

# LAS COMUNICACIONES POR SATÉLITE EN LA ARMADA

Enrique CUBEIRO CABELLO



## Introducción



A Armada española se incorporó tímidamente al selecto grupo de marinas que contaban con capacidad de comunicaciones vía satélite puramente militares en el año 1992, cuando se instaló en el portaaviones *Príncipe de Asturias* y de forma provisional un terminal satélite UHF que empleaba equipos AN/WSC-3 y tenía capacidad de enlazar con los satélites FLEETSATCOM de los Estados Unidos, cuyo principal usuario es la Marina.

Con anterioridad, se habían instalado en la mayoría de los buques de porte superior a una corbeta terminales INMARSAT A, que permitían comunicaciones de voz, fax y teletipo, pero siempre sujetas a los acuerdos internacionales que constreñían el empleo militar de este tipo de comunicaciones.

Con el lanzamiento en 1992 de los dos satélites HISPASAT 1A y 1B, España pasa a disponer de un sistema satélite propio, y a medida que el Ministerio de Defensa va adquiriendo terminales, las Fuerzas Armadas se comienzan a beneficiar de las múltiples ventajas de este tipo de comunicaciones, que cada día se va introduciendo en nuevos terrenos en el amplio campo de las comunicaciones.

En este artículo se pretende dar a conocer de forma básica cómo funciona un sistema satélite, las prestaciones que explican el *bum* de este tipo de comunicaciones, así como presentar la capacidad actual de las Fuerzas Armadas, en particular de la Armada, y tecnologías emergentes que pueden ser aprovechadas en un futuro próximo.

## Sistema satélite

Un sistema satélite no es sino un conjunto de estaciones de comunicaciones (estaciones terrenas) que emplean uno o más satélites para comunicarse entre sí. La función del satélite es, en esencia, la de un repetidor que ocupa

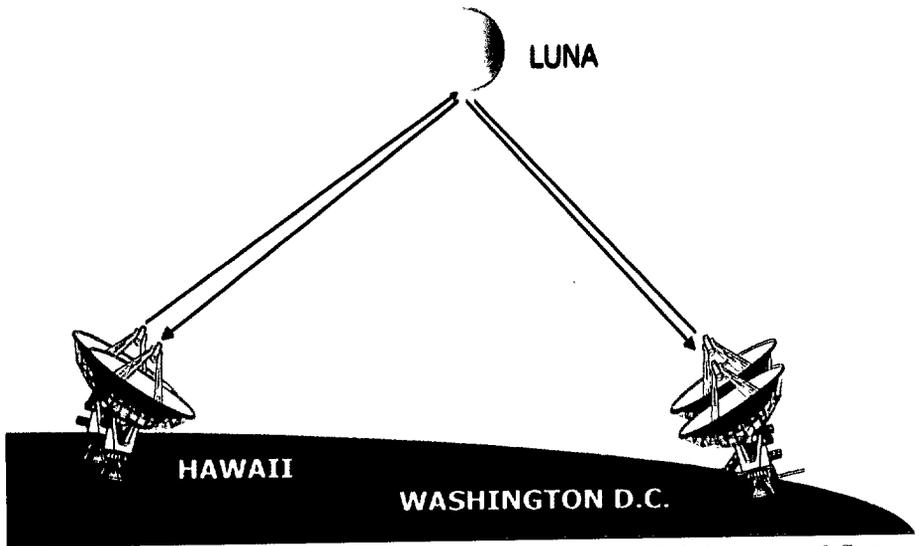


Figura 1. 1961: Enlace entre Honolulu y Washington D. C. utilizando la Luna como deflector.

una posición privilegiada sobre el horizonte de las estaciones terrenas. El satélite es, por tanto, un nodo a través del cual pasan las comunicaciones, que recibidas mediante las antenas receptoras, son amplificadas (desde magnitudes de entrada del orden de los picowatios a varias decenas de vatios de salida), modificadas en polarización y en frecuencia (para evitar interferencias con el enlace ascendente) y devueltas hacia la zona de cobertura (enlace descendente).

