



Universidad
de La Laguna

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN SATELITALES EN LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA

Trabajo Fin de Grado

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Marzo de 2022

Autor:

MIGUEL BLANCO PRADO

36163894M

Tutora:

Prof. Dra. Ángela Hernández López

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería

Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

Universidad de La Laguna

Dra. Ángela Hernández López, Profesora de la UD de Ciencias y Técnicas de la Navegación, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. MIGUEL BLANCO PRADO con **DNI 36163894M**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **SISTEMAS DE COMUNICACIÓN SATELITALES EN LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA**

Revisado dicho trabajo, estimo reúne todos los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 4 de febrero de 2022

Fdo.: Ángela Hernández López

Director del trabajo:

Blanco Prado, M. (2022). *Sistemas de comunicación satelitales en la navegación marítima*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos y aquellas que de alguna forma me ayudaron, apoyaron o soportaron durante esta última etapa universitaria y, en especial, a mi padre, que me guió en la redacción de este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 DEFINICIÓN DE SATÉLITE ARTIFICIAL.....	11
1.2 ¿POR QUÉ SON TAN IMPORTANTES LOS SATÉLITES?.....	12
1.3 ¿CÓMO ORBITAN LOS SATÉLITES ALREDEDOR DE LA TIERRA?.....	13
2. HISTORIA DE LOS SATÉLITES ARTIFICIALES DE TELECOMUNICACIONES.....	14
3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SATÉLITES.....	19
3.1 Las ondas electromagnéticas.....	19
3.1.1 Definición.....	19
3.1.2 Bandas de frecuencia.....	21
3.2 Estructura de un sistema satelital.....	24
3.3 Lanzamiento de un satélite.....	26
4. TIPOS DE SATÉLITES.....	28
4.1 Según su órbita.....	28
4.2 Según su aplicación.....	30
5. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN SATELITALES APLICADOS A LA NAVEGACIÓN...32	
5.1 INMARSAT.....	32
5.1.1 El segmento espacial.....	33
5.1.2 Segmento terrestre.....	42
5.1.3 MES o segmento usuario.....	47
5.2 IRIDIUM.....	63
5.2.1 Segmento espacial.....	63
5.2.2 Segmento terrestre.....	65
5.2.3 Segmento usuario.....	66

5.3 VSAT (<i>Very Small Aperture Terminals</i>).....	70
5.4 COSPAS-SARSAT.....	76
5.5 OTROS SISTEMAS SATELITALES DE COMUNICACIÓN.....	80
5.5.1 GLOBALSTAR.....	80
5.5.2 THURAYA.....	82
5.6 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS).....	83
5.6.1 GPS.....	85
5.6.2 GLONASS.....	86
5.6.3 GALILEO.....	87
5.6.4 BEIDOU.....	88
6. EL FUTURO DE LAS COMUNICACIÓN SATELITALES EN EL MAR.....	90
CONCLUSIONES.....	92
CONCLUSIONS.....	93
8. BIBLIOGRAFÍA.....	94
9. BIBLIOGRAFÍA DE ILUSTRACIONES.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Técnico trabajando en el Sputnik.....	15
Ilustración 2: Satélite Score.....	15
Ilustración 3: Telstar-1.....	16
Ilustración 4: Satélite español HISPASAT.....	18
Ilustración 5: Onda electromagnética.....	19
Ilustración 6: Formación de una onda electromagnética polarizada verticalmente.....	19
Ilustración 7: Espectro electromagnético.....	20
Ilustración 8: Espectro radioeléctrico.....	20
Ilustración 9: Representación de una modulación en fase.....	21
Ilustración 10: Diferentes aplicaciones del espectro radioeléctrico y frecuencias utilizadas por los satélites.....	23
Ilustración 11: Características de las distintas frecuencias del espectro radioeléctrico.....	24

Ilustración 12: Ilustración general de los segmentos de un sistema satelital de comunicaciones.....	25
Ilustración 13: Puesta en órbita de un satélite geoestacionario.....	27
Ilustración 14: Lanzamiento de un satélite tipo GRACE.....	27
Ilustración 15: Satélite de órbita baja Iridium.....	28
Ilustración 16: Satélite GPS III de última generación.....	29
Ilustración 17: Satélite INMARSAT de 5ª generación.....	30
Ilustración 18: Servicios ofrecidos por las primeras generaciones de Inmarsat.....	33
Ilustración 19: Satélite I-2.....	34
Ilustración 20: Cobertura de I-2 de haz global único.....	35
Ilustración 21: Situación de los satélites I-3.....	36
Ilustración 22: Mapa de cobertura de I-3 con los distintos servicios según terminales y situación geográfica.....	36
Ilustración 23: Cobertura de I-4 tras la incorporación del F4 ALPHASAT.....	38
Ilustración 24: Evolución de la constelación de Inmarsat hasta la 4ª generación.....	38
Ilustración 25: Narrow spot beams de I-4 antes del lanzamiento del ALPHASAT (I-4 F4).....	39
Ilustración 26: Cobertura de I-5, Global Xpress.....	40
Ilustración 27: Cobertura combinada de Fleet Xpress, con el GX5 sobre Europa, e I-4.....	41
Ilustración 28: Configuración de los narrow spot beams de los satélites F3, F2 y F1 de I-5..	41
Ilustración 29: Establecimiento de un canal de comunicaciones para una llamada barco-tierra.....	42
Ilustración 30: Segmento terrestre de Inmarsat en Fucino.....	44
Ilustración 31: Segmentos espacial, terrestre y de usuario de los satélites I-4.....	45
Ilustración 32: Sistema Dual de SAS de Global Xpress.....	46
Ilustración 33: Segmento espacial de Global Xpress.....	46
Ilustración 34: Arquitectura de Global Xpress.....	46
Ilustración 35: Distintas partes del segmento usuario de una terminal FleetBroadband a bordo de un buque, ADE y BDE.....	47
Ilustración 36: Diferentes servicios ofrecidos por Inmarsat Fleet.....	50

Ilustración 37: Distintos servicios que ofrecían los antiguos sistemas de Inmarsat.....	50
Ilustración 38: Comparativa de los diferentes primeros servicios de Inmarsat.....	51
Ilustración 39: Concepto básico del sistema EGC de Inmarsat (el área sombreada indica las funciones del servicio SafetyNET.....	53
Ilustración 40: Terminal Inmarsat mini-C.....	54
Ilustración 41: Diagrama de un terminal Inmarsat C.....	54
Ilustración 42: Terminal Fleetbroadband FB500 con su ADE y su BDE.....	56
Ilustración 43: Comparativa N°2 de los distintos terminales FBB.....	56
Ilustración 44: Servicios que ofrece FleetBroadband.....	57
Ilustración 45: Cobertura de Fleet Global.....	58
Ilustración 46: Mapa de cobertura de uno de los planes de Fleet One Coastal.....	58
Ilustración 47: Terminal Fleet Phone Oceana 800.....	59
Ilustración 48: Terminal de usuario GX60 de Fleet Xpress.....	61
Ilustración 49: Futuros lanzamientos programados de Inmarsat.....	62
Ilustración 50: Constelación Iridium con la huella y haces puntuales de un satélite.....	64
Ilustración 51: Haces puntuales de un satélite Iridium.....	64
Ilustración 52: Elementos clave de Iridium.....	65
Ilustración 53: Características del sistema Iridium y sus satélites.....	66
Ilustración 54: Segmento usuario Iridium Pilot.....	67
Ilustración 55: Sistema Iridium Certus 700 con sus dispositivos conectados.....	68
Ilustración 56: Terminal Iridium GMDSS.....	68
Ilustración 57: Diferentes modelos KVH.....	70
Ilustración 58: Cobertura del sistema KVH.....	71
Ilustración 59: Terminales TracPhone de KVH.....	71
Ilustración 60: Mapa de cobertura ofrecido por la red VSAT de Fleet Xpress.....	72
Ilustración 61: ADE y BDE de un terminal GX60 de Inmarsat.....	73
Ilustración 62: Mapa de cobertura en las bandas Ka y Ku de Viasat.....	74
Ilustración 63: Terminal Sailor 600 de Viasat.....	74
Ilustración 64: Mapa de cobertura de Omniaccess en la banda Ku.....	75

Ilustración 65: Mapa de cobertura de Omniaccess en la banda C.....	75
Ilustración 66: Cobertura de los satélites GEOSAR.....	77
Ilustración 67: Ambigüedad por efecto Doppler.....	78
Ilustración 68: Visión de un satélite LEOSAR.....	78
Ilustración 69: Concepto del sistema MEOSAR.....	79
Ilustración 70: Comparativa entre el nuevo sistema MEOSAR y LEO/GEOSAR.....	79
Ilustración 71: Teléfono GSP-1600 Y mensajero bidireccional SPOT X.....	80
Ilustración 72: Cobertura de los servicios de voz.....	81
Ilustración 73: Cobertura de mensajería bidireccional de SPOT X.....	81
Ilustración 74: Thuraya XT-PRO.....	82
Ilustración 75: Thuraya Marinestar.....	82
Ilustración 76: Mapa de cobertura de Thuraya.....	82
Ilustración 77: Determinación de una posición mediante la técnica de trilateración.....	83
Ilustración 78: Trilateración vista en 3 dimensiones.....	84
Ilustración 79: Segmento terrestre alrededor del mundo.....	85
Ilustración 80: Los 3 segmentos de GLONASS.....	87
Ilustración 81: Mapa del segmento de control Galileo.....	88
Ilustración 82: Constelación Beidou.....	89
Ilustración 83: Cobertura actual de Starlink.....	91

Blanco Prado, M. (2022). *Sistemas de comunicación satelitales en la navegación marítima*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

El propósito de este Trabajo de Fin de Grado es exponer de una forma clara, sencilla y lo más completa posible, la importancia y funcionamiento de los satélites en las telecomunicaciones, hasta cierto punto infravalorados o desconocidos, y de una forma más concreta en las comunicaciones marítimas.

El método utilizado para realizar este Trabajo de Fin de Grado se ha basado en una extensa investigación a través de las diversas fuentes de información disponibles a día de hoy, fundamentalmente escritas -en papel y en internet-, y también en mi propia experiencia durante 10 años como Primer Oficial a bordo de diferentes tipos de buques.

Palabras clave: Satélite, telecomunicaciones, marítimo, órbita, VSAT.

Blanco Prado, M. (2022). *Sistemas de comunicación satelitales en la navegación marítima*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

The purpose of this End-of-Degree Project is to present in a clear, simple and fullest possible way the importance and functioning of satellites within the telecommunications, at some point undervalued and unknown, and more precisely in the maritime communications sector.

The method used in this End-of-Degree Project has been based on an extensive research through several information sources available nowadays, mainly written- on paper and on internet- and also on my experience as Chief Officer onboard different type of ships during 10 years.

Keywords: Telecommunications, satellites, maritime, orbit, VSAT

1. INTRODUCCIÓN

La comunicación ha sido uno de los pilares fundamentales de la evolución de todas las sociedades que ha habido a lo largo de la Historia y de ella ha dependido buena parte del desarrollo económico de las mismas.

Como bien es sabido, la tecnología ha evolucionado a una velocidad meteórica durante el último siglo y, en el ámbito de las telecomunicaciones, de manera especialmente intensa durante las últimas décadas.

Véase como ejemplo el caso del teléfono. A mediados del siglo pasado la única forma de comunicarse en tiempo real con otra persona era a través de un teléfono fijo de cable y éste ni siquiera estaba al alcance de todo el mundo debido a su elevado coste. Éste fue el primer gran paso en la telecomunicación, el teléfono, inventado por Alexander Graham Bell en 1854.

En el mar, sin embargo, la comunicación ha estado limitada desde finales del siglo XIX a las transmisiones por radio: VHF, onda media y onda corta principalmente hasta prácticamente finales de los años noventa, momento en el que empezaron a aparecer los sistemas de comunicación satelitales al alcance de usuarios civiles.

Hoy en día, con el equipo adecuado, una persona es capaz de comunicarse desde cualquier lugar del mundo, por muy remoto que éste sea. Y esto posible gracias a los satélites artificiales de telecomunicaciones.

1.1 DEFINICIÓN DE SATÉLITE ARTIFICIAL

Un satélite puede ser cualquier cuerpo celeste que orbita alrededor de un planeta o estrella. Por ejemplo, la Tierra, que orbita alrededor del Sol. Del mismo modo la luna es una satélite porque orbita alrededor de la Tierra. Generalmente, la palabra “satélite” se refiere a un artefacto que es lanzado al espacio y que se mueve alrededor de la Tierra o de otro cuerpo en el espacio

Podemos definir un satélite artificial como un “Vehículo tripulado o no que se coloca en órbita alrededor de la Tierra o de otro astro, y que lleva aparatos apropiados para recoger información y transmitirla”, tal y como lo recoge la Real Academia de la Lengua Española.

[1]

Por lo tanto entendemos que un satélite de comunicaciones es “un satélite artificial” con una órbita determinada cuya misión es la de recibir o transmitir señales desde o hacia otro satélite o estación terrestre.

Actualmente miles de satélites artificiales, o hechos por el hombre, orbitan alrededor de la Tierra. Algunos toman imágenes del planeta que ayudan a los meteorólogos a predecir el tiempo y hacer seguimientos de huracanes. Otros toman imágenes de otros planetas, el Sol, agujeros negros, materia gris o galaxias lejanas. Estas imágenes ayudan a los científicos a entender mejor el sistema solar y el universo.

Sin embargo la mayoría de los satélites se usan principalmente para comunicaciones, como señales de televisión, llamadas de teléfono e Internet o posicionamiento alrededor de todo el mundo. Por ejemplo, un conjunto de más de 20 satélites constituyen el Sistema de Posicionamiento Global, o GPS, de gran importancia para la navegación marítima. Otro grupo de 3 ó 4 satélites conforman Inmarsat que es una red de telecomunicaciones de alcance casi global y de una notable importancia en el ámbito de la navegación. [2]

Profundizaremos en los diferentes tipos de satélites más adelante.

1.2 ¿POR QUÉ SON TAN IMPORTANTES LOS SATÉLITES?

La vista de Ojo de Halcón que tienen los satélites les permite observar diferentes áreas de la Tierra de grandes dimensiones al mismo tiempo. Esta característica tan específica de los satélites supone una gran ventaja frente a cualquier otro instrumento o herramienta desde la superficie de la Tierra.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que los satélites son capaces de observar el espacio mejor que cualquier telescopio en la Tierra. Por este motivo los satélites orbitan por encima de las nubes, polvo y moléculas en la atmósfera que bloquean la visión desde la superficie.

Antes de existir los satélites, las señales de Televisión no llegaban demasiado lejos ya que sólo viajan en línea recta, por lo tanto, se perdían rápidamente en el espacio en vez de seguir la curvatura de la Tierra. Además, estas señales, también son bastante sensibles a los obstáculos (montañas, edificios).

Las llamadas telefónicas a lugares lejanos también suponían un problema. La instalación de cables telefónicos a lo largo de grandes distancias o por debajo del agua es difícil y costoso. [1]

Con los satélites, las señales de televisión, las llamadas telefónicas e incluso los datos de internet son enviados hacia el espacio hasta un satélite y después, casi instantáneamente, el satélite es capaz de enviarlas de vuelta a diferentes lugares de la Tierra.

En el ámbito de la navegación, probablemente por ser el mar un lugar ya de por sí aislado, la aparición de los satélites en las comunicaciones supuso un cambio todavía mayor que en tierra. Antes de existir los satélites, sólo se contaba con transmisores de radio para las telecomunicaciones y éstos presentaban varios inconvenientes, como por ejemplo un alcance limitado y la necesidad de usar distintas frecuencias dependiendo de varios factores como la distancia, el momento del día o la propagación.

Con la llegada de los satélites se abrió un gran campo de información accesible desde el mar: llamadas telefónicas en tiempo real, obtención de datos meteorológicos y navegación por internet, principalmente. Esto supuso una navegación más segura, eficiente y algo más llevadera para los tripulantes de los buques.

1.3 ¿CÓMO ORBITAN LOS SATÉLITES ALREDEDOR DE LA TIERRA?

La mayoría de los satélites son lanzados al espacio a bordo de cohetes. Un satélite orbita la Tierra cuando su velocidad está equilibrada con la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra. Sin este equilibrio, el satélite volaría en línea recta fuera del espacio o caería de vuelta a la Tierra. Los Satélites orbitan alrededor de la Tierra a diferentes alturas, diferentes velocidades y diferentes trayectorias. Los tipos más comunes son las órbitas de tipo “geoestacionaria” y “polar”.

Un satélite geoestacionario viaja de oeste a este sobre el ecuador y se mueve con la misma velocidad angular (distinta de la velocidad real) que la Tierra sobre su eje, es decir, a 360° cada 24 horas. Por lo tanto, a pesar de la velocidad que mantiene un satélite en una órbita de este tipo, éste permanece en una posición fija con respecto a la Tierra.

Los satélites de órbita polar se mueven en una dirección Norte-Sur aproximadamente y suelen tardar unas 2 horas en dar una vuelta completa a la Tierra. [1][2]

Hablaremos más adelante de los distintos tipos de órbita que tienen los satélites con más detalle.

2. HISTORIA DE LOS SATÉLITES ARTIFICIALES DE TELECOMUNICACIONES

Después de la Segunda Guerra Mundial, especialmente las dos superpotencias americana y soviética, empezaron a pensar seriamente en la idea de la creación de un sistema de telecomunicaciones vía satélite. Arthur C. Clarke, tras la publicación de su artículo *Extra-terrestrial Relays*, irrumpió de forma innovadora con la idea de colocar tres repetidores separados entre sí 120 grados a 36.000 km de la superficie de la Tierra en una órbita situada en un plano que coincidiera con el que pasa por el ecuador terrestre de forma que fuera posible proveer de comunicaciones de Radio y Televisión a todo el mundo.

El tiempo daría la razón a Arthur C. Clarke de una forma incontestable.

El primer satélite artificial puesto en órbita con éxito de toda la Historia fue el "Sputnik" soviético el 4 de octubre de 1957. En plena Guerra Fría entre EE.UU. y la Unión Soviética, hubo una carrera feroz por ver cuál de las dos sería capaz de lanzar al espacio el primer satélite artificial. El hito histórico fue alcanzado por esta última.

El "Sputnik" era un artefacto esférico de 84 Kg de peso, 58 cm de diámetro y contaba con cuatro antenas de entre 2,4 y 2,9 metros. Fue lanzado desde un cohete R-7 que pesaba alrededor de 5 toneladas.

Permaneció en órbita durante 92 días y consiguió dar en este tiempo unas 1.440 vueltas alrededor de la Tierra. Viajaba a una velocidad de unos 8.000 m/s, y orbitaba entre 215 y 939 km entre su perigeo (punto donde la distancia entre los dos cuerpos es mínima) y su apogeo (punto donde la distancia entre los dos cuerpos es máxima).

Su inclinación era de 65° y su periodo orbital 96 minutos.

Aunque este satélite sólo transmitía un pitido de 0,3 segundos de duración a intervalos, ésta fue la primera comunicación desde el espacio hacia la Tierra y fue emitida por dos transmisores de radio en las frecuencias 20.007 y 40.002 MHz. Si la duración de dicho pitido permanecía inalterada significaba que el artefacto no había sido alcanzado por un meteorito, que era una de las principales preocupaciones de la época al lanzar un satélite al espacio. Para ello, el "Sputnik" contaba con sensores de presión y de temperatura.

Este acontecimiento supuso un hito histórico y fue a partir de este momento cuando el mundo empezó a creer realmente en las comunicaciones por satélite.

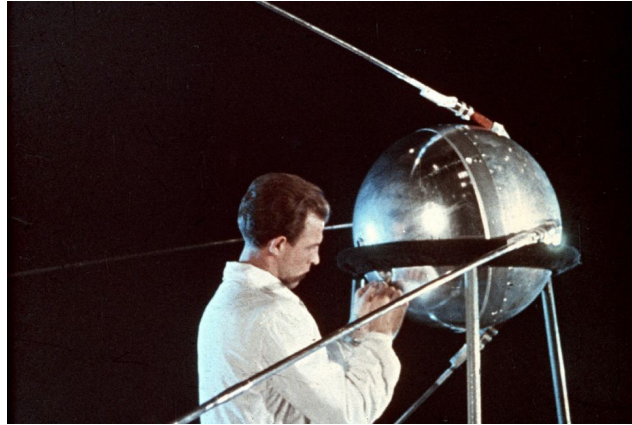


Ilustración 1: Técnico trabajando en el Sputnik.

[1]

Inaugurada ya la Era espacial, EE.UU. y la URSS continuaron lanzando satélites al espacio y en el año 1958 EE.UU. puso en órbita el satélite "Score" que realizó con éxito la primera comunicación por medio de un satélite. La comunicación en sí fue un mensaje navideño del Presidente Eisenhower.

El "Score", de tamaño muy superior al Sputnik (3.980 Kg), aunque el primero incluía el peso de la lanzadera de la cual no se desprendía, orbitaba a casi 8.000 m/s a una distancia de la Tierra que oscilaba entre 185 y 1484 km con una inclinación de 32° y un periodo orbital de 101 minutos. Finalmente se desintegró en la atmósfera tras 34 días orbitando alrededor de la Tierra.



Ilustración 2: Satélite Score.

[2]

En 1960 fue puesto en órbita, también por EE.UU. el satélite “Echo 1”, que actuaba como repetidor de microondas de radiofrecuencias (entre 1 y 2,5 GHz) entre un punto y otro de la Tierra. Cuatro años más tarde hizo lo mismo el “Echo 2”. Estas comunicaciones, telefónicas y de televisión, tuvieron lugar entre estaciones terrenas desde California hasta Nueva Jersey y se mantuvieron activas durante casi 8 años.

Como curiosidad podemos decir que estos satélites tenían forma esférica y medían 30 y 41 metros de diámetro respectivamente y estaban llenos de gas.

El 10 de julio de 1962 tuvo lugar otro acontecimiento de notable importancia: la puesta en funcionamiento del primer satélite que permitió transmisiones de televisión y de llamadas telefónicas multiplexadas, algo que cambiaría el mundo: el “Telstar-1”. Gracias a este satélite se realizó la primera llamada telefónica vía satélite de la Historia. Al año siguiente lo seguiría el “Telstar-2”. Este tipo de satélite tenía una órbita no geosincrónica de baja altitud que transmitía en las frecuencias 4/6 GHz. Este proyecto también fue el primero con capital privado, concretamente AT&T.



Ilustración 3: Telstar-1.

[3]

El 23 de julio de 1963 se puso en órbita el primer satélite geoestacionario, el “Syncom-2”, que se usó el 13 de septiembre del mismo año para mantener una conversación entre 3 países a miles de kms de distancia: Nigeria, Brasil y EE.UU.

El 19 de agosto del año siguiente el “Syncom-3”, también de órbita geoestacionaria, permitió la retransmisión en directo de la apertura de los Juegos Olímpicos de Japón.

Por si todavía no había quedado clara la enorme importancia de los satélites en el campo de las telecomunicaciones este acontecimiento sirvió disipar cualquier duda al respecto.

En 1964 se crea la compañía INTELSAT (International Telecommunications Satellite Organization) en la que participan varios estados miembros y el 28 de junio de 1965 se puso en órbita el "Intelsat-1", más conocido como "Early bird" (pájaro madrugador). Con este satélite da comienzo una de las mayores compañías de Telecomunicaciones por satélite de toda la Historia.

El "Early bird" fue el primero de una serie de satélites geoestacionarios. Su forma era cilíndrica y medía 72 cm de ancho por 59 de alto y su peso era de 39 Kg.

Después fueron lanzados los satélites "Intelsat-2" e "Intelsat-3", incrementando así la capacidad de retransmisión de llamadas telefónicas y canales de televisión.

Hoy en día INTELSAT cuenta con 52 satélites geoestacionarios activos.

Al mismo tiempo la Unión Soviética continuó desarrollando paralelamente su programa de satélites de telecomunicaciones. Así, en 1965 se lanzó el primer satélite de la serie Molniya ("Molniya-1"), que fue el primer satélite de telecomunicaciones soviético. A éste le sucederían varios del mismo tipo hasta alcanzar la cifra de 29 satélites en 1975. El sistema Molniya incluía llamadas telefónicas, televisión en blanco y negro y telégrafo.

Este tipo de satélite tenía un tipo de órbita muy elíptica de modo que su perigeo era de unos 550 km mientras que su apogeo era de unos 26.600. Su periodo era de 12 horas de modo que proporcionaba cobertura a toda la Unión Soviética en el horario principal. Esto supuso un gran avance en un país tan extenso como diversas eran sus culturas, estrechando así su relación con Moscú.

El sistema Molniya fue sustituido en 1975 por el sistema Raduga, de muy similares características a su predecesor con la única diferencia notable de contar este último con una órbita geoestacionaria.

Al año siguiente se unió el Ekran que era un satélite geoestacionario dedicado principalmente a la retransmisión de canales de televisión desde Moscú hasta otras estaciones terrestres, a grupos receptores de televisión e incluso a hogares equipados con una antena receptora. Aquí nació el primer sistema de radiodifusión por satélite, que operaba en la frecuencia 0,7-6,2 GHz.

Canadá hacía lo propio en el año 1972 y ponía en órbita el primero de una serie de satélites geoestacionarios, el "Anik-1", que retransmitía señales de televisión. Con ello se logró por primera vez alcanzar el Norte del país. Este sistema, aunque con nuevos satélites, sigue brindando sus servicios de televisión además de datos y llamadas telefónicas.

En el año 1975 EE.UU. lanzó al espacio el “Marisat”, el primer sistema de comunicaciones marítimas. Este sistema contaba con 3 satélites geoestacionarios: F1, F2 y F3. Suministraban servicios de voz, télex, facsímil y datos de alta velocidad. Prácticamente los tres estuvieron en servicio hasta el año 90, momento en que fueron desplazados a una órbita cementerio.

En el 1977 nace EUTELSAT, la primera compañía europea de telecomunicaciones vía satélite. Hoy en día cuenta con 25 satélites geoestacionarios y con varios de órbita baja para comunicaciones de banda estrecha.

En 1979 nace INMARSAT, el sistema de comunicaciones marítimas por satélite más importante hasta la fecha. Sus servicios principales son telefonía y datos. Está formado por varios satélites geoestacionarios. Hablaremos de este sistema extensamente más adelante.

Aunque el primer satélite español lanzado al espacio fue el “INTASAT” el 15 de noviembre de 1974 el primer satélite artificial español de comunicaciones fue el “HISPASAT-1”, lanzado al espacio en 1992, de órbita geoestacionaria que proporcionaba servicios de radiodifusión entre el continente europeo y el americano. Hoy en día HISPASAT cuenta con 9 satélites geoestacionarios situados en 7 órbitas distintas y suministra servicios de TV, internet y telefonía en Europa, América y el Norte de África.

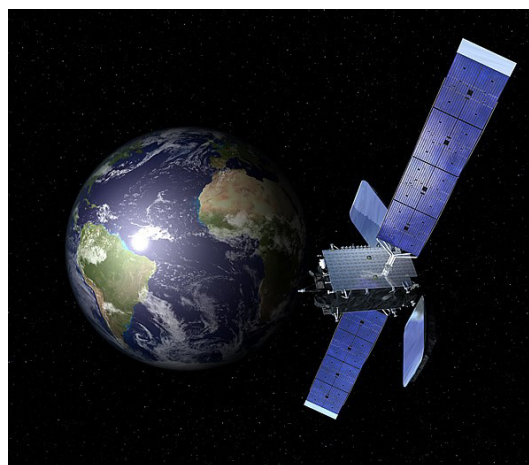


Ilustración 4: Satélite español HISPASAT

[4]

Y, por último, cabe destacar en el año 1997 el lanzamiento del primer satélite de la constelación “Iridium”, el primero y único sistema a día de hoy con cobertura mundial con servicios de voz y datos. [1][2][3][4][5][6][7][8]

3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SATÉLITES

3.1 Las ondas electromagnéticas.

3.1.1 Definición

Los satélites, al igual que los transmisores de radio, los radares, o los teléfonos móviles utilizan ondas electromagnéticas para comunicarse.

