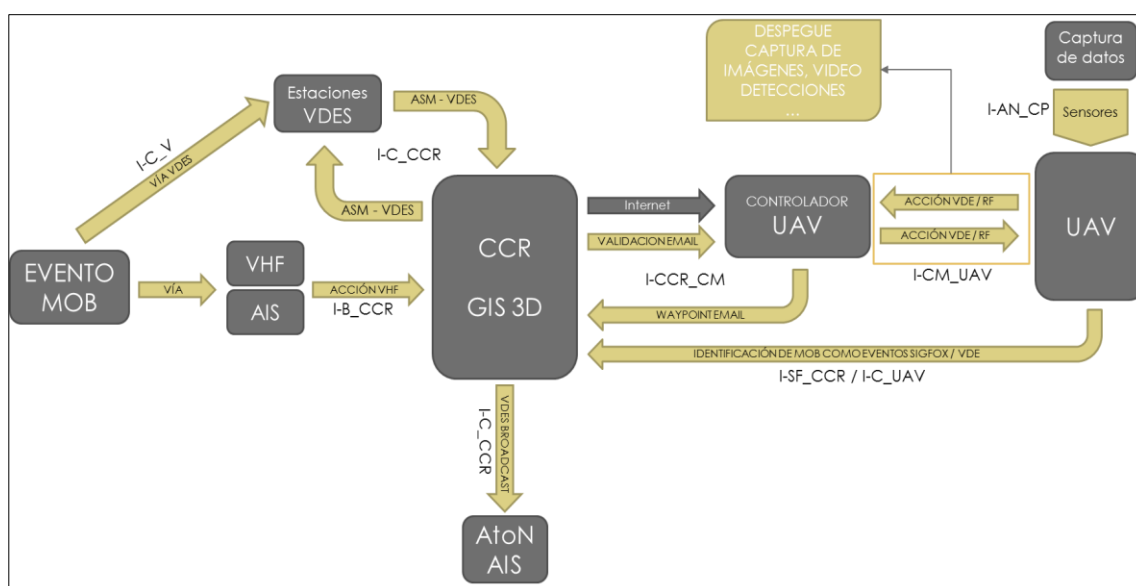


Figura 56: Esquema general del proyecto POLARYS

4.3.1.3. Conclusiones

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas del sistema completo se pueden extraer las conclusiones acerca del proyecto POLARYS.

En lo relativo al transceptor VDES, queda patente que éste es capaz de operar de acuerdo con las especificaciones de la recomendación ITU-R. M.2092-0, correspondiente con el sistema VDES.

Por otra parte, se ha probado correctamente la funcionalidad de AIS y ASM. La componente satelital de AIS es también funcional y perfectamente operativa.

En cuanto a cuestiones de potencia, ha sido posible transmitir y recibir señales con los niveles definidos tanto para AIS y ASM como para VDE.

También ha quedado demostrada la capacidad de la tecnología *Sigfox* utilizada como canal redundante para las alarmas generadas.

Por tanto, con todo lo expuesto anteriormente y tras la ejecución de las distintas pruebas del piloto, queda comprobado que el objetivo inicial del proyecto POLARYS ha sido cumplido.

4.3.2. Proyecto VDES TESTING

VDES TESTING, con referencia ESA AC/2-1670/17/NL/FE, es un proyecto desarrollado por EGATEL, GRADIANT y la ESA, y que ha contado también con el soporte de SPACE NORWAY.

El objetivo del proyecto es complementar la campaña de medición del enlace descendente de VDE-SAT, realizando mediciones independientes y verificando la señal VHF transmitida por el satélite NORSAT-2 y recibida en un entorno operativo real.

Con este propósito, se han llevado a cabo dos tareas principales. La primera de ellas, consistente en la identificación y registro de requisitos, aspectos reglamentarios y el plan y procedimiento de prueba del *downlink* de VDE-SAT. La segunda, relativa a la propia campaña de medición y posterior procesado de la señal recibida, para caracterizar así el canal de comunicación y verificar la detección de la señal del enlace descendente de VDE-SAT, empleando los patrones de datos transmitidos.

El receptor diseñado en este proyecto emplea toda la secuencia transmitida con distintos fines (sincronización de tiempo, igualación, etc.). A partir del diseño teórico, y con la forma de onda decidida, se ha implementado un receptor práctico, que se puede ver en la Figura 57.

Parte de las conclusiones extraídas de las mediciones se presentaron en el *ITU 5B Meeting* en mayo del año 2018 como respuesta a la resolución 360 del ITU-R., para el estudio de la compatibilidad entre la componente satelital de VDES y los servicios establecidos en las mismas bandas de frecuencia y en las adyacentes. De este modo, se pueden determinar posibles acciones regulatorias en lo correspondiente a las asignaciones del espectro para las aplicaciones de VDES.

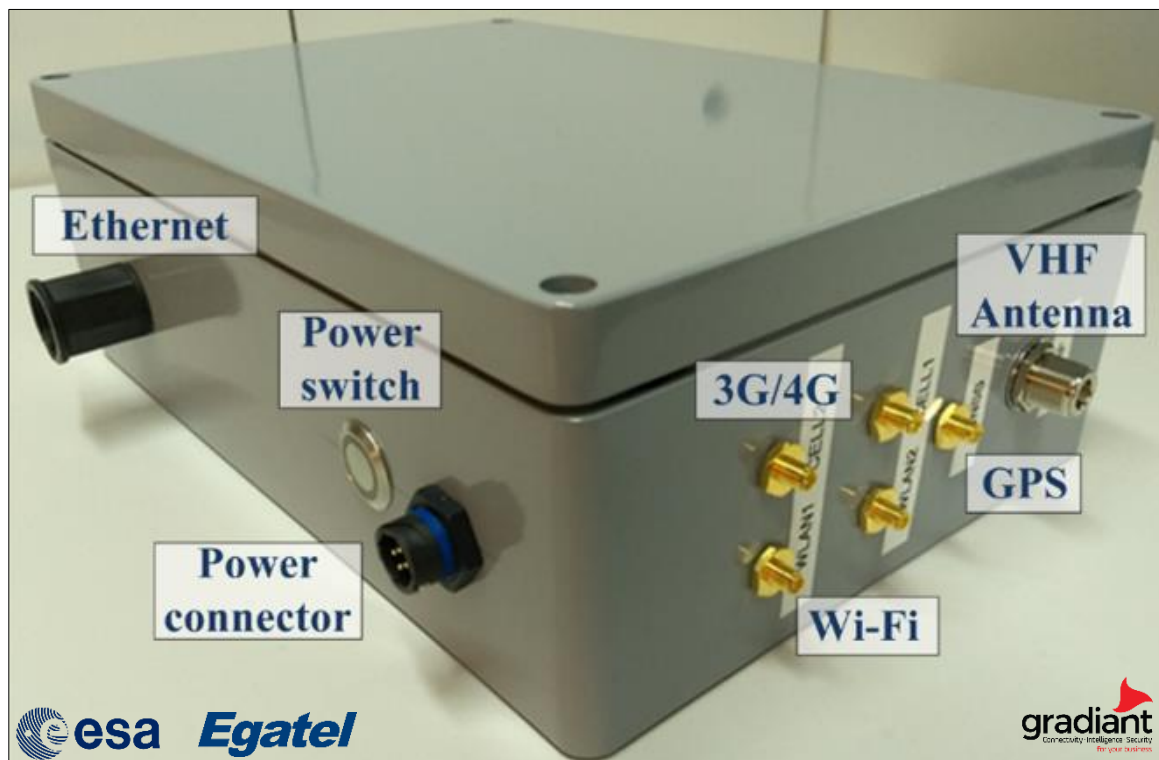


Figura 57: Receptor para el enlace descendente de la componente satelital de VDES (desarrollado por EGATEL y Gradiant)

4.3.3. Pruebas piloto VDES en Brisbane (Australia)

Durante el proceso de búsqueda de información acerca del estado de implementación del sistema VDES se ha localizado información sobre un piloto desarrollado en Brisbane (Australia) en junio del año 2015 por parte de *IMIS Global* y *StoneThree Venture*. Este piloto incluye tanto el diseño de un prototipo como pruebas del mismo en laboratorio y campo.