Los primeros satélites utilizados en la década de los 60 eran simples deflectores. En 1961, la Marina norteamericana empleó la Luna como deflector y logró comunicar terminales situados en Pearl Harbour (Hawai) y Washington D. C. Tras este logro, se lanzaron los satélites tipo ECHO, que no eran otra cosa que enormes globos cubiertos de una película metálica sobre la que rebotaba la señal.

A medida que progresó la tecnología en los campos de las microondas (amplificadores, antenas, técnicas de multiplexado, etc.) y en el de los lanzadores cohete, fue posible aumentar el tamaño y complejidad de los satélites. A mediados de los 60, aparecen los primeros satélites activos, así como los geostacionarios, de los que se hablará más adelante. Las comunicaciones satélite, hasta entonces limitadas al terreno militar (EE.UU. y URSS), comienzan a formar parte de las comunicaciones civiles. Los Juegos Olímpicos de Tokio (1964) significan la presentación al gran público de las enormes posibilidades del nuevo medio. En los 70 aparece la sociedad INTELSAT, que impulsó enormemente las comunicaciones intercontinentales de televisión y

## ÓRBITA CIRCULAR ECUATORIAL PERIODO 24 horas

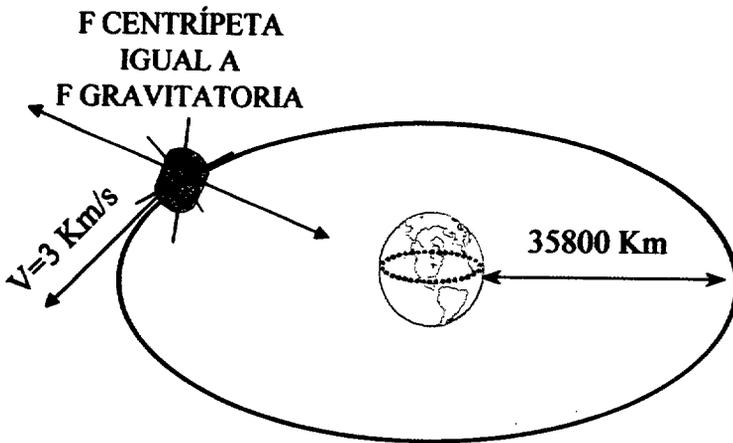


Figura 2. Órbita geoestacionaria.

telefonía. Por entonces ya existen sistemas satélites de cobertura mundial, que permiten las comunicaciones entre dos puntos cualesquiera del globo.

Las estaciones terrenas son en esta época enormes instalaciones que emplean antenas de hasta 32 m de diámetro a las que se conectan los usuarios de extensas áreas geográficas mediante complejas y costosas redes terrestres.

En los años siguientes, y a medida que avanza la tecnología, es posible ir aumentando la capacidad de los satélites y reducir el tamaño, complejidad y potencia de las estaciones terrenas, lo que permite el empleo de terminales más pequeños y sencillos, aumentar su número y, por tanto, su proximidad al usuario.

En los veinte años que separan el 68 del 88, la capacidad de comunicaciones de los satélites INTELSAT, probablemente la generación de mayor importancia, se ve multiplicada por 100, mientras el coste para el usuario se ve reducido en la proporción inversa.

La evolución imparable en estos apenas 30 años ha permitido que hoy en día sea posible la comunicación personal, mediante terminales similares a los empleados por la telefonía móvil terrestre, entre dos usuarios situados en cualquier parte del globo.

### El satélite

El satélite es el elemento más complejo del sistema. La dificultad de acceder a él para hacer reparaciones (prácticamente limitada a los satélites de órbi-