Es importante entender el comportamiento de las ondas de radio durante su propagación desde su fuente de transmisión hasta el punto de recepción para entender cómo funcionan los sistemas de comunicación por satélite y de radio navegación.

Una onda electromagnética puede considerarse una fuerza eléctrica oscilante viajando a través del espacio e inseparablemente acompañada por una fuerza magnética oscilante en un plano formando ángulos rectos.

A diferencia de las ondas de audio-frecuencia (aquellas que el oído humano es capaz de captar), éstas no dependen de un medio mecánico para desplazarse como el aire o el agua y por lo tanto pueden viajar a través del espacio.

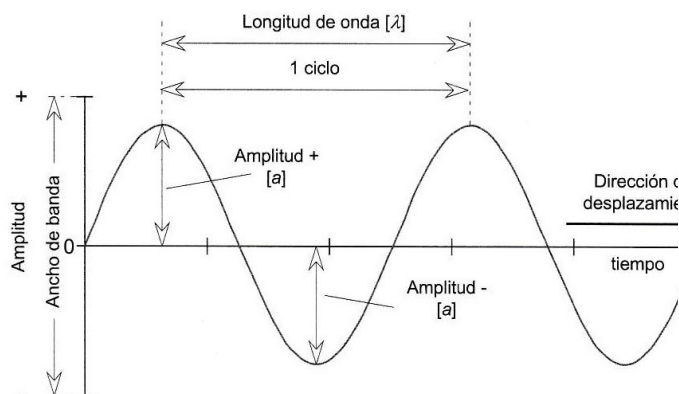


Ilustración 5: Onda electromagnética

[5]

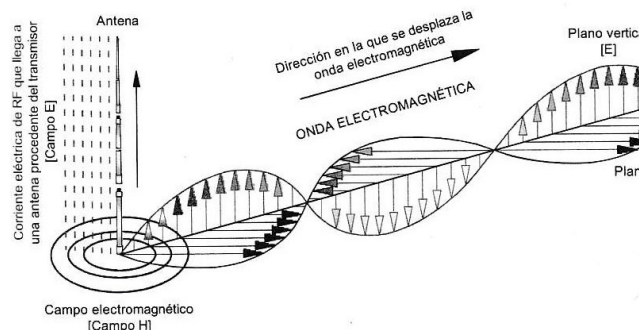


Ilustración 6: Formación de una onda electromagnética polarizada verticalmente.

[5]

Dado que las ondas de radio son susceptibles de transportar energía, éstas son utilizadas para transmitir información, bien sea analógica o digital, variando la amplitud y/o la frecuencia de las mismas. Hoy en día la inmensa mayoría de los satélites artificiales utilizan el sistema digital, ya que con ello es posible la transmisión de una enorme y variada cantidad de información.

Las ondas de radio pertenecen a una parte específica de todo el espectro de radiación electromagnética, del cual la Luz también forma parte como se puede apreciar en la **ilustración 7**.

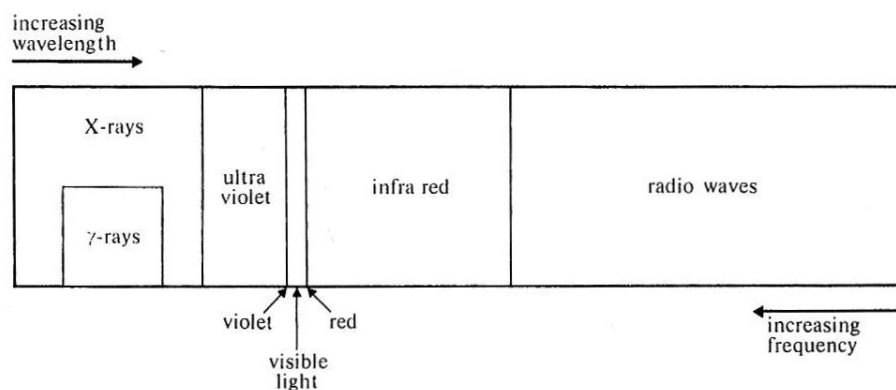


Ilustración 7: Espectro electromagnético.

[6]

Esta parte del espectro de radiación electromagnético utilizado por las ondas de radio se denomina espectro radioeléctrico.

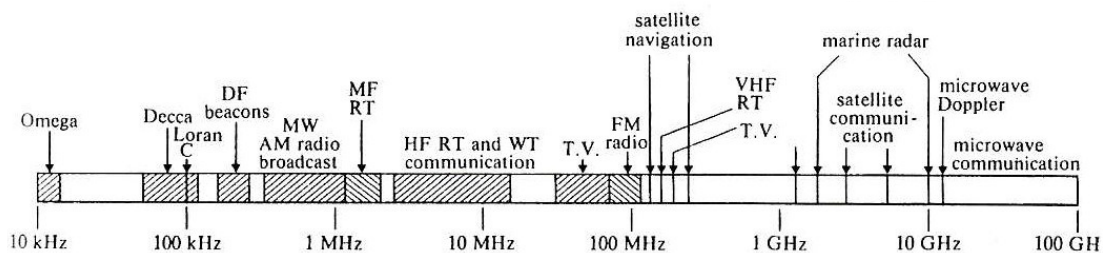


Ilustración 8: Espectro radioeléctrico.

[6]

La forma en la que la información es transmitida a través de las ondas electromagnéticas se llama modulación de la onda portadora, que es la frecuencia en la que realmente se transmite. Este proceso consiste en variar alguna de las características de la

onda portadora: la amplitud, la frecuencia o la fase (AM, FM o PM). En las comunicaciones satelitales, al ser información digital, se utiliza la modulación de la fase.

Este tipo de modulación presenta varias ventajas respecto a las demás: ausencia de distorsión, de interferencias entre estaciones cercanas y libres de parásitos atmosféricos. Sus únicos inconvenientes son la necesidad de utilizar frecuencias muy altas y que alguna de las bandas de estas frecuencias se ven más afectadas por la lluvia (rain fade). [9][10]

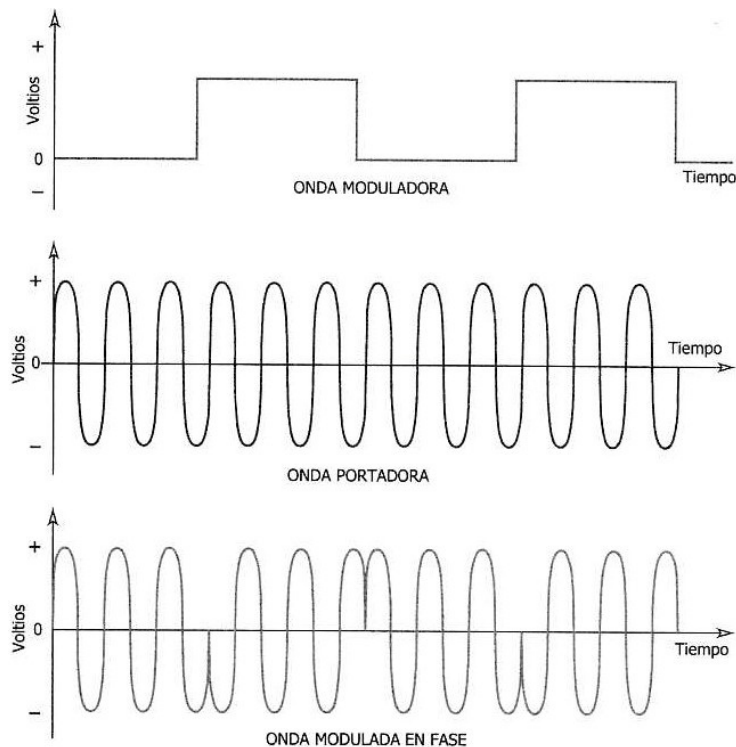


Ilustración 9: Representación de una modulación en fase.

[5]

3.1.2 Bandas de frecuencia

Como ya hemos mencionado los satélites utilizan ondas radioeléctricas para comunicarse dentro del espectro radioeléctrico. Dentro del espectro radioeléctrico se encuentra el espectro de ondas utilizado por los satélites, que se encuentra en el rango de frecuencia de 1 a 40 GHz, también llamadas microondas.

La razón principal por la que se utilizan frecuencias tan altas es su alta capacidad de atravesar la atmósfera. A diferencia de otras frecuencias utilizadas en las transmisiones marítimas como MF o HF (2-30 MHz) las utilizadas por los satélites (UHF, SHF y EHF) no se refractan en ninguna capa de la atmósfera.

Dentro de este espectro de frecuencias podemos distinguir las siguientes bandas:

- Banda L (1-2 GHz)

Esta banda abarca las frecuencias entre. Es probablemente la más usada por los satélites hoy en día debido a su facilidad de procesamiento, buena penetración en la ionosfera, que no se necesita de un equipo muy sofisticado y que además la antena receptora no tiene que estar apuntando directamente al satélite.

Como desventaja podemos citar el bajo ancho de banda asignado lo que significa una cantidad de información limitada.

Es utilizada por GPS, Galileo, Inmarsat e Iridium entre otros.

- Banda S (2-4 GHz)

Utilizada principalmente en radares marinos debido a su buena penetración en fenómenos atmosféricos como la lluvia, esta banda también se usa en menor medida en comunicaciones satelitales especialmente la NASA.

- Banda C (4-8 GHz)

Esta banda se utiliza en comunicaciones satelitales, especialmente TV y datos. Es una gran alternativa a las bandas Ka y Ku, de mayor frecuencia, ya que esta tiene buena penetración en la lluvia. Guarda una buena relación entre propagación y ancho de banda. Tiene la desventaja de que las antenas utilizadas suelen ser de un tamaño considerable.

- Banda X (8-12 GHz)

Se aplica principalmente a los radares y su uso satelital es exclusivamente militar. De prestaciones parecidas a la banda X, normalmente los equipos suelen ser más caros.

- Banda Ku (12-18)

Esta banda es usada principalmente para la transmisión de datos de alta velocidad y TV. Ampliamente utilizada por los sistemas VSAT de los que hablaremos más adelante. En esta banda debemos tener en cuenta la mayor atenuación por lluvia por lo que en estos casos habría que transmitir con mayor potencia.

- Banda K (18-26)

Aunque está dentro del espectro de las microondas utilizadas por los sistemas satelitales esta banda sufre una gran absorción de vapor de agua por lo que sólo es utilizada en algunas pocas transmisiones de corto alcance.

- Banda Ka (26-40)

De propiedades similares a la banda Ku, dispone de algo más de ancho de banda y es todavía más susceptible a la atenuación por lluvia por lo que, igual que con la banda Ku, se debe transmitir con más potencia o bien aumentar la sensibilidad del receptor aumentando el tamaño de la antena. Tiene un gran ancho de banda y es muy utilizada en los sistemas VSAT, como por ejemplo Fleet Xpress de Inmarsat. [8][11]

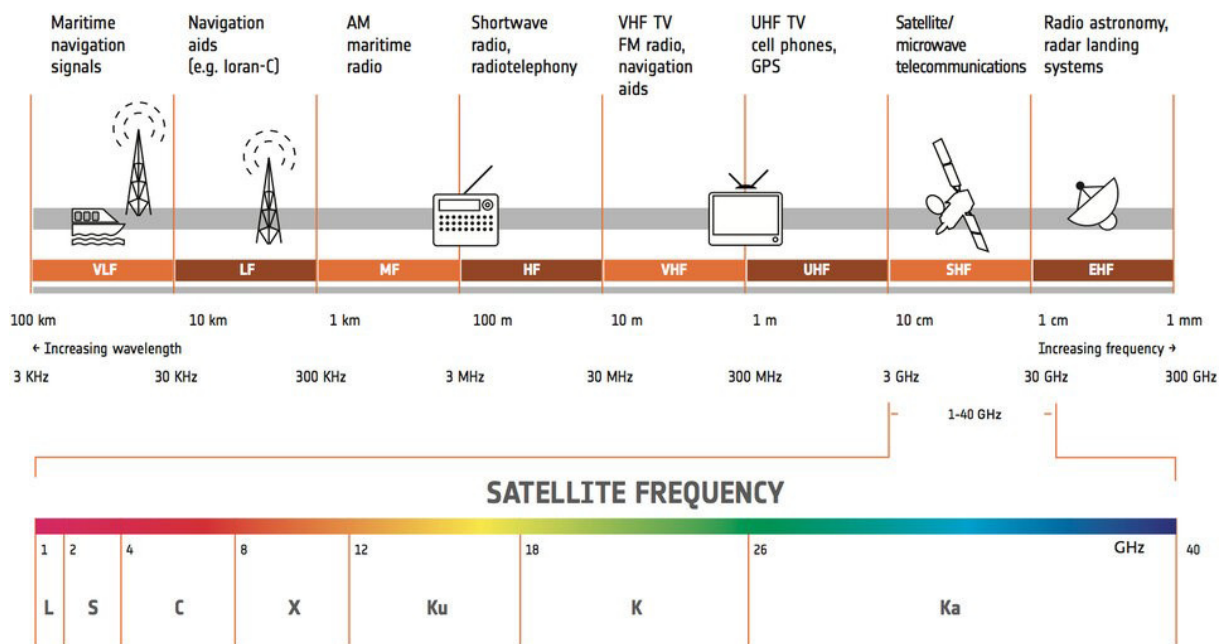


Ilustración 10: Diferentes aplicaciones del espectro radioeléctrico y frecuencias utilizadas por los satélites.

[7]

En la siguiente tabla se muestran las diferentes características de las diversas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico:

CARACTERÍSTICAS DE LAS DISTINTAS BANDAS DE FRECUENCIAS						
	BANDAS	CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN	ATENUACIÓN	COBERTURA (DESDE LA SUPERFICIE)	COSTE DE EQUIPOS	APLICACIONES
Baja frecuencia	VLF, LF	Baja	Baja	Amplia	Bajo	Radio navegación (Loran, Navtex), comunicaciones militares
	3-300 KHz					
Media y alta frecuencia	MF, HF	Media	Media	Media	Bajo	Comunicaciones por radio
	300 KHz-30 Mhz					
Frecuencias muy altas	VHF, UHF	Media-alta	Alta	Media	Medio	Comunicaciones por radio, teléfonos móviles, Televisión y satélite.
	30 Mhz-3GHz					
Microondas	SHF	Muy alta	Alta	Reducida	Alto	Tele comunicaciones por satélite
	3-30 GHz					
Milimétricas	EHF	Altísima	Muy alta	Muy reducida	Muy alto	Astronomía, radares y comunicaciones por satélite
	30-300 GHz					

Ilustración 11: Características de las distintas frecuencias del espectro radioeléctrico.

[8]

3.2 Estructura de un sistema satelital

Un sistema satelital está compuesto por tres partes fundamentales: **El segmento espacial, el segmento terrenal y el segmento de usuario.**

1. El segmento espacial está formado por la constelación de satélites que componen el sistema y por los enlaces ascendentes y descendentes.

El satélite constituye el núcleo de la red y su misión es establecer comunicaciones en las zonas asignadas.

El satélite recibe, amplifica, cambia de banda, procesa y transmite la señal radioeléctrica, estableciendo conexiones entre las estaciones terrenas de su zona de cobertura.

Los enlaces ascendentes y descendentes son las señales transmitidas desde el satélite a la Tierra y desde la Tierra al espacio, respectivamente. Además de la atenuación proporcional a la distancia recorrida puede existir una atenuación adicional por lluvia dependiendo en gran medida de la banda en la que se trabaje. El enlace más perjudicado es siempre el descendente dado que la potencia de transmisión de un satélite tiene sus limitaciones.

2. El segmento terrenal está compuesto por la estación terrenal transmisora, la estación terrenal receptora y las redes terrenales.

Éste está compuesto por varios elementos:

- Estaciones terrestres: Suministran interfaces de radio con los satélites.
- Centros de control de misión: Desde donde se controlan los satélites.
- Redes terrestres: Conectan otros elementos terrestres entre sí.
- Terminales remotas, usadas por personal de apoyo.
- Instalaciones de lanzamiento.

3. El segmento usuario

Se trata del equipo que debe disponer cualquier usuario para comunicarse de una forma efectiva. Este equipo comprende entre otros elementos los siguientes:

- Antena receptora/emisora
- Procesador de señales.
- Teléfono.
- Router.
- Display, teclado.

[8][11]

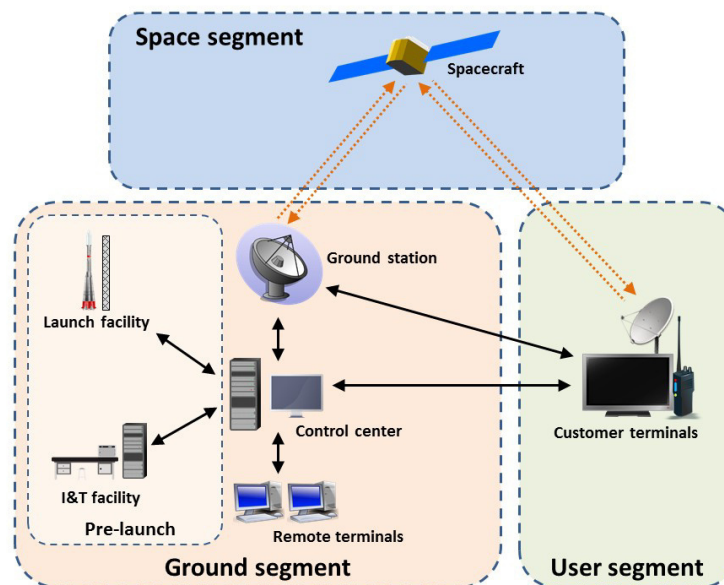


Ilustración 12: Ilustración general de los segmentos de un sistema satelital de comunicaciones.

[9]

3.3 Lanzamiento de un satélite

El método más frecuente para el lanzamiento de un satélite geoestacionario está basado en la transferencia de Hohmann y su proceso se puede describir de la siguiente forma:

- Se coloca el satélite en una órbita de aparcamiento circular baja con un perigeo de aproximadamente 200 km.
- En uno de los cruces ecuatoriales, normalmente el primero, se incrementa la velocidad para pasar a una órbita de transferencia elíptica con un apogeo de unos 36.000 km.

Algunos ejemplos de sistemas lanzadores de satélites geoestacionarios son: ARIANE, DELTA O PROTON.

Para el lanzamiento de un satélite no geoestacionario el sistema es bastante diferente, aunque alguna vez se ha usado el anterior sistema para lanzar al espacio satélites de órbita baja y órbita media.

Por lo general, el lanzamiento de un satélite no geoestacionario necesita de una capacidad de propulsión mucho menor y suelen ser más flexibles en lo que se refiere a su diseño.

Dos ejemplos de este sistema son el ATLAS 1 o el CAPRICORNIO español.

El lanzamiento de un satélite geoestacionario se compone de 3 etapas:

- **1ª etapa:** Aunque sin alcanzar todavía una gran velocidad el cohete trata de atravesar verticalmente las capas más densas de la atmósfera lo antes posible ayudado por propulsores muy potentes y así situarse a unos 200 Km de la Tierra en una órbita elíptica. Esto suele durar unos tres minutos.

- **2ª etapa:** En esta etapa el objetivo es adquirir gran velocidad y ascender para interceptar la trayectoria horizontal. Durante esta etapa se desprenderá la ojiva, encargada de proteger al satélite mientras se cruzan las capas densas de la atmósfera. Esta etapa dura 2 minutos.

- **3ª etapa:** Durante esta etapa se tratará de conseguir una velocidad horizontal de unos 10 Km/s que nos permitirá obtener una distancia de 36.000 Km de perigeo. Una vez que el satélite ya ha sido orientado se pasará de la órbita de transferencia a la órbita geoestacionaria definitiva. [8] [11]

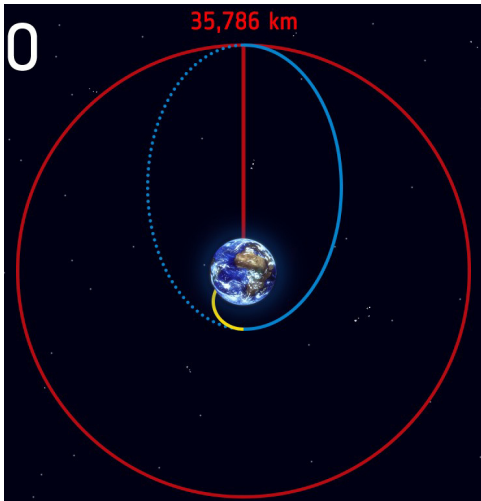


Ilustración 13: Puesta en órbita de un satélite geoestacionario.

[10]

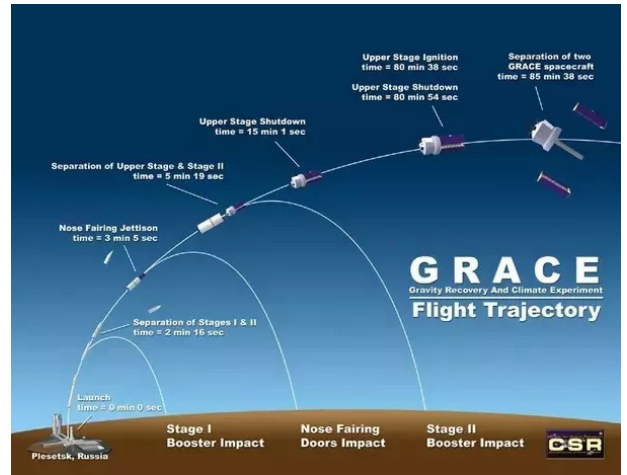


Ilustración 14: Lanzamiento de un satélite tipo GRACE.

[11]

4. TIPOS DE SATÉLITES

4.1 Según su órbita

La mayor parte de los satélites de comunicaciones hoy en día son de órbita geoestacionaria y en menor medida de órbita polar. No obstante haremos una breve descripción de los tipos de órbitas más comunes.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de poner en órbita un satélite es el cinturón de Van Allen que es una zona de fuertes radiaciones que rodea a la Tierra, formada por dos regiones en forma de anillo, una entre los 1.500 a 5.000 Km y la otra entre los 13.000 y 20.000 Km, en la que están atrapadas gran cantidad de partículas cargadas positivas o negativas que siguen trayectorias en espiral alrededor de la dirección del campo magnético terrestre.

- Satélites de órbita baja o LEO (*Low Earth Orbit*).

Aunque estos límites no están definidos orbitan alrededor de la Tierra a una distancia entre 200 y 1.500 Km. Su velocidad es de 7 Km/s aproximadamente. Las ventajas de este tipo de satélites es que tienen un periodo de latencia muy bajo y que su cobertura es global. Como desventajas podemos señalar el alto número de satélites necesarios para conseguir dicha cobertura y, por lo tanto, mayor coste de mantenimiento.

La mayoría de los satélites de comunicaciones en este tipo de órbita están situados a unos 1000 Km de la superficie y tardan alrededor de 2 horas en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra.

La mayoría de estos satélites son usados para las comunicaciones de voz y datos (Iridium, Globalstar) o para Búsqueda y Salvamento (Cospas-Sarsat).



Ilustración 15: Satélite de órbita baja Iridium.

[12]

- Satélites de órbita media o MEO (*Medium Earth Orbit*).

Situados entre 2.000 y 35.780 Km, estos satélites viajan a una velocidad de 4 Km/s de media y tardan unas 11 horas en completar su periodo orbital. A diferencia de los LEO, éstos orbitan en un plano inclinado entre 55 y 65°.

Son necesarios entre 10 y 15 satélites para tener cobertura global y su aplicación es casi exclusiva de los sistemas de posicionamiento como GPS o Galileo. Actualmente ya se utilizan este tipo de satélites para recibir señales de Radiobalizas de Localización de Siniestros, más conocidas como EPIRB, a través del sistema MEOSAR del que hablaremos más adelante.



Ilustración 16: Satélite GPS III de última generación.

[13]

- Satélites de órbita altamente elíptica o HEO (*Highly Elliptical Orbit*).

Aunque actualmente no existe ningún satélite operativo con este tipo de órbita sí existen algunos proyectos para su uso en el sector meteorológico por parte de EUMETSAT e Inmarsat.

Este tipo de órbita tiene una distancia máxima en el apogeo de unos 42.000 Km y una mínima en el perigeo de unos 400 Km.

El sistema más conocido, hoy en día fuera de servicio, que utilizó este tipo de órbita fue “Sirius Satellite Radio”, un servicio de radiodifusión en América del Norte.

- Satélites geoestacionarios o GEO (*Geosynchronous Earth Orbit*).

Es el tipo de satélite más utilizado actualmente en el ámbito de las telecomunicaciones (voz, internet, Televisión, etc.).

Tienen el mismo periodo de rotación que la Tierra sobre sí misma de modo que pareciera que están siempre en el mismo sitio.

La distancia a la superficie de la Tierra es de unos 36.000 Km.

La ventaja de los satélites que utilizan esta órbita es que con 3 ó 4 satélites se obtiene cobertura casi global. El inconveniente es que nunca se llega a los polos y tienen una alta latencia en las comunicaciones.

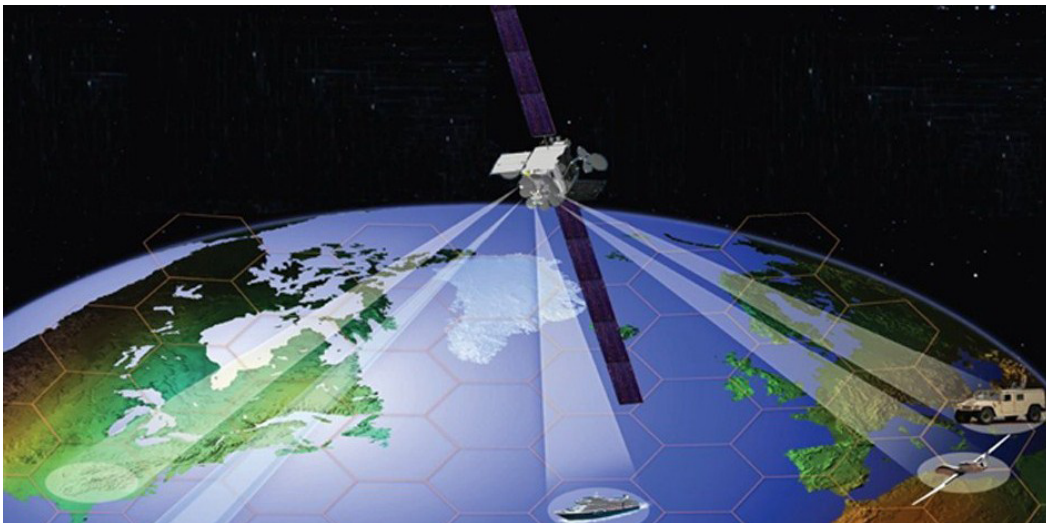


Ilustración 17: Satélite INMARSAT de 5ª generación.

[14]

Como ejemplos de sistemas satelitales que utilizan este tipo de órbita podemos nombrar INMARSAT, HISPASAT, VIASAT, THURAYA, etc. [2][9][10][11]

4.2 Según su aplicación

Si bien, este trabajo está enfocado en los satélites de comunicaciones aplicados a la navegación, es interesante hacer una breve mención a otros usos muy comunes de estos artefactos tan importantes en la actualidad:

- Satélites de comunicación: Ofrecen servicios como voz, internet y TV. Son los más abundantes y rentables.

- Satélites meteorológicos: Están dedicados exclusivamente a la observación, predicción y estudio de las condiciones meteorológicas.

- Satélites científicos: Se utilizan tanto para observar la Tierra (superficie y atmósfera) como el espacio y los demás cuerpos celestes.

- Satélites de posicionamiento: Aunque podrían ser incluidos dentro de los satélites de comunicación, pues su objetivo es el de comunicar una posición, estos satélites se encargan de determinar la situación de cualquier receptor (GPS, Galileo, Glonass, etc.) mediante triangulación con errores muy pequeños.

- Satélites de reconocimiento: También llamados satélites espías, se emplean con fines de inteligencia o militares. [8]

5. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN SATELITALES APLICADOS A LA NAVEGACIÓN

5.1 INMARSAT

Sería impensable hablar hoy en día sobre comunicaciones marítimas vía satélite sin pensar en Inmarsat, no sólo por haber sido el pionero en las comunicaciones satelitales marítimas sino también por todos los servicios prestados en el sector a lo largo de la historia.