Se comentan a continuación los resultados de dichas pruebas, ya que las conclusiones pueden ser relevantes dentro del contexto que concierne a este libro.

Para el desarrollo de los módulos transmisor/receptor de VDE se ha empleado una plataforma SDR en la que se han implementado las siguientes características:

- Modulaciones $n/4$ QPSK, 8-PSK y GMSK (esta última en comparación con AIS).
- Ancho de banda seleccionable (canal 25, 50 o 100 kHz).

En las pruebas de laboratorio [50] se han realizado medidas de figura de ruido, curva BER y gestión de interferencias, consideradas medidas fundamentales del rendimiento del prototipo VDES.

Hay que tener en cuenta que en el piloto no se han incluido las técnicas FEC definidas en el estándar VDES.

Entre los resultados que pueden obtenerse acerca del rendimiento teórico (en laboratorio) de un equipo VDES 'real', destacan:

- Sensibilidad.
- BER vs. $\frac{Eb}{No}$.
- Rechazo de intermodulación.

- Selectividad de canal adyacente.
- PER vs. RSSI.
- PER vs. distancia.
- Tasa vs. distancia.

La arquitectura del sistema empleado para las pruebas de campo puede consultarse en la siguiente Figura:

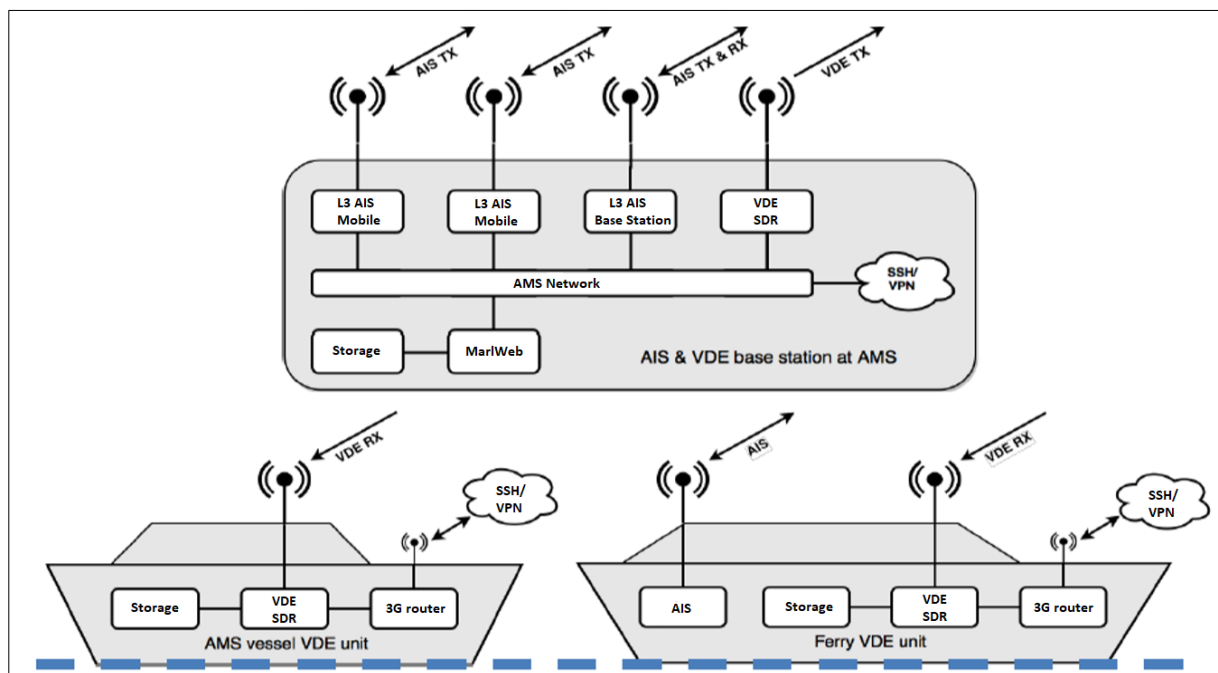


Figura 58: Arquitectura del sistema para las pruebas de campo del piloto VDES en Brisbane

Como se puede ver en la imagen, el transceptor VDES para este piloto se caracteriza por:

- Módulos independientes para cada una de las tecnologías (AIS, VDE).
- La estación base transmite y recibe AIS.
- La estación base transmite VDE.
- La estación móvil (embarcada) transmite y recibe AIS.
- La estación móvil (embarcada) recibe VDE.

De los dos barcos empleados, uno ha realizado un recorrido ferri por la bahía de Brisbane, mientras que el otro ha remontado el río hacia la ciudad para caracterizar los efectos del multirrayecto y las oclusiones de LoS.

Para el barco remontando el río se ha determinado que los desvanecimientos al perder línea de visión son más dominantes que los desvanecimientos debidos al multirrayecto.

Por otro lado, a corta distancia las modulaciones de mayor orden obtienen la mejor tasa. A medida que se incrementa la distancia, modulaciones más robustas de menor orden proporcionan los mejores resultados (como cabía esperar).

En el caso del ferry, se han obtenido los siguientes resultados de tasa frente a rango:

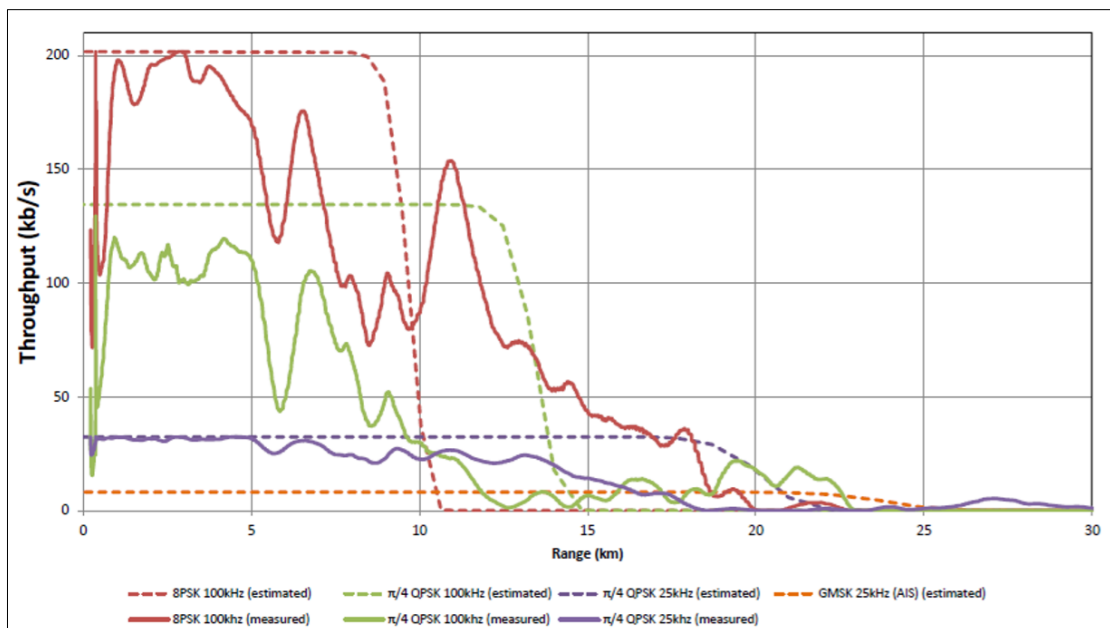


Figura 59: Tasa frente a rango para el ferry empleado en las pruebas de campo del piloto VDES en Brisbane [51]

Debido a los requisitos de gran rango dinámico, gran linealidad y bajo ruido de fase al lidiar con la interferencia entre canales VDES, los autores recomiendan el uso del hardware diseñado a medida para el transceptor VDES.