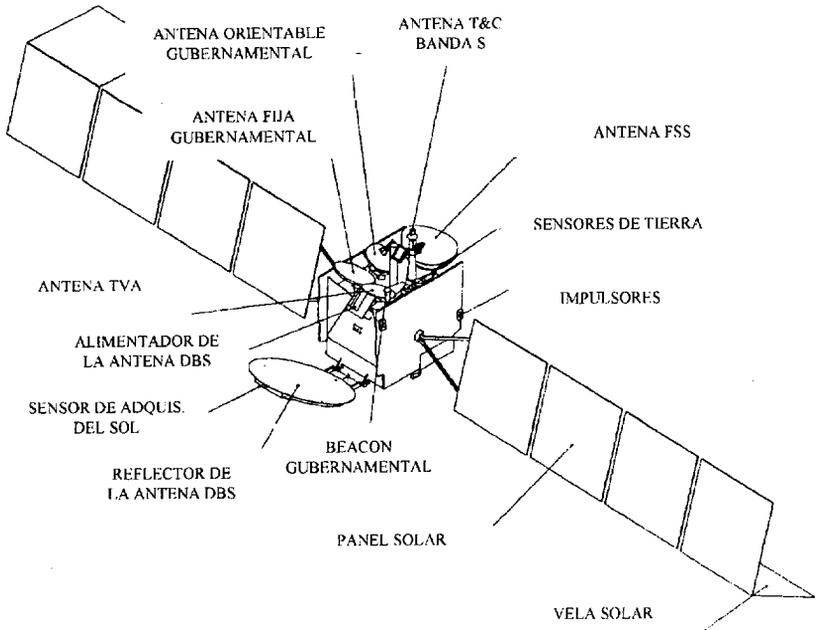


Figura 3. Satélite HISPASAT 1. Configuración de servicio.

ta baja), las numerosas perturbaciones orbitales y las extremas condiciones de temperatura a las que está sometido, obligan a adoptar numerosas medidas que aseguren su supervivencia. Por una parte, es necesaria una elevada redundancia de los elementos críticos (es muy habitual incluso la redundancia del propio satélite manteniendo uno de reserva en las proximidades del operativo que pueda asumir su carga en caso de fallo). Las condiciones ambientales extremas requieren el empleo de materiales especiales y sofisticados sistemas de apantallamiento de radiación (escudos térmicos, espejos de radiación, calentadores, etc.). Las perturbaciones orbitales ocasionadas por el Sol, la Luna, planetas, rozamiento atmosférico, meteoritos y la no perfecta esfericidad terrestre originan la necesidad de incluir complejos sistemas de telemetría, seguimiento y control (usualmente denominados TT&C) que permitan mantener al satélite en su posición orbital con la exactitud exigida.

El satélite debe contar además con sistemas de producción de energía autónomos. Para ello, dispone de placas solares que aportan el suministro energético en los períodos de luz. En aquellos periodos en los que el Sol queda oculto para el satélite (eclipses), el suministro ha de ser proporcionado por las baterías. Valores típicos de consumo energético de un satélite medio rondan los 3 a 4 kWh. Asimismo, una parte importante de la masa al lanzamiento del satélite es debida al combustible (hidracina) necesario para su posicionamiento en

órbita y, posteriormente, para el mantenimiento del puesto (*station keeping*) y estabilización. El adecuado empleo de este combustible es el que normalmente determina la vida útil del satélite.

Como ya se ha dicho, el satélite no es sino un repetidor que recibe, amplifica y reenvía la señal hacia los destinatarios. El principal elemento, desde el punto de vista de las comunicaciones, es el transpondedor, que conecta entre sí una antena receptora con una transmisora. En la actualidad, se habla de transpondedores convencionales y regenerativos. Los primeros, también denominados transparentes, se limitan a amplificar y modificar frecuencia y polarización. Los regenerativos son capaces de efectuar proceso de la señal a bordo del satélite; ello permite mejorar notablemente la calidad del enlace y, por tanto, posibilita el empleo de estaciones menos potentes (menor potencia = menor tamaño de antena) y otorga capacidad de operación en ambientes de mayor densidad de ruido.

Otra parte fundamental del satélite es el sistema de antenas. Así como las antenas de una estación terrestre suelen reducirse a las parabólicas (con o sin *offset*) y *cassegrain*, el satélite dispone de gran variedad de tipos, dependiendo del uso y cobertura al que se destinen. La evolución en la tecnología de antenas permite hoy en día el empleo de complejas antenas multihaz, así como de la generación de diagramas de radiación perfilados, de forma que se adapten en gran medida a una zona geográfica de cobertura determinada.

