



Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

Futuro del VHF:

Sistema de intercambio de datos VDES

Para acceder al Título de Máster Universitario en

NÁUTICA Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Autor/a: Pedro Antonio Niembro Álvarez

Tutor/a: Ángel José del Reguero Huerga

Junio – 2020



CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	II
GLOSARIO-LISTA DE ACRÓNIMOS	III
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS	3
3 SISTEMA DE INTERCAMBIO DE DATOS VDES.....	4
3.1 EL SISTEMA ACTUAL	5
3.2 VDES.....	15
3.3 CALENDARIO DE IMPLANTACIÓN.....	26
3.4 EL FUTURO DE LAS COMUNICACIONES MARÍTIMAS, POTENCIALES USOS DEL SISTEMA VDES.....	28
4 CONCLUSIONES.....	38
REFERENCIAS	41



ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento del sistema SOTDMA. Fuente: digitalyacht.es	6
Figura 2 Funcionamiento de ASM. Fuente: autor	10
Figura 3 Generación de blancos sintéticos por un VTS. Fuente: IALA G.1117	11
Figura 5 Diferencia de cobertura AIS terreno VS satélite. Fuente: FleetMon.com.....	14
Figura 6 Funcionamiento del satélite semidúplex y dúplex completo.Fuente: ITU.RM2090 .	21
Figura 7 Posibles comunicaciones entre estaciones VDES. Fuente: vtexplorer.com	23
Figura 8 Servicios VDES Fuente: IALA G.1117	23
Figura 9 Esquema general de servicios VDES. Fuente: ITU- M.2092-0.....	24
Figura 10 Plan de implementación VDES. Fuente: IALA G.1117	27
Figura 11 Categorías de uso VDES. Fuente: IALA G.1117.....	29
Figura 12 Distintas rutas enviadas para evaluación del VTS por un buque. Fuente: Monalisa Activity Report.....	32
Figura 13 Funcionamiento de VDES según MARIOT. Fuente: GateHouse.dk.....	33
Figura 14 Partes del satélite NORSAT-2. Fuente: Acta Astronaut.....	35
Figura 15 Logotipo del Proyecto Polarys. Fuente: Cellnex T.....	36
Figura 16 Unidad UAV utilizada en el Proyecto Polarys. Fuente: Cellnex T.	37

TABLAS

Tabla 1 Intervalo de emisiones AIS-A. Fuente ITU-R M.1371-5.....	8
Tabla 2 Uso de VDL en AIS. Fuente: UIT-R M.1371-5.....	9
Tabla 3 Asignación de canales VDES Fuente: ITU M2092	21



GLOSARIO-LISTA DE ACRÓNIMOS

- AIS: Sistema de Identificación Automático (Automatic Identification System)
- AIS-SART: Transmisor AIS de Búsqueda y Rescate (*AIS search and rescue transmitter*)
- ASM: Mensajes Específicos de Aplicación (*Application Specific Messages*)
- AtoN: Elementos de Ayuda a la Navegación (*Aids to Navigation*)
- Big Data: Grandes volúmenes de datos de los que se puede extraer información.
- Buque SOLAS: Buques que cumplen con las especificaciones requeridas por el Capítulo V del Convenio para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar de 1974
- COLREG: Reglamento para Prevenir los Abordajes de 1972 (*International Rules for Prevention of Collision at Sea 1972*).
- DGNSS: Sistema Diferencial Mundial de Navegación Aeronáutica por Satélite (*Differential Global Navigation Satellite System*)
- ECDIS: Sistema de Información y Visualización de las Cartas Electrónicas (*Electronic Chart Display and Information System*)
- e-Navigation (e-NAV): Definida por la OMI como “*la recolección, integración, presentación y análisis de información marítima, tanto a bordo de buques como en tierra, por medios electrónicos para mejorar la navegación y los servicios relacionados como la seguridad y la protección del medio marino*”. Plan aprobado por MSC 94 Nov 2014 [1]
- ETA: Hora Estimada de Llegada (*Estimated Time of Arrival*)
- GIS-3D: Sistema de Información Geográfica en 3 dimensiones (*Geographical Information System*)
- GMDSS: Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (*Global Maritime Distress Safety System*)
- GNSS: Sistema de Navegación Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System*)
- GPS: Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*)
- IALA: Asociación Internacional de Señalización Marítima (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities*)
- IoT: Internet de las Cosas (*Internet of Things*)
- ISM: Información de Seguridad Marítima



- ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union*)
- LEO: Satélite de Órbita Baja (*Low Earth Orbit*)
- MOB: Hombre al agua (*Man Overboard*)
- MSP: Carteras de Servicios Marítimos (*Maritime Service Portfolios*).
- OMI: Organización Marítima Internacional (*International Maritime Organization*)
- PATDMA: Acceso Múltiple por División del Tiempo Pre-Anunciado (*Pre-Announce Time-Division Multiple-Access*)
- RCC: Centro de Coordinación de Rescates (*Rescue Coordination Centre*)
- RTA: Hora Requerida de Llegada (*Requested Time of Arrival*)
- SAR: Búsqueda y Rescate (*Search and Rescue*)
- SMSSM: Sistema Mundial de Socorro y Salvamento Marítimo
- SOLAS: Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar (*International Convention for the Safety of Life at Sea*)
- SOTDMA: Acceso Múltiple por División del Tiempo Autoorganizativo (*Self-Organised Time Division Multiple Access*)
- Tasa binaria /Tasa de bits: del inglés *bit-rate*. En informática y tecnologías de la comunicación, se define como el número de bits que se transmiten por segundo a través de un sistema de transmisión digital. Es pues, la velocidad de transmisión de datos. [2]
- TBB: Tabón de Anuncios Terrenal (*Terrestrial Bulletin Board*)
- TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo (*Time Division Multiple Access*). “Método de Acceso al Canal (CAM) utilizado para facilitar el intercambio de canales sin interferencia. TDMA permite que múltiples estaciones compartan y usen el mismo canal de transmisión dividiendo las señales en diferentes intervalos de tiempo. Los usuarios transmiten en rápida sucesión, y cada uno usa su propio intervalo de tiempo. Por lo tanto, varias estaciones (como los móviles) pueden compartir el mismo canal de frecuencia, pero solo usan parte de su capacidad” [3]
- VDE: Intercambio de Datos por Ondas Métricas (*VHF Data Exchange*)
- VDES: Sistema de Intercambio de Datos en Ondas Métricas (*VHF Data Exchange System*)
- STM: Gestión del Tráfico de Buques (*Ship Traffic Management*).
- VHF: Ondas métricas (Muy Alta Frecuencia) (*Very High Frequency*)
- VTS: Servicios de Tráfico Marino (*Vessel Traffic Service*)



1 INTRODUCCIÓN

Desde la introducción de los primeros sistemas radioeléctricos a bordo de los buques a principios del siglo XX, su uso se ha vuelto tan indispensable que es impensable (e ilegal) que un buque navegue sin un gran número de ellos a bordo: radares, receptores de información meteorológica, radiobalizas de posicionamiento, receptores GPS, receptores y emisores satelitales, numerosos sistemas de comunicación por texto y voz, etc.

De entre todos estos distintos sistemas, los de radiocomunicación, específicamente el VHF y el AIS son los que se hallan en el punto de mira de las grandes organizaciones que regulan la seguridad dentro del mundo marítimo.

La ingente cantidad de información, de carácter muy básico, pero de enorme impacto en la seguridad de la navegación que se transmite mediante ellos, ha generado una saturación que podría hacerlos inservibles o inseguros si se siguen utilizando de la misma forma que hasta ahora¹, ello sumado a que los enormes avances tecnológicos se ven gravemente frenados al no disponer de instrumentos que permitan su implantación en dichos sistemas.

La digitalización es un fenómeno que ha llegado a todos los ámbitos relacionados con la comunicación, pero las regulaciones existentes hasta hace muy pocos años la frenaban de distintas formas: no concediendo canales del espectro radioeléctrico específicos o siendo éstos insuficientes, manteniendo férreas regulaciones en cuanto a diseño y funcionamiento de los aparatos, primando los sistemas analógicos sobre los digitales, etc.

Al llegar a la conclusión de la necesidad de implantar un sistema que permita el avance tecnológico en éste y otros aspectos, la OMI, junto a otros importantes actores en la industria marítima, han identificado retos e ideado soluciones relacionados con dicha digitalización, surgiendo así el concepto de e-navigation o e-NAV [5], permitiendo el acceso de nuevas tecnologías y la actualización de las ya existentes.

Un ejemplo contundente de la necesidad de actualización nos los brinda el sistema AIS actual: se trata de un sistema diseñado para la identificación de buques, cuya función primaria es la de fortalecer la seguridad de la vida humana en la mar, pero durante los últimos años se han

¹ Según un estudio de la ITU realizado en 2014, en ciertas zonas del mundo como el Golfo de México o el Mar Amarillo, se supera ya el umbral crítico del 50% de carga del sistema, sobre todo debido al ingente número de estaciones AIS y los distintos servicios que se integra dentro de cada uno de ellos[4]



desarrollado distintas aplicaciones que utilizan el sistema AIS para transmitir información que no se había planeado en un principio, como los servicios AtoN, o, al menos, no en la cantidad en que se encuentran hoy, provocando con ello la saturación del sistema.

Otros puntos débiles del sistema actual son su protocolo de transmisión en abierto (siendo susceptible de ataques malintencionados), las limitaciones de cobertura (reducida a un rango visual aproximado de 40 millas), poca capacidad para la transmisión de grandes paquetes de información, etc.

La e-NAV utiliza como solución, ya en periodo de implantación, el estándar VDES: aumento y cambio de determinadas frecuencias/canales en el espectro de VHF, utilización de satélites para aumentar la cobertura a zonas de difícil acceso, una mayor capacidad de intercambio de información buque-buque y buque-tierra, generación de distintas capas de seguridad en las comunicaciones, etc.

En el presente documento se identificarán las limitaciones de los sistemas actuales, para presentar en detalle las necesidades de desarrollo y cuales han sido las soluciones por las que se ha optado y cuales se han descartado y porqué.

Se desarrollarán las soluciones elegidas a implantar por las organizaciones marítimas y finalmente se enumerarán posibles usos del sistema, desarrollando algunas de ellas más a fondo.



2 OBJETIVOS

El propósito del presente trabajo es el de llevar a cabo una revisión sobre el nuevo esquema VDES, aspirando a crear una fuente de información y consulta en castellano, ya que es, si cabe, mucho más escasa e incompleta que la disponible en lengua inglesa, y las referencias existentes son de carácter extremadamente técnico y de poco interés para los usuarios finales.

Pudiérase tomar como una guía de consulta rápida de dicho esquema, ya que, a pesar de estar legalmente instaurado, el desconocimiento por parte de los potenciales usuarios (pilotos de la marina mercante, operadores VTS, empresas navieras...) es la norma.

Al tratarse de un esquema que integra al sistema AIS, otro de los objetivos es dar al lector las herramientas para entender la acuciante necesidad de actualización de éste antes de que se produzcan saturaciones que pudiesen suponer un peligro a los navegantes, así como las soluciones propuestas ante estas dificultades.

Actualmente existen numerosos proyectos que se basan total o parcialmente en el esquema VDES, por lo que se hará una descripción de los más relevantes, con lo que se pretende dar al lector una idea lo más aproximada de las enormes capacidades que ofrece esta tecnología y los cambios que podría sufrir el mundo de la marina mercante como lo conocemos en la actualidad, sentando las bases para el desarrollo de buques que naveguen de forma parcial o totalmente autónoma.



3 SISTEMA DE INTERCAMBIO DE DATOS

VDES

El entorno AIS y el nuevo esquema VDES están cada vez más interrelacionados y son cada vez más dependientes del sistema GMDSS, respetándolo y aportándole nuevas funcionalidades no previstas en la constitución inicial de ninguno de ellos. Ni AIS como tal, ni el nuevo sistema VDES pertenecen a GMDSS, pero sí que funcionan más y más de manera simbiótica con él, ya que, por ejemplo, las nuevas SART, EPIRB, MOB, etc., que si se encuentran dentro del sistema GMDSS vienen dotados de transmisores AIS.

El sistema AIS no tiene funcionalidades de llamada de socorro específicas, pero, como expresan muy claramente las regulaciones de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones), el buque puede hacer uso de cualquier sistema de comunicaciones para emitir una alerta de socorro, dejando abierta la posibilidad de crear nuevos equipos que aumenten las probabilidades de “hacerse ver” en la mar cuando se presenten emergencias.

El Sistema de Intercambio de Datos en Ondas Métricas (VDES por sus siglas en inglés) es lo que podríamos llamar la “segunda generación” de la popular tecnología AIS, integrando, dentro del mismo, al propio sistema AIS (Sistema de Identificación Automática), el sistema ASM (Mensajes Específicos de Aplicación) y desarrollando el nuevo VDE (Intercambio de Datos en Ondas Métricas), y que trae consigo necesarios y numerosos cambios que, además, dejan la puerta abierta para que se desarrollen distintas aplicaciones aprovechando las nuevas capacidades de que se dota al sistema.

En primer lugar, se hará una descripción del sistema AIS actual para poder entender las novedades y beneficios que aporta el VDES y por qué la actualización del sistema es tan importante, seguidamente se mostrará el calendario de implantación de los nuevos sistemas y finalmente, antes de desarrollar las conclusiones, se presentarán distintos proyectos que nos servirán para entender las distintas tecnologías que hacen uso de este esquema y que se vienen desarrollando desde hace algunos años, que con toda seguridad cambiarán la manera en que entendemos hoy las comunicaciones.