4.4. e-Navigation

4.4.1. Contexto

Según la IMO, el concepto de *e-Navigation* se puede definir como “la recopilación armonizada, integración, intercambio, presentación y análisis de la información marina tanto a bordo como en tierra a través de medios electrónicos para mejorar la navegación, la seguridad marítima y la protección del medio marino”.

El plan de implementación de la navegación electrónica, aprobado en el año 2014, contiene una lista de tareas que deben realizarse para abordar cinco soluciones prioritarias para la *e-Navigation*, las cuales se listan a continuación:

- Diseño de conexiones mejorado, cómodo y fácil de utilizar.
- Medios para la elaboración de informes estandarizados y automatizados.
- Mayor confiabilidad, resiliencia e integridad, tanto de la información de la navegación como de los equipos.
- Integración y presentación de la información disponible en pantallas gráficas en los distintos equipos de comunicación.
- Mejora de la comunicación de los VTS.

Se confía en que estas tareas, iniciadas en el año 2015 y que deberían completarse a lo largo del 2019, proporcionen a la industria toda la información necesaria para poder comenzar a diseñar productos y servicios para satisfacer las necesidades de la navegación electrónica.

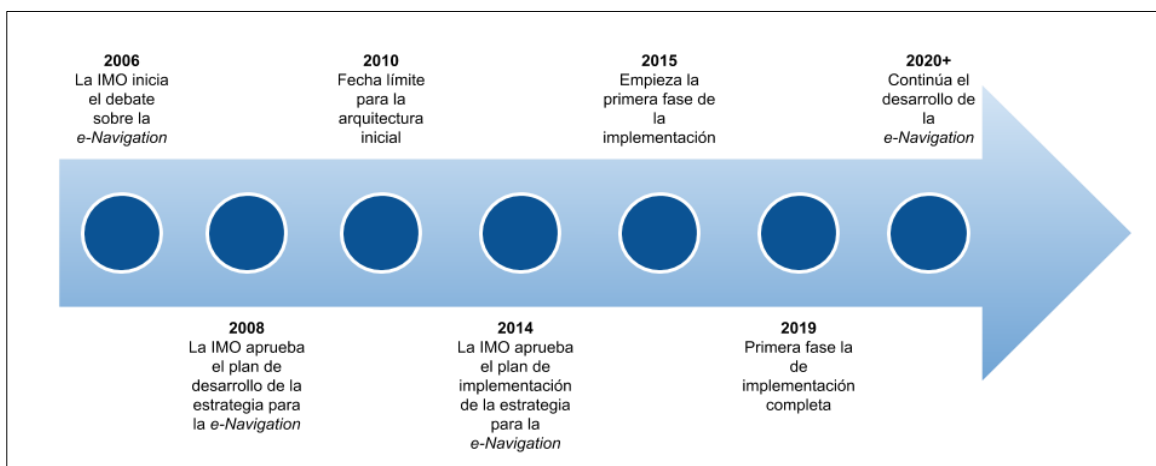


Figura 60: Cronología del desarrollo de la e-Navigation, extraída de [52]

El establecimiento de la tecnología VDES como nuevo sistema de comunicaciones para la navegación supondrá la aparición de numerosas oportunidades de innovación y mercado en los próximos años. Se espera una gran actividad en el desarrollo de nuevos sistemas que operen bajo el estándar VDES. Dichos sistemas tendrán que ser capaces de integrarse en la red actual, aliviando su carga y permitiendo que la red AIS se dedique a su principal objetivo: la identificación de embarcaciones.

La asignación de nuevos canales con la llegada de VDES no solo va a mejorar la capacidad de AIS, sino que también ofrece una buena oportunidad para el desarrollo de aplicaciones innovadoras en el ámbito de la navegación electrónica. Serán de especial interés aquellas aplicaciones que aporten valor a la seguridad en entornos marítimos, tanto en la prevención de accidentes como en servicios de salvamento. Podrán ver la luz también nuevos servicios demandados por la industria, por ejemplo, enfocados a la logística.

Otro posible campo de aplicaciones es el de aquellas que ayuden a reducir las vulnerabilidades de AIS. Por una parte, dado que las regulaciones actuales no exigen el uso de transceptores AIS por todas las embarcaciones en activo, existen embarcaciones no registradas a la red, lo que facilita que pasen desapercibidas, como ocurre en el caso de la pesca furtiva. Por otro lado, que AIS sea un sistema abierto abre la posibilidad a ataques malintencionados, necesitando únicamente un transceptor y suficiente conocimiento del estándar para llevarlos a cabo.

La *e-Navigation* supone un factor determinante para un concepto digital en el sector marítimo. Los desarrollos en las comunicaciones digitales tienen un impacto profundo y a largo plazo en la forma en la que opera este sector. Se prevé que la *e-Navigation* sea compatible con muchas tecnologías actuales y futuras identificadas en este plan.

4.4.2. Objetivos

La navegación electrónica llega con la intención de mejorar las comunicaciones en el ámbito marítimo. Son varios los objetivos para lograr este fin:

- Promover la estandarización universal, la uniformidad y la interoperabilidad, así como la integración de los sistemas.
- Desarrollar, por una parte, requisitos en materia de formación y educación; por otro lado, una familiarización con los procesos, prestación de servicios, aplicaciones y sistemas.

- Apoyar la navegación segura, la gestión y monitorización del tráfico, las comunicaciones y el intercambio de datos.
- Contribuir en la logística y en el transporte marítimo eficientes, además de en la búsqueda y rescate efectivos y en la respuesta a desastres e incidentes.

4.4.3. Implementación

La infraestructura de comunicaciones debe estar diseñada para permitir la transferencia autorizada de información a bordo del buque, entre los buques, entre el buque y la costa y entre las autoridades costeras y otras partes.

Esta infraestructura tendrá que ser capaz de admitir futuras aplicaciones de *e-Navigation* y aplicaciones heredadas. Por lo tanto, requerirá un uso intensivo del ancho de banda y posiblemente dependerá de unas tecnologías determinadas. Es importante asegurar el espectro o cambiar su uso dentro de las asignaciones existentes para la navegación electrónica y otros desarrollos, debido a los plazos de planificación requeridos para protegerlo y extender su uso.

Los servicios modernos en tierra requieren una conectividad en el barco que no está contemplada por las redes marítimas actuales. La conectividad del servicio dedicado para mejorar los servicios, por ejemplo, la cadena logística o la llegada y autorización de puertos se beneficiarían del concepto de una red en el mar. Dicha red define una conectividad completamente entrelazada entre todas las embarcaciones y estaciones terrestres, que cubre conexiones directas y de múltiples saltos, y está formada por una componente terrestre y otra satélite. Ambas componentes se desarrollan actualmente con una conectividad de largo alcance a través del nuevo sistema VDES.

En un futuro, deberá desarrollarse la conectividad de banda ancha. Se prevé pues que exista una red en el mar que conecte la costa y los buques, y los propios buques entre sí, utilizando tecnologías digitales como VDES, comunicaciones de banda ancha y comunicaciones por satélite.

La protección de la asignación del espectro del servicio móvil marítimo debe continuar, puesto que, en general, existen preocupaciones continuas relacionadas con la asignación y gestión del espectro para la navegación electrónica. Adicionalmente, se reconoce la necesidad de desarrollar procesos automatizados para comunicaciones marítimas que permitan seleccionar la mejor tecnología, el canal y las características, de acuerdo con la ubicación del buque y el tipo de datos a intercambiar.

El concepto de *e-Navigation* y los futuros requisitos de los usuarios se están desarrollando rápidamente, sin embargo, es difícil especular y estimar qué sistemas y qué espectro se requerirán para conseguir alcanzar la navegación electrónica en su totalidad.