## Tipos de órbitas

La trayectoria orbital de los satélites está determinada por las leyes de Kepler que, de una forma resumida y teniendo en cuenta la gran diferencia de masas entre Tierra y satélite, podemos enunciar como:

1. La órbita es una elipse en uno de cuyos focos está la Tierra.
2. El área barrida por unidad de tiempo por el satélite en su desplazamiento es constante.
3. El periodo orbital depende exclusivamente de las dimensiones de la órbita.

Teniendo en cuenta la inclinación ( $i$ ) de la órbita respecto al plano ecuatorial, podemos hablar de órbitas ecuatoriales ( $i = 0^\circ$ ), inclinadas y polares ( $i = 90^\circ$ ).

Dependiendo de la forma, se clasifican en circulares y elípticas.

Según su altura, en órbitas bajas (LEO), medias (MEO) o altas (HEO).

La evolución de las órbitas empleadas por las comunicaciones satélites puede parecer un tanto sorprendente, pero tiene una sencilla explicación. En un principio, y debido principalmente a la limitación de los lanzadores cohete

empleados para la puesta en órbita y de la propia impulsión de los satélites, los satélites se inyectaban en órbitas bajas (del orden de los 1.000 a 1.500 km). Un sistema de este tipo requiere un número elevado de satélites que garanticen la presencia de al menos uno sobre el horizonte de la estación. El empleo de órbitas de transferencia, posible una vez que se incorporaron al satélite medios de propulsión adecuados, permitió aumentar la altura de la órbita. A mediados de los 60 se lograba posicionar el primer satélite geoestacionario a una altura de unos 36.000 km por encima del ecuador terrestre. Este tipo de órbita, también denominada Clarke en honor al escritor y científico británico Arthur C. Clarke, se caracteriza por ser circular y ecuatorial y su distancia a la Tierra hace que se equilibren las fuerzas centrípeta y gravitatoria, con lo que el satélite mantiene constante su posición respecto a un observador terrestre. Ha sido la órbita empleada por la mayoría de los sistemas de comunicaciones, si bien en la actualidad los nuevos sistemas tienden nuevamente a las órbitas de menor altura. La órbita geoestacionaria proporciona una cobertura próxima al 45 por 100 de la superficie terrestre con un solo satélite y se alcanza la cobertura global (excepto casquetes polares) con tres satélites.

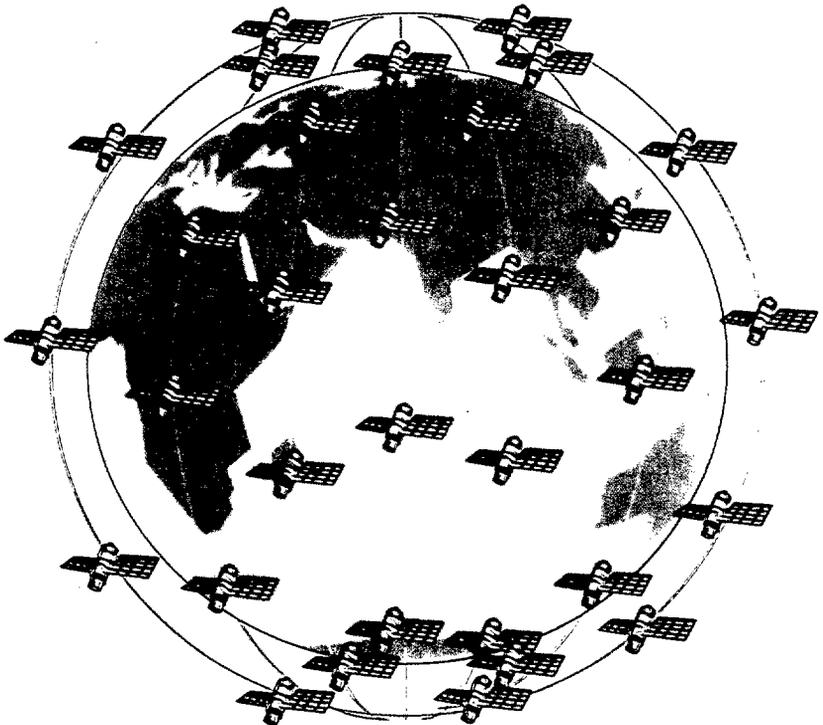


Figura 4. Constelación Iridium: 66 satélites en seis planos polares LEO.