3.1 EL SISTEMA ACTUAL

3.1.1 PARTES DEL SISTEMA (AIS, ASM)

El esquema AIS lleva asociado dos sistemas principales: AIS y ASM, que a su vez requieren un componente físico (hardware) y presentan unas limitaciones específicas que el nuevo VDES pretende solucionar. A continuación, se desarrollarán los citados puntos:

3.1.2 AIS

AIS es un sistema de comunicaciones marítimas, adoptado por la OMI en 2002 para proveer a los buques con información, principalmente de seguridad en la navegación como un instrumento más para apoyar y fortalecer el cumplimiento del Reglamento para Prevenir los Abordajes (COLREG 72). El sistema AIS provee de información suficiente para representar, sin intervención del usuario, y en distintos terminales de a bordo, la posición y el movimiento de los buques que se hallan en el rango de recepción.

3.1.2.1 ESTANDAR DE TRANSMISIÓN

Este sistema trabaja con transpondedores que emiten, de forma autónoma, información a intervalos regulares en la banda de Muy Alta Frecuencia/Ondas Métricas (conocida como banda VHF, por sus siglas en inglés), teniendo la capacidad de gestionar de forma correcta hasta 4500 reportes cada minuto, y actualizaciones cada dos segundos.

Para realizar la gestión de esta información, se utiliza el sistema SOTDMA (de sus siglas en inglés por Acceso Múltiple por División del Tiempo Autoorganizado), que permite el flujo continuo de información entre las estaciones y provee de un sistema fiable para comunicaciones entre buques y entre buques, estaciones costeras y otros dispositivos equipados con ésta tecnología, permitiendo también una fácil, rápida y virtualmente inequívoca identificación de las estaciones que se encuentran a la redonda, además de que dicha información proporciona numerosos datos que el equipo gestor del puente puede utilizar para tomar mejores decisiones al realizar maniobras para evitar la colisión y realizar una navegación más eficiente.

El sistema SOTDMA asigna a cada emisor un “time slot” (intervalo de tiempo) de 26,6 milisegundos, que son los que requiere el transpondedor para emitir la información recabada en el intervalo en que no emite. En este sistema, cada buque dentro del área de cobertura, reserva de un slot determinado, que es el que usará para la transmisión de datos.

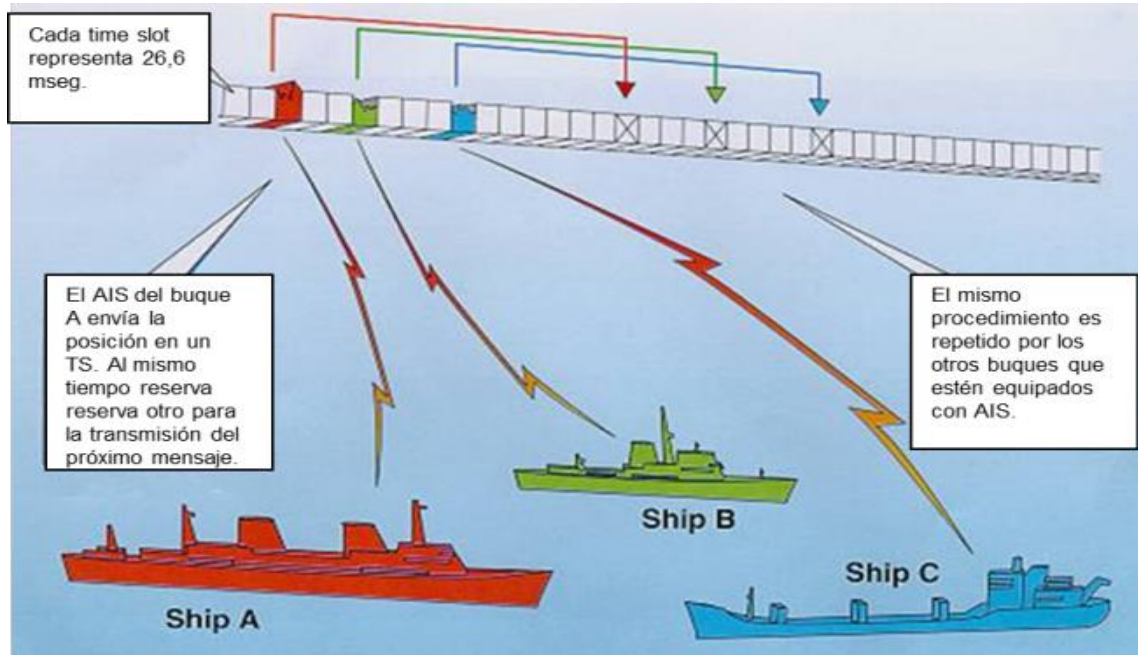


Figura 1 Funcionamiento del sistema SOTDMA. Fuente: digitalyacht.es

El resto del tiempo, el que queda entre emisiones, se mantendrá la escucha para recibir los mensajes de los buques que se encuentran a su alrededor. En caso de que dos buques reclamen el mismo slot, el sistema SOTDMA se encargará de asignar al buque otro diferente de forma automática, y en caso de que todos ellos estuviesen ocupados, el sistema utilizaría la norma de “reutilización de slots”, asignando uno que esté usando un buque que se encuentre a gran distancia, reduciendo la posibilidad de interferencias (se hace esto ya que lo que se intenta en todo momento es evitar la colisión, y por ello las embarcaciones cercanas son obviamente más relevantes).

3.1.2.2 CLASES DE AIS

Dentro del sistema AIS se especifican distintas clases de producto, los de uso a bordo de embarcaciones, que pueden ser “Clase A” o “AIS-A”, cuya instalación es obligatoria en buques SOLAS (buques de navegación internacional de 300GTs o más y buques de pasaje de cualquier tonelaje) y “Clase B” o “AIS-B”, que son equipos con menores capacidades, menor potencia de emisión y de costo inferior, cuya instalación no es obligatoria pero si recomendada en embarcaciones de recreo, pequeros, embarcaciones de navegación interior, buques de pequeño tonelaje, etc. (A partir de este punto, cuando se haga mención del sistema AIS, será por defecto al AIS-A, que es el que nos interesa en este trabajo y al que afecta la nueva normativa). [6]

Además de los terminales instalados a bordo de buques (ya sea AIS-A o B), existen otros productos que se contemplan dentro del ecosistema AIS: “Base Station” (estaciones AIS



costeras), cuyo propósito es atender a las necesidades de las estaciones costeras de control del tráfico y aumento de la seguridad; terminales AtoN (del inglés para Ayudas a la Navegación), que se instalan tanto a bordo de boyas como en tierra y que transmiten y recaban información del tráfico, estado de la mar, meteorología, etc., también están dotados de la capacidad de retransmitir (relay) mensajes AIS para aumentar la cobertura del sistema. Asimismo, existen dispositivos SART (Search and Rescue Transceiver, tradicionalmente utilizaban la banda X de radar) que funcionan con la tecnología AIS, que utiliza un sistema SOTDMA (PATDMA) modificado que emite la información de posición y datos identificativos 8 veces por minuto en un slot preasignado y que es capaz de ser reconocido por el resto de los dispositivos receptores de AIS, utilizado para enviar un mensaje de socorro en caso de emergencia.

Un subtipo de terminal AIS es el de los AIS-R o Receptores AIS, que solo tienen capacidad de recibir información AIS en uno o dos canales, generalmente instalados en pequeñas embarcaciones de recreo y en aeronaves dedicadas a búsqueda y rescate en la mar.

Finalmente existe la posibilidad de crear dispositivos híbridos que integren capacidad de transmisión o recepción AIS y que no han sido todavía homologados por IMO/IEC (International Electrotechnical Commission).

3.1.2.3 MENSAJES VDL EN AIS

El sistema AIS trabaja mediante el envío de mensajes con una configuración muy determinada, y existen actualmente 27 tipos de mensaje diferentes que, combinados, se usan para proveer los servicios.

La información que enviarán se divide en 4 grupos principales: datos estáticos, datos dinámicos, relativos al viaje y de seguridad.

El uso de los mensajes de posición (información dinámica) del sistema AIS es el más común, combinados con la información del viaje (puerto de destino, tipo de carga a bordo, tipo de buque, número de tripulantes a bordo, etc.). Los datos dinámicos (posición, velocidad, rumbo) son emitidos entre cada 2 y 10 segundos, dependiendo de la velocidad de navegación del buque, o cada 3 minutos si se halla en fondeo. Los datos estáticos (información del viaje, carga, número de tripulantes...) se envían cada 6 minutos.

Intervalos de información de los equipos móviles a bordo de barcos de la Clase A[6]

Condiciones dinámicas del barco	Intervalo nominal de información
Barco anclado o atracado y moviéndose a menos de 3 nudos	3 min
Barco anclado o atracado y moviéndose a más de 3 nudos	10 s



Barco en movimiento de 0 a 14 nudos	10 s
Barco en movimiento de 0 a 14 nudos con cambio de derrotero	3 1/3 s
Barco en movimiento de 14 a 23 nudos	6 s
Barco en movimiento de 14 a 23 nudos con cambio de derrotero	2 s
Barco en movimiento a más de 23 nudos	2 s
Barco en movimiento a más de 23 nudos con cambio de derrotero	2 s

Tabla 1 Intervalo de emisiones AIS-A. Fuente UIT-R M.1371-5

Otro tipo de mensajes son los que proporcionan información en situaciones SAR (Búsqueda y Salvamento, de sus siglas en inglés), estaciones que recogen y emiten información de densidad de tráfico, información meteorológica, hidrológica, de ayudas a la navegación (AtoN), etc.

Utilización de mensajes de VDL por parte de un AIS

ID	Nombre	Descripción	ID	Nombre	Descripción
1	Informe de posición	Informe de posición programado; (equipo móvil a bordo de barco de Clase A)	15	Interrogación	Petición de tipo de mensaje específico (puede dar lugar a múltiples respuestas de una o varias estaciones)(4)
2	Informe de posición	Informe de posición programado asignado; (equipo móvil a bordo de barco de Clase A)	16	Instrucción modo de asignación	Asignación de un comportamiento de informe específico por la autoridad competente que emplea una estación de base
3	Informe de posición	Informe de posición especial, respuesta a interrogación; (equipo móvil a bordo de barco de Clase A)	17	Mensaje binario difundido DGNSS	Correcciones DGNSS proporcionadas por una estación de base
4	Informe de estación de base	Posición, UTC, fecha y número de intervalo actual de la estación de base	18	Informe de posición de equipo de Clase B estándar	Informe de posición estándar para equipo móvil a bordo de barco de Clase B a utilizar en lugar de los Mensajes 1, 2, 3(8)
5	Datos estáticos y relativos al viaje	Informe de datos estáticos y relativos al viaje del barco; (equipo móvil a bordo de barco de Clase A)	19	Informe de posición de equipo de Clase B ampliado	Ya no se requiere informe de posición ampliado para equipo móvil a bordo de barco de Clase B; contiene información estática adicional(8)
6	Mensaje direccionado binario	Datos binarios para comunicación direccionada	20	Mensaje de gestión de enlace de datos	Intervalos de reserva para estaciones de base
7	Acuse de recibo binario	Acuse de recibo de datos binarios direccionados	21	Informe de ayudas a la navegación	Informe de posición y estado para ayudas a la navegación
8	Mensaje difundido binario	Datos binarios para comunicación difundida	22	Gestión de canal(6)	Gestión de canales y modos de transceptor por una estación de base
9	Informe de posición de aeronave SAR estándar	Informe de posición para estaciones a bordo de aeronaves, únicamente en operaciones SAR	23	Instrucción de asignación de grupo	Asignación de un comportamiento de informe específico por la autoridad competente que utiliza una estación de base a un grupo de móviles específico



10	Pregunta UTC/fecha	Petición de UTC y fecha	24	Informe de datos estáticos	Datos adicionales asignados a una ISMM Parte A: Nombre Parte B: Datos estáticos
11	Respuesta UTC/fecha	UTC y fecha actuales, si están disponibles	25	Mensaje binario de un solo intervalo	Transmisión corta de datos binarios no programada (difundida o direccionada)
12	Mensaje direccionado relativo a la seguridad	Datos relativos a la seguridad para comunicación direccionada	26	Mensaje binario de múltiples intervalos con estado de comunicaciones	Transmisión de datos binarios programada (difundida o direccionada)
13	Acuse de recibo relativo a la seguridad	Acuse de recibo de mensaje direccionado relativo a la seguridad	27	Informe de posición para aplicaciones de largo alcance	Equipo móvil a bordo de barco de Clase A y Clase B «SO» fuera de cobertura de la estación de base
14	Mensaje difundido relativo a la seguridad	Datos relativos a la seguridad para comunicación difundida	28 - 64	Sin asignación	

Tabla 2 Uso de VDL en AIS. Fuente: UIT-R M.1371-5

3.1.2.4 RANGO DE USO

El rango de emisión y recepción varía dependiendo de las condiciones meteorológicas, estado de la mar, altura de emisión de la antena, potencia de emisión, etc.

La recepción de AIS-A (el que nos interesa en este trabajo por su relación con buques de navegación internacional y cuya actualización está en curso) se encuentra generalmente entre 25 y 40 millas náuticas, pero se puede ver reducida a menos de 20, como ampliada a más de 400, como puede ser en caso de tormentas solares la primera y en caso de ducting o superducting (superconductividad), la segunda.

El AIS-B emite con una potencia mucho menor, con lo que su rango es aproximadamente 12 millas o menor, igualmente dependiente de factores meteorológicos, marítimos, etc.

3.1.2.5 FRECUENCIAS DE TRABAJO

El equipo AIS cuenta con dos entradas de información; por un lado, toma los datos obtenidos del sistema GNSS, usualmente GPS (posición, velocidad, rumbo) e información del rumbo obtenido del girocompás. Por el otro lado, los datos aportados por el usuario (datos estáticos y relativos al viaje).