4.4.4. Estado del arte

En este apartado se recoge una breve descripción de diversos proyectos relevantes en el marco de la *e-Navigation* [53] [54] [55].

4.4.4.1. Accseas

El proyecto *Accseas* fue uno de los primeros proyectos llevados a cabo en relación con la navegación electrónica, y estuvo impulsado por un conjunto de organizaciones de Dinamarca, Alemania, Países Bajos, Noruega, Suecia y Reino Unido.

Este proyecto surgió con la finalidad de mejorar la seguridad marítima y la protección del medio ambiente en la región del Mar del Norte a partir del desarrollo e implementación de un banco de

pruebas de *e-Navigation* para armonizar el intercambio de información marítima electrónica tanto a bordo como en tierra. Otro de los objetivos de *Accseas* consistió en identificar las áreas clave de congestión y limitación de acceso a puertos, con la intención de minimizar el riesgo en la navegación.

4.4.4.2. *EfficientSea2*

Dirigido por las autoridades marítimas danesas, el proyecto *EfficientSea2* tuvo como objetivo principal la creación e implementación de soluciones innovadoras e inteligentes para conseguir un tráfico marítimo eficiente, seguro y sostenible a través de una mejor conectividad para las embarcaciones.

El proyecto estuvo centrado en cuatro áreas principales: proporcionar servicios al usuario final, como pueden ser la monitorización de emisiones de azufre, servicios para mejorar la respuesta de emergencia en el ártico, o la optimización e intercambio de rutas; desarrollar e implementar plataformas para dar soporte a dichos servicios, desde páginas web hasta cuestiones de formato de datos; resolver el desafío de la conectividad débil y la comunicación de alto costo a través del *roaming* transparente y rentable entre canales de comunicación, así como la explotación del nuevo canal VDES; y diseñar una Plataforma de Conectividad Marítima (MCP), que permite el intercambio de información seguro, fiable y eficiente.

En la Figura 61 se ilustra el esquema de la plataforma de conectividad marítima propuesto. Dicha plataforma posibilita la verificación de identidades, el intercambio de datos firmados digitalmente, el uso sencillo de los servicios y la utilización de la ubicación como parámetro para realizar todas las tareas que aquí se recogen.

EfficientSea2 es sucesor de *EfficientSea*, otro de los primeros proyectos llevados a cabo dentro del marco de la *e-Navigation*.

4.4.4.3. *Sea Traffic Management*

El concepto *Sea Traffic Management* busca conectar y actualizar el mundo marítimo en tiempo real a través de un intercambio eficiente de información. Mediante el intercambio de datos entre embarcaciones, proveedores de servicios y compañías navieras, STM está creando un nuevo paradigma para el intercambio de información marítima que ofrece la infraestructura digital del futuro para enviar.

Sea Traffic Management se ha desarrollado durante diferentes proyectos de investigación e innovación financiados por la UE con una serie de socios europeos, entre los que se encuentran autoridades marítimas y portuarias, Ministerios, proveedores de equipos, etc.

El objetivo de STM es crear un sector marítimo más eficiente, seguro y respetuoso con el medio ambiente. Las metas que se han definido para el año 2030 son las siguientes:

- **Seguridad:** reducción del 50% de los accidentes.
- **Eficiencia:** reducción del 10% en los costos de viaje y reducción del 30% en el tiempo de espera para el atraque.
- **Medioambiente:** 7% menos de consumo de combustible y 7% menos de emisiones de gases de efecto invernadero.

STM ofrece servicios de optimización de ruta, intercambio de rutas entre embarcaciones, monitoreo mejorado y sincronización de llamadas, todo para permitir la toma de decisiones en tiempo real por parte de la tripulación y el personal en tierra.

La aplicación del concepto de *Sea Traffic Management* se lleva a cabo en varios proyectos, que se muestran en la Tabla 21. Para más detalle, véase [56].

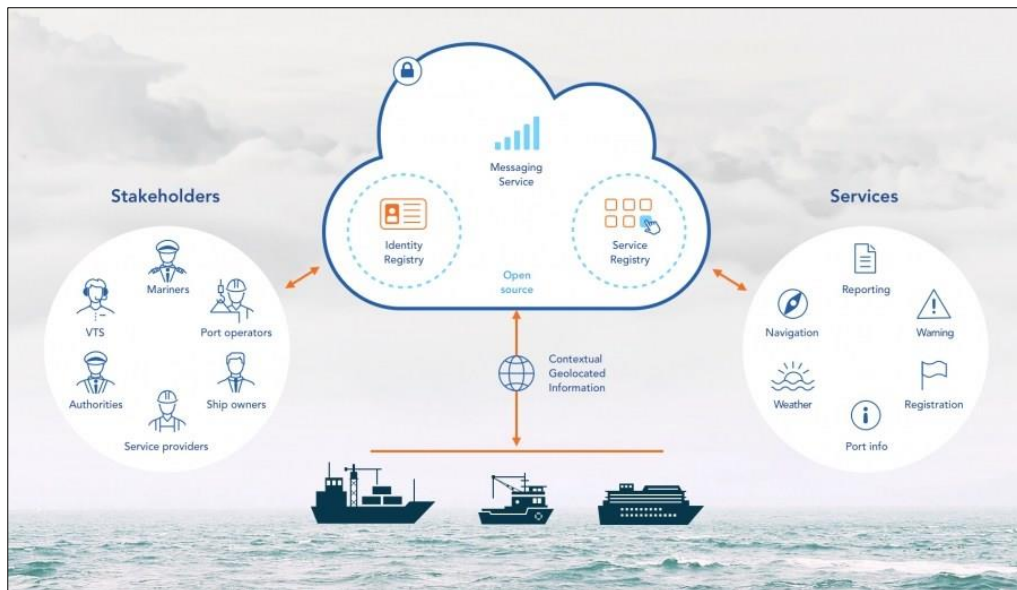


Figura 61: Esquema de plataforma de conectividad marítima del proyecto EfficientSea2 [53]

Proyecto	Descripción
STM Validation	Validación del concepto STM, infraestructura y servicios, mostrando sus beneficios en la práctica en 300 barcos, 13 puertos, 5 centros costeros y 12 centros de simulación conectados.
EfficientFlow	Implementación de llamadas a puerto eficientes a través de información en tiempo real en puertos bálticos.
Real Time Ferries Project	Conexión de las líneas de ferry con el transporte interior, conectando los viajes en barco con la cadena de transporte.
STM Baltic Safe	Aumento de la seguridad de la navegación en el mar báltico.
STEAM	Conversión de un puerto tradicional en un centro de transbordo e información de clase mundial, adoptando tecnologías modernas digitales para el sector marítimo.
Monalisa 2.0	Definición del concepto <i>Sea Traffic Management</i> .
Monalisa	Testeo de intercambio de rutas buque-buque y buque-costa, así como de la nube marítima.
MICE	Testeo de rutas a tierra desde un barco en el ártico.

Tabla 21: Proyectos en los que se desarrolla el concepto de *Sea Traffic Management*

4.4.4.4. Smart Navigation

Smart Navigation es un proyecto ideado y organizado por el Ministerio de Océanos y Pesquería de la República de Corea con el fin de mejorar la calidad, la eficiencia de la navegación y la calidad de vida de los marineros; contribuir en la implementación de la *e-Navigation* y fomentar el crecimiento de la comunidad marítima a través de ella.

El proyecto proporciona distintos servicios de coordinación del tráfico marítimo, conocimiento del entorno para la detección de situaciones de riesgo, prevención de riesgos, monitorización e intercambio de información.

4.4.4.5. Sesame Straits

El proyecto *Sesame Straits*, dirigido por un consorcio liderado por *Kongsberg Norcontrol IT*, nació con la idea de emplear el concepto de *e-Navigation* para reducir los puntos críticos de tráfico, es decir, zonas muy transitadas con alta probabilidad de congestión que pueden dar lugar a accidentes y provocar retrasos.