La mala cobertura de los satélites geoestacionarios en las zonas de latitud superior a los  $70^{\circ}$  dio lugar a que la URSS, que poseía amplias extensiones de territorio por encima de los  $65^{\circ}$  N, desarrollara sistemas basados en el empleo de una órbita elíptica inclinada ( $i = 53^{\circ}$ ), cuya geometría estaba calculada para mantenerse durante un gran porcentaje del período orbital visible para tales territorios. La elección de la inclinación de  $53^{\circ}$  atribuía a la órbita unas especiales características de estabilidad. A este tipo de órbita se le denomina Molniya por haber sido el sistema de tal nombre el primero en utilizarla.

A finales de los años 90, diversos sistemas satélite, algunos de ellos aún en desarrollo, han apostado por el empleo de órbitas polares circulares bajas (del orden de los 800 km de altura). Este regreso a los orígenes es debido al interés por posibilitar el empleo de terminales muy reducidos. Dada la proximidad del satélite, es posible emplear potencias (y, por tanto, terminales) muy pequeñas. Por el contrario, tan escasa altura exige constelaciones con un número muy elevado de satélites que aseguren la cobertura permanente y con amplia elevación sobre el horizonte del usuario (66 satélites emplea el sistema Iridium y 288 conformarán la constelación de Teledesic).

En un plano intermedio, que exige potencias sensiblemente menores que los GEO y menor número de satélites que los LEO, se encuentran los MEO, que con constelaciones de cinco a diez satélites proporcionan cobertura global (ODISSEY, GLOBALSTAR).

## **Bandas de trabajo**

La UIT ha atribuido a las comunicaciones vía satélite diversos márgenes de frecuencias que se extienden desde la banda de UHF a la de EHF. Debido a la saturación espectral en las bandas de UHF y SHF, los nuevos sistemas tienden hacia la banda de EHF a pesar de sus peores características en cuanto a propagación (fundamentalmente, mayores pérdidas por propagación en el espacio libre y mayor atenuación atmosférica). La mayoría de los sistemas de comunicaciones militares utilizan la denominada banda X, 8/7 GHz; tal es el caso del SYRACUSE francés, NATO IV, SKYNET IV británico o HISPA-SAT-SECOMSAT español. Obviamente, a medida que se sube en el espectro, es posible emplear anchos de banda mayores; así, el ancho de banda nominal de la banda X es de 500 MHz.

## **Técnicas de acceso múltiple**

Un satélite es normalmente compartido por diversas estaciones. Para permitir esta utilización simultánea es necesario emplear técnicas que se denominan de acceso múltiple. Tres son los principales tipos de técnicas y cada

uno posee una serie de ventajas e inconvenientes que lo adecuan a un determinado tipo de sistema (dependiendo del tipo y número de terminales, fundamentalmente):

- FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia. El ancho de banda total disponible es repartido entre las diversas estaciones con acceso al satélite. Es adecuado para sistemas sencillos, con reducido número de terminales. Es el empleado por el HISPASAT-SECOMSAT.
- TDMA: Acceso Múltiple por División del Tiempo. En este caso, lo que se reparte es el tiempo; cada estación dispone de todo el ancho de banda, pero sólo en el periodo asignado a la estación. Adecuado para sistemas con elevado número de estaciones de muy alta capacidad. Requiere mayores potencias de transmisión que el FDMA.
- CDMA: Acceso Múltiple por División de Código. Asociado a técnicas de ensanchamiento de espectro. Sólo las estaciones que dispongan del código apropiado pueden acceder a la información. Para el resto de estaciones, la transmisión aparece como ruido. Hasta hace poco, su empleo estaba reducido a sistemas militares, debido a su gran resistencia a la perturbación y gran dificultad de acceso a la información; sin embargo, varios sistemas de comunicaciones civiles en desarrollo han decidido emplearlo por sus mejores características de eficiencia espectral, que permiten a un número mayor de usuarios compartir el mismo ancho de banda sin interferencias mutuas.