Los datos son codificados y emitidos por dos frecuencias de forma simultánea, en el canal 87B (161,975 MHz) y el canal 88B (162,025 MHz), con un ancho de banda de 25 kHz. La emisión de la misma información en ambos canales se justifica al doblar el esfuerzo para que



el mensaje que se difunde tenga más probabilidades de llegar a los receptores sin sufrir interferencias.[6]

AIS-B trabaja en las frecuencias 161,500 MHz y en la 162,025 MHz (compartida con AIS-A).

3.1.2.6 SEGURIDAD

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta hoy en día todo sector que utilice tecnologías de intercambio de información es el de la seguridad, y el sistema AIS es, por naturaleza, extremadamente susceptible a este tipo de ataques debido a su inexistente encriptación y autenticación. Por lo mismo, existe una vulnerabilidad a ataques del tipo spoofing (suplantación de identidad), hijacking (secuestro de la señal) e interrupción de disponibilidad (saturación del espectro utilizado para interferir en las comunicaciones). Este es uno de los principales avances con el nuevo sistema VDES, que se verá más adelante.

3.1.3 ASM

ASM o Application Specific Messages (Mensajes Específicos de Aplicación) son mensajes transmitidos por el terminal AIS de las estaciones, pero que no necesariamente encierran información obtenida o generada por el mismo terminal, sino que son introducidos en el sistema para que sean enviados por el mismo “aprovechando” la emisión, pero sin interferir con el envío de información primaria, aunque si creando una mayor carga en el sistema. Dicha información proviene generalmente de fuentes externas (ECDIS, terminales móviles, boyas hidrográficas, consolas portuarias, etc.), y que son codificados dentro de los mensajes VDL 6, 8 o 25 (ver Figura 2)

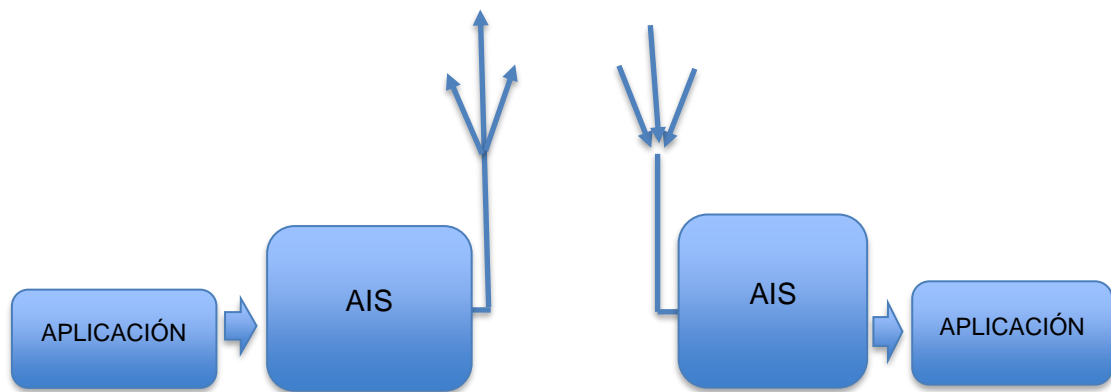


Figura 2 Funcionamiento de ASM. Fuente: autor



Bajo la “Recomendación 144 de e-NAV” de la IALA [7] se permite el desarrollo de nuevos ASM tanto a empresas particulares como a organismos estatales, pero requiere que se mantenga una lista actualizada de todas ellas, la cual se puede consultar en la web de IALA [8].

Un ejemplo típico del uso de ASM es el que utilizan muchos gestores de esclusas en ríos de países como Alemania, Países Bajos o Francia para organizar el tráfico. Los buques y otras embarcaciones en un primer momento envían su ETA (Hora Estimada de Llegada, de sus siglas en inglés) a la esclusa. Seguidamente la esclusa enviará la RTA (Hora Requerida de Llegada, de sus siglas en inglés). Este sencillísimo programa es de suma importancia, tanto para la embarcación como para la organización de las esclusas, ya que el equipo gestor del puente puede ajustar la velocidad para llegar a la hora acordada y la gestión de las esclusas será mucho más eficiente, evitando embotellamientos. Otros ejemplos pueden ser el de envío por parte de la estación costera de información climática y de mareas a todos los buques que se encuentren en determinada área, información sobre muelles o pantalanes libres en puertos o la generación de ecos “sintéticos” que el sistema AIS procesará como reales y los mostrará en los dispositivos conectados como RADAR o ECDIS, de esta forma se crean pasillos de entrada a puertos, como los que se usan en la boca del río Yangtsé en Shanghái, en los que las boyas que se ven reflejadas en los terminales del puente son ficticias, pero indistinguibles de las reales en cuanto a representación e información brindada. A continuación, vemos el ASM creado por la IMO en 2010 y abierto su uso para todos los puertos que lo soliciten, con el que se pueden crear tanto boyas sintéticas como buques en navegación, con nombre, distintivo de llamada e incluso MMSI, si así se desea.

Parameter	No. of bits	Description
Type of Target Identifier	2	Identifier Type: 0 = The target identifier is the MMSI number 1 = The target identifier is the IMO number. 2 = The target identifier is the call sign 3 = Other (default)
Target Identifier	42	The Target Identifier depends on Type of Target Identifier (see above). When call sign or vessel name is used, it should be inserted using 6-bits ASCII characters. When MMSI or IMO number is used, the least significant bit should equal bit zero of the Target Identifier. If the target identity is unknown, Type of Target Identifier should be set to “3” and Target Identifier to “@@@@@@”.
Spare	4	Spare. Set to zero.
Latitude	24	Latitude in 1/1,000 min, ±90 degrees as per 2’s complement (North = positive, South = negative). 91 degrees = not available = default
Longitude	25	Longitude in 1/1,000 min, ±180 degrees as per 2’s complement (East = positive, West = negative). 181 = not available = default
Course-over-ground (COG)	9	COG in degrees, in 1 degree steps. 0 – 359 360 = not available = default

Figura 3 Generación de blancos sintéticos por un VTS. Fuente: IALA G.1117



3.1.4 HARDWARE

Los requisitos de equipamiento para transmitir y recibir en el estándar SOTDMA son:

- Transmisor de ondas métricas (VHF) capaz de operar en las frecuencias AIS
- Dos receptores de ondas métricas (VHF) capaces de operar en las frecuencias AIS
- Receptor GPS para proporcionar posición y referencia de tiempo
- Memoria interna suficiente sobre la que se puedan efectuar operaciones de lectura y escritura (memoria RAM) y que sea capaz de almacenar un mapa de intervalos (slots) al menos 5 minutos
- Decodificador capaz de procesar todos los mensajes recibidos y crear un mapa de slots.

3.1.5 LIMITACIONES DEL SISTEMA ACTUAL

La principal limitación con la que se encuentra el sistema AIS hoy en día es el de la enorme cantidad de terminales que trabajan con el mismo, y que, como vimos en el texto introductorio del presente documento, están llevando al sistema a su límite de trabajo. En determinados lugares del globo, el sistema AIS había alcanzado ya, en 2014, el 64% de su capacidad. Pareciera que el número no es gran cosa, pero por diseño, los terminales encuentran extremadamente difícil escoger un slot en el que emitir cuando más del 50% de los mismos ya están ocupados, lo que lleva a una degradación del sistema y su consecuente impacto en la seguridad de la navegación.

Otra de las mayores limitaciones del sistema actual es el de la poca capacidad de transmisión de datos y la saturación del sistema cuando se lleva a cabo la misma. La tasa binaria (cantidad de datos que se transmiten en la onda por segundo) en el AIS actual es de 9,6 kbps, que comparada con la tecnología 5G por ejemplo (1 Gbps), hablamos de más de 1,000,000 de kbps de diferencia. Dicha tasa de intercambio de información es, cuanto menos, limitada, con lo que las múltiples iniciativas que han ido desarrollándose a lo largo de los últimos años no son soportadas por el ancho de banda actual de forma eficiente, y limitando igualmente la capacidad de desarrollo de nuevos ASMs [9].

La cobertura del sistema AIS es, cuando poco, insuficiente para los estándares a los que el mundo se está adaptando. Debemos recordar que el rango de emisión horizontal normal de AIS-A es aproximadamente de entre 25 y 40 millas náuticas, con lo que es muy fácil estar fuera de la cobertura de otra estación, aunque la onda se transmite de forma vertical más de 400 km. Gracias a esta propiedad, desde 2005 numerosas compañías como exactEarth, Orbcomm, Spacequest, Spire y algunas iniciativas gubernamentales, han estado



experimentando con distintos tipos de Satélites de Orbita Baja (LEO, por sus siglas en inglés), equipándolos con receptores de los canales AIS.

Los satélites LEO tienen una “huella de cobertura” (*Satellite Footprint*) enorme (rondando los 3000 km de diámetro [10]) si la comparamos con la de la cobertura AIS, con lo que reciben numerosas transmisiones que utilizan el mismo slot. Esto hace muy difícil al receptor discernir entre unas señales y otras, saturando el sistema y haciéndolo muy poco útil en numerosas ocasiones.

Como último ejemplo de las limitaciones del sistema, podemos poner al idioma de trabajo en el punto de mira. Los buques de navegación internacional hacen frente incontables veces a restricciones en la comunicación con embarcaciones vecinas debido a barreras lingüísticas insalvables (como yo mismo he sufrido en numerosas ocasiones en el Mar Amarillo o en el Mar de Bohai al estar rodeado de cientos de embarcaciones en las que no se conoce el inglés y que por lo tanto es cuasi imposible organizar una maniobra de paso segura ya que raramente se siguen las reglas COLREG).

El nuevo VDES propone una solución específica para cada una de las anteriores limitaciones, que se verán en el apartado 3.2

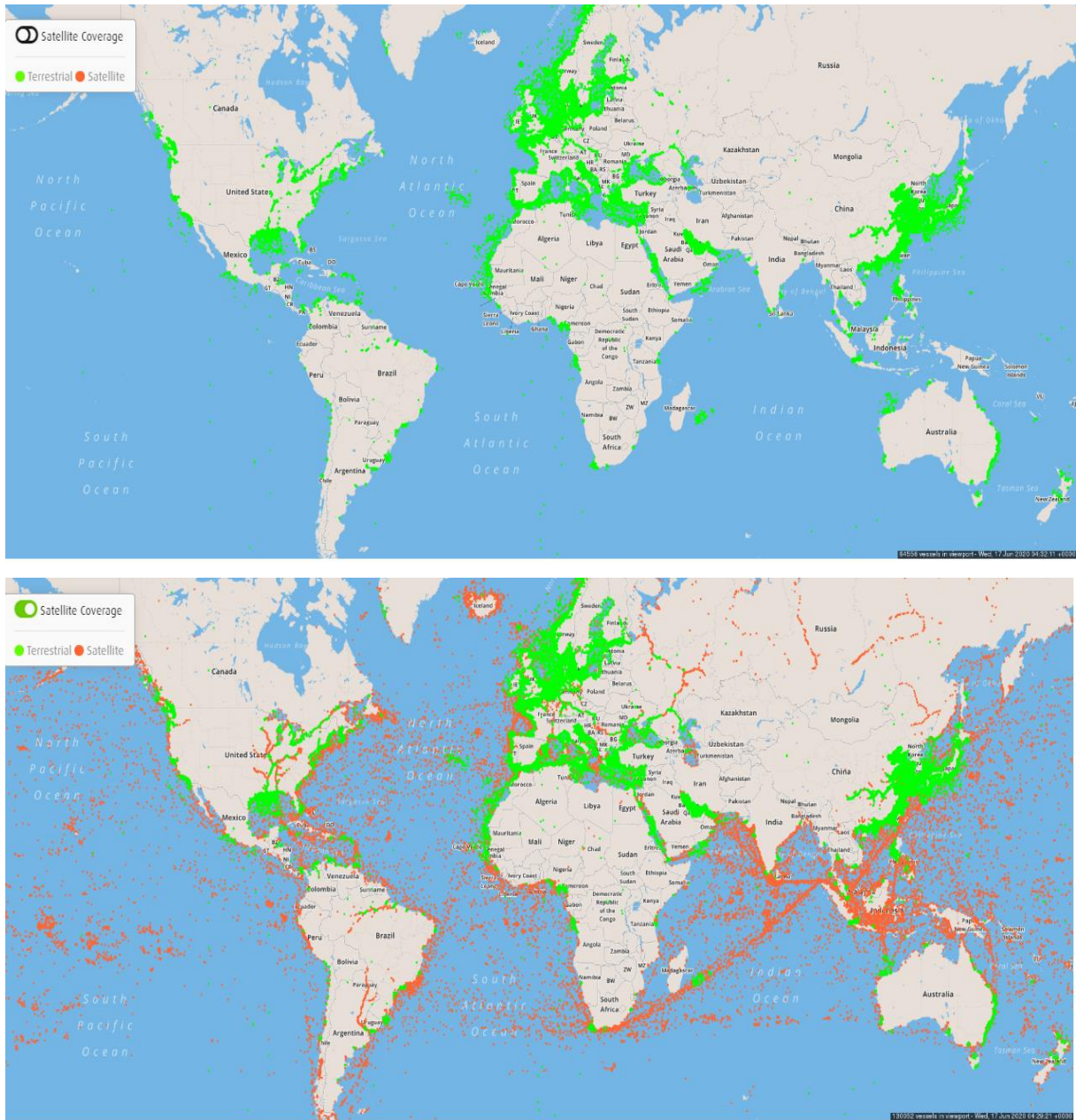


Figura 4 Diferencia de cobertura AIS terreno VS satélite. Fuente: FleetMon.com

Diferencia que supone para el ploteo de buques al utilizar la tecnología AIS como fue planteada inicialmente, captada por estaciones en tierra (puntos verdes) VS objetivos AIS captados mediante satélite (puntos naranjas).



3.2 VDES

El nuevo estándar VDES engloba, como se mencionó anteriormente, los sistemas ASM y AIS, dotándolos de nuevas capacidades y modificando algunos aspectos primordiales en los mismos.