A grandes rasgos podemos considerar INMARSAT como una constelación de satélites geoestacionarios que ofrece varios tipos de servicios desde hace más de 40 años como telefonía, télex y datos. Tiene cobertura global con excepción de los polos y aunque inicialmente sólo operaba en la banda-L para las comunicaciones satélite-usuario hoy en día opera además en las bandas Ka y S, esta última solamente para servicios aeronáuticos.

Inmarsat fue creada por la OMI en el año 1979 para desarrollar una red de comunicaciones satelital con el fin de proteger la vida humana en la mar y proveer a los buques con comunicaciones fiables, lo que incluía comunicaciones entre tripulantes y pasajeros con tierra. Aunque su nombre original era INternationall MARitime SATellite Organization actualmente se denomina International Mobile Satellite Organization desde que amplió sus servicios a las comunicaciones terrestres (1989) y aéreas (1990).

Fue el primer operador, y el único hasta diciembre de 2020, fecha en la que Iridium rompió el monopolio, en cumplir con los estrictos requisitos del sistema GMDSS (Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos).[12]

En 1982 INMARSAT anunció la prestación de servicios de comunicación satelitales móviles utilizando satélites arrendados a *Marisat*, *Marecs* e *Intelsat* y siete años más tarde el sistema contaba con algo más de 8.000 terminales. Ésta fue la primera generación de Inmarsat.

Como todo sistema satelital de comunicaciones está compuesto por tres partes: el segmento espacial, el segmento terrestre y las estaciones móviles o MES (*Mobile Earth Stations*).

El 15 de abril de 1999 Inmarsat fue la primera Organización Gubernamental que se convirtió en una empresa privada y pasó a llamarse Inmarsat Ventures Ltd.

Para asegurar el correcto cumplimiento de los requisitos de GMDSS por parte de esta nueva empresa la OMI creó una organización llamada IMSO (International Maritime Satellite Organization).

La IMSO se encarga de monitorizar el promedio de disponibilidad de Inmarsat que debe exceder el 99,9% y no debe estar fuera de servicio más de 8,8 horas al año como máximo.

[9][10][13][14] [15] [16]

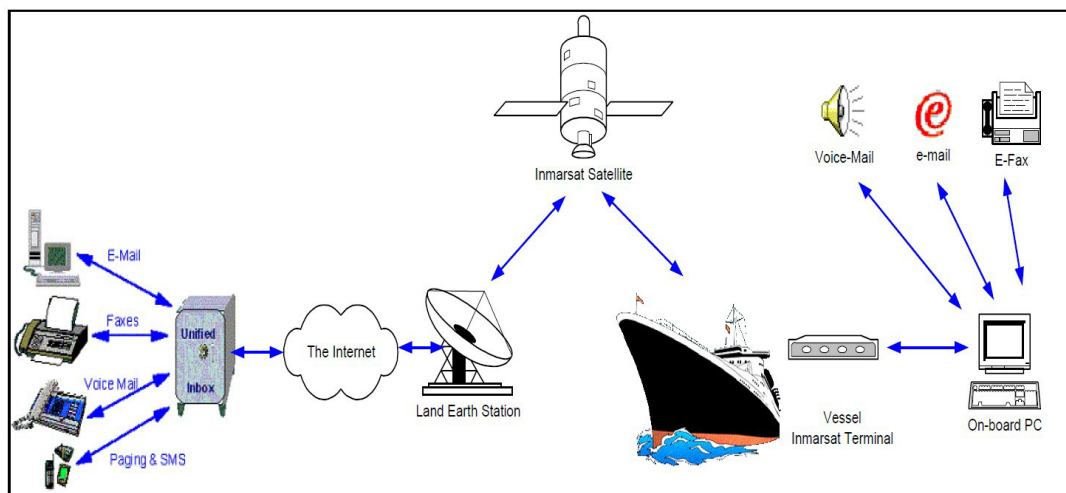


Ilustración 18: Servicios ofrecidos por las primeras generaciones de Inmarsat.

[15]

5.1.1 El segmento espacial

A pesar de, que las generaciones 2 y 3 de Inmarsat ya han sido dadas de baja¹, es necesario tener cierto conocimiento sobre ellas para entender sus fundamentos y su evolución a lo largo de los años.

Por lo general, todas las generaciones han contado con 4 satélites para ofrecer cobertura global a excepción de los polos. Las generaciones I-2 e I-3 contaban con los siguientes satélites:

- AOR-E (*Atlantic Ocean Region-East*) situado en longitud 15° 30' W.
- AOR-W (*Atlantic Ocean Region-West*) en longitud 54° W.
- IOR (*Indian Ocean Region*) en longitud 64° 30' E.
- POR (*Pacific Ocean Region*) en longitud 178° E.

¹ Algunos de los I-3 son actualmente alquilados a varios operadores externos o utilizados como SBAS (*Satellite Based Augmentation System*).

Inmarsat-2

Ya con satélites propios, Inmarsat lanzó su segunda generación, Inmarsat-2, constituida por 4 satélites que fueron lanzados entre 1990 y 1992 y aunque su vida útil en un principio se estimaba en 10 años acabaron durando entre 12 y 23.

Su peso en órbita rondaba los 800 Kg y la potencia disponible era sólo de 1.200 vatios.

El sistema Inmarsat A operó con esta generación hasta su cierre definitivo el 31 de diciembre de 2007.

Como en prácticamente todas las generaciones de satélites de este sistema, la banda L es la utilizada para la comunicación satélite-usuario:

- 1,6 GHz para los enlaces ascendentes y 1,5 GHz para los enlaces descendentes

y la banda-C para la comunicación satélite-tierra:

- 6,4 GHz para los ascendentes y 3,6 GHz para los descendentes.

El enlace descendente se suministra en forma de un único haz global o "*global beam*" como se puede apreciar en la **Ilustración 20**. [9][14][15] [16]



Ilustración 19: Satélite I-2.

[16]

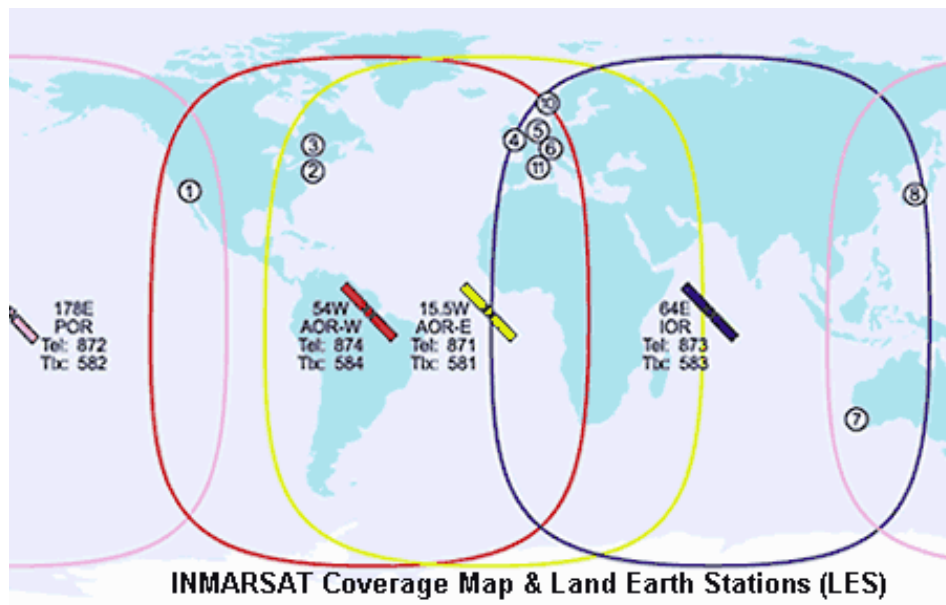


Ilustración 20: Cobertura de I-2 de haz global único.

[17]

Inmarsat-3

Entre 1996 y 1998 fueron puestos en órbita cinco satélites de tercera generación: Inmarsat-3, donde aparecieron los haces anchos puntuales. Su peso en órbita era de 1.000 Kg y su potencia 2.800 vatios. La gran novedad aportada fue la tecnología de haz puntual o “wide spot beams” que permitían concentrar más potencia dentro de su huella hacia zonas de mucho tráfico o donde fuese necesario, pudiendo redistribuir tanto la potencia emitida como el ancho de banda entre el haz global y uno varios de los siete haces puntuales disponibles.

Cada haz puntual cubre una extensión de unos 3.400 Kilómetros y una ventaja añadida de este sistema es que requiere menos potencia de los equipos móviles.

La velocidad máxima de transferencia de datos era de 128 Kbps, una cifra nada despreciable para la época.

Estos satélites también incluyeron por primera vez un repetidor de navegación para mejorar la precisión de los sistemas de posicionamiento GPS y GLONASS.

Este sistema dejó de operar definitivamente en 2020 después de una transición de casi dos años. [9]

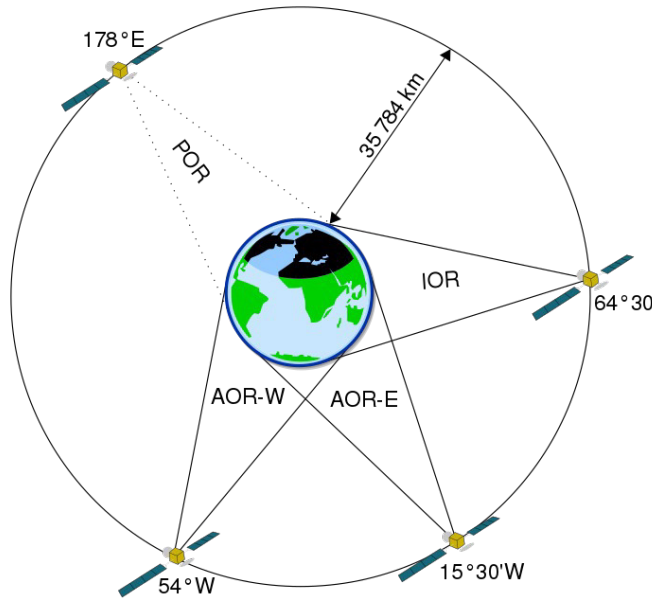


Ilustración 21: Situación de los satélites I-3.

[5]

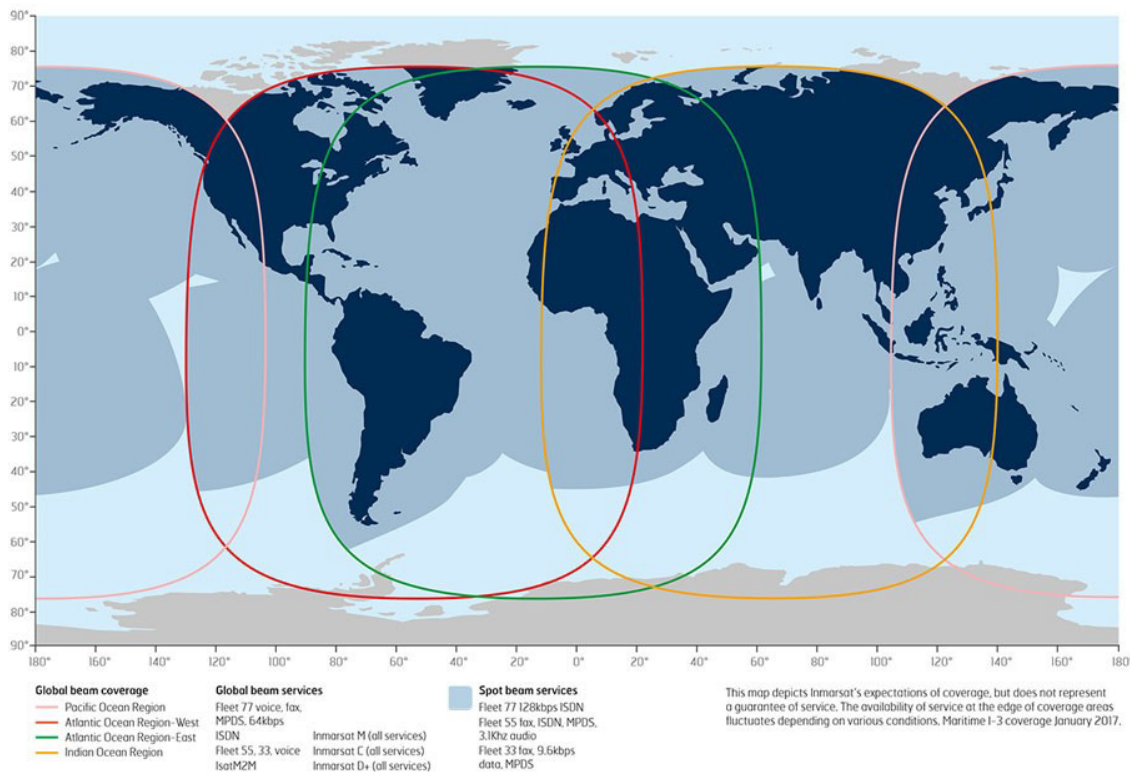


Ilustración 22: Mapa de cobertura de I-3 con los distintos servicios según terminales y situación geográfica.

[18]

Inmarsat-4

Los satélites de cuarta generación, Inmarsat-4, fueron puestos en funcionamiento entre 2005 y 2013 y supusieron una serie de mejoras como un aumento en la velocidad de transmisión de datos (492 Kbps).

Esta generación fue construida para dar soporte a la red global de comunicaciones de banda ancha de cobertura mundial BGAN (*Broadband Global Area Network*) siempre en la banda L. Inicialmente sólo contaba con 3 satélites ya que con ello era suficiente para ofrecer cobertura global. Más tarde se uniría el ALPHASAT o F-4.

Este tipo de satélites tenía un tamaño mucho mayor que sus antecesores ya que debía ofrecer mejores servicios y por lo tanto, era necesaria más potencia.

Su peso es de unas 5 toneladas en órbita y su potencia de 14 kW. Cada satélite cuenta con 1 haz global que cubre hasta un tercio de la superficie de la Tierra, más de 200 haces puntuales estrechos (*narrow spot-beams*) cubriendo cada uno un diámetro de unos 800 km. Disponen además de 19 haces puntuales regionales (*wide spot-beams*).

Un haz puntual estrecho permite la reutilización de frecuencias y, como resultado, un enorme aumento de la capacidad del satélite. A diferencia de los haces regionales cada haz puntual descendente del satélite ilumina un área de unos cientos de kilómetros de diámetro en lugar de unos miles. [9][18]

Finalmente quedaron situados en las siguientes longitudes:

- I-4 F1 (I-4 ASIA PACIFIC) 143° 30' E.
- I-4 F2 (I-4 EMEA) 64° E.
- I-4 F3 (I-4 Americas) 98° W.
- I-4 F4 (I-4 ALPHASAT) 25° W.

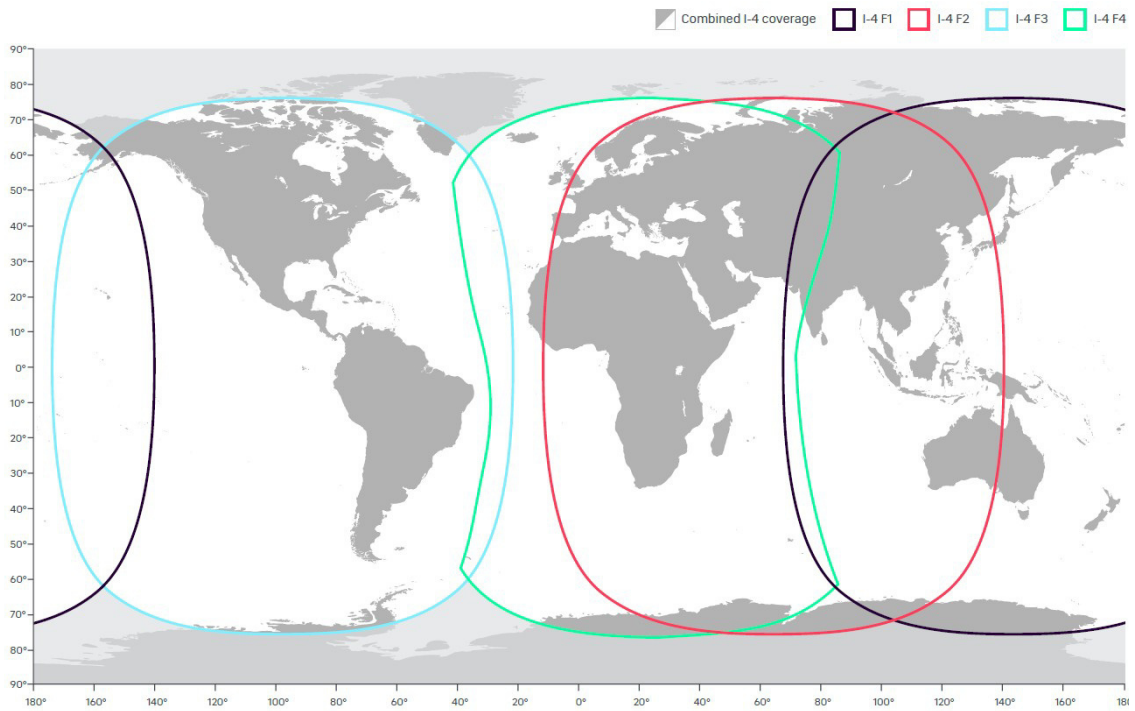


Ilustración 23: Cobertura de I-4 tras la incorporación del F4 ALPHASAT.

[19]

Inmarsat's Satellite Constellation

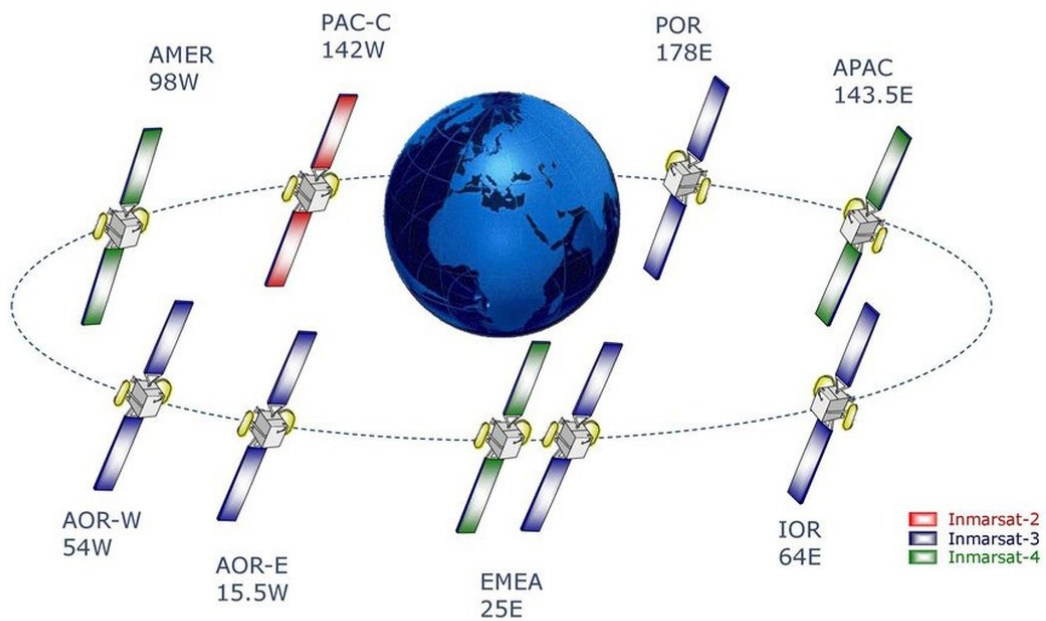


Ilustración 24: Evolución de la constelación de Inmarsat hasta la 4ª generación.

[5]

I-4/BGAN Worldwide Narrow Spot Beam

- 3 Satellites at 53°W, 64°E & 178°E

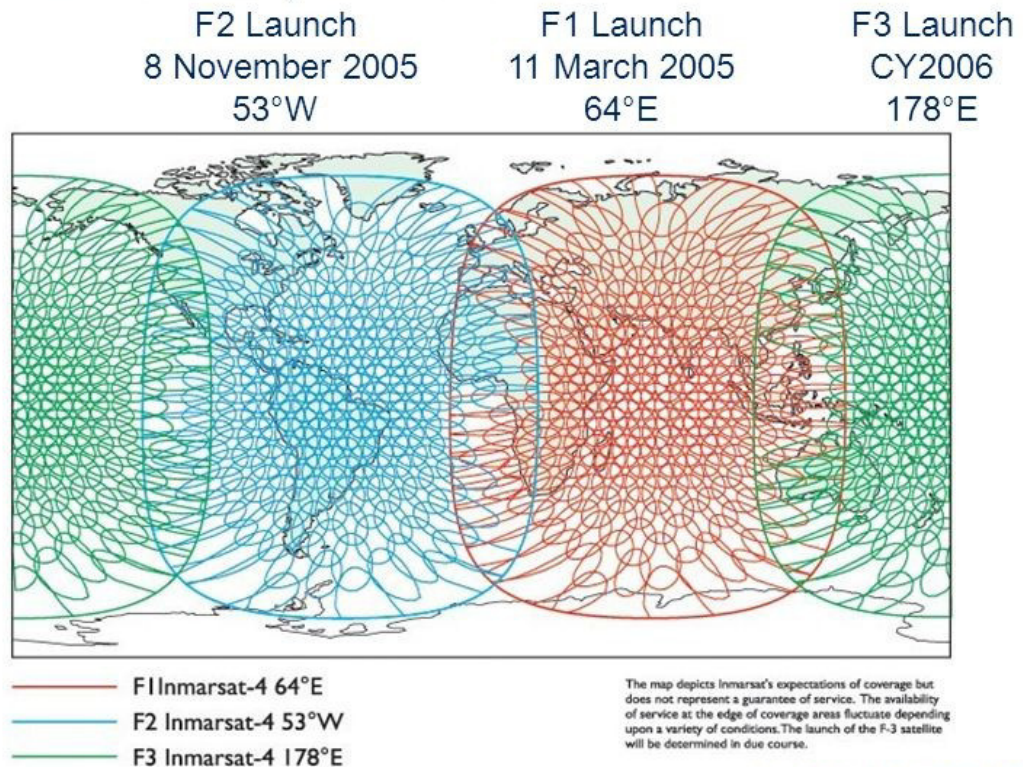


Ilustración 25: Narrow spot beams de I-4 antes del lanzamiento del ALPHASAT (I-4 F4)

Inmarsat-5

Podría parecer simplemente una generación más, sin embargo la I-5 o GX de Inmarsat, marcó un antes y un después en lo que se refiere a velocidad de datos de banda ancha. Este sistema, denominado Global Xpress (Fleet Xpress en su versión marítima), opera en la banda Ka (26-40 GHz) y ofrece internet con una velocidad de 50 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida con una latencia de 700 ms. Esta tecnología se conoce con el nombre de HTS (High Throughput Services).

Fleet Xpress, junto con la cobertura de la banda L de los satélites I-4, constituyen un sólido sistema que combina internet de banda ancha, télex, telefonía y todos los requisitos de GMDSS.

Una gran ventaja de Inmarsat es la capacidad de sus terminales de cambiar automáticamente de la banda Ka, que es la que proporciona mayor velocidad, a la banda L ya que la primera sufre una importante atenuación por lluvia.

Estos satélites tienen un peso en lanzamiento de 4 toneladas, proporcionan una potencia de 15 kW (13, 8 al final de su vida) y tienen una duración estimada de 16 años.

Cada uno cuenta con 89 haces fijos de banda ancha y 6 haces puntuales orientables (*steerable beams*) para distribuir convenientemente la cobertura y la potencia.

Este segmento espacial está formado por 5 satélites con la particularidad de que el último de ellos, el GX5, no ofrece una cobertura tan extensa como los cuatro primeros sino que todos sus haces puntuales están concentrados en Europa y Oriente medio ya que ésta es una zona de muy alta demanda. Cuenta con 72 haces puntuales fijos y 4 haces puntuales orientables.

Actualmente Global Xpress es el operador que proporciona Internet de alta velocidad con mayor cobertura, como se puede apreciar en las **Ilustraciones 26 y 27**.

Estos satélites fueron lanzados entre 2013 y 2019 y están situados en las siguientes latitudes:

- I-5 (GX1) 62° 40' E.
- I-5 (GX2) 55° W.
- I-5 (GX3) 179° 40 E.
- I-5 (GX4) 56° 30' E.
- I-5 (GX5) 11° E. [9][13][14][16][17]

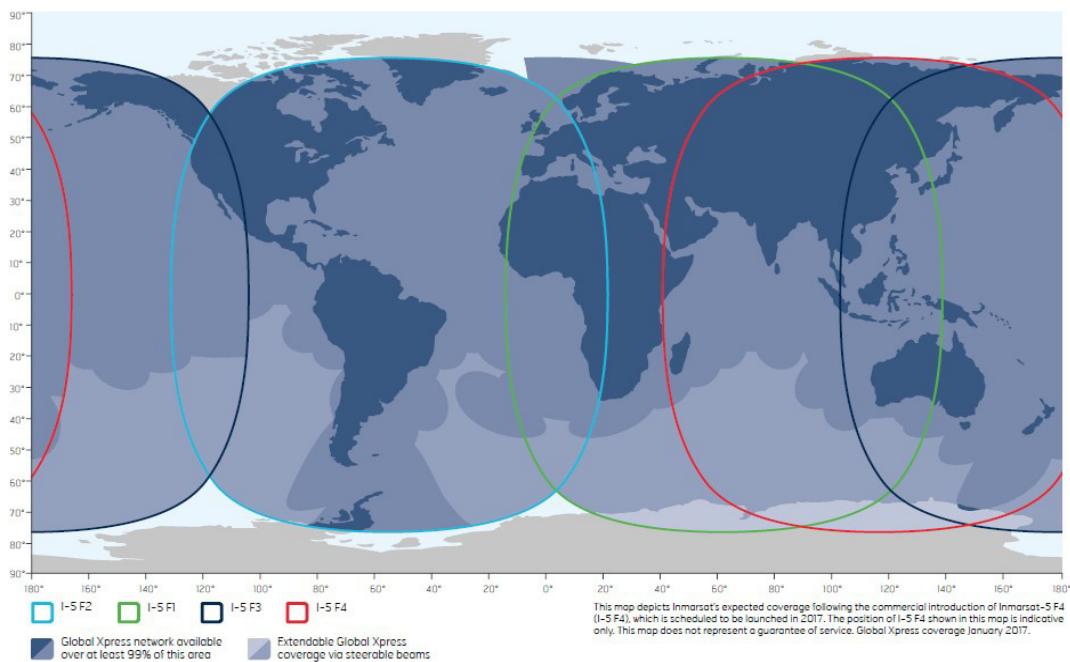


Ilustración 26: Cobertura de I-5, Global Xpress.