## Reglamentación

Desde sus orígenes, la UIT comprendió la necesidad imperiosa de reglamentar el empleo de las comunicaciones por satélite. Dos son los principales objetos de reglamentación; por un lado, el relativo a atribución de frecuencias, con objeto de reducir en lo posible las interferencias entre estaciones de convencionales y estaciones de sistemas satélites, y de éstas entre sí; y, por otra parte, el derivado de la proximidad orbital, especialmente grave en el caso de los satélites GEO. Hoy en día son más de 400 los satélites posicionados en el denominado cinturón de Clarke, la mayoría de los cuales se concentran en las longitudes correspondientes a Norteamérica y Europa.

## Las ventajas del satélite

Ciñéndonos al terreno militar, podemos sintetizar las ventajas de las comunicaciones satélite en las siguientes:

- Larga distancia.
- Amplia cobertura.
- Flexibilidad.
- Gran ancho de banda.
- Elevada capacidad.
- Confianza.
- Invulnerabilidad.

La guerra del Golfo, la única guerra en la que se emplearon de forma masiva las comunicaciones vía satélite, ha sido la mayor demostración de las enormes posibilidades que éstas ofrecen. En apenas un par de meses y en un teatro de operaciones en el que las fuerzas aliadas no disponían de infraestructura previa, se logró la conexión de más de un millar de terminales, con una capacidad total de más de 100 Mbps.

Mención especial requiere la invulnerabilidad. La destrucción de un sistema satélite requiere bien la destrucción del propio satélite, algo enormemente difícil dada su distancia a la Tierra, o de las estaciones terrenas. El riesgo de destrucción de las estaciones se reduce mediante el empleo de terminales transportables. Por otra parte, los sistemas satélites militares suelen contar con complejos sistemas que los hacen casi invulnerables a perturbaciones electrónicas (antenas *nulling*, TT&C multifrecuencia, encriptado, espectro ensanchado, etc.). Durante la década de los 80, estadounidenses y soviéticos desarrollaron proyectos de satélites asesinos, que portaban armamento capaz de destruir los satélites enemigos, en lo que popularmente se conoció como *guerra de las galaxias*. El más avanzado de los satélites militares, el MILSTAR (Estados Unidos), está provisto de sofisticados sistemas de protección que le permitirían soportar ataques láser y hasta nucleares.

## HISPASAT

El sistema HISPASAT es un sistema dual, civil y militar, con las ventajas e inconvenientes derivados de tal circunstancia. Permite dotar a nuestras Fuerzas Armadas de un sistema de comunicaciones vía satélite propio, pero al mismo tiempo es necesario compatibilizar las exigencias de los otros usuarios no militares. En la actualidad, el sistema trabaja con dos satélites geoestacionarios en la posición nominal 30° W (vertical sobre Brasil) y, salvo en su parte militar, se encuentra trabajando al límite de sus posibilidades, por lo que el lanzamiento del 1C es inminente y probablemente esté operativo a principios de 2000.

El HISPASAT 1 soporta cuatro misiones, denominadas:

*DBS: Servicio de Radiodifusión Directa por Satélite (\*):*

Proporciona cinco canales de alta potencia de 27 MHz de ancho de banda, para radiodifusión directa y TV sobre una zona de cobertura que contiene fundamentalmente Península, Canarias y Europa Occidental.

*FSS: Servicio Fijo por Satélite (\*):*

Proporciona 16 canales de comunicaciones de propósito general que pueden ser empleados para telecomunicaciones o TV. Para ello cuenta con 16 transpondedores: ocho de 36 MHz, cuatro de 54 MHz y cuatro de 72 MHz.

*TVA: Televisión América (\*):*

Transporta dos canales de televisión directa sobre una zona de cobertura que busca las zonas de habla hispana del continente americano.

*Gubernamental (SECOMSAT):*

Proporciona dos canales de 40 MHz y un tercero de cinco MHz que permiten diversas interconexiones entre las distintas coberturas gubernamentales (GUB):

- Fija.
- Orientable.
- Global.

La cobertura fija proporciona recepción a aquellos terminales que se encuentran localizados geográficamente en la zona de Europa Occidental y norte de África. La potencia de la señal (PIRE) es obviamente mejor en la zona central de tal cobertura. Al ir disminuyendo la PIRE es necesario contar con antenas de mayor ganancia (mayor diámetro) capaces de suplir la pérdida en potencia.