Incrementa el peso de los Mensajes de Aplicación Específica (ASM) en el entono para liberar carga del sistema AIS, y de manera central, añade la componente del Intercambio de Datos por Ondas Métricas (VDE, de sus siglas en inglés), lo que facilita la transmisión de datos entre estaciones, principalmente pensado para el intercambio de datos mediante el uso de satélites entre embarcaciones y tierra.

Se fomenta la autonomía de funcionamiento del sistema, reduciendo al máximo la intervención del personal usuario, lo que, a criterio de los desarrolladores, minimiza el riesgo de cometer errores que afecten a la seguridad.

Se abren campos de estudio para crear aplicaciones de comunicación que sean independientes del idioma, como la incorporación de diccionarios digitales que realicen traducciones de forma automática.

Se implementa un sistema de monitorización de la integridad de los datos transmitidos mucho más fiable que el existente hasta la fecha, así como la creación de diversas capas de seguridad (que, entre otros, es responsable de la necesidad de actualización del hardware). Y de manera notable, se ha multiplicado por 10 la capacidad de transmisión de datos entre estaciones.

Vemos pues que se ha realizado un esfuerzo por actualizar el sistema, encontrando grandes cambios en la mayoría de los sistemas preexistentes.

ITU en la Recomendación M.2092-0 [11] de 2015, especifica y establece las condiciones que debe cumplir el nuevo sistema VDES:

- El sistema debe asignar la máxima prioridad a los informes de posición del sistema de identificación automática (AIS) y a la información de seguridad relacionada.
- El sistema instalado debe ser capaz de recibir y procesar los mensajes digitales y las llamadas de interrogación especificadas en la mentada Recomendación.
- El sistema debe ser capaz de transmitir información de seguridad adicional cuando se le solicite.
- El sistema instalado debe poder funcionar continuamente cuando el barco esté navegando, atracado o fondeado.



- Para los enlaces terrenales, el sistema debe utilizar técnicas de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA), sistemas de acceso y métodos de transmisión de datos de forma sincronizada conforme a la Recomendación.
- El sistema debe ser capaz de funcionar en diversos modos, entre ellos en modo autónomo, en modo asignado y en modo interrogado.
- El sistema debe ofrecer la flexibilidad de priorizar ciertas aplicaciones, adaptando determinados parámetros de transmisión con la consiguiente minimización de la complejidad del sistema.
- Todas las estaciones VDES deben identificarse de forma automática y exclusiva. Puede utilizarse un identificador numérico adecuado con fines de identificación, por ejemplo la identidad MMSI [12].
- Debe habilitarse un mecanismo automático de parada e indicación para el caso de que el transmisor transmita continuamente durante más de 2 s. Este mecanismo de parada debe ser independiente del control del software.
- Cuando el VDES instalado se encuentre en funcionamiento, no deberá sufrir daños como consecuencia de que los terminales de antena estén cortocircuitados o en circuito abierto.

3.2.1 AIS en VDES

Dentro del nuevo entorno VDES, AIS sigue siendo el sistema que mayor prioridad ostenta, ya que, aunque se le ha dotado de nuevas capas, su propósito básico sigue siendo el mismo: evitar la colisión entre las embarcaciones que lo usan.

El principal cambio, y por el que ha de realizarse una sustitución del equipo físico (hardware), es la modificación de los canales de uso para incluir componentes satelitarios, así como la adición de una Infraestructura de Clave Pública (PKI, de sus siglas en inglés), que se explicará más adelante, aunque la misma no afecta de forma directa al servicio AIS.

3.2.1.1 Especificaciones de transmisión

Las especificaciones de transmisión de cómo debe ser el sistema AIS integrado en VDES son las siguientes:

- La antena utilizada en la emisión y la recepción del sistema AIS puede ser la misma para las componentes terrena y satelitaria. La capacidad de comunicación con componentes satelitarios es exigible solo a instalaciones AIS Clase-A.



- La antena empleada para el servicio AIS será compatible para su uso de los sistemas VDE y ASM.
- La antena utilizada en el nuevo esquema VDES será de las mismas características que las empleadas hasta ahora en el sistema AIS, no siendo necesario su remplazo.
- Los parámetros de transmisión y recepción, así como la máscara de emisión para el servicio AIS serán los mismos que utilice el servicio ASM.
- El transceptor de AIS debe ofrecer una tasa binaria de 9,6 kbps.

La capacidad de transmitir a largas distancias, como en el caso de la componente satelitaria, es exclusiva y obligatoria para equipos AIS Clase-A, manteniendo, además, tanto AIS-A como AIS-B, las potencias de emisión originales (12,5 W y 1 W respectivamente).

Para las comunicaciones con satélite, el equipo debe codificar su posición mediante el mensaje 27 (Informe de posición para aplicaciones de largo alcance), que representa una versión conjunta de los mensajes 1,2 y 3.

3.2.1.2 Canales dedicados a AIS en VDES

De los 18 canales asignados al esquema VDES, 4 son de uso exclusivo del sistema AIS. 2 se han mantenido para su uso terrenal: AIS-1/2087 (161,975 MHz) y AIS-2/2088 (162,025 MHz) y dos se han dedicado en exclusiva como canales de enlace ascendente para comunicarse con los satélites del sistema: 75 (156,775 MHz) y 76 (156,825 MHz), independientes completamente de los anteriores.

Los canales terrenales pueden ser igualmente captados por los satélites (son los mismos que se han venido usando hasta ahora y que fueron asignados por la Recomendación ITU M.1084-4 en 2001 [13]).

Para solventar el problema de superposición de mensajes en el mismo slot que afecta a los satélites, se ha dispuesto que solo las estaciones con AIS-A, y de ellas, solo las que se encuentren fuera del rango de una estación costera, deben transmitir sus mensajes con destino satelital mediante el canal 27, y que dicha transmisión sea de 96 bits en lugar de los 256 bits que utilizan el resto de los mensajes. Además, se ha establecido que solo se enviará un mensaje por dicho canal cada 3 minutos, lo que reduce la saturación del sistema y aumenta las posibilidades de una correcta recepción en el satélite. La potencia de emisión por dichos canales debe ser de 12,5 W.

En [14] se hace mención a las constelaciones de satélites que ya integran o están dedicadas en exclusiva a captar señales AIS:

- AprizeSat



- PAZ
- ADS1B
- ResourceSat-2.
- M3MSat.
- AISSat 1 – 3.
- VesselSat 1 – 2.

Existen asimismo empresas que se dedican al rastreo de buques mediante señales AIS captadas por satélite. Entre ellas destaca exactEarth, que está a la cabeza del sector, ofreciendo información de distinta índole a sus clientes. Otras iniciativas son FleetMon, Norwegian Space Center o ORBCOMM, por enumerar solo algunas. Cada día aumenta más el interés en este ámbito. La multinacional Samsung ha emitido un “paper” en el que estudia la puesta en órbita de 4600 satélites de orbita baja para proveer servicios de comunicaciones, entre ellos el espectro VHF marino (aunque no se ha aclarado si en las frecuencias AIS/VDES).

3.2.2 ASM en VDES

3.2.2.1 Especificaciones de transmisión

Las especificaciones de transmisión más relevantes en cuanto al servicio ASM integrado en VDES son las siguientes:

- El servicio ASM puede compartir la antena con los servicios AIS y VDE.
- El servicio ASM requiere que la máscara de emisión sea idéntica a la utilizada por AIS, así como los parámetros de potencia, tolerancia y sensibilidad del transmisor.
- Los parámetros de transmisión para el servicio ASM por satélite son idénticos a los de la componente terrestre.
- Para las comunicaciones con la componente satelitaria puede utilizarse el mismo equipo integrado de VDES o puede ser un equipo dedicado en exclusiva a esta tarea [que sea capaz de utilizar el esquema de acceso TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo, del inglés)]
- El equipo debe ser capaz de recibir de forma paralela por dos canales simultáneamente, y de emitir de forma alterna en dos canales independientes.



3.2.2.2 *Canales dedicados a ASM*

En ITU.R M.2092 podemos encontrar los canales que se asignan a los servicios ASM en VDES. En este caso, a diferencia de los asignados para AIS, solo encontramos dos canales que ejercen funciones tanto para comunicaciones terrenas como de “uplink” para los satélites receptores. Dichos canales son dúplex, el ASM-1/2027 y ASM-2/2028 (169,950 y 162,000 MHz).

La inclusión de estos dos canales en el esquema VDES es de suma importancia, ya que liberan al sistema AIS de la sobrecarga actual y, al crear más ancho de banda, abren la puerta a posibles aplicaciones más complejas de lo que hasta ahora soportaban el sistema.

3.2.3 VDE en VDES

El servicio VDE (VHF Data Exchange) es el punto central del nuevo esquema VDES, ya que mediante el mismo se consigue liberar una importante carga del sistema AIS, que, además, otorga la capacidad de transmisión de datos y la incorporación de aplicaciones que hasta ahora no eran posibles con los medios disponibles.

Ya que posee una estructura diferente de los servicios AIS y ASM, es capaz de transmitir datos a tasas binarias mucho más altas que éstas, además de contar con la capacidad de encriptar y autenticar todas las transmisiones, añadiendo varias capas de seguridad a las mismas.

Su alcance se establece entre las 20 y las 50 millas náuticas debido a su estructura, siendo un poco mayor que el de AIS (entre las 25 y 40 millas).

Su potencia de transmisión será siempre igual o superior a los 12,5 W, sin alcanzar nunca los 50 W.[12, p. 38]

Si en los otros dos servicios no se ha hecho una gran diferencia entre la componente terrena y la satélite, en este sistema VDE sí que la encontramos, ya que las comunicaciones serán bidireccionales mediante el uso de hasta 12 canales distintos y se pretende que numerosas aplicaciones relacionadas con la e-Navigation se apoyen en esta componente.

Así pues, debemos diferenciar entre VDE terrestre y VDE satelital, aunque veamos primero las especificaciones de transmisión comunes para ambos servicios:

3.2.3.1 *Especificaciones de transmisión*

- Las antenas existentes pueden utilizarse para el servicio VDE, tanto terrestre como satelital, pero a condición de que posean una ganancia mínima de 3 dBi cuando no existe



elevación. Puede ser compartida con los servicios ASM y AIS, siempre que se respete la prioridad del sistema AIS.

- La ratio de error en frecuencia no debe superar 3 ppm para emisiones realizadas con una potencia de entre 1 W y 25 W (aquí vemos que la potencia de emisión para VDE se duplica a la establecida para AIS).
- La tasa binaria para VDE varía entre los 38,4 kbps y los 307,2 kbps (recordemos que la máxima capacidad de transmisión hasta ahora en AIS era de 9,6 kbps), variando la velocidad en función de la modulación y ancho de canal empleados.
- Para comunicaciones entre buques se empleará el modo simplex, y para comunicaciones entre buque y tierra, dúplex.
- Se empleará el modo de acceso TDMA para las emisiones del servicio.
- Las estaciones costeras emitirán un mensaje de Tablón de Anuncios Terrenal (TBB, de sus siglas en inglés) definiendo las configuraciones pertinentes para el uso de los canales de VDE.
- Se considera el uso de satélites LEO para la componente satélite del servicio.
 - El servicio VDE para satélites podrá ser configurado tanto para emitir en semi-dúplex como en full-dúplex.
 - Se ha de tener en cuenta que la distancia que debe recorrer la onda es como mínimo de 600 km (altura mínima de un satélite LEO), lo que conlleva un retraso “significativo” si lo comparamos con la componente terrena (entre estaciones terrestres el mensaje no alcanza 1 ms en ser entregado, cuando en los satélites, dependiendo a la altura en que estén situados, puede tardar incluso 8 ms).

3.2.3.2 *Canales dedicados a VDE*

- En las comunicaciones buque-buque se hará uso de los canales simplex únicamente, pudiendo adaptarse el ancho del canal entre los 25 kHz y los 100 kHz dependiendo de las necesidades de transmisión.

Para dichas comunicaciones se hará uso de los tramos superiores de los canales VDE-1-B (canales 2024, 2084, 2025, 2085).

- En los canales dúplex usados para las comunicaciones buque-costa, los buques utilizarán el espectro superior y las estaciones costeras el inferior, haciendo uso del canal solo un emisor a la vez (por ello se habla de semidúplex).

Los canales que usan las estaciones costeras para transmitir son los mismos que se usan en las comunicaciones buque-buque (VDE-1-B), mientras que en las emisiones



de buque a costera usará el espectro inferior: los canales VDE-1-A (canales 1024, 1084, 1025, 1085).

- En las comunicaciones entre buque y satélite se puede hacer uso de canales semidúplex o dúplex completos, en función de las capacidades técnicas del satélite con que se esté interactuando, contando para ello con los 8 canales mencionados anteriormente y sumando dos exclusivos: VDE-SAT-ascendente o *uplink* (canales 1024, 1084, 1025, 1085, 1026 y 1086) para las emisiones buque-satélite, y VDE-SAT-descendente o *downlink* (canales 2024, 2084, 2025, 2085, 2026 y 2086) para emisiones del satélite hacia el buque [15].