Este proyecto se desarrolló con la intención de predecir estos posibles puntos y ofrecer nuevas estrategias para evitar atascos y aglomeraciones, mejorando consecuentemente la seguridad en la navegación y permitiendo la llegada puntual de las embarcaciones, incrementando así la eficiencia de la infraestructura existente.

En la Figura 34 ya se ha ilustrado previamente un ejemplo del tráfico de buques a nivel mundial y se puede observar cuáles son las zonas que sufren una mayor congestión.

Debido al éxito obtenido con el banco de pruebas de *Sesame Straits*, a principios del año 2018 se ha comenzado un nuevo proyecto directamente relacionado, *Sesame Solution II*, que busca desarrollar un sistema todavía más completo de navegación electrónica.

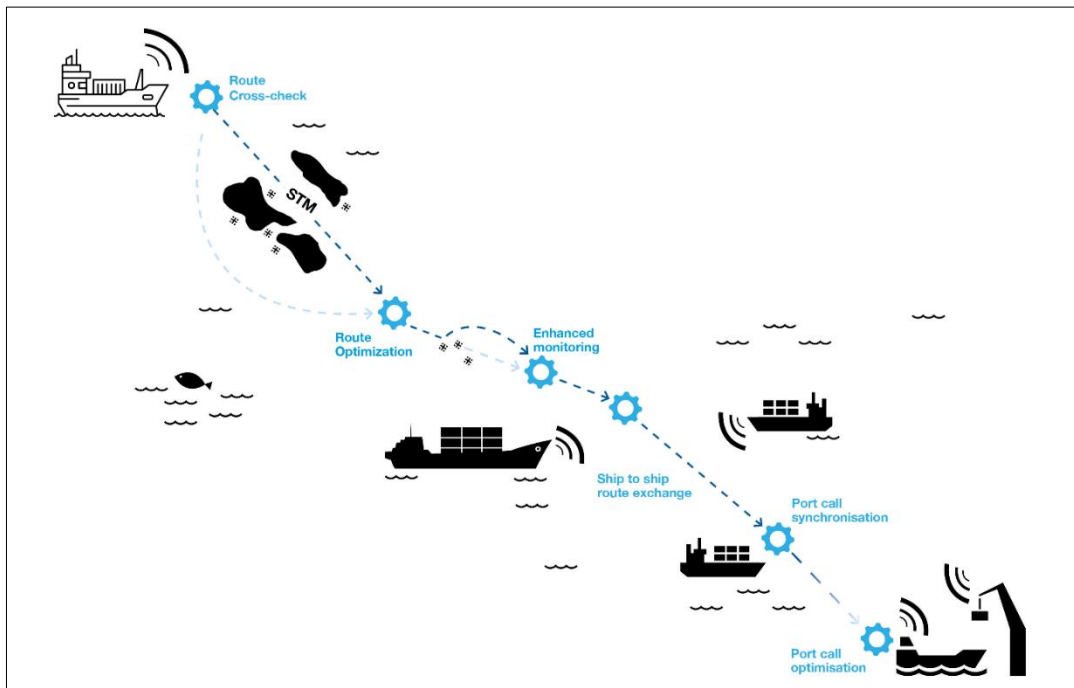


Figura 62: Servicios del proyecto Sea Traffic Management Validation [53]

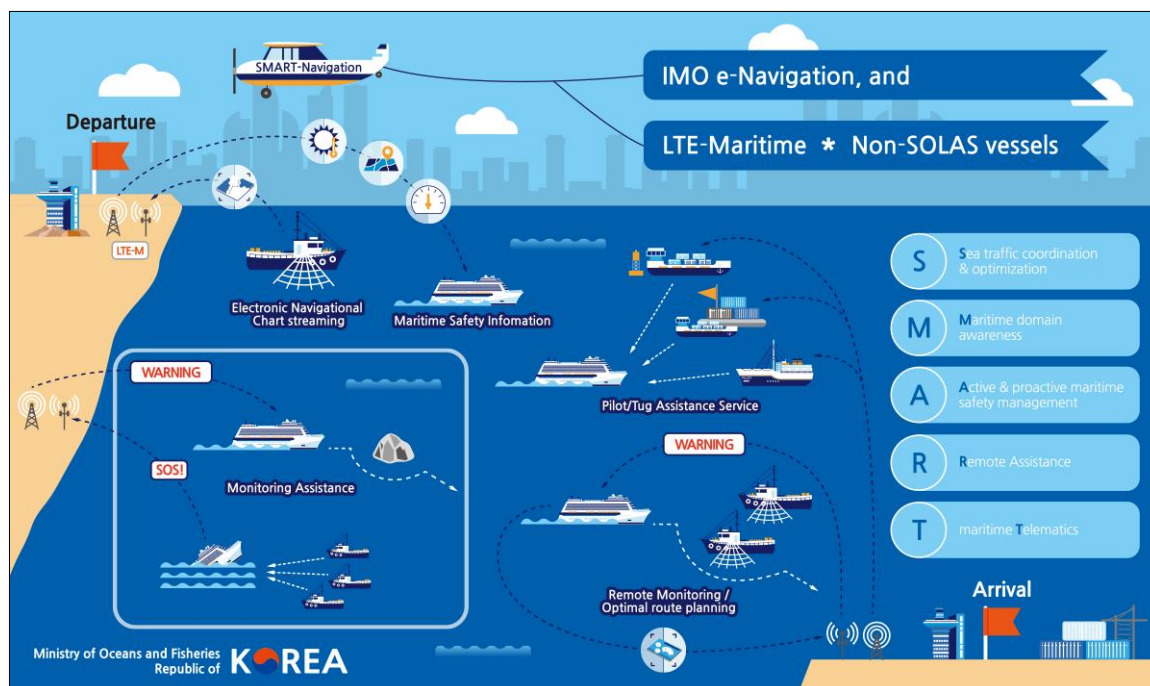


Figura 63: Esquema general del proyecto Smart Navigation [53]

4.4.4.6. Otros proyectos

Independientemente de su magnitud, existen gran cantidad de proyectos que han sido desarrollados para abordar las necesidades de navegación electrónica. En [57] se puede consultar una amplia lista en la que se especifica qué bancos de pruebas están activos en la actualidad y cuáles están ya terminados, además de las descripciones particulares de cada uno de ellos.

5. Futuro de las comunicaciones marítimas y conclusiones

A pesar de que las tecnologías relativas a los sistemas de comunicaciones para el entorno marítimo no han dejado de evolucionar desde su aparición, el desarrollo del estándar VDES, junto con la modernización del sistema GMDSS, suponen un gran avance dentro de este sector. Por ello, resulta lógico preguntarse por el futuro de las comunicaciones marítimas para la navegación, seguridad y protección del medio marino.

A gran escala, con la *e-Navigation* nace el deseo de conseguir la interconexión total entre buques y estaciones costeras a través de enlaces radio con el objetivo de garantizar una navegación segura; así como de proporcionar a la tripulación y a las autoridades costeras datos información relevante en tiempo real.

Son muchos los esfuerzos mantenidos para cumplir estos objetivos y son también muchas las ideas y proyectos impulsados por las autoridades y organismos pertinentes, con la intención de lograrlo en un período de tiempo que se busca que sea lo más corto posible.