La cobertura orientable es proporcionada por una antena de reflector móvil, que permite disponer de una amplia zona de cobertura (de unos 3.000 km de diámetro) situable en cualquier zona dentro de la de visión del satélite (aproximadamente la comprendida entre los 110° W y 50° E), con la limitación adicional entre los 70° N y 70° S propia de los satélites GEO.

---

(\*) Los datos se refieren al conjunto de los dos satélites 1A y 1B.

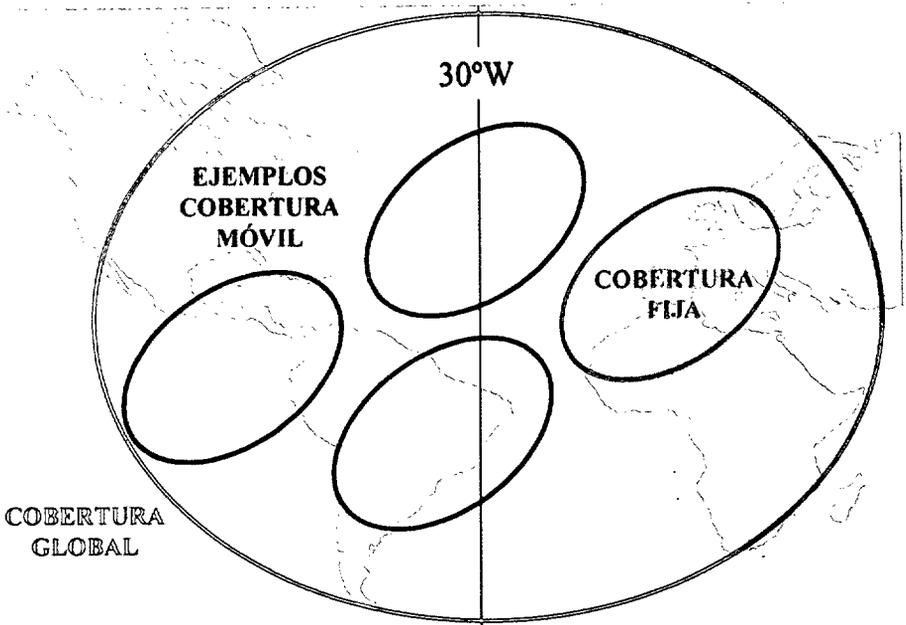


Figura 5. Coberturas de la Misión Gubernamental.

El segmento terreno del SECOMSAT está constituido por tres estaciones terrenas fijas (Bermeja, Torrejón y Hoya Fría) y alrededor de 40 terminales móviles, entre portátiles, tácticos, conmutados y navales.

El responsable del empleo del SECOMSAT (como parte integrante del Sistema Conjunto de Telecomunicaciones Militares, SCTM) es el JEMAD, a través de la 5.ª División del EMACON. Existen diversas publicaciones que regulan el empleo del sistema, atribuyen responsabilidades a las distintas agencias implicadas y establecen los procedimientos de solicitud y acceso al satélite por los mandos usuarios.

### Las comunicaciones vía satélite en la Armada

En la actualidad, existen siete unidades navales (*Príncipe de Asturias, Reina Sofía, Navarra, Canarias, Numancia, Patiño y Galicia*) dotadas de terminales satélite capaces de trabajar en la banda X. Los terminales TNX-100 son esencialmente los SCOT británicos, a los que se ha dotado de módems que permiten su empleo tanto con el HISPASAT (FDMA) como con el NATO IV o SKYNET IV (CDMA). Está previsto que la nueva LPD y las cuatro F-100 dispongan asimismo de terminales.

Las principales características del terminal naval son las siguientes:

- Margen de frecuencias de transmisión..... 7,9 - 8,4 GHz.
- Margen de frecuencias de recepción..... 7,25 - 7,75 GHz.
- Diámetro de las antenas..... 1,6 m.
- Ganancia de la antena en transmisión..... 39,8 dB.
- Ganancia antena en recepción..... 38,5 dB.
- PIRE máx..... 7i dBW.
- Ancho de haz (3 dB)..... 1,6.
- Polarización tx/rx..... RHCP/LHCP.
- Modulación..... QPSK a 64 Kbps.
- Potencia máxima del HPA..... 2.100 kW.