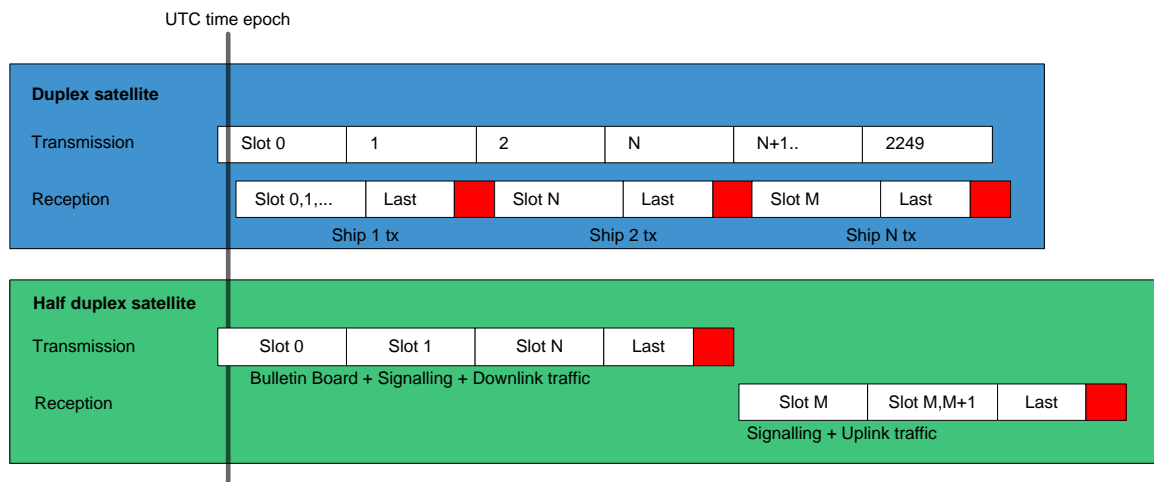


Figura 5 Funcionamiento del satélite semidúplex y dúplex completo. Fuente ITU.R M.2090

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 simplex) empleando el servicio VDE.
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 <i>Downlink</i> (canales 2024, 2084, 2025, 2085, 2026 y 2086) ha sido asignado como <i>downlink</i> del servicio VDE satélite.

Tabla 3 Asignación de canales VDES según ITU M2092



3.2.3.3 VDE terrestre:

Como hemos visto, la transmisión de datos entre buques y buque-costa puede ser simplex o semidúplex, pudiendo agruparse en canales de 25, 50 o 100 kHz.

El alcance de este servicio se encuentra entre las 20 y las 50 millas, siendo parecido al de AIS.

En la componente terrestre del servicio es importante mencionar que existe una diferencia importante en cuanto a la distancia del buque a una estación costera. El sistema se comportará de forma diferente.

En el caso de que un buque se encuentre dentro del rango de actuación de una estación de control, todo el tráfico de datos pasará por dicha estación (incluyendo los mensajes buque-buque). La estación emitirá un Tablón de Anuncios (TBB) indicando la banda de frecuencias y los intervalos de tiempo disponibles y otros detalles técnicos en que las estaciones pueden enviar sus transmisiones. Los buques monitorizarán permanentemente los TBB para determinar si se encuentran dentro del área de servicio de una estación de control.

Los buques que se encuentren fuera del área de servicio de una estación de control podrán realizar sus sesiones de datos directamente. Para determinar si un buque está dentro del alcance se usarán los datos de posición AIS.

3.2.3.4 PKI-seguridad

Todos los TBB deberán estar autenticados como modo de protección para asegurarse de que no se trata de suplantaciones de identidad (esto es importante porque, como se acaba de mencionar, todo el tráfico de datos entre estaciones en rango pasa por la estación de control). Dicha autenticación deberá ser otorgada por entidades de confianza. En este caso, la autenticación es realizada por IMO. La idea es que los TBB sean firmados por las estaciones de control, y los buques puedan reconocer dichas firmas y confiar en las estaciones. A este sistema se le denomina Infraestructura de Clave Pública (PKI). Mediante este sistema se aumenta la protección frente a posibles ataques malintencionados.

Debido al sistema PKI, los buques deben contar con una unidad dedicada en su sistema VDES, ya sea integrada en el mismo equipo o siendo externa, y que puede ser usada por otros sistemas para autenticar estaciones y realizar trabajos criptográficos en mensajes y conexiones.

En el supuesto de que la verificación de identidad de la estación falle, el usuario será notificado y el sistema seguirá trabajando sin interrumpir sus funciones.



3.2.3.5 VDE satelital

El servicio de VDE por satélite permite la comunicación bidireccional fuera del rango de una estación costera con buques, incluso en zonas en las que no existan dichas estaciones (ya sea por falta de medios técnicos en la zona o para cubrir grandes superficies de océano) El servicio VDE satelital permite la transferencia de datos desde estaciones costeras hasta buques y viceversa, así como la recopilación de información de estaciones VDES que solo transmiten (monitorización de factores ambientales, tráfico, llamadas de socorro de dispositivos MOB, SART, EPIRB...) y facilita las comunicaciones de largo alcance entre buque y costa.

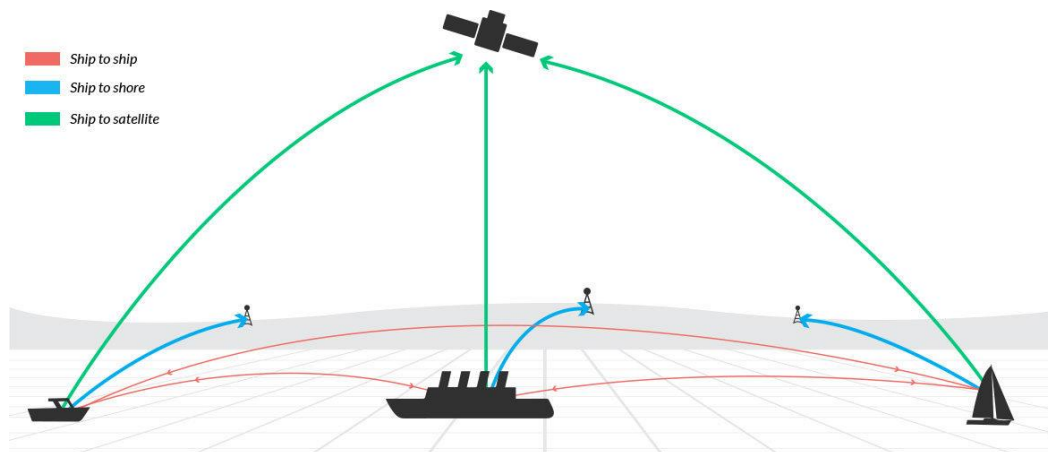


Figura 6 Posibles comunicaciones entre estaciones VDES. Fuente: vtexplorer.com

Service	Type of communication		
	Terrestrial		Satellite
	Ship to shore	Ship to ship	
SAR comm.	X		X
Broadcast of MSI	X		X
Transmission of FAL	X		X
VTS communication	X		
Download of updated digital pub.	X		X
Route exchange		X	

Figura 7 Servicios VDES Fuente: IALA G.1117



3.2.4 HARDWARE Y SOFTWARE

Como hemos visto en los anteriores apartados, tanto el cableado como las antenas dedicadas al sistema AIS actual, pueden ser reutilizados para su uso con VDES, pero el hardware que genera y recibe los mensajes debe actualizarse para cumplir con las necesidades del sistema: emisión y recepción de distintos canales a los que están en uso hoy (ASM-1/2, VDE-A/B/SAT ascendente/descendente). Para ello es necesario actualizar tanto el software, que debe ser capaz de trabajar con estos canales de forma simultánea, como el hardware, añadiendo una unidad PKI capaz de encriptar las comunicaciones y de comprobar las firmas de otras estaciones, así como recibir y emitir en diferentes canales para los diferentes servicios a la vez.

Como hemos visto en todas las especificaciones de los tres servicios, la antena que tienen instalados los buques hoy en día puede mantenerse.

Se espera que conforme existan más estaciones costeras y satélites con capacidad VDES, más armadores doten a sus buques con este sistema, con lo que el equipo será más accesible (actualmente solo existen prototipos y su precio es varias veces el de los equipos actuales).

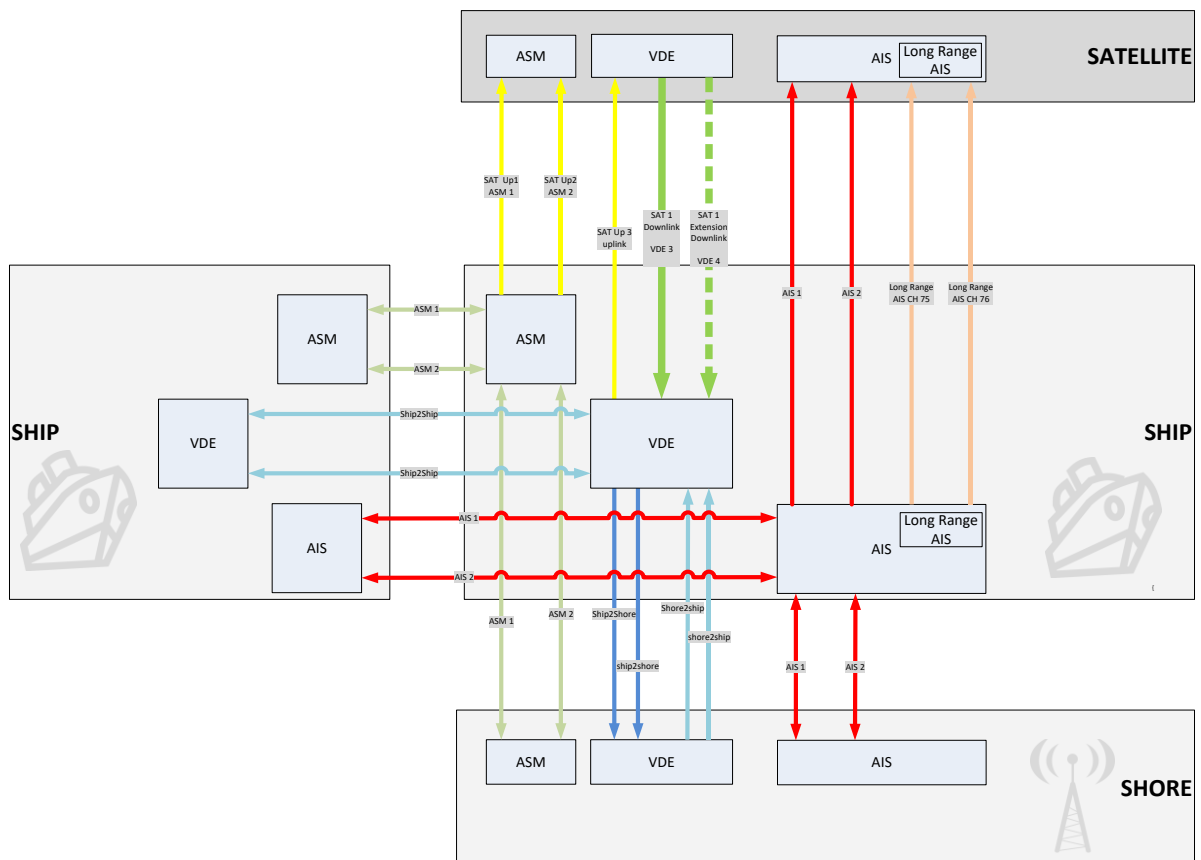


Figura 8 Esquema general de servicios VDES. Fuente: ITU- M.2092-0



3.2.5 Ventajas de VDES frente a AIS

VDES proporciona numerosas ventajas y funcionalidades que el sistema AIS no tiene capacidad de ofrecer, entre las que destacan:

- Cobertura ilimitada: al integrar el segmento satelital, se extiende la cobertura del sistema a todas las aguas del globo, dejando atrás la difícil conexión entre buque y estación costera.
- Incremento de la seguridad e integridad en las comunicaciones: en el nuevo esquema, existe la posibilidad de cifrar la información enviada, lo que protege al sistema de posibles ataques malintencionados.
- Se da importancia al hecho de que las estaciones de control pueden firmar los TBB, lo que permite reconocer emisiones legítimas y trabajar con ellas.
- Reducción de carga en AIS: VDES desvía mucha información que se enviaba mediante AIS hacia los otros dos servicios disponibles, lo que reduce de forma importante la sobrecarga que se está alcanzando en el servicio.
- Trabajo en varios canales de forma simultánea: se ha dotado al sistema de capacidad para trabajar en distintos canales al mismo tiempo, esto es posible gracias a la capacidad de adaptar el ancho de banda necesario para cada transmisión.
- Mayor alcance de AIS: el nuevo esquema propone un cambio en la codificación y modulación que permite aumentar la cobertura de las estaciones entre un 15% y un 20%.
- Aumento de la tasa binaria: se multiplica por 10 la velocidad de transmisión de datos entre estaciones (al compararla con la tecnología AIS).
- Coexistencia y compatibilidad entre la tecnología AIS y el esquema VDES, lo que permite, por un lado, la integración de AIS en el nuevo estándar (lo cual evita años de readaptación tanto a la industria como a los usuarios finales y permite una adopción paulatina del nuevo sistema) , y por otro lado, se protege y cimenta la red existente, ya que se le descarga de numerosos servicios que ahora pasan a ser administrados por los otros dos sistemas, con lo que se amplía su vida útil.
- Soporte de la e-Navigation: las nuevas capacidades crean un entorno favorable para el desarrollo de nuevas aplicaciones que ofrecerán numerosos servicios a los buques.



3.3 CALENDARIO DE IMPLANTACIÓN

2012 fue el año en que ITU introdujo un estándar para el servicio marítimo en que se adoptaban canales de 20, 50 y 100 kHz con tasas binarias de hasta 307,2 kbps con vistas a mejorar las comunicaciones y permitir un mayor desarrollo de aplicaciones en el mundo marítimo. Las nuevas capacidades trajeron consigo el desarrollo del nuevo estándar VDES, que hace uso de dichos canales y deja abierta la puerta al desarrollo de futuras aplicaciones que hagan uso de los recursos disponibles.

Durante el WRC-15 [16], la ITU adoptó mediante la Recomendación ITU-R M.2092-0 el estándar VDES propuesto por IALA, con reserva de la asignación de los canales específicos para la componente satelital, que fueron definidos en el WRC-19 [15].