En los últimos seminarios de radiocomunicaciones celebrados a lo largo del año 2018, se han impartido diferentes conferencias en las que se han presentado las últimas novedades en lo referente a las comunicaciones marítimas modernas y al futuro de la *e-Navigation*. A la espera del WRC-19, y en base a lo presentado en estos eventos, la tendencia hacia una conectividad global es clara, buscando alcanzar la coordinación total de los servicios digitales. Existe también una predisposición a la inclusión de nuevas constelaciones de satélites en el sistema GMDSS, como se había anticipado ya en el Capítulo 1. Asimismo, la evolución del sistema COSPAS-SARSAT contará con nuevos satélites en la órbita terrestre de mediana altura (MEO), conviviendo con los que ya están orbitando a baja altura y los satélites geoestacionarios. Se espera también la implementación de un servicio RLS (*Return Link Service*), que permitirá a las balizas de 406 MHz recibir un acuse de recibo por parte del Centro de Control de la Misión (MCC), así como a los Centros de Coordinación de Rescate enviar otro acuse de recibo a la baliza una vez iniciadas las actividades de rescate.

El transporte marítimo es el medio más utilizado para el comercio internacional. En la actualidad, más del 90% del comercio mundial se transporta por mar y las rutas marítimas se emplean desde la antigüedad para dicho fin [58]. Fenómenos como la sociedad de consumo o la globalización han propiciado que este medio de transporte suponga una solución idónea para la transferencia de mercancías y tecnologías. Con el auge de la aviación, el transporte de personas por mar ha disminuido notablemente; sin embargo, juega todavía un papel muy importante dentro del sector turístico.

Para la explotación eficiente y segura del dominio marítimo, independientemente de su finalidad, resulta imprescindible la necesidad de comunicarse en el mar. Todos los buques, ya sean cargueros, petroleros, graneleros, cruceros, ferris, barcasas o cualquier otro tipo de embarcación, requieren de unas garantías en la navegación que permitan que ésta sea lo más segura y eficiente posible.

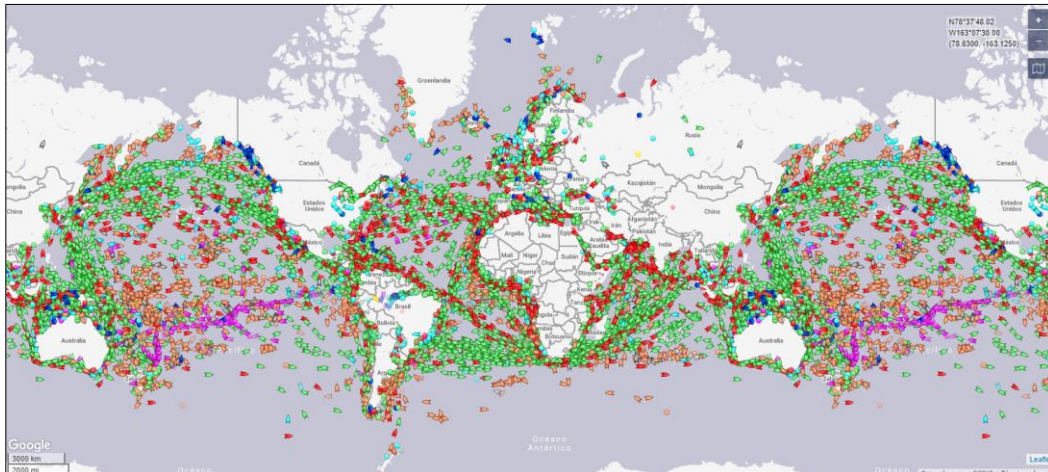


Figura 64: Tráfico marítimo mundial, extraído en tiempo real de [59]

Todas estas circunstancias propician la aparición de diversos organismos reguladores y diferentes sistemas de comunicación, con el objetivo de poder llevar un control del tráfico; prevenir, identificar y detectar riesgos y peligros; responder de forma rápida ante situaciones de emergencia y producir el menor impacto posible en el medio marino.

Los sistemas iniciales suponen una primera aproximación para la solución del problema, pero tienen limitaciones que los vuelven incapaces de resolverlo en su totalidad, como por ejemplo la necesidad de visión directa. Hoy en día, y en plena era digital, no se concibe convivir en un escenario completamente analógico, por lo que, a pesar de que estos sistemas han supuesto una evolución del sector marítimo, la verdadera transformación llega con la digitalización del mismo.

Como se ha visto en los primeros capítulos, el desarrollo del sistema AIS ha mejorado la seguridad marítima y ha contribuido a mejorar la eficiencia de la navegación y la protección del medio ambiente. Sin embargo, está lejos de ser el sistema definitivo, y presenta una serie de inconvenientes (uso de un protocolo abierto, limitación de cobertura, sobrecarga, incapacidad de soportar la cantidad de información que demandan las nuevas aplicaciones, etc.) que hacen que sea necesario seguir progresando para alcanzar los objetivos.

La aparición de VDES sí que constituye, hoy en día, una alternativa viable para las comunicaciones marítimas. Tal y como se lleva insistiendo a lo largo de todo este libro, VDES permite un aumento de las capacidades de información, posibilita el desarrollo de nuevas aplicaciones, descongestiona el sistema AIS y aumenta todavía más la seguridad. Asimismo, favorece el despliegue de la *e-Navigation* para una mayor prevención de riesgos y accidentes, protección medioambiental y mejora de la navegación.

Cada vez es más real la idea de una red que conecta todo el sector marítimo a través de VDES, conexiones de banda ancha y la componente satélite.

En definitiva, el nuevo estándar VDES se ha consolidado como uno de los núcleos principales de la *e-Navigation*, permitiendo el desarrollo de aplicaciones innovadoras que antes parecían inviables. Al mismo tiempo, la navegación electrónica ha supuesto una auténtica revolución para el dominio marítimo, estableciendo las bases de un nuevo paradigma en la navegación, el transporte y las comunicaciones en el mar.

Referencias

- [1] «Furuno,» [En línea]. Available: <https://www.furunousa.com/en/products/lc90>.
- [2] «Garmin,» [En línea]. Available: <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/p/28723>.
- [3] «Orolia Maritime,» [En línea]. Available: <https://www.oroliamaritime.com/products/mcmurdo-smartfind-g8-epirbs/>.
- [4] «TechBrands,» [En línea]. Available: <https://www.techbrands.com/store/category/630/product/dc1069.aspx>.
- [5] «Plastimo,» [En línea]. Available: <https://www.plastimo.com/en/rescuer-2-sart.html>.
- [6] «Nasa Marine,» [En línea]. Available: <https://www.nasamarine.com/product/easy-navtex/>.
- [7] «Rowlands Marine Electronics,» [En línea]. Available: <https://rowlandsmarine.co.uk/nasa-weatherman-radio-telex/>.
- [8] IALA, '*Maritime radio communications plan*', 2017.
- [9] U.S Coast Guard R&D, '*Human Error and Marine Safety*', 2012.
- [10] «Info Navigation Malacca Straits Blog,» [En línea]. Available: <http://infonavigation.blogspot.com/2012/04/automatic-identification-system-ais.html>.
- [11] «SOLAS Chapter V, Regulation 19,» [En línea]. Available: <http://solasv.mcga.gov.uk/regulations/regulation19.htm>.
- [12] R. Challamel, T. Calmettes y C. Neyret, '*An european hybrid high performance satellite AIS system*', 2012.
- [13] ITU-R. M.1371-4, '*Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band*', 2010.
- [14] ITU-R. M.1084-5, '*Interim solutions for improved efficiency in the use of the band 156 - 174 MHz by stations in the maritime mobile service*', 2012.
- [15] ISO/IEC 13239:2002, '*Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - High-level data link control (HDLC) procedures*', 2002.
- [16] All about AIS, '*AIS TDMA Access schemes, Technical summary*', 2012.
- [17] IALA Guideline Nº. 1059, '*On the comparison of AIS Stations*', 2008.
- [18] Radio regulations, '*Radiocommunications Appendices*', 2012.
- [19] J. Stolte, A. Robinson y A. Hopkoa, '*Space based monitoring of global maritime shipping using automatic identification system*', 2007.
- [20] M. Picard, M. Oularbi, G. Flandin y S. Houcke, '*An Adaptive Multi-User Multi-Antenna Receiver for Satellite-Based AIS Detection*', 2012.
- [21] J. Carson-Jackson, '*Satellite AIS – Developing Technology or Existing Capability?*', 2012.