[22]

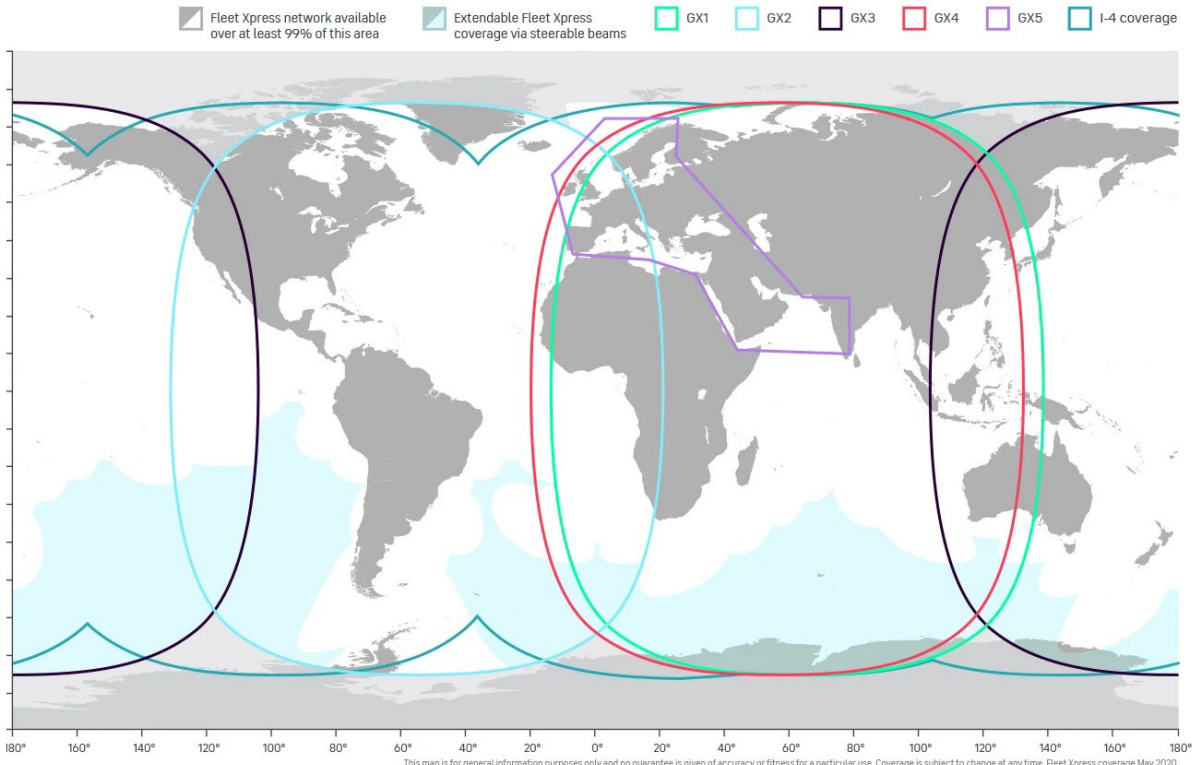


Ilustración 27: Cobertura combinada de Fleet Xpress, con el GX5 sobre Europa, e I-4.

[22]

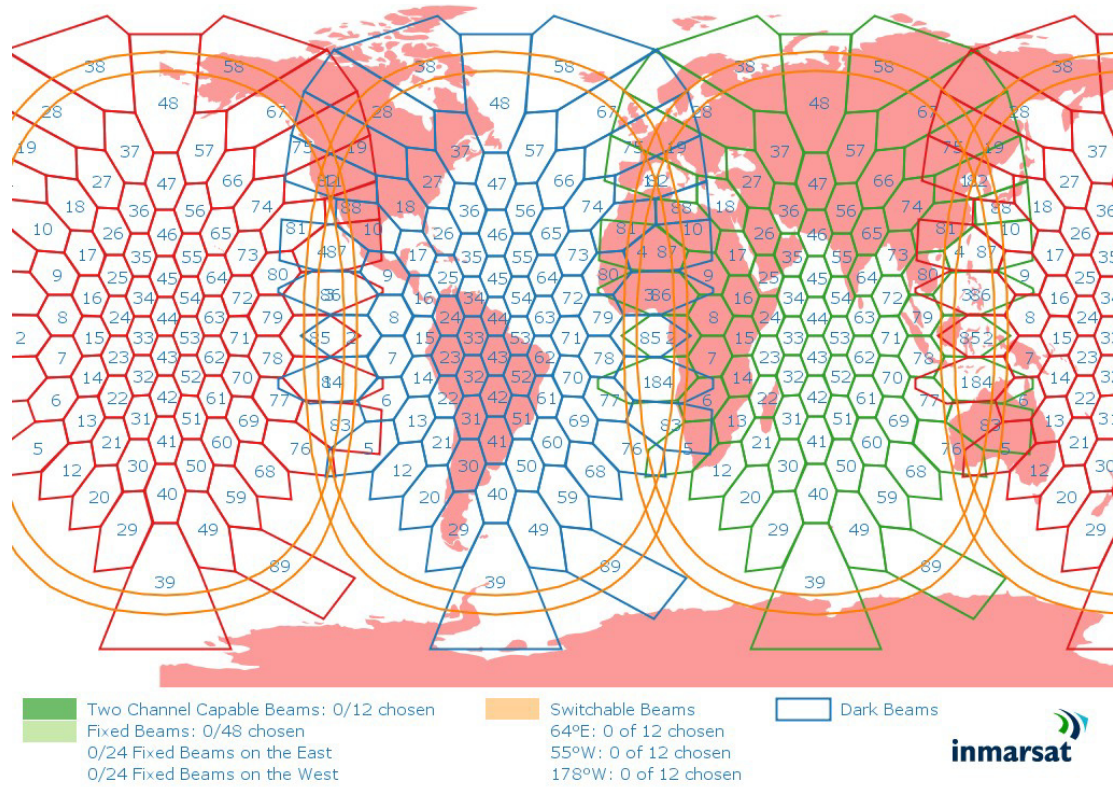


Ilustración 28: Configuración de los narrow spot beams de los satélites F3, F2 y F1 de I-5.

[23]

5.1.2 Segmento terrestre.

Generaciones I-2 e I-3

Este segmento está compuesto por las estaciones costeras, llamadas LES (Land Earth Stations), estaciones de coordinación de la red, NCS (Network Co-ordination Stations) y un centro de control de la misma red llamado NOC (Network Operations Centre).

Cada operador de una estación terrena costera, en adelante LES, suministra un enlace entre la red satelital y la red de telecomunicación internacional. Una LES es capaz de manejar muchas llamadas, télex, internet y datos hacia y desde estaciones terrenas móviles o MES (Mobile Earth Station).

La mayoría de las LES que utiliza Inmarsat son propiedad de operadores privados de telecomunicaciones que actúan como operadores de LES y suministran un amplio rango de servicios a los usuarios MES. Algunos ejemplos de LES son Telecom Italia, Vizada en Francia, Noruega y USA o Global en Reino Unido.

Actualmente existen unas 20 estaciones terrenas costeras en todo el mundo aunque no todas suministran todos los servicios de Inmarsat.

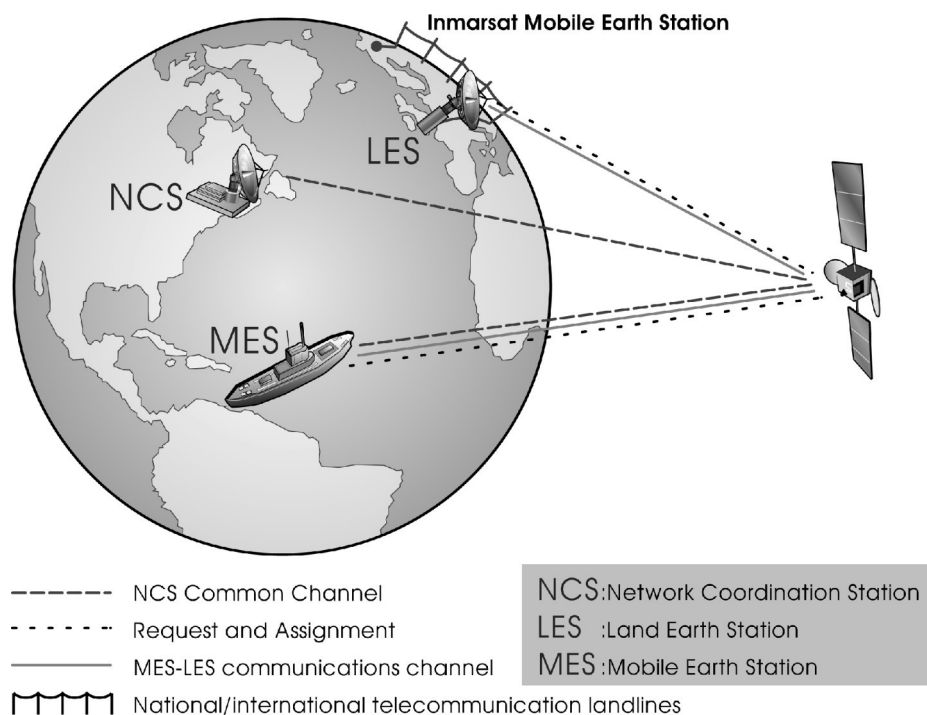


Ilustración 29: Establecimiento de un canal de comunicaciones para una llamada barco-tierra.

[15]

Una LES está compuesta generalmente por:

- Una o varias antenas parabólicas de entre 11 y 14 metros de diámetro, llegando a veces hasta los 32 metros, cada una orientada al satélite de la región oceánica que le corresponda.
- Los transmisores, receptores, moduladores y de-moduladores.
- Los interfaces con las redes terrestres.
- El sistema de supervisión, control y comunicación del servicio.
- El sistema de energía y demás infraestructura, teniendo en cuenta que el servicio debe de operar de forma continuada y sin interrupciones.

Cada LES tiene asignado una ID (Identity Code) que es un número de identificación formado por tres dígitos, que es el utilizado para seleccionar la estación deseada en las comunicaciones desde cualquier MES a cualquier otro usuario.

Por lo general todas las comunicaciones se realizan desde la LES seleccionada por defecto con la que se suele tener un contrato de comunicaciones, aunque se puede elegir cualquier otra que nos pueda convenir más por coste o disponibilidad.

Para cada sistema Inmarsat y cada región oceánica hay un centro de control de la red (NCS) que monitoriza y controla todas las comunicaciones. Cada NCS se comunica con el operador LES correspondiente en su región oceánica, con los otros NCS y con el centro de operaciones de la red (NOC) situado en las oficinas centrales de Inmarsat en Londres, haciendo posible de esta forma transmitir la información a través del sistema.

Las NCS participan activamente en la realización de llamadas entre MES y un operador LES. Para obtener un canal de comunicación un NCS responde a una petición de una MES, denominado como SCPC (Single Channel Per Carrier), asignando un canal el cual ambos, MES y operador LES, deben sintonizar para realizar la llamada.

Estas estaciones emplean un canal TDM (Time Division Multiplex). Mediante este sistema todas las LES tienen asignado el mismo segmento con cierto ancho de banda que comparten secuencialmente en el tiempo. Es decir, que cada LES tiene asignado un tiempo determinado para transmitir dentro del segmento y cuando éste se termine tiene que dejar de transmitir.

El NOC se encarga de controlar toda la actividad de las LES y las NCS de cada región oceánica y coordinar toda la red de comunicaciones. [9] [14] [19]



Ilustración 30: Segmento terrestre de Inmarsat en Fucino.

[25]

Generación I-4

Los satélites de Inmarsat de 4ª generación utilizan un segmento espacial algo diferente a las anteriores, quedando definido de la siguiente manera:

- Estaciones de Acceso a Satélites o SAS (*Satellite Access Stations*).

Las SAS son las encargadas de proporcionar el enlace entre cada uno de los satélites y las redes de comunicaciones terrestres. A diferencia de las LES Inmarsat posee y opera las 3 SAS existentes actualmente y tienen conexión directa con las redes PSTN, ISDN, internet y la red de telefonía móvil.

- Puntos de presencia o PoPs.

También llamados Cubos regionales o Regional Hubs, son las pasarelas a la red global de datos a través de paquetes de Inmarsat. El punto de conexión física se conoce como **Meet Me Point**.

Estos *Hubs* son operados por terceros en nombre de Inmarsat y se encuentran en Nueva York, Ámsterdam y Hong Kong.

- Centro de Operaciones de Redes o *Network Operations Centre (NOC)*.

Al igual que en las anteriores generaciones de satélites la NOC se encuentra en Londres y se encarga de toda la gestión de la red de Inmarsat.

- Centro de Control de Satélites o *SSC (Satellite Control Centre)*.

Situado también en la sede central de Inmarsat en Londres, es el encargado de monitorear la salud de los satélites, controlar su movimiento orbital y cualquier mantenimiento que sea necesario.

- Servicios de Apoyo a la Empresa o *BSS (Business Support Services)*

También se encuentra en la sede central en Londres y su misión principal es atención al cliente y facturación. [9][18]

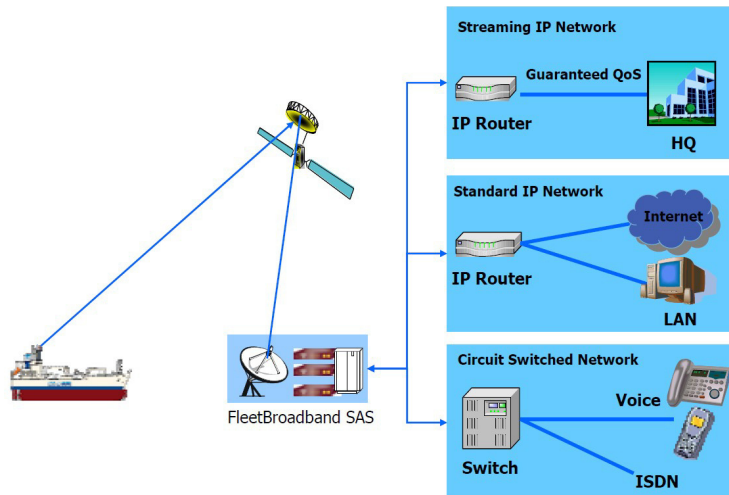


Ilustración 31: Segmentos espacial, terrestre y de usuario de los satélites I-4.

[25]

Generación I-5

Esta generación cuenta con 2 SAS por cada satélite situadas en Fucino y Nemea, para el F1, Winnipeg y Lino Lakes para el F2, Auckland y Warksworth para el F3 y Perth y Merredin para el F4.

El motivo de que haya 2 SAS por cada satélite es suministrar redundancia en los servicios ya que, como ya hemos mencionado anteriormente, la banda Ka sufre de una atenuación considerable por lluvia. Por lo tanto, en caso de que la comunicación entre un satélite y una SAS se vea afectada por este fenómeno meteorológico, se podrá cambiar a la otra SAS.

El NOC es el mismo que en las demás generaciones y cuenta con un centro de respaldo llamado *Backup Operations Centre (BOC)* situado en Burum. [9] [14]

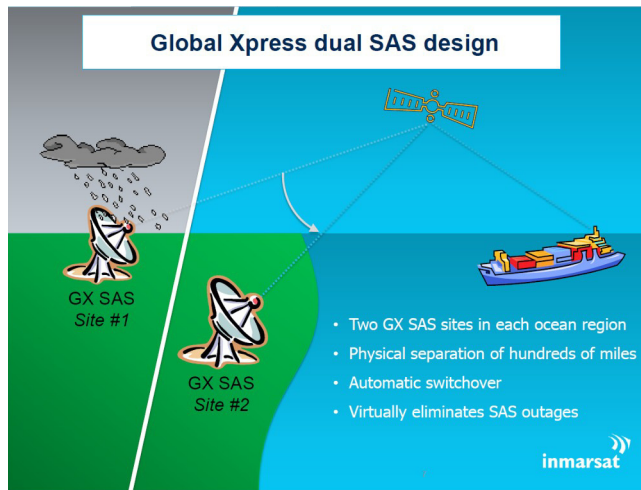


Ilustración 32: Sistema Dual de SAS de Global Xpress.

[14]

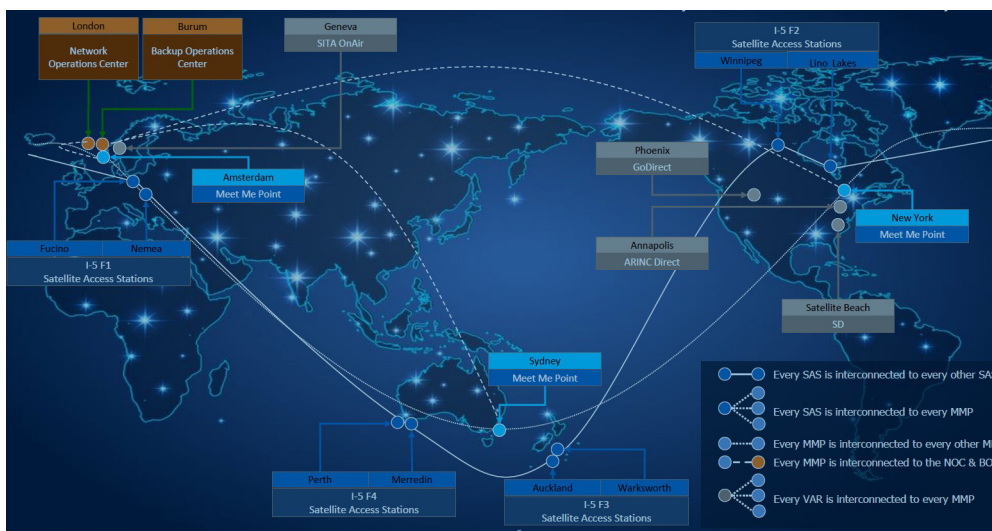


Ilustración 33: Segmento espacial de Global Xpress.

[21]

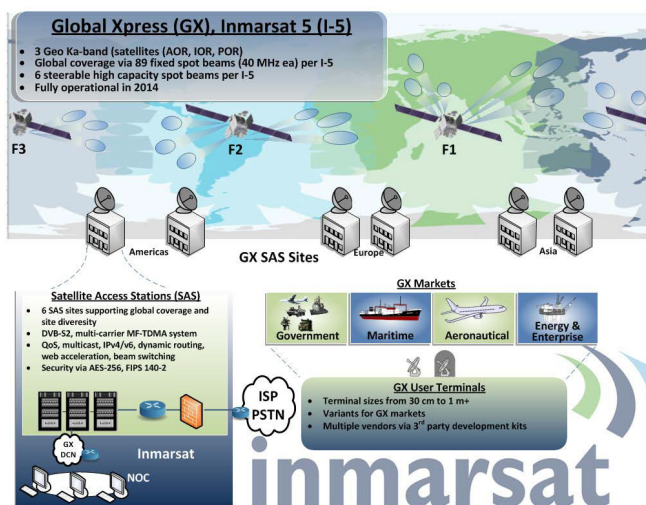


Ilustración 34: Arquitectura de Global Xpress.

[14]

5.1.3 MES o segmento usuario.

Una MES (Mobile Earth Station) es un equipo instalado a bordo de un buque (o de una instalación fija en un entorno marino) que permite al usuario comunicarse con otros usuarios MES o terrestres a través de la red satelital Inmarsat.

Tiene dos partes: Sobre cubierta o ADE (Above Deck Equipment) y bajo cubierta o BDE (Below Deck Equipment).

- ADE: Está compuesto por la antena de emisión/recepción, la unidad de control de la antena, la unidad de RF y una antena GPS protegidos por un radomo de forma circular

- BDE: Está formado por el equipamiento necesario para realizar las comunicaciones: Consola, monitor, teclado, teléfono, télex, etc...

Ya que Inmarsat no fabrica los equipos instalados a bordo existen una serie de fabricantes que se encargan de producir modelos debidamente aprobados. Es lo que conocemos como *segmento usuario*. Podemos citar como los fabricantes más relevantes a FURUNO, SAILOR, INTELLIAN, JRC, THRANE & THRANE, KVH o SEA TEL. [9][18]

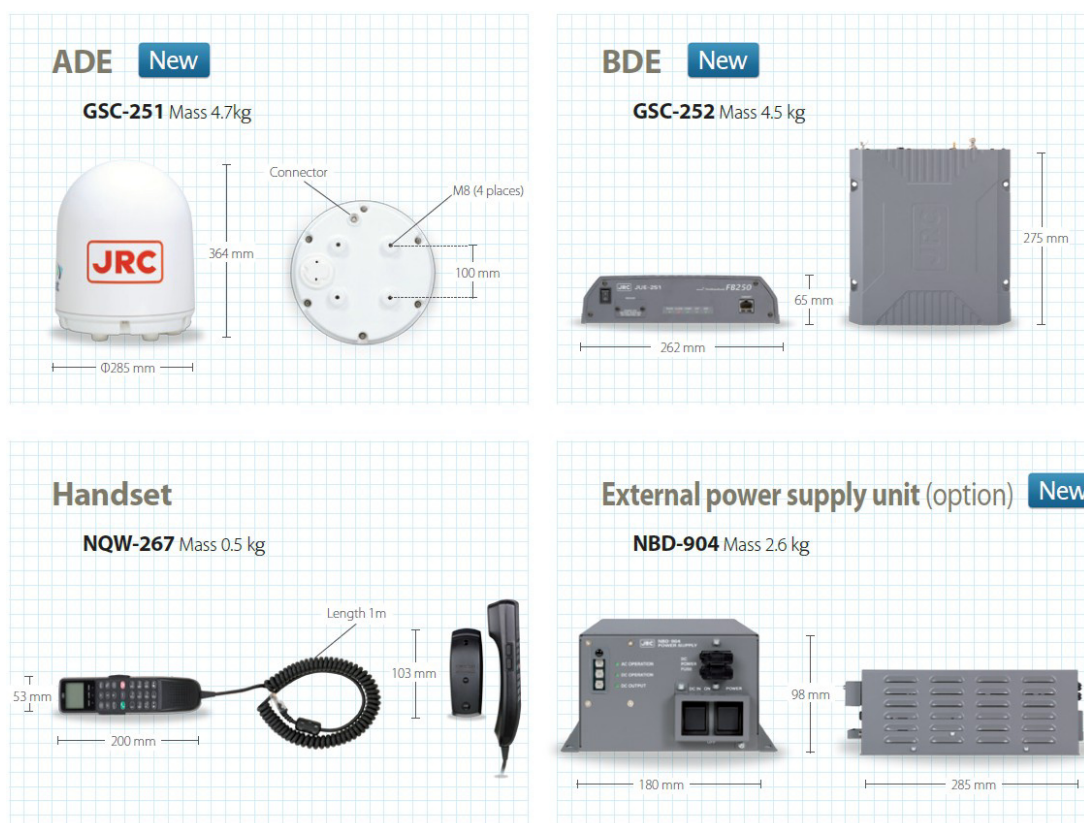


Ilustración 35: Distintas partes del segmento usuario de una terminal FleetBroadband a bordo de un buque, ADE y BDE.

[26]

A lo largo de la Historia de Inmarsat ha habido diferentes tipos de terminales para suministrar una serie de servicios y, aunque muchos de ellos ya han sido dados de baja del sistema, es necesario hacer un breve repaso acerca de ellos dado la enorme importancia que han tenido en la Historia reciente de no sólo de este sistema sino de las telecomunicaciones marítimas.

TERMINALES FUERA DE SERVICIO

- Inmarsat A:

Fue el primer tipo de servicio que ofreció el sistema y comenzó a operar en 1982. De tipo analógico, suministraba telefonía directa bidireccional, télex, fax, correo electrónico y transmisión de datos con una tasa de velocidad de 9,6 kilo-bits por segundo (Kbps) aunque los últimos modelos alcanzaban velocidades del orden de 56 Kbps y en los últimos años del servicio del sistema ya era posible la transmisión de imágenes de alta definición y la realización de video conferencias a través de una MES Inmarsat.

Proporcionaba también, como es lógico, servicio de llamadas de socorro, urgencia y seguridad.

Aunque estas velocidades puedan parecer extremadamente bajas a día de hoy, lo cierto es que supuso toda una revolución para la época en el mundo de la navegación ya que, antes de la aparición de Inmarsat-A, las comunicaciones en alta mar estaban limitadas a las comunicaciones de voz por radiotelefonía VHF, onda media y onda corta, todas ellas con diversas particularidades y limitaciones.

El ADE de este sistema era de unas dimensiones considerables, pesaba alrededor de 100 kg y medía 1,25 metros de diámetro lo que suponía que estos equipos eran instalados en buques de cierto porte.

Como es de suponer, el coste de este tipo de terminales era bastante elevado como también lo eran las tarifas, de las que hablaremos más adelante. [14]

Inmarsat A fue dado de baja el 31 de diciembre de 2007. [20]

- Inmarsat B:

Fue introducido en el año 1994 con la gran novedad del uso de tecnología exclusivamente digital en todas sus comunicaciones. Proporcionaba servicios de telefonía de alta calidad, fax, télex, e-mail, transferencia de datos a una velocidad de 64 Kbps y mensajes y llamadas de socorro, urgencia y seguridad.

Su segmento de usuario era prácticamente idéntico al de Inmarsat-A.

El sistema fue dado de baja el 9 de enero de 2017 tras más de veinte años de servicio.

- Inmarsat E

Fue un sistema de alerta de socorro mediante radiobaliza o EPIRB. Al ser su medio de comunicación una red de satélites geoestacionarios la situación del siniestro debía ser determinada mediante un receptor GPS incorporado. Emitía en la frecuencia de 1,6 Mhz y su cobertura se estimaba entre los 80° Sur y los 80° Norte de latitud. Contaba con los dos sistemas de activación, automático y manual. Inmarsat E se creó en 1997 y dejó de ser un sistema válido por GMDSS y SOLAS en 2006 al considerarse que una radiobaliza debía proporcionar cobertura global como las de 406 Mhz.

- Inmarsat M

Inmarsat M fue introducido 1993 también para complementar al sistema Inmarsat A proporcionando servicios de telefonía/fax y datos. El tamaño de este terminal era considerablemente menor como se puede ver en la **Ilustración 37** y, por lo tanto, con un costo más asequible por lo que se convirtió en una una buena opción para buques de pesca y yates.

En el año 1997 apareció el mini-M coincidiendo con la puesta en funcionamiento de los satélites I-3. Ofrecía los mismos servicios que el sistema M, voz dúplex digital a 6.400 bps, fax, datos a 2.400 bps y comunicaciones de voz con prioridad de socorro, pero con terminales todavía más ligeras y compactas. Esto era debido a que sólo operaba en la cobertura “*spot beam*” de estos nuevos satélites.

Ambos fueron dados de baja finalmente en enero de 2017.

- Inmarsat Fleet.

Este fue uno de los eventos más importantes no sólo de las comunicaciones satelitales sino de las comunicaciones marítimas en general. Inmarsat Fleet fue puesto en funcionamiento efectivo en 2003 y, además de cumplir con todos los requisitos de GMDSS, ofrecía servicios de telefonía, fax y datos a una velocidad de hasta 128 Kbps. Operaba tanto en cobertura en “*spot beam*”, como en cobertura global.

La transmisión de datos se realizaba a través de dos tipos: ISDN móvil, de flujo constante y MPDS, utilizando paquetes de datos.

Existían 3 tipos de antes que recibían su nombre del diámetro de sus antenas: F77, F55 y F33, siendo solamente el F77 el único que satisfacía las necesidades de GMDSS.

Los servicios F33 y F55 fueron dados de baja en diciembre del 2018 mientras que el F77 fue retirado definitivamente en diciembre del 2020 siendo sustituidos por los nuevos Fleet Broadband y Fleet One, de cuales hablaremos en la siguiente sección.[9][14][18][21]

Equipo	Fleet F77	Fleet F55	Fleet F33
Cobertura	Global para todos los servicios, excepto 128 kbps que funciona en <i>spot-beam</i>	Voz global Fax y datos en <i>spot-beam</i>	Voz global Fax y datos en <i>spot-beam</i>
Voz	4,8 kbps digital 3,1 kHz audio	4,8 kbps digital 3,1 kHz audio	4,8 kbps digital
Fax	G-3 a 9,6 kbps G-4 a 64 kbps	G-3 a 9,6 kbps G-4 a 64 kbps	G-3 a 9,6 kbps
Datos (Conmutación de circuitos)	64 kbps ISDN Opción hasta 128 kbps	64 kbps ISDN (128 kbps con dos terminales)	9,6 kbps con compresión V40 y V42bis hasta 40 kbps
MPDS	Hasta 64 kbps en un canal compartido	Hasta 64 kbps en un canal compartido	Hasta 28/64 kbps (Tx/Rx) en canal compartido
Dia. Antena	75-90 cm	50-60 cm	25-35 cm
GMDSS	Cumple con el GMDSS Res. IMO A.1001(25)	No	No

Ilustración 36: Diferentes servicios ofrecidos por Inmarsat Fleet

[5]

Servicios	Inm-B	Inm-C	Inm-M	mini-M	Fleet F33	Fleet F55	Fleet F77
Cobertura	Global	Global	Global	Spot-beam	Voz global Fax, datos a 9,6kbps y MPDS en spot-beam	Voz global Fax, ISDN, MPDS y audio 3,1 kHz en spot-beam	Voz, fax, MPDS e ISDN global. ISDN a 128kbps en spot-beam
Voz	16 kbps	No	6,4 kbps	4,8 kbps	4,8 kbps	4,8 kbps y 3,1 kHz audio	4,8 kbps y 3,1 kHz audio
Fax	9,6 kbps	Sólo texto (envío)	2,4kbps	2,4kbps	G3 9,6kbps	G3 9,6kbps (opcional) G4 64kbps	G3 9,6kbps (opcional) G4 64kbps
Télex	Sí	Sí	No	No	No	No	No
Datos	9,6 kbps HSD 56/64 kbps	600 bps	2,4kbps	2,4kbps	9,6kbps Por conmutación de circuitos	ISDN 64 kbps (128 kbps con 2 terminales)	ISDN 64 kbps Opción de 128 kbps
ISDN integrada	No	No	No	No	No	Sí	Sí
MPDS	No	No	No	No	Hasta 28/64kbps (Tx/Rx) en un canal compartido	Hasta 28/64kbps en un canal compartido	Hasta 28/64kbps en un canal compartido
SafetyNET	Sí, con receptor EGC	Sí	Sí, con receptor EGC	No	No	No	No
FleetNET	Sí, con receptor EGC	Sí	Sí, con receptor EGC	No	No	No	No
Cumple GMDSS	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí (1)

(1) Debe de ir acompañada de una terminal Inmarsat-C con EGC.