El calendario de implantación del estándar se definió en 4 grandes bloques:

- Hasta 2016: el servicio AIS , que lleva en funcionamiento desde 2004, es redefinido por ITU mediante la Recomendación ITU-R M.1371-5 de 2014, adoptando cambios en algunas frecuencias para el uso del servicio ASM por parte de las estaciones costeras que lo necesiten.
- 2017-2018 / Post-WRC-15: se recomienda que el servicio ASM sea usado por las estaciones costeras ubicadas en zonas en que el servicio AIS se encuentre saturado. Se establece diferencia entre canales AIS y canales ASM por primera vez. Pocas estaciones (tanto costeras como a bordo de buques) tienen la capacidad de trabajar en estos canales de forma simultánea, con lo que es necesario una actualización de software en los equipos en que sea posible. Es importante tener en cuenta que los canales ASM en este periodo de tiempo son compartidos entre dicho servicio y el servicio VHF de voz.
- 2019-2020 / Post-WRC-19: Durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de octubre 2019 (WRC-19) fueron asignados los canales que usarán los distintos sistemas que conforman el estándar VDES, con una marcada importancia en los canales *uplink* y *downlink* de VDE, con lo que se dota de una capacidad operativa real al sistema. En algunas zonas geográficas durante esta etapa, algunos canales seguirán siendo usados para comunicaciones VHF por voz.
- 2021+: cuando existan servicios satelitales reales se podrá alcanzar la capacidad operativa completa del esquema VDES.

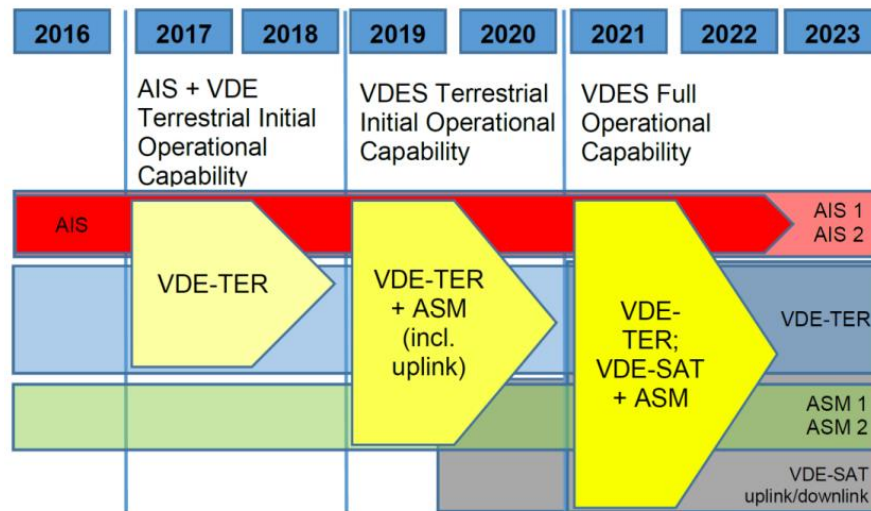


Figura 9 Plan de implementación VDES. Fuente: IALA G.1117

En España aún no se ha legislado específicamente la implantación del esquema VDES, aunque en distintas publicaciones oficiales del Estado, como en la Orden ETU/1033/2017 o en el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/838 de la Comisión, se ha abierto la puerta al desarrollo de nuevas tecnologías que utilicen sistemas relacionados con la tecnología AIS. Algunas administraciones como Noruega y Dinamarca, junto a la Agencia Europea de Seguridad Marítima, iniciativas públicas y privadas y la colaboración de la Agencia Espacial Europea, han puesto en marcha proyectos de desarrollo de esta tecnología y que prometen resultados alentadores que ya han alcanzado sus primeros hitos al poner en órbita los primeros satélites LEO dedicados en exclusiva a prestar servicios VDES [17] en el proyecto MARIOT, del que se hablará en la siguiente sección.

Vemos así que poco a poco se va haciendo uso de esta tecnología en los plazos revistos.



3.4 EL FUTURO DE LAS COMUNICACIONES MARÍTIMAS, POTENCIALES USOS DEL SISTEMA VDES

IALA en el documento “Guidelines: G1117 VHF DATA EXCHANGE SYSTEM (VDES) OVERVIEW [18] enumera 7 escenarios base en que se haría uso de del esquema VDES (que se verán más adelante), pero lo realmente excitante de esta tecnología es la posibilidad que se ha dado a los desarrolladores de aplicaciones para crear *software* que utilice los recursos de que se ha dotado al sistema.

A continuación, se verán las diferentes categorías con los potenciales usos planteados por IALA, y más adelante se hará una breve descripción de los principales proyectos que ya han hecho uso o pretenden hacerlo, de los sistemas VDES.

3.4.1 ESCENARIOS PLANTEADOS POR IALA

IALA en la publicación G-1117 divide los usos potenciales de VDES en 7 escenarios principales:

1. Comunicaciones SAR (Búsqueda y Rescate, de sus siglas en inglés)
2. Servicios de Información Marítima
3. Reporte de Buques
4. Servicios de Gestión del Tráfico
5. Cartas náuticas y publicaciones
6. Intercambio de Rutas
7. Logística

Cada grupo se sostiene en distintas *Carteras* o *MSP* (*Carteras de Servicios Marítimos*, de sus siglas en inglés) que toma del diseño OMI de la *e-navigation* [19]. El documento explica que no se trata de una lista exhaustiva, sino de una categorización de los posibles servicios en 16 MSP distintos:

- MSP 1: Servicio de información (IS) del Servicio de Tráfico Marítimo.
- MSP 2: Servicio de asistencia a la navegación.
- MSP 3: Servicio de organización del tráfico.
- MSP 4: Servicio portuario local.



- MSP 5: Servicios de Información de Seguridad Marítima (ISM).
- MSP 6: Servicio de practicaje.
- MSP 7: Servicio de remolcadores.
- MSP 8: Notificación buque-tierra.
- MSP 9: Servicio de asistencia telemédica.
- MSP 10: Servicio de asistencia marítima.
- MSP 11: Servicio de cartas náuticas.
- MSP 12: Servicio de publicaciones náuticas.
- MSP 13: Servicio de navegación entre hielos.
- MSP 14: Servicio de información meteorológica.
- MSP 15: Servicios de información hidrográfica y ambiental en tiempo real.
- MSP 16: Servicio de búsqueda y salvamento.

Potential uses of VDES	MSP Reference
SAR Communications	MSP 9 - Telemedical Maritime Assistance Service (TMAS) MSP 16 - Search and Rescue (SAR) Service
Maritime Safety Information	MSP 5 - Maritime Safety Information (MSI) service MSP 13 - Ice navigation service MSP 14 - Meteorological information service MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services
Ship Reporting	MSP 8 - Vessel shore reporting MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services
Vessel Traffic Services	MSP 1 - VTS Information Service (IS) MSP 2 - VTS Navigation Assistance Service (NAS) MSP 3 - VTS Traffic Organization Service (TOS); MSP 4 - Local Port Service (LPS) MSP 6 - Pilotage service MSP 7 - Tugs service
Charts and Publications	MSP 11 - Nautical chart service MSP 12 - Nautical publications service MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services
Route Exchange	MSP 1 - VTS Information Service (IS) MSP 2 - VTS Navigation Assistance Service (NAS) MSP 3 - VTS Traffic Organization Service (TOS); MSP 4 - Local Port Service (LPS) MSP 5 - Maritime Safety Information (MSI) service MSP 6 - Pilotage service MSP 7 - Tugs service MSP 8 - Vessel shore reporting MSP 10 - Maritime Assistance Service (MAS) MSP 11 - Nautical chart service MSP 12 - Nautical publications service MSP 13 - Ice navigation service MSP 14 - Meteorological information service MSP 15 - Real-time hydrographic and environmental information services MSP 16 - Search and Rescue (SAR) Service
Logistics	MSP 7 - Tugs service

Figura 10 Categorías de uso VDES. Fuente: IALA G.1117



Así pues, si quisiéramos desarrollar un sistema autónomo de búsqueda y rescate mediante embarcaciones autónomas que utilice el sistema VDES, nuestro proyecto tocaría las MSP 1 (para buscar posibles buques que asistan en el operativo), MSP 3 (para evitar tráfico indeseado en la zona), MSP 5 (consulta de corrientes y mareas), MSP 9 (suponiendo que el dron estuviese dotado de medios con que se pudiese interactuar con las víctimas, se podría ofrecer un servicio de consulta médica sin barreras lingüísticas en emergencias), MSP11 (para que el dron pudiese crear rutas basándose en la orografía de la zona), MSP 14 (para trabajar con datos en tiempo real obtenidos de boyas meteorológicas y pronósticos de servicios en tierra) y MSP 16 (para coordinar el operativo al completo).

Vemos con este ejemplo que se tocan numerosas carteras y que haría falta un fuerte desarrollo para integrarlas, y, aunque hagan falta años de trabajo y una inversión que vaya acorde a proyectos como este, al plantearlos nos damos cuenta de las posibilidades que nos ofrece el nuevo esquema VDES.

3.4.2 PROYECTOS PLANTEADOS POR DISTINTAS ENTIDADES

A continuación, veremos algunos de los proyectos más ambiciosos que se han desarrollado o que se encuentran en fase de desarrollo y que hacen uso de VDES en algunos ámbitos, han sido elegidos especialmente para mostrar las distintas aproximaciones que se están planteando:

3.4.2.1 PROYECTO MONALISA 2.0

Este proyecto es la segunda fase del exitoso Proyecto Monalisa (2010-2013) liderado por la Administración Marítima de Suecia, en el que se pretendía “*contribuir con acciones concretas a la eficiencia, seguridad y seguridad medioambiental del transporte marítimo mediante la demostración y diseminación de servicios de e-NAV para la industria*” [20]. En la fase 1.0 se alcanzaron los objetivos de poner a prueba distintos servicios de intercambio y verificación de rutas entre buques y entre buques y estaciones de control en tierra (VTS-STCC). Dicho proyecto fue de tamaño reducido, contando con 3 buques voluntarios y un servicio en tierra, sumando unas 100 personas involucradas directamente en el mismo, con 7 organismos públicos y privados y un presupuesto de 22 millones de euros.

Visto el éxito alcanzado, el Proyecto Monalisa 2.0 (2013-2015) fue escalado a grandes proporciones: más de 800 personas directamente involucradas, 42 organismos públicos y



privados (entre ellos el vecino Centro Jovellanos de SASEMAR) y más de 24 millones de euros invertidos, más de la mitad, al igual que su predecesor, financiado por la UE.

En este último proyecto, se pretendía validar el concepto STM: Gestión del Tráfico de Buques (del inglés Ship Traffic Management), en el que se basa en gran parte éste.

Se trata de un sistema integrado de centros en tierra que harían la gestión del tráfico marítimo para que sea más seguro y eficiente basándose en el principio de navegación por rutas predeterminadas y conocidas de antemano mientras son supervisadas por un Centro de Control de Tráfico Marítimo (VTS); de una manera muy similar a la que se trabaja en el control aéreo actualmente.

Parte del proyecto utiliza los hallazgos y tecnologías desarrolladas en el Proyecto SESAR [21] de control de tráfico aéreo, lo que evitó un gran desembolso en el diseño de nuevos sistemas de gestión del tráfico marino.

El Proyecto Monalisa 2.0 se basa en 4 acciones distintas:

Act. 1 – Operaciones y herramientas para STM

Act. 2 – Estudio de la fase de definición de STM

Act. 3 – Buques más seguros

Act. 4 – Seguridad operacional

En las primeras dos acciones o fases, el desarrollo de un software que permitiese el intercambio de rutas y otra información entre las estaciones de forma segura y fiable fue el pilar fundamental.

Se creó así el formato estandarizado REX, que permite el intercambio de rutas entre equipos de distintos fabricantes y que sienta las bases para la implantación del servicio a nivel global. Para el intercambio de las rutas entre usuarios del programa se utiliza los sistemas VDE y ASM, que permiten la actualización en tiempo real de las rutas que seguirá cada buque.

El funcionamiento básico del sistema se basa en el envío de la ruta que pretende seguir el buque en determinada zona al VTS. El VTS revisaría dicha ruta y podría modificarla para que siguiese una derrota más eficiente y que evitase posibles riesgos, o podría validarla si la considerase adecuada. Una vez el buque recibe la confirmación, éste seguirá siendo monitorizado de forma automática por el sistema, avisando al VTS si se producen desvíos. En el caso de que la ruta fuese modificada por el VTS, el oficial encargado de la navegación, junto al capitán, podrán aceptar o rechazar dichos cambios y solicitar una nueva confirmación. El capitán siempre ostentará su poder de decisión final.