- [22] B. T. Narheim y R. Norsworthy, '*AIS Modeling and a Satellite for AIS Observations in the High North & Draft New ITU-R Report*', 2008.
- [23] G. Parsons, J. Youden, B. Yue y C. Fowler, '*Satellite Automatic Identification System (SAIS) Performance Modelling and Simulation*', 2013.
- [24] Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Galicia, '*Descripción del sistema AIS y consideraciones sobre repetidores AIS*', 2012.
- [25] ExactEarth, '*Satellite AIS and First Pass Detection*', 2012.
- [26] O. F. H. Dahl, '*Space-Based AIS Receiver for Maritime Traffic Monitoring Using Interference Cancellation*', 2006.
- [27] P. Burzigotti y A. Ginesi, '*Automatic Identification System receiver and satellite payload comprising the same*'.
- [28] A. Faup y M. De Latour, '*Method for detecting AIS messages*'.
- [29] ITU-R. M.1371-5, '*Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band*', 2014.
- [30] ITU-R. M.493-13, '*Digital selective-calling system for use in the maritime mobile service*', 2009.
- [31] «Furuno,» [En línea]. Available: <http://www.furuno.es/es/>.
- [32] «JRC,» [En línea]. Available: <http://www.jrc.co.jp/eng/product/lineup/jss2150/index.html>.
- [33] «Bluesat Solutions,» [En línea]. Available: <https://www.bluesat.com/sailor-6310-mf-hf-150w.html>.
- [34] «Inmarsat,» [En línea]. Available: <https://www.inmarsat.com/isatphone/>.
- [35] «Iridium,» [En línea]. Available: <https://www.iridium.com/products/iridium-extreme/>.
- [36] «Thuraya,» [En línea]. Available: <https://www.thuraya.com/xt-pro>.
- [37] IALA Rec. a-124, '*Appendix 18: VDL Load Management*', 2011.
- [38] ITU-R. M.2287-0, '*Automatic identification system VHF data link loading*', 2013.
- [39] Japan Coast Guard, '*Second Workshop on International Standardization of VDES*', 2014.
- [40] Marine Traffic Blog, '*MarineTraffic at Posidonia 2016 to present AIS – a world of possibilities*' <https://www.marinetraffic.com/blog/marinetraffic-posidonia-present-ais-world-possibilities/>, 2016.
- [41] ITU-R. M.2092-0, '*Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band*', 2015.
- [42] ITU-R. M.585-7, '*Assignment and use of identities in the maritime mobile service*', 2015.
- [43] International Maritime Organization (IMO), '*Guidance on the use of AIS Application-Specific Message*', 2010.
- [44] IALA, '*IALA's VHF Exchange System (VDE). A foundation for eNavigation communications and GMDSS modernization*', 2014.

- [45] ITU-R. M.2371-0, '*Selection of the channel plan for a VHF data exchange system M Series Policy on Intellectual Property Right (IPR) Series of ITU-R Reports*', 2015.
- [46] Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, '*Actas finales WRC-15*', 2015.
- [47] ETSI, '*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld devices (SH) below 3 GHz*', 2011.
- [48] ITU-T v.42, '*Series V: Data Communication over the Telephone Network. Error-correcting procedures for DCEs using asynchronous-to-synchronous conversion*', 2002.
- [49] IALA, '*Communications for maritime safety and efficiency*', 2018.
- [50] Stone Three Venture Tech, IMIS Global Ltd., AMSA. VDES Lab trial report, *Australian Maritime Safety Authority Brisbane VDES Trials*, 2015.
- [51] Stone Three Venture Tech., I. Gl. L. The VHF Data Exchange System: technology, use and impact., *Australian Maritime Safety Authority Brisbane VDES Trials.*, 2015.
- [52] A. I. Wilylams, '*ACCSEAS: e-Navigation and its benefits to the environment*'.
- [53] P. Lane, '*e-Navigation Update*', 2018.
- [54] «Accseas Project,» [En línea]. Available: <http://www.accseas.eu/>.
- [55] «Sesame Straits Project,» [En línea]. Available: <http://straits-stms.com/>.
- [56] «Sea Traffic Management,» [En línea]. Available: <https://www.stmvalidation.eu/>.
- [57] «IALA Technical e-Navigation Testbeds,» [En línea]. Available: <https://www.iala-aism.org/technical/e-nav-testbeds/>.
- [58] «Ministerio para la Transición Ecológica,» [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/trafico_maritimo.aspx.
- [59] «Marine Traffic,» [En línea]. Available: <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:9.8/centery:24.8/zoom>.

Lista de acrónimos

ACK	Acknowledgement
ADDC	Assigned Data Transfer Channel
AIS	Automatic Identification System
AIS 1	161,975MHz (87B or 2087). Primary channel for the default region or in high seas.
AIS 2	162,025MHz (88B or 2088). Secondary channel for the default region or in high seas.
ARQ	Automatic Repetition Request
ARQSC	Automatic Repetition Request Signaling Channel
ARSC	Announcement Response Channel
ASC	Announcement Signaling Channel
ASM	Application Specific Messages
AtoN	Aid to Navigation
BB	Bulletin Board
BBSC	Bulletin Board Signaling Channel
BER	Bit Error Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CPA	Closest-Point-of-Approach
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	Cyclic Redundancy Code
CSTDMA	Carrier Sense TDMA
DAC	Designated Area Code
DGMM	Dirección General de la Marina Mercante
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DGM	Digital Mobile Radio
DSC	Digital Selective Calling
ECDSA	Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
EGC	Enhanced Group Call
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ELT	Emergency Locator Transmitter
EPIRB	Emergency Position-Indicating Radio Beacons
ESA	European Space Agency
FATDMA	Fixed Access TDMA
FEC	Forward Error Correction
FIFO	First-In First-Out
FMDA	Frequency Division Multiple Access
FOV	Field Of View
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System
GMSK-FM	Gaussian-filtered Minimum Shift Keying/Frequency Modulation
GNSS	Global Navigation Satellite Service
HDLC	High-level Data Link Control
HF	High Frequency
IALA	International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
IEC	International Electrotechnical Commission
IMO	International Maritime Organization
ITDMA	Incremental TDMA
ITU	International Telecommunications Union
LC	Logical Channel
LEO	Low Earth Orbit
LF	Low Frequency
LOS	Line of Sight
LRIT	Long Range Identification and Tracking
MCC	Mission Control Center
MDC	Multicast Data Channel

MEO	Medium Earth Orbit
MF	Medium Frequency
MMSI	Maritime Mobile Service Identity
MOB	Man OverBoard
MCS	Modulation and Coding Schemes
NAVTEX	Navigational Telex
NBDP	Narrowband Direct Printing
NRZI	Non Return to Zero Inverted
OSI	Open System Interconnection
PC	Physical Channel
PER	Packet Error Rate
PKI	Public Key Infrastructure
PLB	Personal Locator Beacon
PMR	Private Mobile Radio
RAC	Random Access Channel
RACON	Radar beacon
RADC	Random Access Short Message Channel
RATDMA	Random Access TDMA
RLS	Return Link Center
RQSC	Random Access Structure Request
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SARSAT	Search And Rescue Satellite-Aided Tracking
SAR	Search and Rescue
SART	Search and Rescue Transmitter
SCTDMA	Slot Carrier Sense TDMA
SDR	Software Defined Radio
SFTP	SSH File Transfer Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOLAS	Safety Of Life At Sea
SOTDMA	Self-Organizing TDMA
STM	Sea Traffic Management
TBB	Terrestrial Bulletin Board
TBBSC	Terrestrial Bulletin Board Signaling Channel
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UDC	Unicast Data Channel
UDP	User Datagram Protocol
UTC	Universal Time Coordinated
VDE	VHD Data Exchange
VDES	VHD Data Exchange System
VDL	VHF Data Link
VHF	Very High Frequency
VTC	Vessel Traffic Services
WRC	World Radiocommunication Conference