Ilustración 37: Distintos servicios que ofrecían los antiguos sistemas de Inmarsat.

[5]

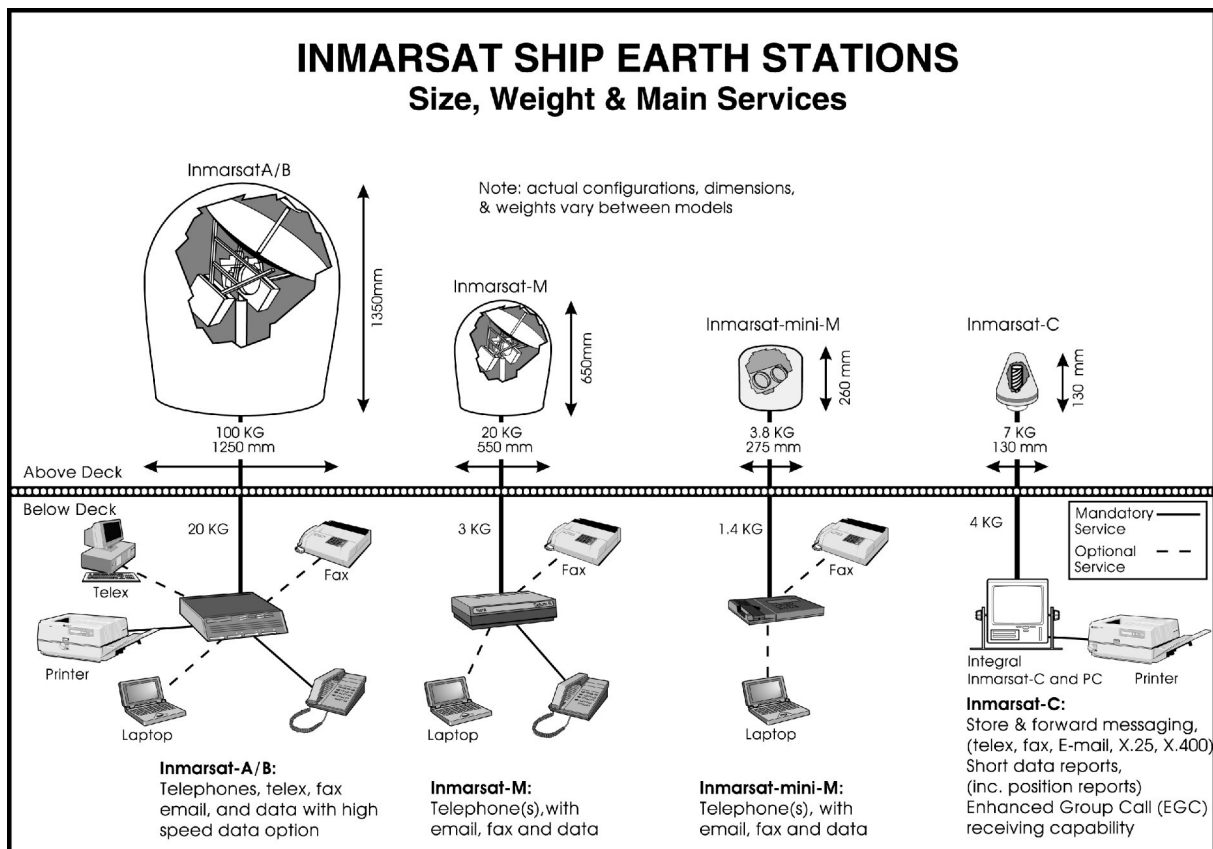


Ilustración 38: Comparativa de los diferentes primeros servicios de Inmarsat.

[15]

TERMINALES ACTUALES

- Inmarsat C

Entró en servicio en 1991 con la misión de complementar a Inmarsat A y posteriormente a Inmarsat B. Es el único que ha coexistido con prácticamente todas las terminales y generaciones de Inmarsat permaneciendo activo a día de hoy.

Inmarsat C, aunque carece de servicio de voz, proporciona servicios de comunicación bidireccional de bajo coste y tiene una tasa de transferencia de datos de 600 bps.

Algunos de los servicios que ofrece son los siguientes:

- Alerta de socorro y mensaje con prioridad de socorro.

Una alerta de socorro simplemente enviaría un mensaje de socorro con información acerca de la posición, hora, rumbo, velocidad y naturaleza del siniestro en caso de que se haya seleccionado esa opción en la terminal o sin indicar la misma en caso

de que la alerta haya sido activada simplemente pulsando más de 3 segundos el botón rojo DISTRESS.

Un mensaje de socorro sería un mensaje más detallado enviado también a un Centro de Coordinación de Salvamento con prioridad de socorro.

- Mensajes bidireccionales: Télex, fax, datos y correo electrónico.

Cabe destacar cierta particularidad acerca de los correos electrónicos y es que, tanto para el envío como para la recepción, el tamaño de los mensajes no debe superar los 32 Kilobytes. Todo mensaje que supere ese tamaño no será enviado y si el remitente no es un usuario de una terminal de Inmarsat, como por ejemplo un usuario corriente en tierra, no tendrá forma alguna de saberlo.

- Llamada intensificada grupal (EGC, Enhanced Group Calling).

Es uno de los requisitos fundamentales de GMDSS y permite, entre otros, la recepción de mensajes SafetyNet. Dentro de este sistema de Inmarsat-C se pueden seleccionar los tipos de mensajes que se desea recibir. No obstante, los siguientes tipos no podrán ser de-seleccionados:

- Relays o retransmisiones de alertas de socorro Tierra-Buque dirigidos a una zona circular en la que se encuentra el propio buque.

- Información acerca de la seguridad marítima dirigida a un área circular o rectangular siempre y cuando el buque se encuentre dentro de esta área.

- Radioavisos náuticos dentro de la NAVAREA en la que se encuentra el buque y

- Radioavisos meteorológicos dentro de la METAREA en la que se encuentra el buque.

- Interrogación y comunicación de datos.
- Comunicaciones SSAS y LRIT, de los que hablaremos más adelante.

Mediante intervalos previamente seleccionados se puede transmitir, sin necesidad de un operador, cierta información como la situación, rumbo, velocidad y otra información proveniente de otros sensores. Este sistema suele ser utilizado para enviar información al armador. Se puede interrogar tanto a un único buque como a un grupo dentro de un área circular, rectangular o incluso dentro de la misma NAVAREA.

Existe una versión todavía más compacta y económica creada en 2001, el Mini-C, que también cumple con todos los requisitos de SOLAS y de GMDSS.

A pesar de que este sistema tiene ciertas limitaciones en cuanto a servicios y velocidad es uno de los más extendidos de Inmarsat debido a su tamaño compacto, 13 cm de diámetro y 7 kg, bajo coste y su certificación para cumplir con los requisitos de GMDSS.

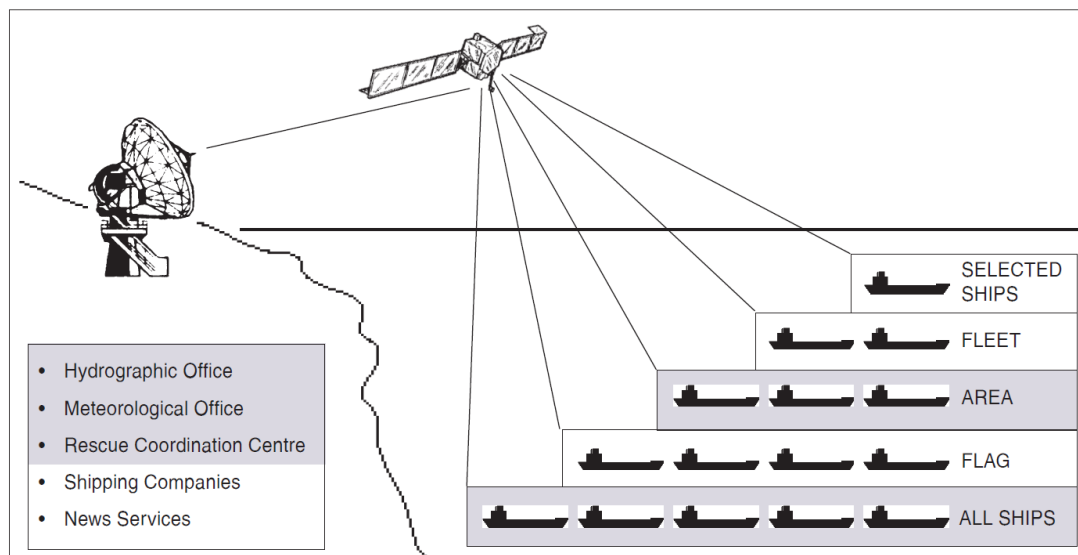


Ilustración 39: Concepto básico del sistema EGC de Inmarsat (el área sombreada indica las funciones del servicio SafetyNET).

[27]

Aunque Inmarsat-C o Mini-C no son los únicos sistemas que cumplen con GMDSS sí son los más utilizados en la actualidad debido a las ya mencionadas ventajas contando con más de 162.000 unidades en todo el mundo, de las cuales 79.000 son C y 83.000 mini-c.

Este tipo de terminales cumple con 6 de las 9 funciones exigidas por la Regla 4 del Capítulo IV del Convenio SOLAS sobre “Radiocomunicaciones” que dice así: [22]

Todo buque, mientras esté en el mar, podrá

- 1. con salvedad de lo dispuesto en las reglas 8.1.1 y 10.1.4.3, transmitir las alertas de socorro Buque Tierra, a través de al menos dos medios separados e independientes, cada uno usando un método de radiocomunicación distinto.**
- 2. recibir alertas de socorro Tierra-Buque,**
- 3. transmitir y recibir alertas de socorro Buque-Buque,**
- 4. transmitir y recibir comunicaciones de coordinación de Búsqueda y Salvamento,**
- 5. transmitir y recibir comunicaciones en el lugar del siniestro,**

6. *transmitir y, según la Regla V 19.2.3.2, recibir señales de localización,*
7. *transmitir y recibir información de seguridad marítima,*
8. *transmitir y recibir radiocomunicaciones generales hacia y desde sistemas de radio en tierra o redes sujetas a la regla 15.8 y*
9. *transmitir y recibir comunicaciones Puente-Puente.*

El precio de estos terminales, cumpliendo con GMDSS, es de unos 5.000 euros. [9][14][23]
[24]



Ilustración 40: Terminal Inmarsat mini-C

[28]

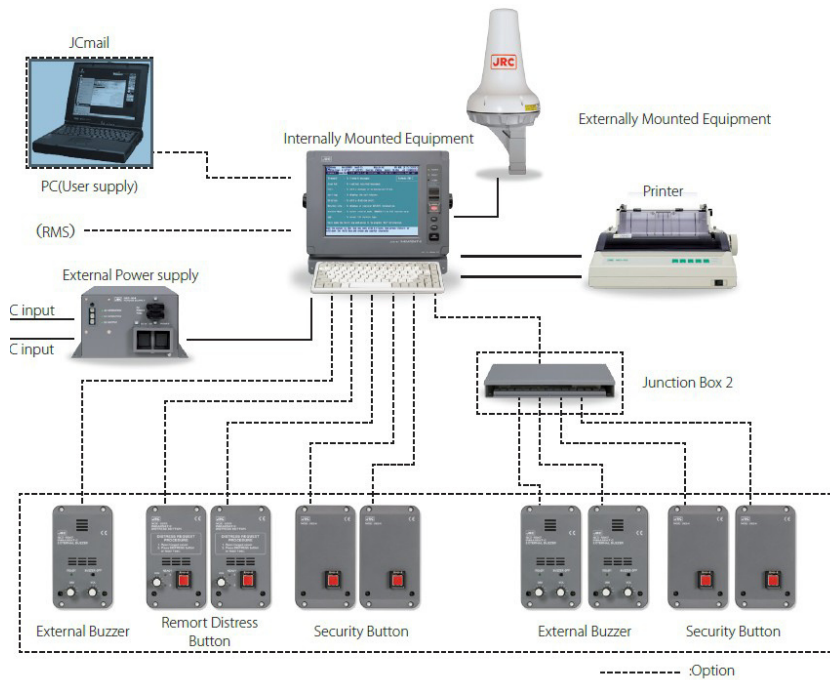


Ilustración 41: Diagrama de un terminal Inmarsat C.

[26]

- Inmarsat Fleetbroadband.

Actualmente el sistema más relevante de Inmarsat en la banda L, supuso un importante avance en las comunicaciones por satélite ya que fue el primero a nivel mundial que permitía los servicios de voz y datos en banda ancha simultáneamente y vino a sustituir al antiguo Inmarsat Fleet (F77, F55 y F33) aportando avances muy significativos.

El uso simultáneo de datos de banda ancha y varias líneas de voz está basado en la tecnología BGAN, Broadband Global Area Network y, para ello, utiliza haces puntuales o "*spot beams*".

Actualmente existe un terminal portátil de Inmarsat que suministra datos con este sistema que ofrece velocidades de hasta 800 Kbps.

Entró en funcionamiento en 2005 con los 2 satélites de cuarta generación I-4 que actualmente estaban en órbita y en 2009 ya existía cobertura global, excepto en las zonas polares, al estar completa la constelación I-4.

En febrero del 2008 fue aprobado su uso en el cumplimiento de los requisitos GMDSS por la OMI.

Al igual que sus predecesores, ofrece servicios de telefonía, videoconferencia, télex, mensajería y datos de banda ancha pero con una velocidad superior a sus predecesores y con la ya citada novedad de poder usar voz y datos simultáneamente.

Sus precios oscilan entre los 6.000 y los 16.000 EUR dependiendo del tipo de terminal.

Existen disponibles 3 tipos de terminales Fleetbroadband:

- **FB500:** Proporciona una velocidad de hasta 432 Kbps aunque es posible duplicarla con 2 terminales. La antena en cubierta mide entre 55 y 70 cm de diámetro y pesa entre 15 y 20 kg. Permite utilizar hasta 9 líneas de voz simultáneas.

- **FB250:** Su velocidad es de 284 Kbps. La antena mide sólo 27 cm de diámetro y su peso es de entre 3 y 5 kg. Permite usar hasta 6 líneas de voz simultáneamente

- **FB150:** Ofrece una velocidad de hasta 150 Kbps y es capaz de enviar y recibir mensajes SMS. Está destinado a pequeñas embarcaciones como yates o pesqueros.

Mide 27 cm de diámetro y pesa menos de 4 kg. Permite utilizar hasta 4 líneas de voz simultáneamente aunque no permite streaming. [9][13][18][24][25][26]



Ilustración 42: Terminal FleetBroadband FB500 con su ADE y su BDE.

[28]

Hardware Definition	FleetBroadband 500 (Class 8 High Gain)	FleetBroadband 250 (Class 9 Low Gain)	FleetBroadband 150 (Class 9 Low Gain)
Radome View (as per F55, mini-M)			
Antenna Diameter	~ 55cm	~ 25cm	tbd
Antenna G/T (at 5° elevation)	-7 dB/K	-15 dB/K	-15 dB/K
Antenna EIRP	22 dBW	15.1 dBW	15.1 dBW
Antenna type	Directional/3-axis stabilised	Directional/3-axis stabilised	tbd
Antenna target weight	15 - 20 kg	3 - 5 kg	tbd
Voice (Simultaneous with data)	4kbps	4kbps	4kbps
Contended Standard IP Tx/Rx kbps (shared/best efforts)	Up to 432/432 kbps	Up to 239/284 kbps	Up to 150 kbps
ISDN	Yes	3.1Khz audio only	None
I.P. 'Streaming Mode' Guaranteed Throughput, kbps	32, 64, 128 & 256	32, 64, 128	None
Upgrade Path ⁵	JRC confirmed F77 (ADU)	JRC confirmed F33 (ADU)	None
Physical Interfaces/Ports	RJ11, Ethernet, RJ45 (ISDN), L-band RF	RJ11, Ethernet, RJ45 (ISDN), L-band RF	RJ11, Ethernet

Ilustración 43: Comparativa N°2 de los distintos terminales FBB.

[25]





	Voice	<ul style="list-style-type: none"> • 4kbps circuit-switched service • Voicemail • Enhanced services: call waiting, forwarding, barring, holding • Broadcast quality voice
	Data Standard IP	<ul style="list-style-type: none"> • High Speed Standard IP (NOT MPDS) • Variable bit rate service – Shared & Best Effort • Up to 432/432 kbps (send /receive)
	Data Streaming IP	<ul style="list-style-type: none"> • On-demand guaranteed bit rate service • 32, 64, 128, 256 kbps (send & receive) (ISDN legacy compatibility)
	Global Text	<ul style="list-style-type: none"> • Send and receive text messages via your laptop

Ilustración 44: Servicios que ofrece FleetBroadband.

[25]

- Inmarsat Fleet One.

Creado en 2014, Fleet One fue diseñado especialmente para cubrir las necesidades básicas de embarcaciones deportivas o de litoral que naveguen fuera del alcance de VHF o GSM y no necesiten cumplir con GMDSS.

Al igual que FleetBroadband opera en la banda L aunque sus prestaciones son algo menores. Ofrece servicios de telefonía a 4 Kbps, mensajes de texto tipo SMS, llamadas de emergencia al 505 y datos a una velocidad de hasta 150 Kbps aunque inicialmente ésta era de 100 Kbps.

Una ventaja de este sistema es que, también imitando a su hermano mayor FBB, permite el uso simultáneo de voz y datos.

Su precio es de entre 3.000 y 4.000 EUR.

Existen 2 tipos de planes principales de Fleet One:

- Fleet One Global.

Ofrece voz y datos con cobertura global (excepto los polos) de los satélites I-4.

Opciones de contrato o prepago con diferentes consumos de datos mensuales.

- Fleet One Coastal.

Más enfocado a las embarcaciones costeras. Este plan ofrece tarifas más económicas de datos en zonas “home” como se puede apreciar en la **Ilustración 46.**

Generalmente en este tipo de plan, una vez consumida la cantidad de datos contratados, la velocidad desciende hasta 32 Kbps. [9][13][17]

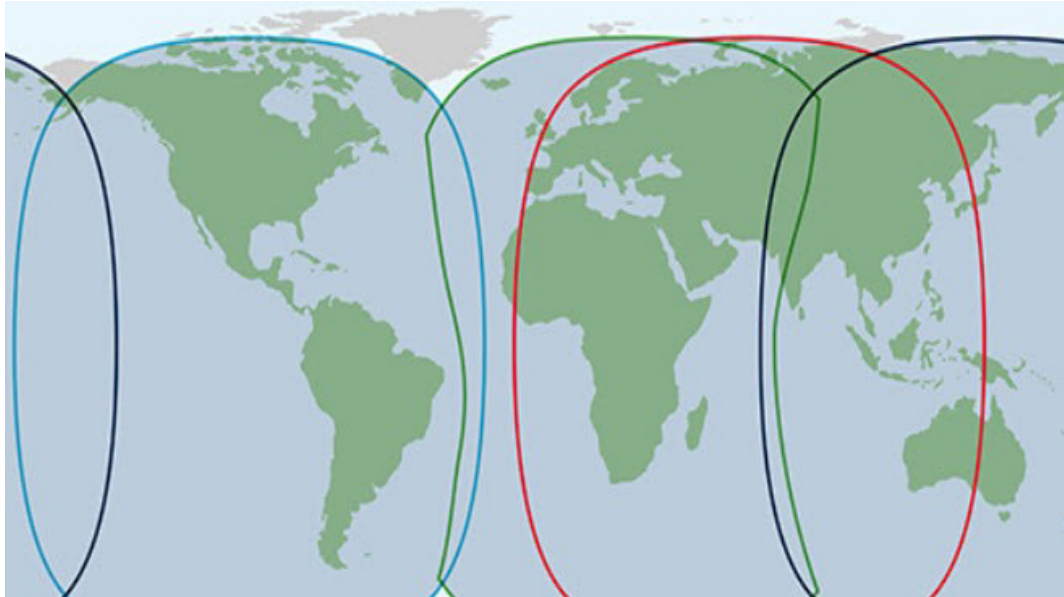


Ilustración 45: Cobertura de Fleet Global.

[29]

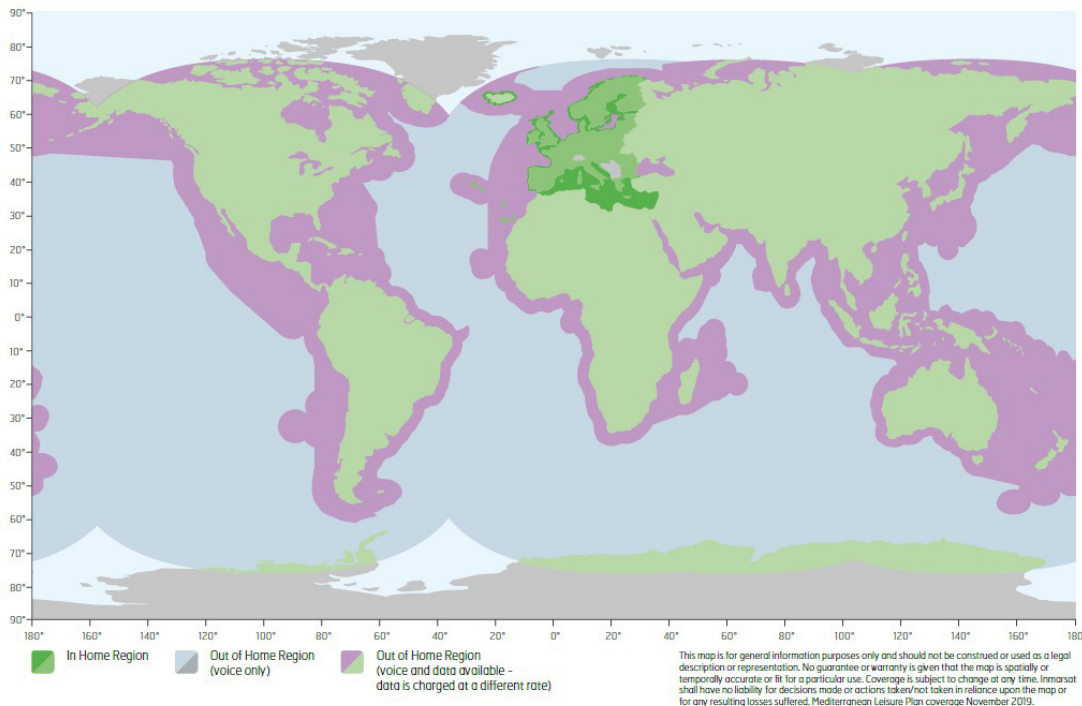


Ilustración 46: Mapa de cobertura de uno de los planes de Fleet One Coastal.

[29]

- Inmarsat FleetPhone

Es el terminal más básico de Inmarsat. Opera en la banda L de la red de satélites I-4 y ofrece servicios de voz, SMS y datos a una velocidad básica de 2,4 Kbps. Lleva incorporado un receptor GPS.

Está destinado principalmente a pequeñas embarcaciones costeras, de recreo y pesqueros de litoral y permite el uso simultáneo de voz y datos

Existen dos tipos de terminales: el Oceana 400 y el Oceana 800.

Su precio se encuentra entre los 1.500 y los 2.000 EUR dependiendo del tipo de terminal.

[9][17][27]



Ilustración 47: Terminal Fleet Phone Oceana 800

[30]

- IsatPhone

Es un teléfono portátil capaz de realizar llamadas de voz enviar y recibir SMS y correo electrónico. Su cobertura es global a excepción de las zonas polares.

Obviamente se trata de un terminal de capacidades limitadas enfocado principalmente a pequeñas embarcaciones pero que cumple con creces su función de mantenernos comunicados en todo momento.

El modelo actual es el IsatPhone2 y estas son algunas de sus características:

- Llamadas de voz 2,4 Kbps.
- Envío de SMS.
- Correo electrónico.
- GPS.
- Envío de situación a contactos predeterminados.
- Tiempo de registro en la red Inmarsat: 45 seg.
- 8 horas de tiempo de conversación.

Su precio ronda los 800 EUR.

[9][28]

- Fleet Xpress

Como ya hemos visto anteriormente en el apartado del segmento espacial, Fleet Xpress es la versión marítima de Global Xpress y entró oficialmente en servicio en 2014 completándose en 2019 con la puesta en órbita del último satélite de la constelación.

Este sistema de tipo V-HTS (Very High Throughput Satellite), proporciona comunicaciones de banda ancha en la banda Ka y ofrece velocidades de 50 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida mediante tecnología de haces puntuales estrechos y haces orientables.

Esto ha hecho posible tener a bordo una conexión de internet muy similar a la que podríamos tener en cualquier hogar hace tan sólo unos años y, por lo tanto, tener acceso a todo tipo de aplicaciones y servicios en la red.

Algunos de los servicios más relevantes que ofrece una terminal Fleet Xpress son los siguientes:

- Servicio de telefonía VoIP (*Voice over Internet Protocol*). Esto permite un ahorro considerable en el costo de las llamadas de voz.
- Videoconferencia.
- Streaming.
- Conexión a internet de banda ancha.
- Transferencia de archivos a alta velocidad.
- Video vigilancia.

Existen actualmente dos tipos de modelo de terminales Fleet Xpress:

GX60.

Tiene un diámetro de antena de 65 cm y un peso de 60 kg.

Su precio es de 25.000 EUR.

GX100.

Tiene un diámetro de antena de 103 cm y un peso de 128 kg.

Su precio ronda los 50.000 EUR.

Normalmente, además del terminal Fleet Xpress, va instalado también uno adicional, FleetBroadband o Inmarsat C, para cumplir con los requisitos de GMDSS.

Ambos terminales son totalmente compatibles con FleetBroadband por lo que el cambio de un sistema a otro se realiza sin interrupciones beneficiándonos de las dos bandas, Ka y L.
[9][13][17][25]



Ilustración 48: Terminal de usuario GX60 de Fleet Xpress.

[31]

- GX 6.

El 22 de diciembre de 2021 fue lanzado el primero de una serie de dos satélites de 6ª generación de Inmarsat, un sistema híbrido que combinará la banda ancha de la banda Ka con la banda estrecha de la banda L.

Aunque este sistema todavía se encuentra en periodo de pruebas dado lo reciente de su creación se estima que su velocidad de bajada en la banda L sea de 1,7 Mbps, convirtiéndose así en la velocidad más alta actualmente ofrecida en esta banda. Por el contrario la velocidad que ofrecerá en banda Ka no ha sido aún revelada.

Está previsto que a lo largo de este año 2022 sean puestos en órbita tanto el segundo satélite de 6ª generación como otros 2 satélites de órbita altamente elíptica (HEO) para suministrar banda ancha al Ártico.

También se espera que en 2023 se añadan dos satélites adicionales a la 6ª generación.