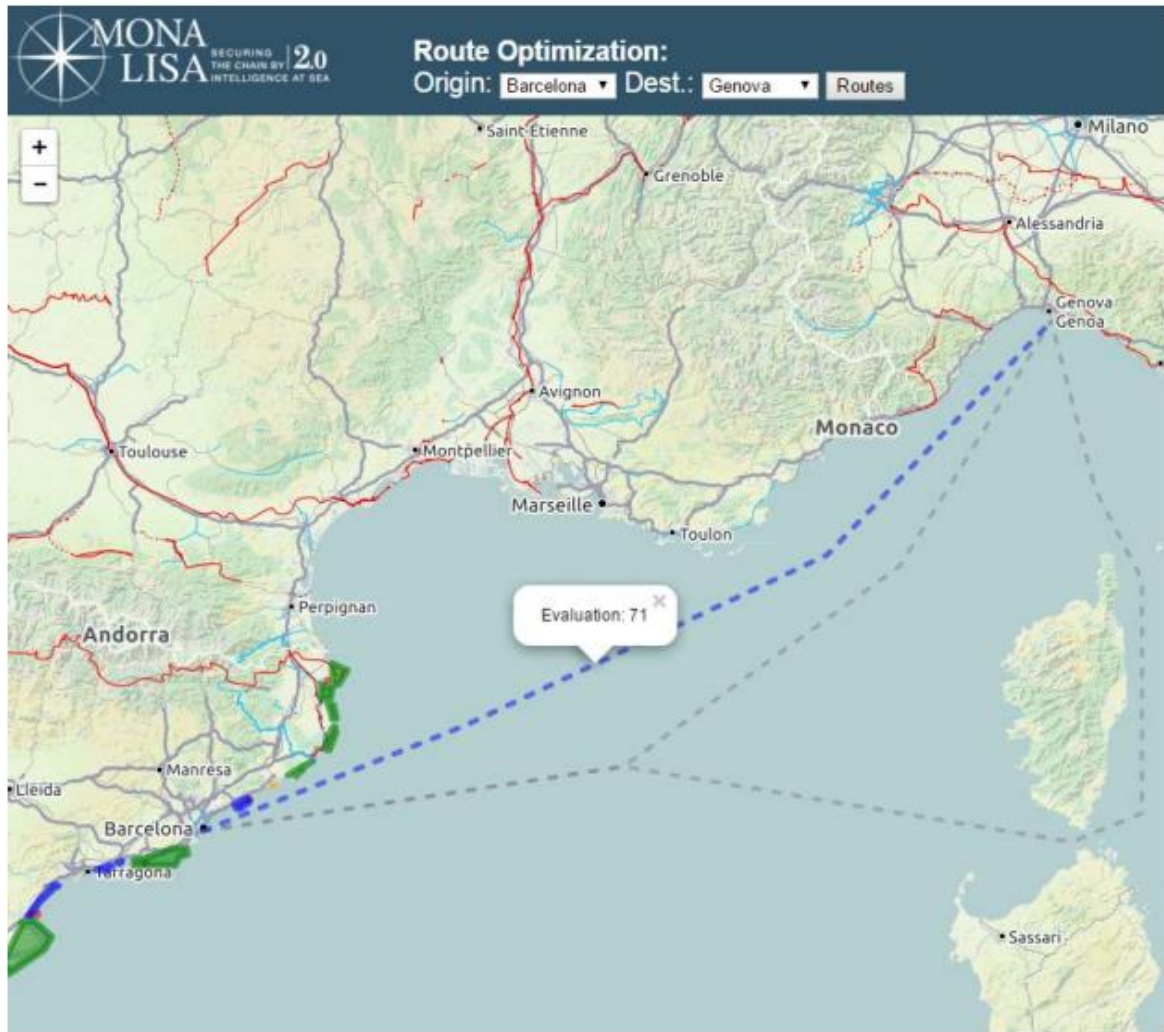


Figura 11 Distintas rutas enviadas para evaluación del VTS por un buque. Fuente: Monalisa Activity Report

Otra función del sistema muy interesante y que supondrá un gran cambio en la forma en que se gestionan las maniobras en la mar, utilizando el esquema VDES, es el del intercambio de rutas de forma automática entre buques que se encuentren en la misma zona geográfica, al puro estilo AIS, pudiendo ofrecer soluciones en forma de sugerencias a situaciones que pudiesen considerarse peligrosas (vuelta encontrada, cruces, alcances, etc.).

Utilizando el formato REX, los equipos ECDIS que se encuentren en determinada zona intercambian sus rutas y buscan conflictos entre ellas, avisando a los usuarios para que tomen medidas lo antes posible y emitiendo sugerencias en caso de que el sistema lo considere necesario, redundando esto en eficiencia y seguridad para todos los involucrados.

Se estimó durante el estudio que si todos los buques que navegan en la misma zona utilizaran el sistema que propone Monalisa 2.0, el ahorro en combustible y tiempo podría suponer hasta el 10% del gasto operacional de la flota y reduciría las emisiones de gases invernadero de forma substancial (entre un 3 y un 5%) [22].



En la actualidad y fruto de los desarrollos obtenidos en Monalisa 2.0, han surgido diversos proyectos que se encuentran en fase de prueba o implantación, como los ambiciosos EfficientFlow, Real Time Ferries, STM BALT SAFE, STEAM o SESAME [23], [24], todos ellos con un uso más amplio que reducido de las tecnologías VDES, con base en el concepto STM para su desarrollo.

3.4.2.2 PROYECTO MARIOT

La finalidad de este proyecto es la de poner en órbita 50 minisatélites LEO para crear una red que soporte el ubicuo IoT (Internet of Things) con la que se pretende la interconexión de todos los dispositivos capaces de generar y/o recibir información. Esta interconexión, que da nombre al proyecto *“Maritime IoT”*, tendrá su sustento en las tecnologías VDES, principalmente en el sistema VDE.

Uno de los mayores retos con los que se encuentran los desarrolladores de software que utiliza el estándar VDES hoy en día, es el de poder probar e implantar los programas a bordo de embarcaciones que se encuentren lejos de la cobertura de alguna antena terrestre, por lo que deben utilizar satélites no especializados con los contras que ello acarrea. MARIOT ofrecerá soluciones de comunicación globales (dejando atrás las faltas de cobertura en las zonas polares que sufre la red Inmarsat) y conexión con un precio muy competitivo que se pretende hacer accesible a todos los usuarios interesados. En la primera fase se pretende dotar de cobertura total al Océano Ártico y gradualmente ofrecer cobertura a todo el globo.

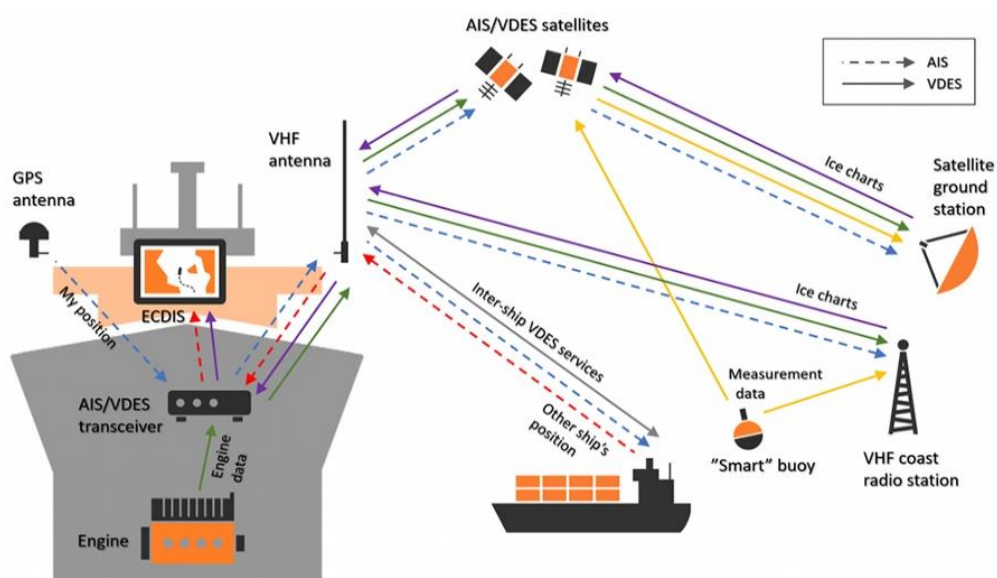


Figura 12 Funcionamiento de VDES según MARIOT. Fuente: GateHouse.dk



Los 6 socios de este proyecto, daneses todos ellos, y liderados por la compañía Sternula [25], pretenden tener completamente operativa la red VDES para el año 2022, ofreciendo entre otros servicios el de cartografía de hielos de las zonas polares en tiempo real, intercambio de rutas, comunicaciones buque-buque y buque-tierra, recabación de datos generados por sensores tanto a bordo de buques como de boyas u otros objetos marinos y de emisores AIS, etc.

3.4.2.3 PROYECTO NORSAT-2

NORSAT-2 es el primer microsatélite (pesando menos de 16kg) construido específicamente para ofrecer soluciones VDES y que ya se encuentra en órbita desde el año 2017.

El proyecto liderado por la Norwegian Space Center ha sido probado con éxito en distintas ocasiones desde su nacimiento.

Las primeras pruebas comenzaron pocas horas después de su puesta en órbita con la intención de estudiar los modelos de propagación de las ondas VHF del espectro VDES entre las componentes terrenas y satelital del sistema, el funcionamiento de comunicaciones bidireccionales con buques y estaciones en tierra, distribución de información de diversa índole (estado de hielos, información meteorológica, etc.) en grandes áreas, etc.

Uno de los mayores logros del proyecto, y que reportará grandes beneficios en el desarrollo de nuevos microsatélites LEO con capacidades VDES, fue el diseño de la antena Yagi de 3 componentes, que permite el direccionamiento dinámico del *Satellite Footprint*, haciendo posible que con un solo satélite se tenga cobertura en todas las inmediaciones del archipiélago Svalbard durante 10 minutos cada 95 minutos, todo un hito en el desarrollo de satélites direccionables [26] y con lo que la administración noruega, mediante el despliegue de dos satélites más, pretende dar cobertura de forma permanente a toda la NAVAREA XIX, de la que es responsable.

Se han llevado a cabo numerosos estudios en los que se envía información de distinta índole entre estaciones terrestres y buques a través del satélite, todos ellos con buenos resultados y que redundan en el fortalecimiento de los distintos sistemas involucrados.

En el momento de la redacción del presente documento, el NORSAT-3 se encuentra en construcción en el Space Flight Laboratory de la Universidad de Toronto, Canadá (donde fueron construidos sus dos predecesores). El nuevo microsatélite, que será de dimensiones y masa parecidos a los anteriores, incorporará un sistema de detección radar de blancos, con el que se pretende que la identificación de buques sea mucho más precisa y elimine en parte el error de identificación de blancos que algunas veces se ha detectado mediante el uso único de AIS.

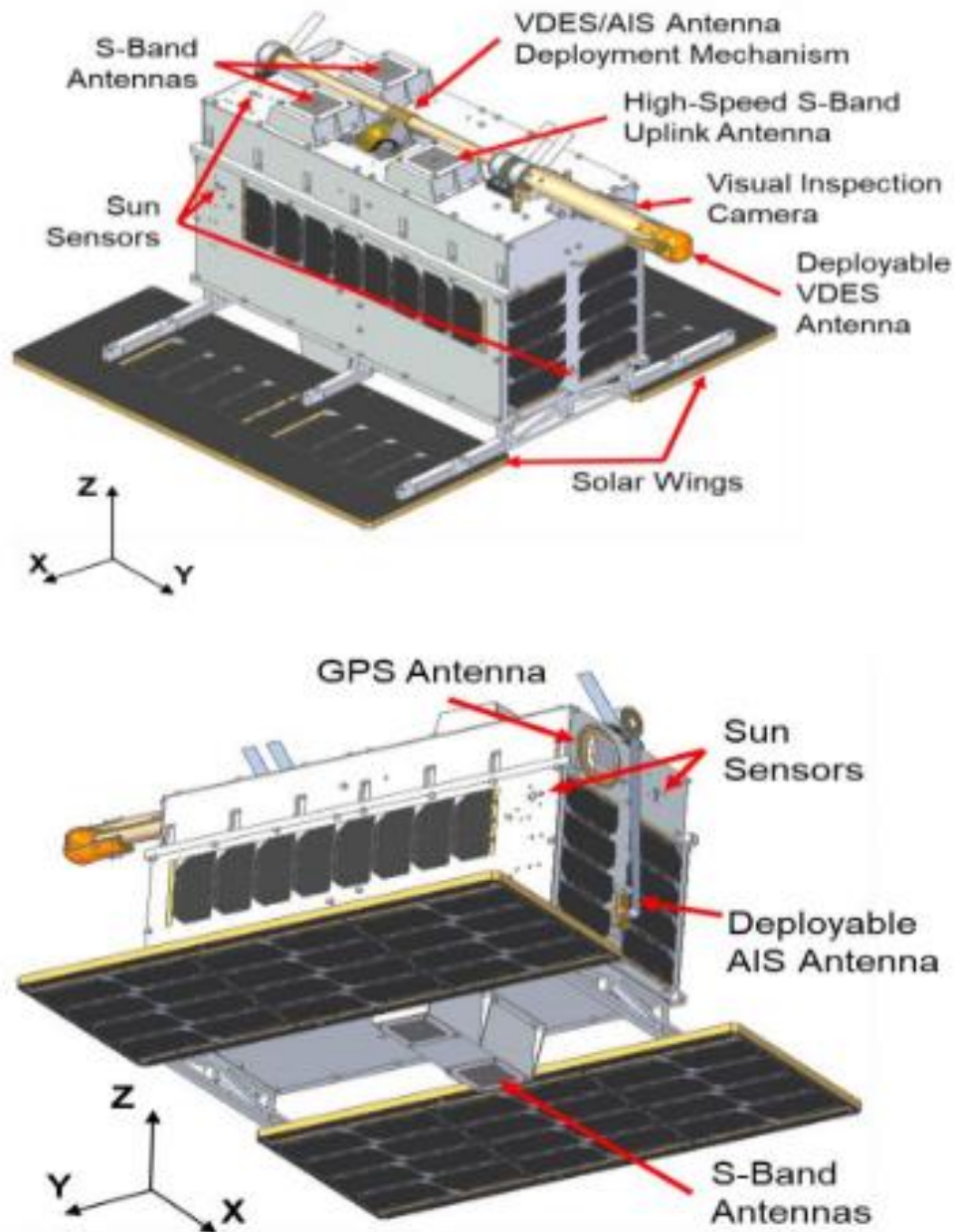


Figura 13 Partes del satélite NORISAT-2. Fuente: Acta Astronaut

3.4.2.4 PROYECTO POLARYS

Este proyecto con marca Ñ, desarrollado entre el año 2016 y el 2018, se presenta como “Plataforma Inteligente para la Gestión de la Seguridad y Emergencias Marítimas” con el objetivo de “incrementar la seguridad marítima y la eficiencia en la gestión de la navegación



y las emergencias mediante el desarrollo de un novedoso transceptor VDES” [27] que permitiría el intercambio de información entre buques, estaciones costeras y satélites mediante el estándar VDES.