Figura 6. Antena cassegrain de 11 m de la estación de anclaje de Bermeja.

Utilizando doble portadora multiplexada en frecuencia, es posible la transmisión simultánea de ocho canales de datos y ocho de voz.

Dependiendo del satélite al que se acceda, habrá de emplearse el módem adecuado (FDMA o CDMA).

La estación de Bermeja (Madrid) es la responsable del control de la carga útil gubernamental y actúa asimismo como estación de anclaje principal que permite la interconexión a las distintas redes terrestres (SCTM, RMWEA, RCT...) y posibilita el enlace de mandos en tierra con unidades dotadas de terminales móviles. En la Base Aérea de Torrejón se encuentra localizada una segunda estación de capacidad similar.

En cuanto a la Infantería de Marina, dispone de un terminal táctico (transportable) y comparte el uso de los terminales *manpack* (portátiles de

antena de 0,6 m) del Ministerio de Defensa (alrededor de 18 en la actualidad).

## El futuro

Existen diversos terrenos en desarrollo en la actualidad que permiten augurar un continuo crecimiento y dependencia de las comunicaciones vía satélite.

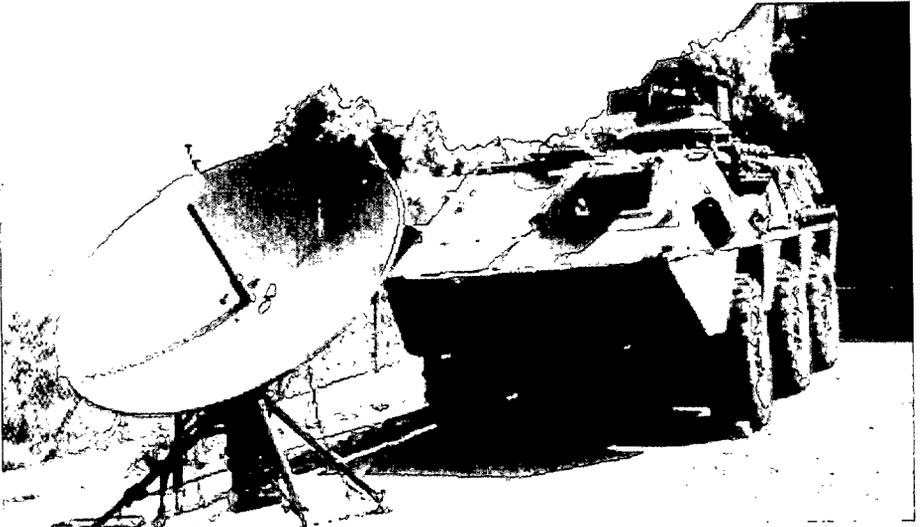


Figura 8. Terminal táctico transportable.

A pesar de la competencia creciente de la fibra óptica (gran ancho de banda, mínima atenuación, difícil perturbación), es evidente que ésta no podrá desplazar a la comunicación vía satélite en campos tales como la comunicación global (marítima), el acceso a móviles o radiolocalización. Además, las comunicaciones vía satélite asumirán la función de vía redundante de aquellas comunicaciones que se efectúen mediante fibra óptica.

En los próximos años, la evolución del satélite se basará en el empleo de frecuencias más elevadas (incluso se trabaja en el campo láser, con interesantes perspectivas para la comunicación con submarinos dada su elevada penetración en el agua), el enlace intersatélite, las técnicas de acceso múltiple, espectro ensanchado, así como las derivadas del perfeccionamiento en tecnología de antenas, amplificadores, etc. Dentro de muy pocos años, la comunicación personal global será algo cotidiano, y con un minúsculo teléfono portátil podrá enviarse a cualquier parte del globo información en cualquier tipo (voz, datos, vídeo...). ¿Y a quién beneficiará más esta evolución? Comunicaciones móviles, globales, rápidas, de confianza, de muy alta capacidad, flexibles, seguras, multitipo, ¿no es una buena definición del ideal de las comunicaciones navales?