[3][17]

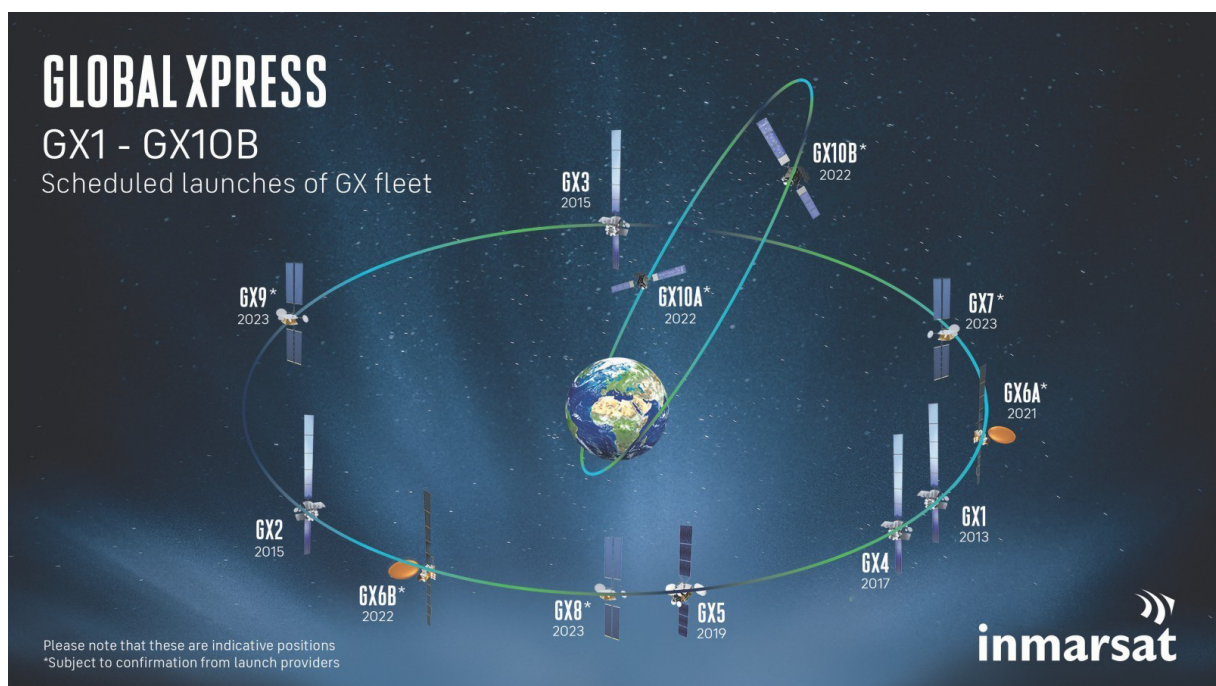


Ilustración 49: Futuros lanzamientos programados de Inmarsat.

[32]

5.2 IRIDIUM

Es una red de comunicaciones global satelital móvil con cobertura mundial, incluyendo los polos, que ofrece servicios de voz y datos en la banda L.

El sistema utiliza satélites de órbita baja (LEO) y es el único, a día de hoy, que ofrece cobertura mundial de voz y datos. Al contrario que los satélites geoestacionarios los satélites de órbita baja ofrecen una latencia mínima, casi despreciable, de entre 40 y 50 ms.

Iridium lanzó su primer satélite al espacio en 1997 y entró en funcionamiento en 1998 sin embargo, en 1999 antes incluso de que se completase la constelación prevista de 66 satélites, la compañía entró en bancarrota y fue comprada un año después y rebautizada como Iridium Satellite LLC.

A partir de este momento Iridium fue creciendo en el sector de las comunicaciones tanto terrestres como marítimas hasta consolidarse como uno de los mayores sistemas de telecomunicaciones satelitales del mundo. El momento cumbre de esta progresión se produjo en mayo del 2018 cuando la OMI aprobó el uso de Iridium para cumplir con los requisitos de GMDSS a bordo de buques, rompiendo así con 20 años de monopolio de Inmarsat y, en diciembre del 2020, se instaló el primer terminal GMDSS Iridium a bordo de un buque, el pesquero noruego “*Trygvason*”. [12]

El proyecto de Iridium para formar parte del sistema GMDSS no sólo tenía la intención de competir con Inmarsat sino también la de convertirse, a largo plazo, en el proveedor principal a bordo de buques que realizan la ruta cada vez más frecuente del ártico, donde Inmarsat no tiene cobertura. [9][29]

5.2.1 Segmento espacial

El segmento espacial de Iridium está formado por 66 satélites de órbita baja (LEO) distribuidos en 6 planos de órbita casi-polar de 11 satélites cada uno a una altitud aproximada de 780 km que dan una vuelta completa a la Tierra en unos 100 minutos, viajando a una velocidad aproximada de 7,52 km/s.

Cada plano orbital está separado 31,6 ° excepto el 6 y el 1 que están separados 22 ° entre sí.

Cada huella de los satélites ocupa casi media huella de su homólogo en los planos adyacentes y viceversa para asegurar que cualquier lugar de la Tierra está cubierto por al menos un satélite en todo momento como se puede apreciar en la **Ilustración 50**.

El sistema cuenta, además, con 10 satélites de respaldo ante un posible fallo en la constelación. 29

Cada huella de un satélite cubre aproximadamente un área circular de unos 4.700 km de diámetro en el ecuador, incrementándose esta área al acercarse a los polos.

Cada satélite cuenta con 48 haces o “spots” de unos 400 km de diámetro.

Para los enlaces satélite-usuario se utiliza la frecuencia de 1616-1626,5 Mhz, para las conexiones intersatelitales 23 Ghz.

Todo satélite está conectado con otros 4 satélites, los dos por delante y los dos por detrás de su plano orbital, en todo momento para garantizar la continuidad del servicio. [9][29][30][31]

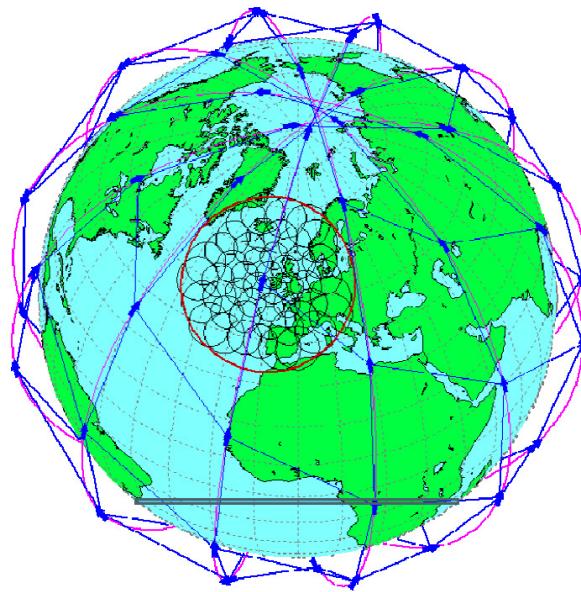


Ilustración 50: Constelación Iridium con la huella y haces puntuales de un satélite.

[33]

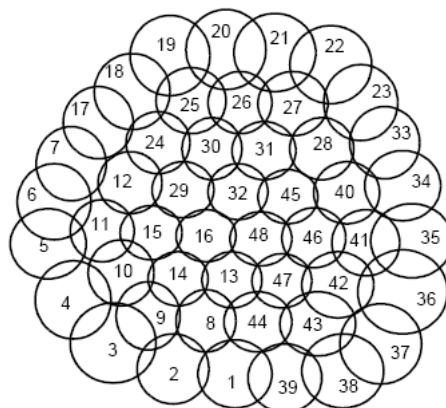


Ilustración 51: Haces puntuales de un satélite Iridium.

[33]

5.2.2 Segmento terrestre

El segmento terrestre de Iridium está comprendido entre el Centro de Operaciones de la Red Satelital (SNOC o Satellite Network Operation Centre) y las Gateways o estaciones terrestres que conectan a la red de datos y telefonía.

El SNOC está localizado en Virginia, EE.UU. Existen 2 gateways que son las encargadas de conectar los satélites con las redes terrestres y 5 telepuertos satelitales que conectan toda la constelación con las estaciones terrenas y las terminales de usuario Iridium. [9][30][31]

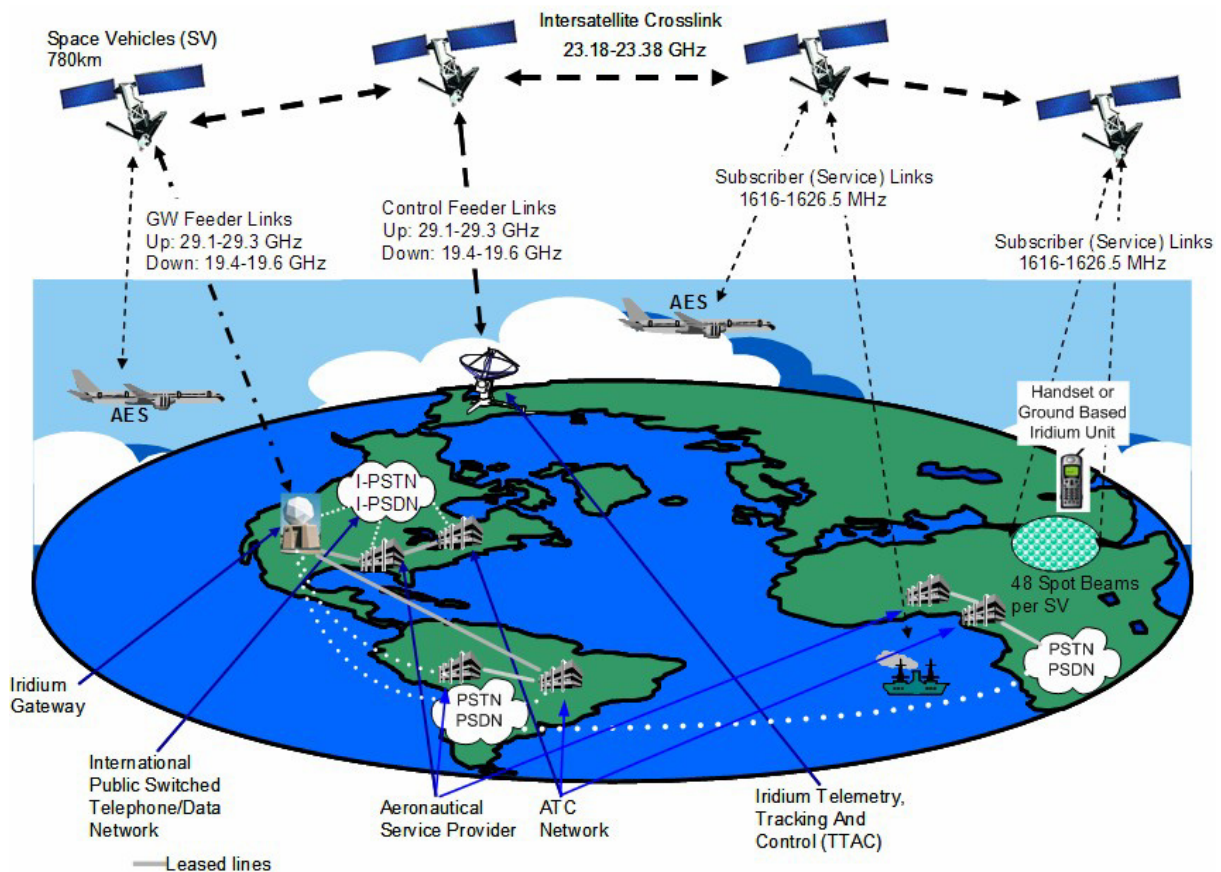


Ilustración 52: Elementos clave de Iridium.

[33]

<i>Characteristic</i>	<i>Value or Comments</i>
Orbit altitude	780 km
Geometry	Polar orbits at 86.4° inclination
Number of orbits	6
Satellites per orbit	11
Total number of satellites	66 plus spares
Number of beams per satellite	48 at L-band
User links	1,616–1,626.5 MHz both up and down
Gateway downlinks	19.4–19.6 GHz
Gateway uplinks	29.1–29.3 GHz
Intersatellite links	Ka-band at 23.0–23.4 GHz to adjacent satellites in same plane and adjacent planes (total four ISLs per spacecraft)
Repeater design	Onboard digital processing of packets
Multiple access	TDMA (Time division duplex)
Satellite lifetime	6 to 8 years, subject to available fuel and battery performance
System capacity	72,600 circuits worldwide (effective capacity of 16,700 circuits)
Channel bandwidth	31.5 kHz
Channel data rate	50 Kbps
Modulation	QPSK
Channel coding	$K = 7, R = 3/4$
BER	10^{-5} after decoding
User link margin	16 dB

Ilustración 53: Características del sistema Iridium y sus satélites.

[34]

5.2.3 Segmento usuario.

Los primeros terminales ofrecían servicios básicos de voz y datos de escasa velocidad pero a partir de 2018, gracias al sistema “*OpenPort*”, el sistema pasó a ofrecer banda ancha con velocidades de hasta 134 Kbps siendo posible el uso simultáneo de datos con 3 líneas telefónicas distintas.

En enero de 2018 fue puesto en funcionamiento el sistema “*Certus*” que ofrece velocidades de bajada de 704 Kbps y 352 Kbps de subida lo que le convierte en el sistema de telecomunicaciones que ofrece la mayor velocidad en la banda L del mundo. [9] [29]

Actualmente existen principalmente 3 tipos de terminales Iridium.

- Iridium Pilot.

Ofrece los servicios básicos con unas prestaciones aceptables: telefonía y datos hasta 134 Kbps. Permite el uso simultáneo de datos y 3 líneas telefónicas.

Su precio es de 4.000 EUR.

Actualmente ese terminal se encuentra en proceso de ser sustituido por los Certus 20 y 100 de banda media.

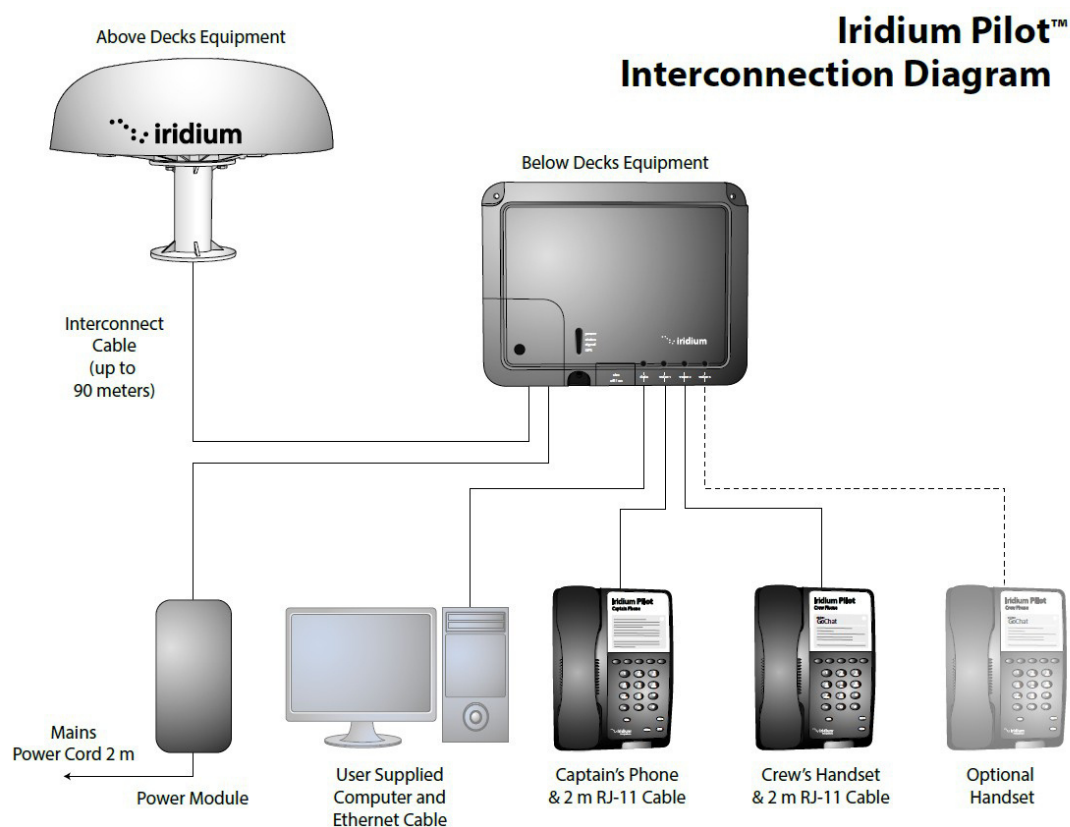


Ilustración 54: Segmento usuario Iridium Pilot.

[35]

- Certus 200 y 700.

Ofrecen telefonía y banda ancha de velocidad variable dependiendo del modelo: 176 y 704 Kbps respectivamente. [29][32]

Sus precios se sitúan entre 4.000 y 7.000 EUR.

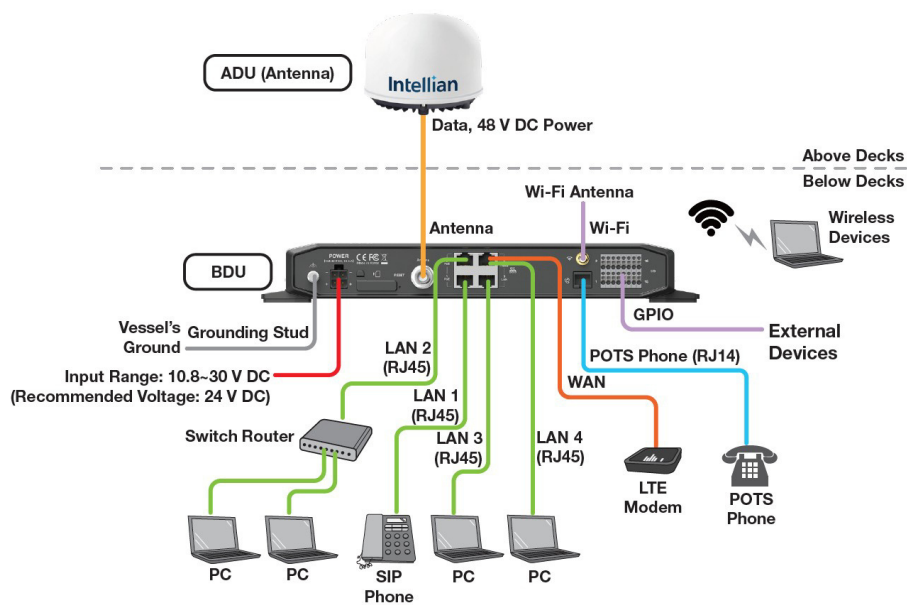


Ilustración 55: Sistema Iridium Certus 700 con sus dispositivos conectados.

[31]

- LT-3100S.

Es el modelo GMDSS de Iridium.

De características similares a su competidor Inmarsat-C, sin embargo, este modelo ofrece servicio de telefonía, datos a 2,4 Kbps y cumple con todos los requisitos de GMDSS y SOLAS. [29][33]



Ilustración 56: Terminal Iridium GMDSS.

[36]

5.3 VSAT (*Very Small Aperture Terminals*).

Es una tecnología de comunicaciones satelitales bidireccionales para datos, internet y telefonía por IP (VoIP). Se caracteriza por tener una alta velocidad de datos y una antena del terminal de usuario de reducido tamaño.

Esta tecnología ha ido creciendo de forma vertiginosa especialmente durante la última década debido a la cada vez mayor demanda de capacidad de transferencia de datos a bordo de los buques, siendo, a día de hoy, una de las mayores herramientas de trabajo en el entorno marítimo y en una de las que más invierten los armadores.

Las redes VSAT cuentan con un **hub** que es la estación central que controla las comunicaciones entre los distintos terminales y operan generalmente en las bandas C, Ku y Ka a través de satélites geoestacionarios.

Debido a la alta velocidad de datos de estos sistemas es necesario utilizar la tecnología “*spot beam*” para concentrar la potencia de los satélites y reutilizar las frecuencias de los enlaces.

La mayoría de las redes VSAT utilizan la banda Ku como servicio principal y la banda C como back-up ya que la banda Ku sufre una considerable atenuación por lluvia aunque hay pocos terminales híbridos que puedan operar en ambas bandas por lo que generalmente los terminales son de banda Ku. [9]

El precio de un terminal VSAT se encuentra entre los 30.000 y los 50.000 EUR.

Las redes VSAT marítimas más importantes son las siguientes:

- **KVH.**

Es uno de los mejores sistemas VSAT del momento. Opera en las bandas Ku y C y es de los que mayor cobertura ofrece a través de la red INTELSAT que cuenta con más de 50 satélites geoestacionarios.

Ofrece 4 modelos del tipo mini-VSAT, conocidos como “*TracPhone*”: V11-HTS, V7-HTS, V3-HTS y V30.

Model	Speed	Size	Network/band
TracPhone V11HTS	20/3 Mbps (down/up)	1.1 m	Ku/C-band
TracPhone V7HTS	10/3 Mbps (down/up)	60 cm	Ku-band
TracPhone V3HTS	5/2 Mbps (down/up)	37 cm	Ku-band
TracPhone V30	6/2 Mbps (down/up)	37 cm	Ku-band

Ilustración 57: Diferentes modelos KVH.

[37]

Existe además, un Servicio KVH Elite que proporciona una velocidad de hasta 40 Mbps de bajada en el modelo V11-HTS y 25 Mbps en el modelo V7-HTS. Este servicio está disponible en las zonas del Mediterráneo, Caribe y costa Este de EE.UU. [9] [34]

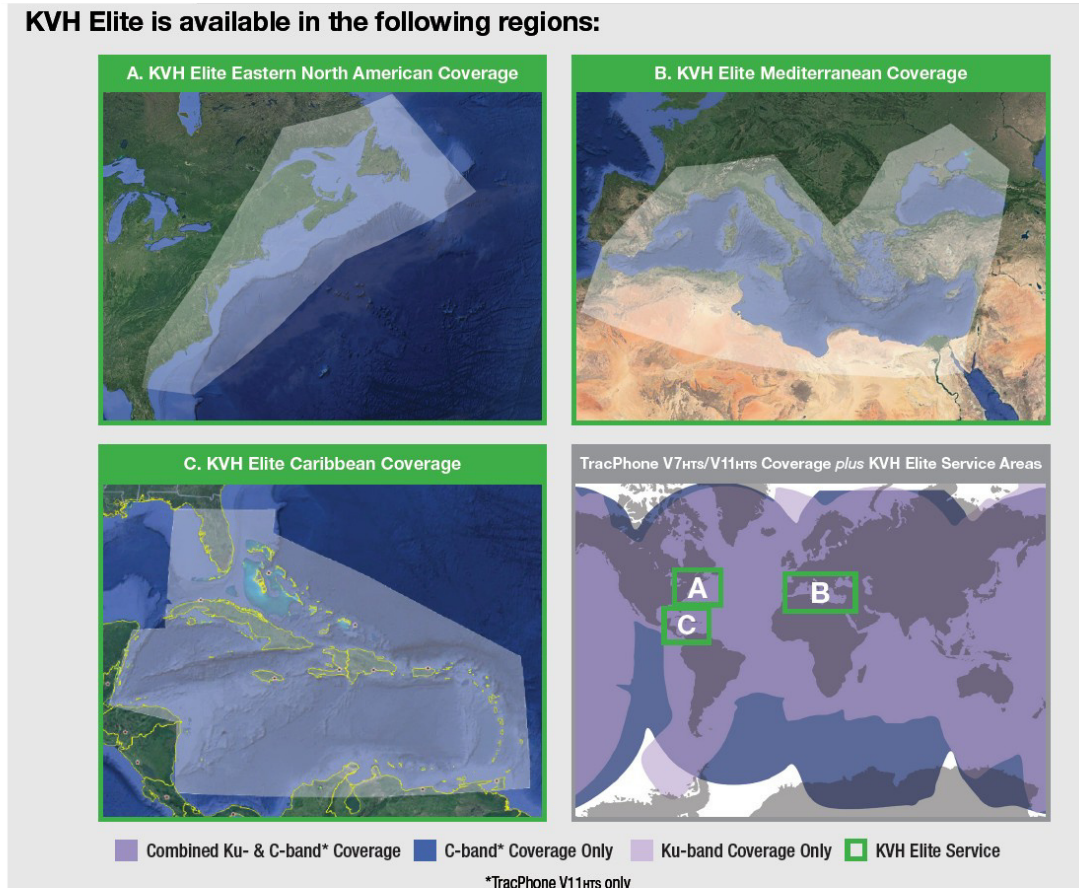


Ilustración 58: Cobertura del sistema KVH.

[37]



Ilustración 59: Terminales TracPhone de KVH.

[37]

- **Fleet Xpress.**

Como ya hemos mencionado anteriormente se trata de la versión marítima de la red de banda ancha de la 5ª generación de Inmarsat. Trabaja en la banda Ka y utiliza su propia red de 5 satélites GX. Ofrece una velocidad de 50 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida y unos terminales compactos de entre 65 y 106 cm de diámetro de antena.

Sus modelos principales son el GX60 y el GX100.

Tiene cobertura global en el hemisferio Norte, a excepción del Ártico, mientras que en el hemisferio Sur cubre las principales rutas marítimas. No obstante cabe la posibilidad de brindar cobertura “total” dentro del campo de visión del satélite en el Hemisferio Sur por medio de haces puntuales orientables o “*steerable narrow beams*”.

El satélite GX5, al contrario que el resto de satélites de la constelación, tiene todos sus haces concentrados en la zona de Europa y Oriente medio como se puede apreciar en la **Ilustración 60**.

[9] [14] [25]

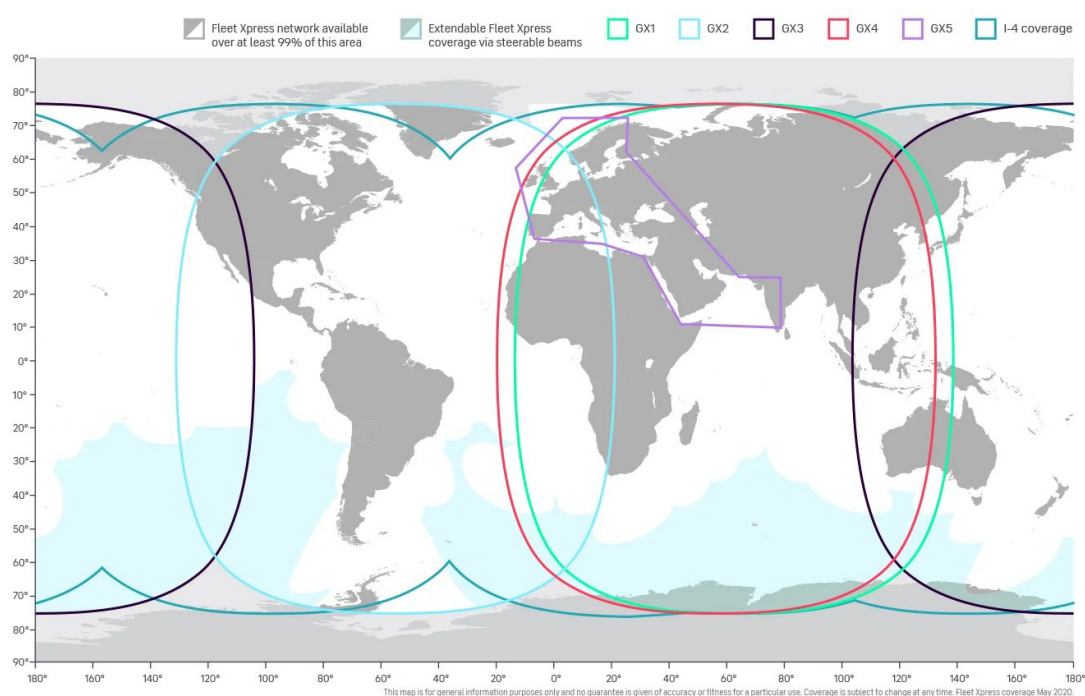


Ilustración 60: Mapa de cobertura ofrecido por la red VSAT de Fleet Xpress.

[22]

ADE **RoHS**
NTG-428 MASS 46 kg



BDE **RoHS**
NTF-329 MASS 6.5 kg



Ilustración 61: ADE y BDE de un terminal GX60 de Inmarsat.

[26]

- **Viasat.**

Es una compañía que proporciona servicios de TV e Internet de banda ancha en hogares, aviones y a bordo de buques. Aunque opera en las bandas Ka y Ku, la más utilizada en el sector marítimo es la Ka.