Lista de figuras

Figura 1: Ejemplo de receptor LORAN-C Furuno, extraído de [1].....	9
Figura 2: Ejemplo de emisora fija VHF Garmin 300i, extraído de [2]	10
Figura 3: Ejemplo de radiobaliza de emergencia McMurdo SmartFind G8 automática, extraído de [3]	11
Figura 4: Ejemplo de radio UHF para comunicaciones internas TechBrands, extraído de [4].....	12
Figura 5: Ejemplo de transpondedor Rescuer 2 SART Plastimo, extraído de [5]	12
Figura 6: Ejemplo de receptor NASA Easy NAVTEX, extraído de [6].....	13
Figura 7: Ejemplo de radio télex NASA, extraído de [7].....	14
Figura 8: Ejemplo de una red AIS [10].....	19
Figura 9: Extracto de la tabla de frecuencias de la Rec. ITU-R M.1084-5	22
Figura 10: Ejemplo de codificación NRZI	23
Figura 11: Diagrama de bloques de un modulador GMSK-FM.....	23
Figura 12: Formato por defecto de un paquete AIS.....	24
Figura 13: Sistema AIS TDMA [16].....	26
Figura 14: Acceso y reserva de slots para equipos SOTDMA.....	29
Figura 15: Ejemplo de los parámetros empleados en una reserva FATDMA.....	30
Figura 16: Formato y temporización de la transmisión para CSTDMA [13]	30
Figura 17: Esquema de transmisión para el modo SOTDMA modificado	31
Figura 18: Esquema de extensión de la cobertura AIS empleando repetidores dúplex	32
Figura 19: Colisión entre mensajes de dos celdas SOTDMA [19].....	34
Figura 20: Efecto Doppler sobre mensajes AIS recibidos por un satélite [20].....	35
Figura 21: Nanosatélite diseñado para recepción AIS [21].....	37
Figura 22: GMDSS en el caso de una alerta de socorro por “hombre al agua”	40
Figura 23: Comunicación DSC de rutina semi-dúplex entre dos barcos	43
Figura 24: Comunicación DSC de rutina full-dúplex entre dos barcos	44
Figura 25: Comunicación DSC de rutina full-dúplex entre un barco y una estación costera.....	44
Figura 26: Formato técnico de una secuencia de llamada de rutina [30]	45
Figura 27: Secuencia de transmisión [30]	46
Figura 28: Ejemplo de radioteléfono semi-dúplex Furuno FM-8900S, extraído de [31].....	48
Figura 29: Ejemplo de equipo J.R.C JSS-2150 sin radiotélex, extraído de [32].....	48
Figura 30: Ejemplo de equipo Thrane & Thrane SAILOR TT-6310, extraído de [33].....	48
Figura 31: Ejemplo de teléfono satélite Inmarsat IsatPhone 2, extraído de [34]	50
Figura 32: Ejemplo de teléfono satélite Iridium 9575 Extreme, extraído de [35]	50
Figura 33: Ejemplo de teléfono satélite Thuraya XT Pro, extraído de [36].....	51
Figura 34: Tráfico global de buques con dispositivos AIS (2016) [40].....	52
Figura 35: Concepto de operación del sistema VDES [39].....	53
Figura 36: Timeline sobre el desarrollo del sistema VDES [39].....	55
Figura 37: Diagrama de asignación de frecuencias del sistema VDES [41].....	61
Figura 38: Slot predeterminado en el caso buque-costa para el mapeado de canales lógicos en la etapa descendente	64

Figura 39: Slot predeterminado en el caso buque-buque para el mapeado de canales lógicos en la etapa descendente	65
Figura 40: Jerarquía de tramas para uso compartido de frecuencia [41]	68
Figura 41: Niveles máximos de potencia en el canal adyacente del servicio VDE	70
Figura 42: Estructura de trama para el servicio VDE [41]	71
Figura 43: Bit mapping para n/4 QPSK, 8-PSK y 16-QAM [41]	71
Figura 44: Funcionamiento del servicio sobre satélite full-dúplex y semi-dúplex [41]	73
Figura 45: Niveles máximos de potencia en canal adyacente en los transmisores embarcados del servicio ASM	74
Figura 46: Formato por defecto de un paquete de transmisión ASM [41]	74
Figura 47: Campos de un paquete de ASM por satélite para RATDMA, ITDMA y FATDMA	75
Figura 48: Campos de un paquete de ASM por satélite para CSTDMA	75
Figura 49: Máscara de emisión para transmisiones AIS de Clase B [29]	76
Figura 50: Paquete AIS para aplicaciones de larga distancia [29]	76
Figura 51: Cronología del estado de desarrollo del sistema VDES [49]	78
Figura 52: Arquitectura global del sistema para el proyecto POLARYS	80
Figura 53: Prototipo transceptor VDES desarrollado por EGATEL y Gradiant en el proyecto POLARYS	81
Figura 54: UAV del proyecto POLARYS durante la realización de las pruebas, con el transceptor VDES en su parte inferior	82
Figura 55: Captura de pantalla de la aplicación GIS-3D del proyecto POLARYS	82
Figura 56: Esquema general del proyecto POLARYS	83
Figura 57: Receptor para el enlace descendente de la componente satelital de VDES (desarrollado por EGATEL y Gradiant)	85
Figura 58: Arquitectura del sistema para las pruebas de campo del piloto VDES en Brisbane	86
Figura 59: Tasa frente a rango para el ferry empleado en las pruebas de campo del piloto VDES en Brisbane [51]	87
Figura 60: Cronología del desarrollo de la e-Navigation, extraída de [52]	88
Figura 61: Esquema de plataforma de conectividad marítima del proyecto EfficientSea2 [53]	91
Figura 62: Servicios del proyecto Sea Traffic Management Validation [53]	92
Figura 63: Esquema general del proyecto Smart Navigation [53]	93
Figura 64: Tráfico marítimo mundial, extraído en tiempo real de [59]	95

Lista de tablas

Tabla 1: Principales sistemas para comunicaciones de socorro en el ámbito marítimo [8]	14
Tabla 2: Principales sistemas para comunicaciones generales [8]	15
Tabla 3: Principales sistemas para promulgación de información sobre seguridad marítima [8]	16
Tabla 4: Período de transmisión para un barco de Clase A [13]	21
Tabla 5: Período de transmisión para otro tipo de estación [13].....	21
Tabla 6: Listado de mensajes AIS	25
Tabla 7: Relación entre los tipos de estaciones y los modos de operación [17]	27
Tabla 8: Frecuencias DSC internacionales para fines de socorro, seguridad y urgencias.....	42
Tabla 9: Frecuencias DSC internacionales para fines distintos de socorro, seguridad y urgencia	43
Tabla 10: Mensajes de una alerta de socorro.....	46
Tabla 11: Mensajes para otros tipos de llamadas	47
Tabla 12: Definición del Identificador de Aplicación (AI) para mensajes binarios ASM [29]	58
Tabla 13: Niveles de prioridad de servicios.....	59
Tabla 14: Asignación de canales para los diferentes servicios en las componentes terrena y satelital.....	60
Tabla 15: Modelo OSI de siete capas [41]	63
Tabla 16: EIRP mínima del transmisor embarcado en función del ángulo de elevación [41]	70
Tabla 17: Requisitos sobre las emisiones espurias del servicio VDE.....	70
Tabla 18: Sensibilidad y relación portadora/interferencia para el servicio VDE [41]	70
Tabla 19: EIRP máxima del satélite en función del ángulo de elevación del barco para la componente VDE-SAT [41]	72
Tabla 20: Modulaciones disponibles en el uplink y en el downlink de VDE-SAT [41]	73
Tabla 21: Proyectos en los que se desarrolla el concepto de Sea Traffic Management	91