La plataforma creada integra distintos sensores y alarmas tanto a bordo de embarcaciones como en instalaciones portuarias y aguas bajo la jurisdicción del puerto y que son usados por el sistema de forma autónoma, prestando ayuda en la toma de decisiones.

Polarys funciona como una aplicación de vigilancia marítima y de asistencia a la navegación que se basa enteramente en las tecnologías que integran el sistema VDES.



Figura 14 Logotipo del Proyecto Polarys. Fuente Cellnex T.

Entre los principales objetivos del proyecto encontramos el de desarrollo de aplicaciones que mejoran la implementación del AIS en VDES, y, como puntos centrales, el desarrollo de una unidad UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*, comúnmente conocido como dron) de respuesta rápida que proporcione datos de interés como fotografías, video en directo, sensores meteorológicos, sensores infrarrojos y de visión nocturna, y por otro lado el desarrollo de un software GIS-3D (cartografía vectorial en 3 dimensiones que integra información meteorológica, ecos AIS, posiciones de los UAV, etc.)

El proyecto consistió en una colaboración de 7 entidades públicas y privadas, siendo liderado por Retevisión, perteneciente al Grupo Cellnex (el mayor operador de comunicaciones inalámbricas de Europa) con sede en España y al tratarse de un líder en el despliegue de redes de comunicación para emergencias (gestionan 3 RCC en España y muchas redes de seguridad y emergencias para varios estados de la UE), aportaron gran parte de los medios y conocimientos necesarios para el desarrollo del proyecto.



El proyecto se plasmó en el desarrollo de un dron con los sistemas integrados descritos previamente, y el software que permite el vuelo de forma autónoma para la búsqueda y seguimiento de objetivos.

Al ir dotado de un transceptor VDES, puede ubicar muy fácilmente blancos AIS, e intercambiar información de rutas, meteorología, corrientes, etc. mediante el uso de mensajes ASM o VDE, todo ello controlado ya sea por antenas en tierra o desde la componente satelital.

Vemos pues que se trata de una herramienta muy potente que permitiría el despliegue inmediato de medios de búsqueda y reconocimiento en situaciones de emergencia (MOB, derrames, colisiones, etc.) y cuya limitación espacial sería únicamente dependiente de la autonomía del dron (amén de las condiciones meteorológicas).

El proyecto llegó a su fin en 2018, pero los avances técnicos conseguidos están siendo estudiados por distintos grupos que pretenden implementar sistemas similares en distintos puntos del globo (con proyectos activos en Noruega, Dinamarca y Singapur).



Figura 15 Unidad UAV utilizada en el Proyecto Polarys. Fuente: Cellnex T.



4 CONCLUSIONES

Mediante la realización de este trabajo se buscaba hacer una descripción, lo más amena y detallada posible, del funcionamiento del esquema VDES y sus implicaciones en la vida diaria de un oficial de navegación (o actores relacionados), dando al lector las herramientas básicas para desenvolverse en este contexto.

Se ha descrito en un principio el esquema de funcionamiento y los principales factores que hacen que el sistema AIS actual necesite una actualización importante en la que prime la seguridad en las comunicaciones y la capacidad de transmisión de datos a mayor velocidad. Seguidamente se ha presentado el esquema VDES y sus distintas partes, haciendo especial mención en dos puntos: la adición del sistema VDE, que permite el intercambio de datos a gran velocidad entre estaciones, y la adición de la componente satelitaria al sistema, que permitirá las comunicaciones entre estaciones, a nivel global, a bajo coste y de manera muy eficiente, y permitiendo la detección de buques mediante AIS en cualquier punto del globo.

Posteriormente, como hemos visto en el calendario de implantación, el sistema ya se encuentra en funcionamiento, a la espera de su instalación en buques y estaciones costeras (lo cual no es, todavía, de obligado cumplimiento) y del desarrollo de nuevas aplicaciones que utilicen los recursos disponibles.

Por último, hemos visto que ya existen y han existido proyectos con gran presupuesto y participación con los que se pretende crear las herramientas necesarias para gestionar tanto el tráfico mundial de buques como la seguridad de éstos, incluso de manera autónoma o que requiera la mínima intervención de los usuarios.

Bancos de pruebas como el eMIR en Alemania o el HERMITAGE [16] en Rusia, están ahí para desarrollar tecnologías inteligentes en los campos de la e-NAV que tengan un impacto en la eficiencia de la navegación, la ciber-seguridad en la mar, la reducción de contaminantes procedentes de la industria, el posicionamiento preciso (como el proyecto SBAS en Nueva Zelanda y Australia con el que se pretende alcanzar una precisión de hasta 10 cm en la posición), etc., que junto a plataformas de estudio del *Big-Data* especializado en operaciones marítimas como el proyecto europeo datAcron (con el que se pueden llevar a cabo análisis predictivos), se están sentando las bases para que en un futuro no muy lejano, los buques de gran tonelaje de navegación autónoma (ya existen prototipos a pequeña escala en funcionamiento), controlados desde salas de operaciones en tierra, sean maniobrados por operarios y no por oficiales como hoy en día, reduciendo el factor humano a la mínima expresión, lo que por un lado traerá enormes beneficios en la forma de menos accidentes (más del 70% de los mismos a bordo de buques son debidos a error humano [28] [29]) y el ahorro en gastos de tripulación, siendo éste igualmente una de sus mayores desventajas, así



como la posibilidad de fallos en la seguridad de las comunicaciones que acarrearía consecuencias desastrosas.

Así pues, todo este desarrollo tecnológico nos conduce a concluir dos vertientes de aspectos, unos muy positivos y otros que supondrán un reto:

1. Una mejora en la seguridad de la navegación al disminuir el factor error que aporta el ser humano en la decisión frente a situaciones de abordaje, ya sean provocadas por fallos de comunicación o errores de actuación con los datos disponibles.
2. Una disminución en los costes del transporte al hacer una mejor gestión de rutas gracias a la integración de información en tiempo cuasi real sobre corrientes y elementos climatológicos en el plan de ruta, alterando la misma para un mejor rendimiento en caso de considerarse necesario.
3. Disminución de la contaminación provocada por los buques debido al ahorro de combustible y por lo tanto de la emisión de contaminantes a la atmósfera, así como la disminución de derrames de combustibles o sustancias perjudiciales al medio ambiente gracias a la reducción de accidentes que estas tecnologías aportan.
4. La aparición de nuevas profesiones, dedicadas al control de la navegación, o más bien, al comportamiento adecuado de los buques de acuerdo con los parámetros establecidos.
5. La desaparición de los oficiales de navegación y marinería tal y como los conocemos, teniendo un breve período de adaptación para una potenciación de sus destrezas en las tareas de carga , estiba, descarga, arranchamiento del buque para la navegación y control de los elementos de seguridad del buque, hasta la llegada de la total automatización de todos y cada uno de estos servicios.
6. La desaparición de los oficiales de máquinas a bordo de los buques al implementar automatismos del más alto nivel, pues con solo una tripulación podría ejercerse el control de varios buques a distancia.
7. La posibilidad de un colapso total del transporte de mercancías por mar debido a fallos de seguridad del sistema de intercambio de datos, debido a un ataque al mismo o por fallos en la cadena de comunicación. Debemos tener en cuenta que la seguridad total no se contempla en los sistemas creados por el hombre.
8. La necesidad de actualización de los códigos legales globales para dirimir responsabilidades en caso de que ocurran accidentes, ya sean por fallos en la cadena de mando (v.g. el operador no ha revisado correctamente la ruta), en el sistema de comunicaciones o control automático (v.g. el controlador automático de gobierno falla) o por ataques malintencionados (v.g. se provoca la colisión voluntaria de dos embarcaciones).



Podríamos concluir que estas tecnologías serán utilizadas de manera habitual en cuanto el coste de implantación sea rentable y exista un margen legal en el que la industria pueda desarrollarse. Nosotros como marinos debemos plantearnos cual será nuestro papel en el nuevo panorama, que, sin duda, ofrece incontables retos, pero que puede brindarnos la oportunidad de reinventar una de las más antiguas y respetadas profesiones.



REFERENCIAS

- [1] «Maritime Safety Committee (MSC), 94th session, 17-21 November 2014 (opening address)». <http://www.imo.org/en/MediaCentre/SecretaryGeneral/SecretaryGeneralsSpeechesToMeetings/Pages/MSC-94-opening.aspx> (accedido may 09, 2020).
- [2] «Tasa de bits - EcuRed». https://www.ecured.cu/Tasa_de_bits (accedido jun. 03, 2020).
- [3] «What is Time Division Multiple Access? - Definition from Techopedia», *Techopedia.com*. <https://www.techopedia.com/definition/5089/time-division-multiple-access-tdma> (accedido jun. 03, 2020).
- [4] IALA, «VDL load management 124 App.18». Accedido: may 09, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iala-aism.org/product/vdl-load-management-124-app-18/>.
- [5] «E-navigation». <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Pages/eNavigation.aspx> (accedido may 08, 2020).
- [6] «M.1371 : Technical characteristics for an automatic identification system using time-division multiple access in the VHF maritime mobile band». <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1371-5-201402-I/en> (accedido may 20, 2020).
- [7] IALA y AISM, «Harmonised Implementation Of Asm e-NAV». jun. 2011, Accedido: may 28, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iala-aism.org>.
- [8] IALA, «Application Specific Messages Archive». Accedido: may 05, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.iala-aism.org/asm/>.
- [9] L. F. A. Macías, «La Capa Física de los Futuros Sistemas de 5ª Generación 5G», p. 74.
- [10] T. Reid, A. Neish, T. Walter, y P. Enge, «Leveraging Commercial Broadband LEO Constellations for Navigation», sep. 2016, doi: 10.33012/2016.14729.
- [11] «M.2092 : Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band». <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2092-0-201510-I/en> (accedido jun. 01, 2020).
- [12] «M.585 : Asignación y uso de identidades del servicio móvil marítimo». <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.585-8-201910-I/es> (accedido jun. 01, 2020).
- [13] «RECOMENDACIÓN UIT-R M.1084-4*, ** - Soluciones provisionales para la utilización más eficaz de la banda 156-174 MHz por las estaciones del servicio móvil marítimo», p. 14.
- [14] «La digitalización de las comunicaciones marítimas», Gradiant, Cellnex, Vigo, Pontevedra, Spain, Estudio 1ra Ed, 2019.



- [15] «Actas Finales – Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CMR-19)», p. 666.
- [16] «IALA_1117-Ed.2-VHF-Data-Exchange-System-VDES-Overview_Dec2017.pdf». Accedido: jun. 13, 2020. [En línea]. Disponible en: https://enav-hermitage.ru/enav-lib/official/IALA_1117-Ed.2-VHF-Data-Exchange-System-VDES-Overview_Dec2017.pdf.
- [17] European Union y European Maritime Safety Agency, *EMSA Programming Document 2019-2021*. 2019.
- [18] «G1117 VHF Data Exchange System (VDES) Overview», *IALA AISM*. <https://www.iala-aism.org/product/vhd-data-exchange-system-vdes-overview-1117/> (accedido jun. 13, 2020).
- [19] I. M. Organization y Sub-Committee on Navigation, Communications and Search and Rescue (NCSR), «E-navigation Strategy Implementation Plan (SIP)- NCSR1-28 Annex 7». IMO Publishing, 2014, Accedido: may 01, 2020. [En línea]. Disponible en: https://iho.int/mtg_docs/International_Organizations/IMO/e-nav_documents/Spanish/NCSR1-28-Anexo_7.pdf.
- [20] «Monalisa 1.0», *IALA AISM*. <https://www.iala-aism.org/technical/e-nav-testbeds/monalisa-1/> (accedido jun. 16, 2020).
- [21] «SEJAR Joint Undertaking | Projects». <https://www.sesarju.eu/activities-projects> (accedido jun. 16, 2020).
- [22] Pernilla Ivehammar y Peter Andersson, «Monalisa 2.0 CBA-Cost-Benefit-Analysis», Linköping University, dic. 2015. Accedido: jun. 01, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/stm-stmvalidation/uploads/20160420144655/ML2-D2-CBA-Cost-Benefit-Analysis.pdf>.
- [23] «Projects», *STM – Sea Traffic Management*. <https://www.seatrafficmanagement.info/projects/> (accedido jun. 17, 2020).
- [24] «SESAME Straits project», *IALA AISM*. <https://academy.iala-aism.org/technical/e-nav-testbeds/sesame-straits-project/> (accedido jun. 17, 2020).
- [25] «Maritime IoT using small satellites – MARIOT». <https://www.sternula.com/index.php/maritime-iot-mariot/> (accedido jun. 17, 2020).
- [26] L. M. Bradbury *et al.*, «NorSat-2: Enabling advanced maritime communication with VDES», *Acta Astronaut.*, vol. 156, pp. 44-50, mar. 2019, doi: 10.1016/j.actaastro.2018.10.030.
- [27] «Proyecto Polarys: Conoce Polarys», *Proyecto Polarys*. <http://www.proyecto-polarys.com/> (accedido jun. 17, 2020).
- [28] «The Relation between Human Error and Marine Industry», *Marine Insight*, sep. 08, 2019. <https://www.marineinsight.com/marine-safety/the-relation-between-human-error-and-marine-industry/> (accedido jun. 18, 2020).



[29]L. O. de A. Coruña, «Los errores humanos causan cerca del 80% de los accidentes marítimos». <https://www.laopinioncoruna.es/mar/2012/10/27/errores-humanos-causan-cerca-80-accidentes-maritimos/659136.html> (accedido jun. 18, 2020).