A pesar de que su cobertura en la banda Ka no es de las más extensas dentro de las redes VSAT (Europa, Centroamérica y Norteamérica principalmente), tiene uno de los servicios más consistentes del mercado, ofreciendo velocidades de entre 25 y 50 Mbps de bajada con picos de hasta 100 Mbps.

Existen 4 terminales disponibles para esta red:

- Los modelos multi-banda Ka/Ku: GMT-6524 y la GMT-6514 de 1 m 62 cm de diámetro de antena respectivamente.

- Los modelos Sailor 600 y 900 de banda Ka, de 1 m y 60 cm de diámetro de antena. [26]
[35]

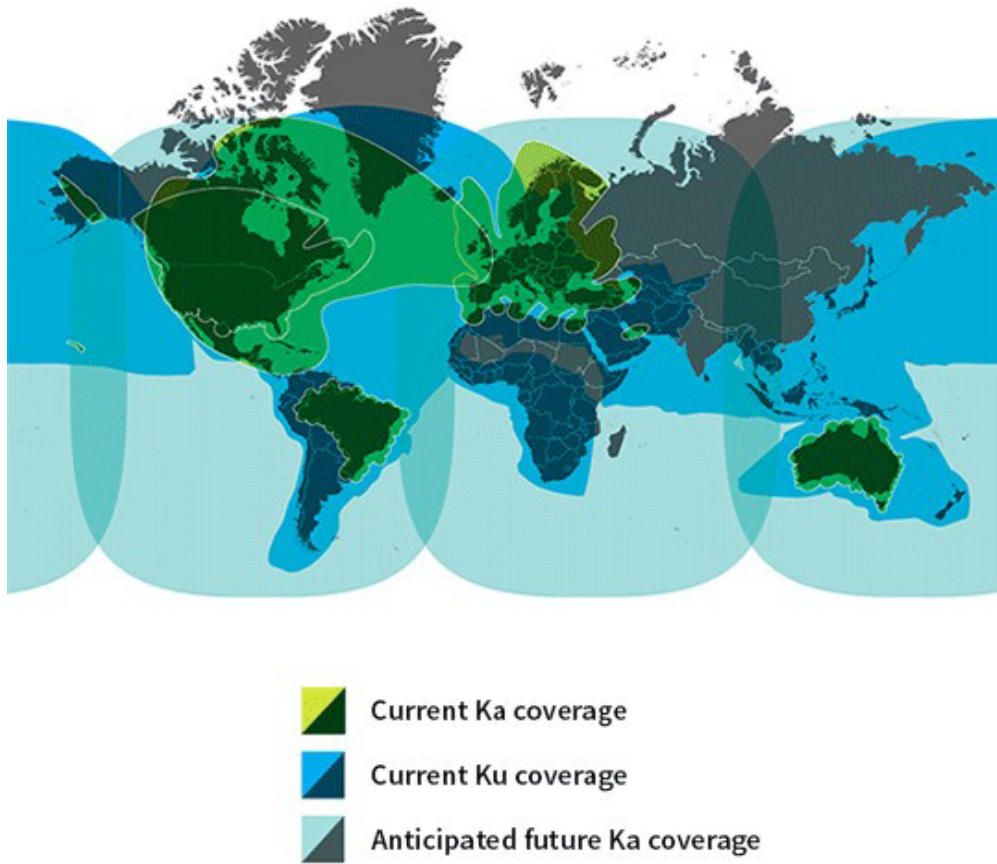


Ilustración 62: Mapa de cobertura en las bandas Ka y Ku de Viasat.

[38]



Ilustración 63: Terminal Sailor 600 de Viasat.

[28]

- **Otras redes.**

Una de las compañías más punteras y que más buques utilizan hoy en día es la española **Omniaccess**, que opera en las bandas Ku y C y que ofrece la mayor tasa de transferencia del mercado con 300 Mbps de bajada y 20 Mbps de subida y, aunque tiene también una de las coberturas más extensas, no es posible determinar la red satelital que utilizan debido al hermetismo de la compañía. Los terminales utilizan antenas de diámetro comprendidos entre 60 cm y 2,4 m. [36]



Ilustración 64: Mapa de cobertura de Omniaccess en la banda Ku.

[39]



Ilustración 65: Mapa de cobertura de Omniaccess en la banda C.

[39]

De entre el resto de redes VSAT que dan servicio al sector marítimo podemos citar las siguientes: **HISPASAT, TELESAT, EUTELSAT Y TELENOR.**

5.4 COSPAS-SARSAT.

Es un sistema satelital creado a finales de los años 80 con el objetivo de dar cobertura mundial a cualquier situación de socorro, principalmente en el ámbito marítimo a través de una señal enviada desde una radiobaliza de 406, 121,5 y 243 Mhz. Actualmente sólo en uso la de 406 Mhz.

Para ello se creó una red con 2 tipos de satélites: GEOSAR (Geoestacionarios) y LEOSAR (órbita baja). Actualmente se encuentra en pruebas el sistema MEOSAR (órbita media).

- **GEOSAR**

Es un conjunto de 7 satélites geoestacionarios, es decir, que su movimiento es igual al de la rotación de la Tierra y por lo tanto permanecen estáticos con respecto a ésta. Su distancia a la Tierra es de alrededor de 36.000 Km y orbitan a una velocidad de 3.100 m/s por lo que su tiempo orbital es el mismo que el de la rotación de la Tierra: 24 horas. Abarcan una gran superficie de cobertura en todo momento aunque ésta es limitada ya que no alcanza al norte del paralelo 70° N ni al Sur del paralelo 70° S.

Aunque este tipo de satélites es capaz de recibir una señal de 406 Mhz inmediatamente después de ser activada (excepto en los polos) no puede detectar la posición del siniestro por sí solo por medio del efecto Doppler al ser un satélite geoestacionario. No obstante si la radiobaliza cuenta con un sistema de localización propio (GNSS) esta señal podrá ser transmitida a una LUT inmediatamente con una ubicación muy precisa de un radio de 100 metros.

También se utilizan para transmitir una señal de socorro recibida por un satélite Leosar el cual no tenga cobertura directa con una estación en LUT. Los GEOSAR actualmente en activo son: GOES 10, GOES 11, GOES 12, GOES 13, INSAT 3C, METEOSAT 8 (MSG1) y METEOSAT 9 (MSG 2).

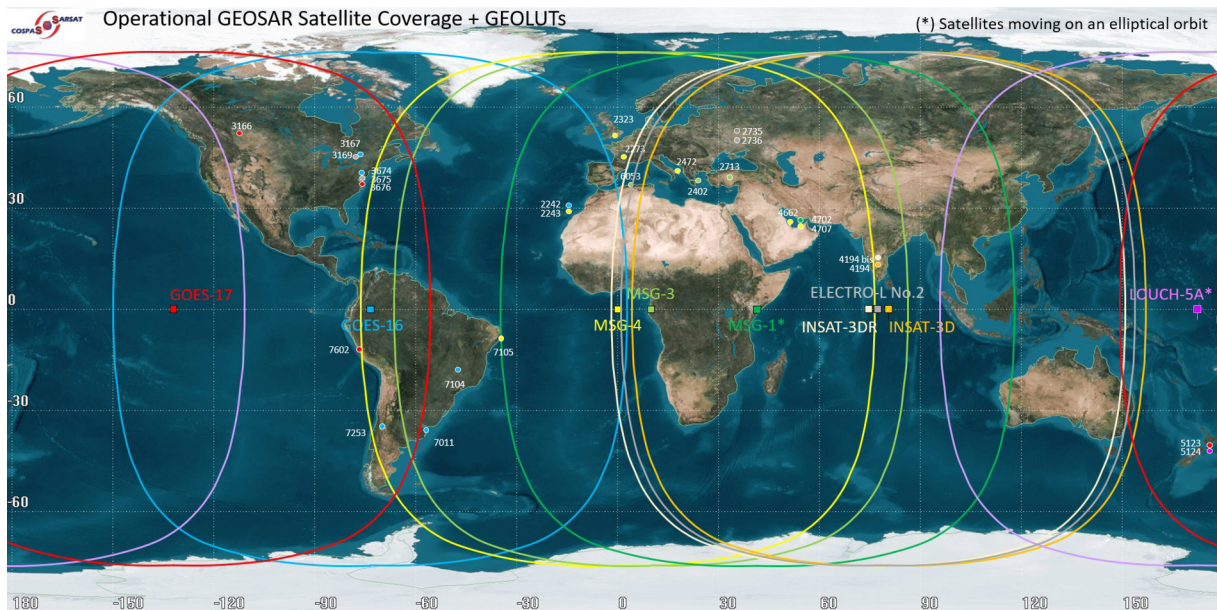


Ilustración 66: Cobertura de los satélites GEOSAR.

[40]

- **LEOSAR**

Es un conjunto formado por 6 satélites de órbita baja distribuidos en 3 órbitas polares con una separación de 60° . Su periodo orbital es de 101-102 minutos, su distancia a la Tierra de 800-850 km y orbitan a una velocidad media de 7.400 m/s. Cada satélite tiene un radio de visión de alrededor de 3.000 km.

Cuando un satélite Leosar recibe una señal de 406 Mhz procedente de una radiobaliza éste determina su posición mediante efecto Doppler con una precisión de un radio de unas 2 millas. La localización por efecto Doppler genera una ambigüedad al no ser posible determinar a qué lado de la órbita del satélite se encuentra la radiobaliza. Esto puede ser corregido de dos formas: bien con el paso posterior de un segundo satélite, bien aplicando la corrección de la rotación de la Tierra al efecto Doppler.

En caso de contar la radiobaliza con un sistema de localización propia la precisión sería de unos 100 metros de radio.

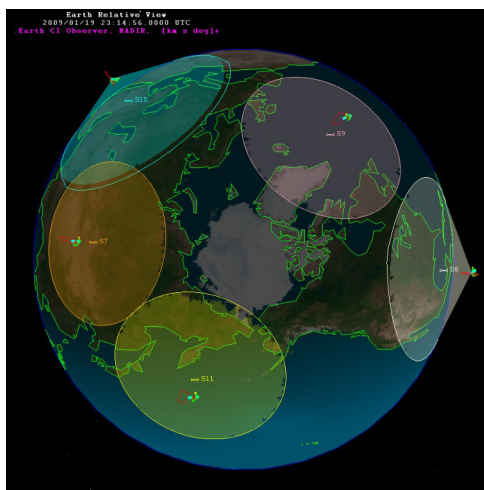


Ilustración 68: Visión de un satélite LEOSAR

[41]

- **MEOSAR**

Es un reciente sistema satelital de órbita media que ya se encuentra operativo aportando grandes ventajas en la localización de siniestros frente a los satélites LEOSAR.

Este sistema se basa en la capacitación de satélites de redes ya existentes (GPS, GLONASS y GALILEO) para recibir señales en la frecuencia de 406 Mhz, calcular su posición por medio de 4 satélites y posteriormente transmitir dicha señal al resto de la red COSPAS-SARSAT y/o a una Terminal de Usuario Local (LUT).

Este sistema supone un gran avance con respecto al LEOSAR al tener cobertura mundial en todo momento y ser capaz de determinar la posición de cualquier radiobaliza casi al instante, especialmente, en los siguientes aspectos:

- Disminución del tiempo de localización.
- Mayor precisión en la ubicación.
- Robusto Segmento Espacial capaz de operar incluso cuando uno de los satélites falla.

Los satélites MEOSAR orbitan a distancia de entre 19.000 y 23.000 Km de la superficie de la Tierra. Cada red de GNSS consta de por lo menos 24 satélites de los cuales al menos 4 siempre serán visibles desde cualquier parte del mundo. [37][38][39]



Ilustración 67: Ambigüedad por efecto Doppler.

[41]



Ilustración 69: Concepto del sistema MEOSAR.

[42]

MEOSAR

MEDIUM EARTH ORBITING SEARCH & RESCUE

MEOSAR vs LEO/GEOSAR

Time From Activation/Detection to Confirmation

System	Time to Confirmation
LEO/GEOSAR	2hrs 17min.
MEOSAR	20 min. Located immediately

As a result of distress signal reception, Coast Guard District 11 (PACAREA) diverted the AMVER Vessel Sea Lynx to the SAR/AT coordinates and located the fishing vessel Ciudad de Portoviejo. The vessel had sustained an engine room fire which consumed the ship right up to the waterline. All 21 crewmembers successfully abandoned the vessel. They were taken on board the Sea Lynx and transported to the Galapagos Islands.

MEOSAR

- 21:26 UTC - EPIRB was activated.
- 21:26 UTC - MEOSAR satellites detect activated beacon with a Time Difference of Arrival (TDOA) position. Beacon signal data downloaded to USMCC (Mission Control Center) at Suitland Maryland.
- 21:26 UTC - Coast Guard District 11 (PACREA, Alameda, California) notified.
- 21:32 UTC - An updated TDOA position was received and provided even more precise location information (diminishing the Expected Error factor by over 50%) which narrowed the search area significantly.
- 21:46 UTC - 20 minutes after the initial beacon activation, MEOSAR satellites confirm the

LEO/GEOSAR

- 21:26 UTC - EPIRB was activated.
- 21:26 UTC - GEOSAR satellite detects activated beacon. No location is given.
- 22:25 UTC - LEOSAR detects activated beacon. Coast Guard District 11 (PACREA, Alameda, California) notified.
- 23:43 UTC - 2 hrs. 17 minutes after the initial beacon activation, a second LEOSAR satellite confirms location of activated beacon.

Performance Comparison

On 4 May 2016 at 21:26 UTC (Coordinated Universal Time) a 406 MHz COSPAS-SARSAT EPIRB (Emergency Position-Indicating Radio Beacon) was activated at sea approximately 700 NM (805 miles) west of the Galapagos Islands. Besides saving lives, this distress situation provided real-world beacon signal reception for analysis of the experimental MEOSAR System. That data illustrates clear and distinct differences in the detection and locating capabilities of each type of satellite. The two columns below compare and contrast each satellite constellation's performance.

Ilustración 70: Comparativa entre el nuevo sistema MEOSAR y LEO/GEOSAR.

[43]

5.5 OTROS SISTEMAS SATELITALES DE COMUNICACIÓN

Además de todos los citados anteriormente existen otros dos sistemas satelitales que también se utilizan a bordo embarcaciones menores sobre todo en equipos portátiles y con una cobertura más limitada que Iridium o Inmarsat.

5.5.1 GLOBALSTAR

Es una empresa norteamericana que ofrece servicios de voz, datos de baja velocidad y un botón de SOS.

Su constelación está formada por 48 satélites de órbita baja a unos 1.400 km de la superficie de la Tierra distribuidos en 8 planos orbitales con una inclinación de 55 ° y su periodo orbital es de 114 minutos.

Estos satélites operan en la banda L y utilizan la técnica “*bent pipe*”. Los satélites se comunican con las estaciones terrestres y con los usuarios, pero no entre sí. Esto hace que la cobertura se limite, por lo general, a una distancia de la costa que coincide con el radio de la huella del satélite.

Debido a esta técnica y la inclinación orbital, no existe cobertura en las zonas con una latitud superior a 70 °.

Globalstar ofrece la ventaja de ser más económico que sus competidores en el sector de las telecomunicaciones, sin embargo, los servicios ofrecidos son más limitados.

Existen dos tipos de terminales de usuario:

- Teléfonos inalámbricos con servicios de voz y datos como el GSP-1700.
- Mensajeros bidireccionales o rastreadores como el SPOT X. Ofrecen mensajes de texto o de correo electrónico y seguimiento a intervalos. [9][30][40]



Ilustración 71: Teléfono GSP-1600 Y mensajero bidireccional SPOT X.

[44]

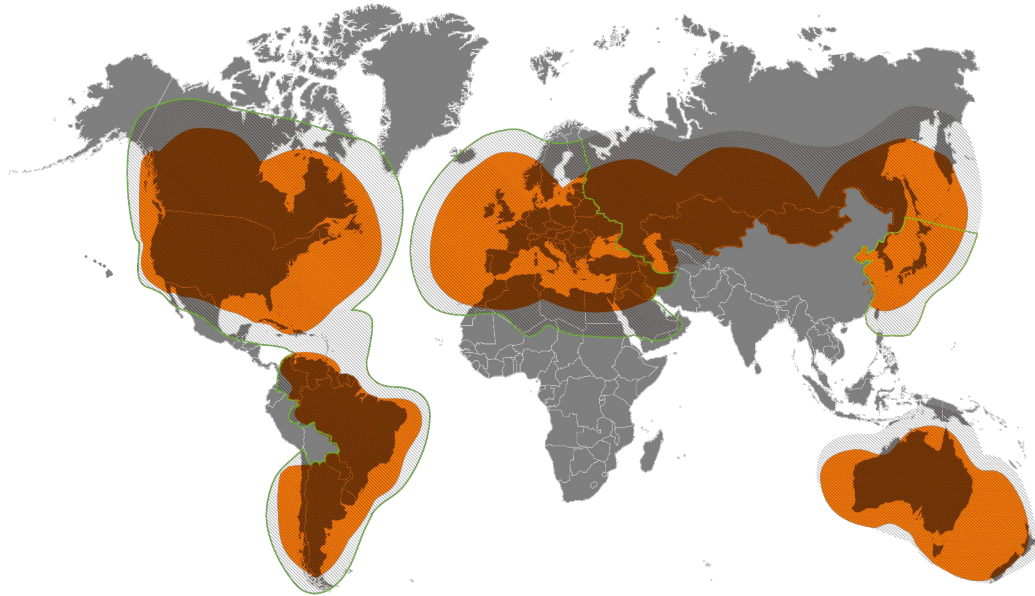


Ilustración 72: Cobertura de los servicios de voz.

[45]

- PRIMARY COVERAGE

- FRINGE COVERAGE
(Customers should expect to experience weakest signal)

- HOME ZONE
Within the Home Zone, Globalstar North American customers can freely roam without incurring additional airtime costs. This map is intended to highlight Home Zone coverage for Orbit and Galaxy customers in North America. Coverage is subject to change without notice.

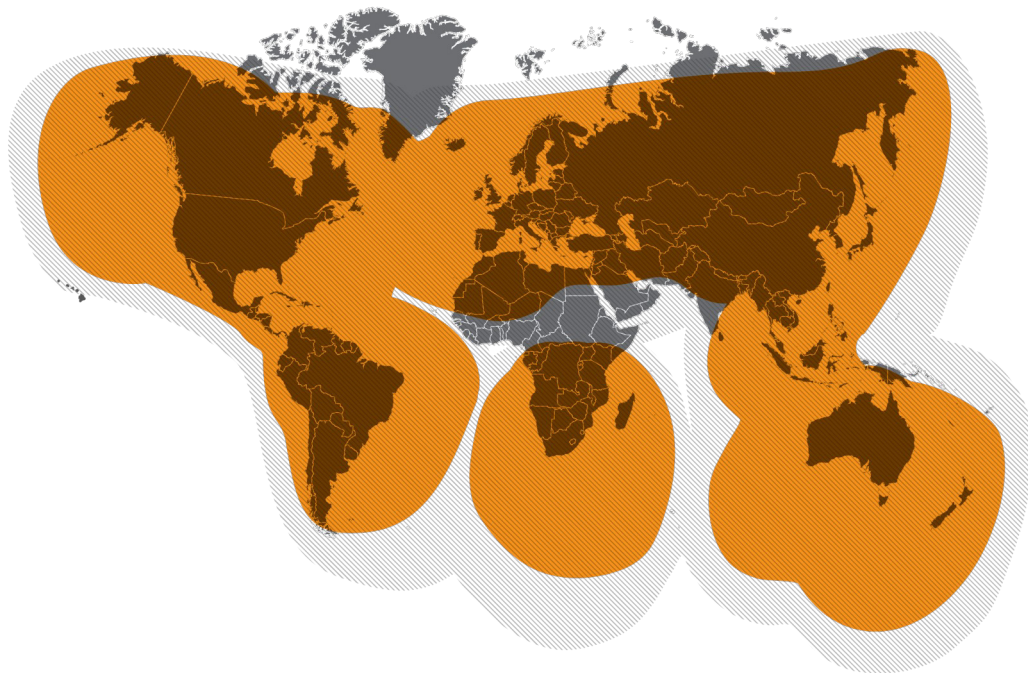


Ilustración 73: Cobertura de mensajería bidireccional de SPOT X.

[45]

5.5.2 THURAYA

Es un sistema de comunicaciones satelital desarrollado por los Emiratos Árabes Unidos. Su segmento espacial lo componen 2 satélites geoestacionarios que orbitan a 35.800 km de la superficie y operan en la banda L y la banda Ku con la tecnología de “spot beams”.

Ofrece servicios muy parecidos a Globalstar con la diferencia de que Thuraya tiene varios terminales de usuario de instalación fija a bordo de buques.

Básicamente estos servicios son telefonía y datos con una velocidad de 444 Kbps aunque desde hace poco están disponibles terminales VSAT que se espera que superen esta cifra ampliamente.

Thuraya ha mostrado su interés en obtener la certificación de la IMO para cumplir con los requisitos GMDSS. [9] [30] [41]



Ilustración 75: Thuraya MarineStar.

[46]



Ilustración 74: Thuraya XT-PRO

[46]

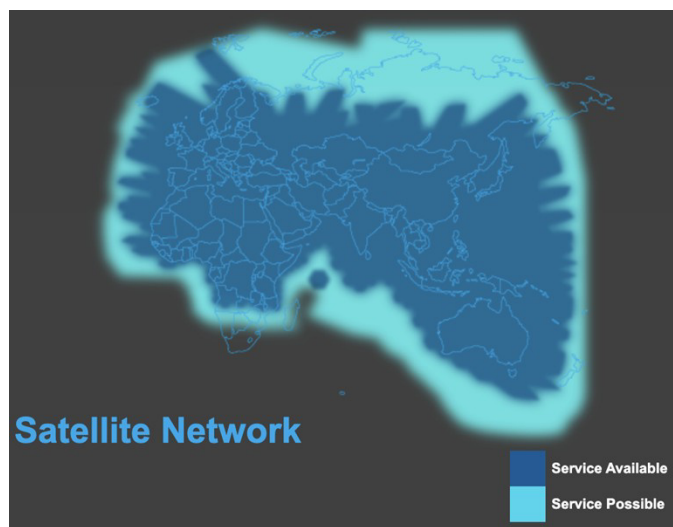


Ilustración 76: Mapa de cobertura de Thuraya.

[47]

5.6 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS)

A pesar de no ser el objetivo principal de este trabajo hablar en profundidad sobre los sistemas de posicionamiento por satélite al no ser un sistema de comunicaciones satelital propiamente dicho, es necesario hacer una breve descripción sobre su funcionamiento y los distintos tipos existen dado su enorme importancia en la navegación marítima.

GNSS, de sus siglas en inglés “*Global Navigation Satellite System*”, es un sistema con una constelación de satélites que transmite señales para su uso en aplicaciones de navegación y posicionamiento en cualquier lugar sobre la superficie de la Tierra.

Hoy en día, la posibilidad de no disponer de GPS en nuestros teléfonos móviles o en un buque sería casi impensable, ya que se ha vuelto imprescindible para infinidad de aplicaciones diarias, contando con millones de usuarios en todo el mundo y se ha convertido en una de las herramientas más útiles de la Historia.

Las informaciones que nos ofrece un GNSS son las relativas a posición, rumbo, velocidad y hora exacta; datos de gran valor en el sector marítimo.

El principio de la determinación de la posición de un receptor GNSS se basa en la trilateración. Es decir, sabiendo las posiciones de tres satélites, calculando las distancias (pseudodistancias) a las que se encuentran y corrigiendo ciertos errores podemos calcular nuestra posición. Estas distancias se hallan calculando el tiempo que tardan en llegar del satélite al receptor ya que conocemos su velocidad de propagación, que es la velocidad de la luz, 300.000 km/s.

Imaginemos que estamos a una distancia determinada de un satélite y trazamos una circunferencia con el radio de esa distancia. Evidentemente ese perímetro sería demasiado grande e impreciso para determinar una situación. Pero veamos en la siguiente figura qué ocurre si hacemos lo mismo con 3 satélites.



Ilustración 77: Determinación de una posición mediante la técnica de trilateración.



Ilustración 78: Trilateración vista en 3 dimensiones.

[49]

Observamos que con dos satélites existen dos puntos distintos en los que podría estar el receptor pero al añadir un tercer satélite esta ambigüedad desaparece. Esto es lo que se conoce como **trilateración**.

La información que transmiten los satélites GNSS continuamente contiene datos sobre efemérides, almanaques y la hora a la que dicha información fue transmitida. Con estos datos se calculan las distancias entre los satélites y el receptor, conocidas como pseudodistancias ya que aun no se han corregido los diversos errores. Un cuarto satélite es necesario para la corrección del error del reloj del receptor ya que, aunque los satélites llevan relojes atómicos extremadamente precisos, éstos son inviables en un receptor.

Todos los GNSS cuentan con un segmento espacial, un segmento de control y un segmento usuario.

- Segmento espacial.

Comprende toda la constelación de satélites de cada sistema, entre 24 y 30, y que se encarga de transmitir de forma ininterrumpida toda la información contenida en el mensaje de navegación; almanaque, efemérides y hora. Esta información es imprescindible para los cálculos posteriores que deberá hacer el receptor GNSS.

- Segmento de control.

Se encarga de realizar las tareas de seguimiento y monitorización de todos los satélites de la constelación, actualizando efemérides, sincronizando relojes y elaborando el mensaje de navegación que retransmite cada uno de ellos.

Este segmento se subdivide en: estaciones de monitorización, estaciones de transmisión de datos y una estación maestra.

- Segmento usuario.

Está compuesto por los receptores GNSS encargados de calcular la posición.

Actualmente existen 4 tipos de GNSS en el mundo: GPS, GLONASS, GALILEO Y BEIDOU, siendo GPS el más conocido de todos.

5.6.1 GPS

Global Positioning System (GPS) es un sistema de radio-navegación mundial formado por una constelación de 24 satélites y sus estaciones terrenas.

Nació en EE.UU. con fines militares declarándose totalmente operativo en 1993 aunque en 1997 se abrió el servicio a usuarios civiles que hoy suponen el 95 % de los usuarios en todo el mundo.

El segmento espacial lo componen 24 satélites de órbita media (más 3 de reserva) distribuidos en 6 planos orbitales con una inclinación de 55 ° con respecto al ecuador.

Cada uno de los satélites orbita a unos 20.200 km de la superficie de la Tierra con un periodo orbital de 12 horas.

Esta constelación garantiza una visibilidad en todo momento de 6 satélites con una elevación superior a 9,5 °. Cabe destacar que las señales obtenidas de satélites con poca elevación suponen un error debido a la mayor atenuación de las ondas radioeléctricas al tener que atravesar una mayor distancia a través de la ionosfera.

En la siguiente imagen se pueden apreciar la estación de control maestra, en Colorado, EE.UU., y el resto de estaciones.

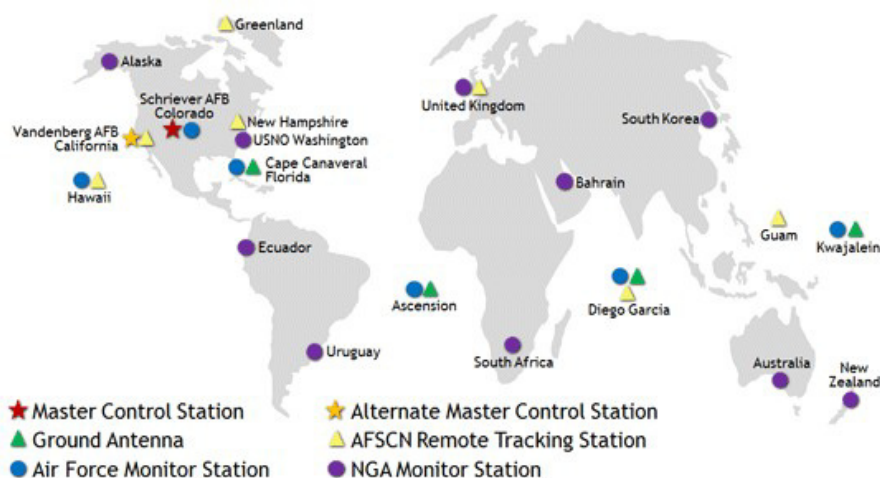


Ilustración 79: Segmento terrestre alrededor del mundo.

[50]

Cada satélite transmite señales radioeléctricas de baja potencia en varias frecuencias. L1 y L2 son las principales frecuencias portadores que contienen las señales de navegación que emiten en 1575,42 Mhz y 1227,6 Mhz respectivamente aunque también está la L5, L1C y L2C.

Existen dos tipos de precisión: Una convencional y otra de uso exclusivo militar.

Estas señales viajan a través de la "línea de vista" o "Line Of Sight" (LOP) y son capaces de atravesar nubes, plástico, cristal y otros materiales ligeros pero no los edificios o montañas.

Un receptor GPS puede tener una precisión de unos 5 metros o de 1 ó 2 metros utilizando un sistema diferencial. [2][42] [43][44]

5.6.2 GLONASS

A pesar de haber nacido a principios de los años 80 no fue hasta el año 2012 que el sistema fue declarado completamente operativo.

Su segmento espacial está formado por 24 satélites de órbita media distribuidos en 3 planos orbitales con una inclinación de 64,8 ° respecto al ecuador. Cada satélite tiene un periodo orbital de 11 horas y 15 minutos y orbita a 19.100 km de la superficie terrestre.

Hay que destacar que la precisión en altas latitudes es mejor que la de GPS debido a su inclinación orbital.

Su segmento terrestre está formado también por una estación maestra y varias estaciones de monitorización.

Al igual que GPS ofrece dos tipos de precisión: una estándar y otra de mayor precisión sólo para usuarios autorizados.

El error de GLONASS, sin ayudas diferenciales, es de 7-8 metros y de tan solo 3 con un sistema de aumento. [43][45]

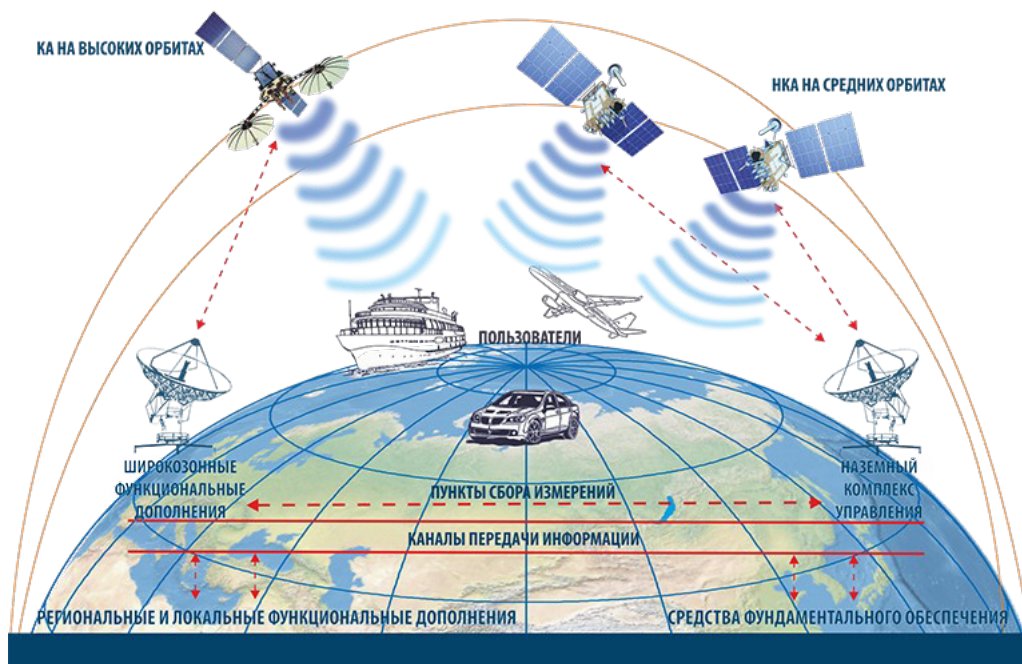


Ilustración 80: Los 3 segmentos de GLONASS.

[51]

5.6.3 GALILEO

Es el GNSS europeo y es interoperable con GLONASS y GPS. El servicio empezó a estar disponible en 2016 y se espera que a lo largo de este año 2022 se cuente con la constelación completa.

Su segmento espacial lo conforman 30 satélites de órbita media (más 6 de respaldo) distribuidos en 3 planos orbitales con una inclinación de 56 ° sobre el ecuador. Orbitan a una distancia de 23.322 km de la superficie con un periodo orbital de 14 horas.

El segmento de control de Galileo se compone de:

- Dos centros de control Galileo (GCC) en Oberpfaffenhofen (Alemania) y en Fucino (Italia) respaldados por Segmentos de Control Galileo (GCC) y Segmentos de Misión Galileo (GMS).
- Estaciones sensoras Galileo (GSS).
- Estaciones de enlace ascendente (ULS).

- Estaciones de Control, Seguimiento y Telemetría (TT&C).

Al igual que GPS y GLONASS, Galileo ofrece dos tipos de precisión, una estándar con un error de menos de 4 m y otra especial con un error de unos pocos centímetros.[43] [46]



Ilustración 81: Mapa del segmento de control Galileo.

[52]

5.6.4 BEIDOU

Beidou es el sistema de posicionamiento global desarrollado por China que opera desde 2003.

El segmento espacial es un poco diferente al de los 3 GNSS anteriores ya que éste no sólo usa satélites de órbita media.

Actualmente está compuesto por:

- 5 satélites en órbita geostacionaria GEO.
- 27 satélites de órbita media distribuidos en 3 planos orbitales con una inclinación de 55 ° grados y un periodo orbital de 12 horas y 53 minutos. Orbitan a una distancia de 21.528 km de la superficie.
- 3 satélites en órbitas geostacionarias inclinadas 55 ° con respecto al plano ecuatorial y a una altitud de 35.786 km.

El segmento de control de Beidou se compone de una única estación de control, estaciones de carga y estaciones de monitorización.

La precisión del sistema, abierto para todos los usuarios, es de 9 m. [43][47]

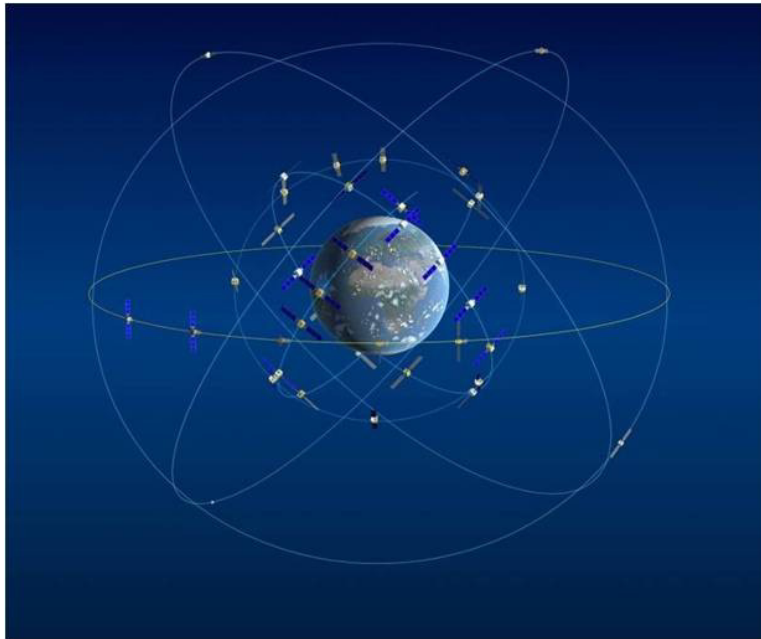


Ilustración 82: Constelación Beidou.

[53]

6. EL FUTURO DE LAS COMUNICACIÓN SATELITALES EN EL MAR

A pesar de que, como ya se ha visto a lo largo de este TFG, los sistemas satelitales de comunicaciones marítimas han evolucionado a un ritmo muy elevado, las principales compañías del sector siguen innovando y buscando la forma de mejorar los servicios y los mapas de cobertura.

Inmarsat.

Recientemente ha puesto en órbita el primero de una serie de satélites híbridos que operarán en las bandas L y Ka y que se espera que estén operativos a finales de 2023.

Por otra parte Inmarsat anunció en junio del 2021 uno de sus proyectos más importantes de toda su Historia, “*ORCHESTRA*”. Una constelación que combinará satélites GEO con LEO y HEO. Un pequeño conjunto de entre 150 y 175 satélites de órbita baja para reforzar el servicio de las zonas de alta demanda y 2 de órbita altamente elíptica para dar cobertura al Ártico. Este nuevo sistema se combinará también con las redes de 5G e incluirá una interesante característica. Un terminal de usuario que esté en contacto una estación 5G podrá recibir una amplia capacidad tanto como para sus propias necesidades como para suministrar a buques que no estén dentro del alcance terrestre. [14]

Iridium.

Por su parte, Iridium, está finalizando su implementación de sus servicios de banda L llamado “*Certus*”, que proporciona 704 Kbps de bajada y 352 Kbps de subida con cobertura mundial y se espera que, según demanda de usuarios, se empiecen a fabricar terminales que soporten los 1,4 Mbps que ofrece esta red. [29]

Starlink.

Esta compañía, nacida como un proyecto de SpaceX para ofrecer internet de banda ancha y baja latencia a nivel mundial a bajo coste, ya ha anunciado que ofrecerá un servicio marítimo a partir de mediados del 2022.

Su constelación está compuesta por satélites LEO que orbitan a una distancia de 550 km de la superficie con una inclinación de 53 °.

Starlink ofrece una de las velocidades de banda ancha más altas del sector, 100-200 Mbps, y una latencia muy baja de alrededor de los 20 ms.

Actualmente ya cuenta con más de 1.400 satélites activos que ofrecen cobertura hasta los 55 ° de latitud y se espera que ésta sea global en un futuro próximo. De confirmarse estos pronósticos, Starlink sería el sistema con la mayor velocidad de internet en el mundo con cobertura mundial. [48][49]

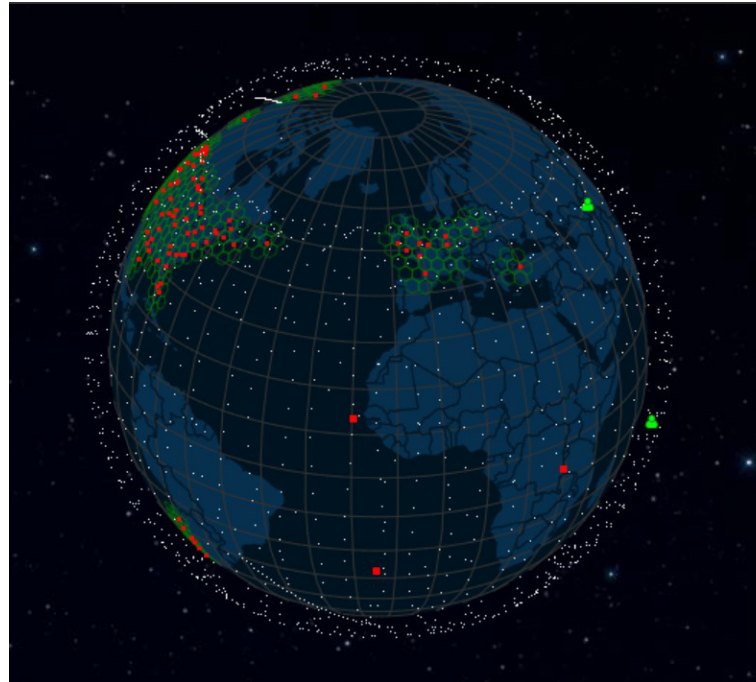


Ilustración 83: Cobertura actual de Starlink.

[54]

Otra compañía que se espera que ofrezca internet de banda ancha a nivel mundial en el sector marítimo es **OneWeb** aunque, debido a problemas financieros, el proyecto ha venido sufriendo numerosos retrasos y se espera que empiece a operar el año que viene. [50]

CONCLUSIONES.

Con este TFG he intentado mostrar la enorme importancia que tienen los satélites en las comunicaciones marítimas y en la navegación y, al mismo tiempo, su rápida evolución desde su creación hasta el día de hoy en las siguientes formas:

- Cambio radical en los instrumentos de comunicación, de radio navegación y mensajes de socorro en un corto espacio de tiempo.

- Perfeccionamiento en la navegación: mejoras en la obtención de información meteorológica, contacto con el armador e información actualizada de las situaciones que conciernen a la navegación marítima (bloqueos, guerras locales, piratería, esperas o peligros diversos). Se navega con más seguridad y más precisión.

- Normalización de la vida social de los tripulantes: familia, amigos, etc.

- Uso generalizado y asequible de las herramientas tecnológicas satelitales, lo que supone una mejora generalizada y global del tráfico marítimo en todos los ámbitos.

- Son evidentes, por otra parte, su complejidad técnica, la enorme inversión realizada no sólo en financiación sino en proyectos, organización y equipos humanos altamente especializados, y también su control por grandes corporaciones multinacionales y en definitiva por los gobiernos de las grandes potencias. Por ello se hace evidente también que la posibilidad de su uso efectivo no depende apenas de la capacidad y conocimientos del piloto o el capitán de un buque sino que en última instancia existe una dependencia real de organismos, países, intereses y contingencias que quedan fuera del control de los usuarios.

Asimismo, con este trabajo hemos adquirido unos conocimientos esenciales sobre el funcionamiento de estos satélites y de los distintos servicios que están disponibles a bordo de un buque, que habremos de mantener permanentemente actualizados, dada la rapidez de las innovaciones en este sector de la tecnología.

CONCLUSIONS.

Through this TFG I have tried to show the huge importance that satellites have involving maritime communications and navigation and, at the same time, its fast evolution since its creation until now in following forms:

- Radical change on the communications instruments, radio navigation and distress messages in a short period of time.
- Navigation sharpening: improvements in obtaining meteorological info, contact with the shipowner and updated info about situations regarding maritime navigation (block passes, local war, piracy, waits or several dangerous). Navigation is safer and more precise.
- Crewmembers' social life normalization: family, friends, etc.
- General and affordable usage of satellite technological tools, which means a general and global improvement in maritime traffic in every sense.
- They are evident, in another hand, its technical complexity, the huge investment not just in funding but in projects, organisation, and human teams highly specialized, and also its control by big multinational associations, and therefore, by the big powers' governments. Because of this, it becomes evident that the possibility of its effective usage barely depends on the capacity and knowledge of the Captain or Skipper but, at last, there is a real dependence on organisms, countries, interests and contingencies that remain out of the control of the user's control.

Also, through this TFG, we have acquired some essential knowledges about how these satellites run and about the different available services onboard a ship, which we shall keep permanently updated, due to the speed of the innovation on this sector of technology.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1]: REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA, Definición de "Satélite artificial", 2022

[2]: NASA, "What is a satellite", 2017, [En línea] Disponible en: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html> Accedido: 30/01/2022.

[3]: N2YO, Satellite tracking, 2022, [En línea], Disponible en: <https://www.n2yo.com/>
Accedido: 30/01/2022.

[4]: Krebs, Gunter D., "Anik A 1, 2, 3". Gunter's Space Page. Retrieved January 30, 2022, [En línea], Disponible en: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/anik-a.htm
Accedido: 30/01/2022.

[5]: EUTELSAT, Our History, [En línea], Disponible en: [https://www.eutelsat.com/en/group/our-history.html#:~:text=Eutelsat%20is%20born%20out%20of,European%20Space%20Agency%20\(ESA\).](https://www.eutelsat.com/en/group/our-history.html#:~:text=Eutelsat%20is%20born%20out%20of,European%20Space%20Agency%20(ESA).)

Accedido : 30/01/2022.

[6]: HISPASAT, Hispasat cumplió 25 años, 2014, [En línea], Disponible en: <https://www.hispasat.com/es/informe-anual-2014/hispasat-25-anos.html>

Accedido: 30/01/2022.

[7]: INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION (ITU), "Breve Historia de la UIT", [En línea], Disponible en: <https://www.itu.int/es/history/Pages/ITUsHistory-page-5.aspx>

Accedido: 30/01/2022.

[8]: JAVIER HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, Sistemas de comunicación por satélite: utilización en los sistemas de navegación aeronáuticos, 2015. Disponible en: <https://oa.upm.es/40769/>

[9]: F. LOUZÁN LAGO y S. IGLESIAS BANIOLA, Manual de comunicaciones marítimas, 2015.

[10]: S.F. APPLEYARD, R.S. LINFORD y P.J. YARWOOD, Marine Electronic Navigation, 1997.

[11] THE EUROPEAN SPACE AGENCY, [En línea], Disponible en: https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands Accedido: 30/01/2021.

- [12] MARITIME SAFETY COMMITTEE, Resolution 451(99) STATEMENT OF RECOGNITION OF MARITIME MOBILE SATELLITE SERVICES PROVIDED BY IRIDIUM SATELLITE LLC, 24 de mayo de 2018.
- [13] MORSVIAZSPUTNIK, [En línea], Disponible en: <https://www.marsat.ru/en>
Accedido: 30/01/2022.
- [14] INMARSAT, *Inmarsat Maritime Handbook*, 2002.
- [15] R. NERI VELA, *Satélites de comunicaciones*, McGraw-Hill, 1991.
- [16] E. AGRASAR GONZÁLEZ, *Comunicaciones radio-marítimas. Operadores generales y restringidos de GMDSS*, Xunta de Galicia, 2003.
- [17] INMARSAT. [En línea], Disponible en: <https://www.inmarsat.com/en/index.html>
Accedido: 30/01/2022.
- [18] INMARSAT, *FleetBroadband Best Practices Manual*, 2009.
- [19] B. R. ELBERT *The Satellite Communication Ground Segment and Earth Station Handbook*, Artech House, 2001.
- [20] JRC, *Japan Radio Co.*, [En línea], Disponible en: <https://www.jrc.co.jp/eng/index.html>
Accedido: 30/01/2022.
- [21] IMO, Development in GMDSS satellite services. 16/10/2018.
- [22] SOLAS, "Radiocomunicaciones" Regla 4 Capítulo IV.
- [23] AUSTRALIAN MARITIME SAFETY AUTHORITY, *GMDSS Manual*, 2018
- [24] INMARSAT MARITIME SAFETY SERVICES, *International SafetyNET Handbook*, 2020.
- [25] INTELLIAN, Intellian Tech, [En línea], Disponible en: <https://www.intelliantech.com/home/#> Accedido: 30/01/2022.
- [26] COBHAM, [En línea], Disponible en: <https://www.cobham.com/> Accedido: 30/01/2022.
- [27] BEAM COMMUNICATION, [En línea], Disponible en: <https://www.beamcommunications.com/> Accedido: 30/01/2022.
- [28] GLOBALSAT, [En línea], Disponible en: <https://globalsat.com/es/inicio/> Accedido: 30/01/2022.
- [29] IRIDIUM, [En línea], Disponible en: <https://www.iridium.com/> Accedido: 30/01/2022.
- [30] B. R. ELBERT *Satellite Communications Application Handbook*. 2004.

-
- [31] ICAO, *Manual for ICAO Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service Part II-IRIDIUM*, 21/03/2007.
- [32] IRIDIUM, *Iridium installation manual*.
- [33] LARS THRANE, [En línea], Disponible en: <https://thrane.eu/> Accedido: 30/01/2022.
- [34] KVH Industries, [En línea], Disponible en: <https://www.kvh.com/> Accedido: 30/01/2021.
- [35] VIASAT, [En línea], Disponible en: <https://www.viasat.com/> Accedido: 30/01/2022.
- [36] OMNIACCESS, [En línea], Disponible en: <https://www.omniaccess.com/> Accedido: 30/01/2022.
- [37] NOAA, Search And Rescue Satellite Aided Tracking, [En línea], Disponible en: www.sarsat.noaa.gov Accedido: 30/01/2022.
- [38] INTERNATIONAL COSPAS-SARSAT PROGRAM [En línea] Disponible en <https://cospas-sarsat.int/en/>
- [39] JOTRON, [En línea], Disponible en: <https://jotron.com/> Accedido: 30/01/2022.
- [40] GLOBALSTAR, [En línea], Disponible en: <https://www.globalstar.com/es-es/> Accedido: 30/01/2022.
- [41] THURAYA, [En línea], Disponible en: <https://www.thuraya.com/en> Accedido: 30/01/2022.
- [42] GPS.GOV, *The Global Positioning System*, [En línea], Disponible en: <https://www.gps.gov/> Accedido: 30/01/2022.
- [43] A. HERNÁNDEZ LÓPEZ, Tema 3: *Sistemas satelitales*, Navegación radioelectrónica, 2020
- [44] THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM, *A guide to GNSS*, [En línea], Disponible en: <https://www.nottingham.ac.uk/grace/resources/glossariestutorials.aspx> Accedido: 30/01/2022.
- [45] GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), [En línea], Disponible en: www.glonass-iac.ru Accedido: 30/01/2022.
- [46] GALILEO, [En línea], Disponible en: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/system> Accedido: 30/01/2022.
- [47] BEIDOU, [En línea], Disponible en: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/> Accedido: 30/01/2022.
- [48] STARLINK, Disponible en: <https://www.starlink.com/> Accedido: 30/01/2022.

[49] @Space X Starlink (Twitter), [En línea], Disponible en: <https://twitter.com/elonmusk/status/1482424984962101249> Accedido: 30/01/2022.

[50] ONEWEB, [En línea], Disponible en: <https://oneweb.net/> Accedido: 30/01/2022.

9. BIBLIOGRAFÍA DE ILUSTRACIONES

[1] Técnico trabajando en el satélite “Sputnik”. <https://mundo.sputniknews.com/20170928/espacio-urss-ciencia-1072708148.html>

[2] Satélite “Score” en la rampa de lanzamiento. https://noticiadelaciencia.com/art/7629/gran_enciclopedia_de_la_astronautica__129__score

[3] Satélite “Telstar-1” <http://latamsatelital.com/55-anos-telstar-1/>

[4] Satélite español “Hispasat” <https://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/hispasat-74w-1>

[5] F. LOUZÁN LAGO y S. IGLESIAS BANIOLA, Manual de comunicaciones marítimas, 2015.

[6] S.F. APPLEYARD, R.S. LINFORD y P.J. YARWOOD, Marine Electronic Navigation, 1997.

[7] THE EUROPEAN ESPACE AGENCY https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands

[8] Fuente propia.

[9] Segmento terrestre. https://es.wikipedia.org/wiki/Segmento_terrestre

[10] THE EUROPEAN ESPACE AGENCY https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits

[11] GRACE flight trayectory. <http://www2.csr.utexas.edu/grace/launch/>

[12] IRIDIUM Next SAT <https://www.iridium.com/blog/2013/04/19/iridium-next-a-global-effort-to-launch-the-future-of-global-communications/>

[13] GPS IIIA Última generación. https://www.airforce-technology.com/wp-content/uploads/sites/6/2018/09/GPS-Block-III_A_USAF_follow-on_AF-3_edit.jpg

-
- [14] INMARSAT Seminario-Foro Regional Radiocomunicaciones UIT - Costa Rica, Octubre 2012. https://www.itu.int/md/dologin_md.asp?lang=en&id=R12-ITURSEM.COSTARICA-SP-0027!!PDF-S
- [15] INMARSAT, *Inmarsat Maritime Handbook*, 2002.
- [16] SATELLITE TODAY <https://www.satellitetoday.com/innovation/2014/12/22/airbus-built-inmarsat-2-f2-satellite-breaks-world-record-for-mission-lifespan/>
- [17] IMAGEMGT <https://www.imagemgt.com/INM-coverage495.gif>
- [18] https://www.ankla.mx/coberturas_servicio.html
- [19] INMARSAT <https://www.inmarsat.com/content/dam/inmarsat/corporate/core-assets/coverage-maps/document/l-4%20coverage%20May%202020.pdf>
- [20] INMARSAT BGAN mobile broadband for disaster response, JACK DEASY Director, Inmarsat Inc. https://spacejournal.ohio.edu/issue10/ppt/p4/Jack_Deasy.ppt
- [21] Broadband India Forum http://broadbandindiaforum.com/wp-content/uploads/2021/01/INMARSAT_INDIA.pdf
- [22] INMARSAT <https://www.inmarsat.com/en/about/technology/satellites.html>
- [23] GLOBAL SATELLITE COALITION http://www.cuctanso.vn/content/hoinghihoithao/Lists/DanhSachHoiNghiHoiThao/Attachments/28/4.%20GSC_Session%20_GSO%20Constellations_Hanoi_BP_OB_PG.pdf
- [24] http://photos.wikimapia.org/p/00/01/66/61/13_big.jpg
- [25] INMARSAT, *FleetBroadband Best Practices Manual*, 2009.
- [26] JAPAN RADIO CO. <https://www.jrc.co.jp/eng/product/marine/communication/index.html>
- [27] AUSTRALIAN MARITIME SAFETY AUTHORITY, *GMDSS Manual*, 2018 <https://www.amsa.gov.au/safety-navigation/navigation-systems/global-maritime-distress-and-safety-system-handbook-2018>
- [28] COBHAM <https://www.cobhamsatcom.com/satellite-communication-at-sea/>
- [29] INMARSAT <https://www.inmarsat.com/en/solutions-services/maritime/services/fleet-one.html>
- [30] BEAM COMMUNICATIONS <https://www.beamcommunications.com/satellite>
- [31] INTELLIAN <https://www.intelliantech.com/products#>
- [32] INMARSAT <https://www.inmarsat.com/en/about/technology/our-roadmap.html>

- [33] ICAO, *Manual for ICAO Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service Part II-IRIDIUM*, 21/03/2007. [https://www.icao.int/safety/acp/Inactive%20working%20groups%20library/ACP-WG-M-Iridium-8/IRD-SWG08-IP05%20-%20AMS\(R\)S%20Manual%20Part%20II%20v4.0.pdf](https://www.icao.int/safety/acp/Inactive%20working%20groups%20library/ACP-WG-M-Iridium-8/IRD-SWG08-IP05%20-%20AMS(R)S%20Manual%20Part%20II%20v4.0.pdf)
- [34] B. R. ELBERT *Satellite Communications Application Handbook*. 2004.
- [35] IRIDIUM Installation Manual. https://www.ocens.com/documents/iridium/Iridium_Pilot_Installation_Manual.pdf
- [36] LARS THRANE https://thrane.eu/?gclid=Cj0KCQiA0eOPBhCGARIsAFIwTs76wCZgpoV8M2FPZkyZIrHAtpa4ditk0YgcUnFQFkgBZbEot5-j0bUaApO-EALw_wcB
- [37] KVH <https://www.kvh.com/maritime-solutions/leisure-marine/superyacht-solutions/mobile-communications/leisure-communications-products#vsatsystemsthen01marinevsatsolution-anchor>
- [38] VIASAT. <https://www.viasat.com/products/terminals-and-radios/dual-band-terminals/>
- [39] OMNIACCESS. <https://www.omniaccess.com/connectivity/>
- [40] COSPAS SARSAT <https://www.cospas-sarsat.int/en/system/detailed-leosar-geosar-system-description/geosar-satellite-coverage>
- [41] <https://www.sarsat.noaa.gov/SARSAT%20101%20Brief%20PDF.pdf>
- [42] <https://cospas-sarsat.int/en/search-and-rescue/system-graphics-en>
- [43] <https://www.sarsat.noaa.gov/meosar.html>
- [44] <https://www.globalstar.com/en-us/products>
- [45] <https://www.globalstar.com/en-us/coverage-maps>
- [46] <https://www.thuraya.com/products-list>
- [47] <https://www.thuraya.com/en/about-us>
- [48] <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/#:~:text=Trilateration%20Measures%20Distance%2C%20Not%20Angles&text=For%20example%2C%20the%20first%20satellite,eventually%20hits%20your%20GPS%20receiver.&text=Because%20we%20have%20a%20third,can%20pinpoint%20a%20precise%20location.>
- [49] <https://www.sextantes.com/como-funciona-un-gps/>
- [50] <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- [51] https://www.glonass-iac.ru/spa/about_glonass/

[52] <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/What-Galileo>

[53] https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/BeiDou_Space_Segment

[54] <https://satellitemap.space/>