

# SATÉLITES DE COMUNICACIONES DE LA DEFENSA

Por LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA  
y LUIS PUEYO PANDURO

## **Ventajas que ofrece el espacio**

La utilización del espacio para la explotación de las redes de comunicaciones al servicio de la Defensa Nacional tiene una serie de ventajas de las que a continuación se citan las más importantes:

— *Capacidad de canales.*

El empleo de frecuencias del orden de los Gigaherzios (Ghz) para los enlaces tierra-satélites permite disponer de ancho de banda suficiente para la transmisión de numerosos canales de voz, datos y telegráficos.

— *Fiabilidad.*

La tecnología disponible actualmente y el empleo de sistemas redundantes permite un elevado grado de fiabilidad, tanto en las estaciones espaciales como en las terrestres.

— *Supervivencia.*

Actualmente no es factible el ataque físico a un satélite geoestacionario de comunicaciones, por lo que las probabilidades de supervivencia física del sistema son elevadas.

El principal ataque al sistema de comunicaciones militares por satélite procede del sistema de contramedidas electrónicas del enemigo.

— *Enlaces a muy largas distancias.*

El medio más seguro de establecer comunicaciones fiables a distancias muy largas que no estén afectadas por perturbaciones

naturales (tipo meteorológico, ionosférico y similares) ni necesiten el empleo de repetidores intermedios es el satélite de comunicaciones.

### **Tipos de órbitas. Órbita geoestacionaria**

En la actualidad, la mayoría de los satélites de telecomunicaciones están situados en órbita geoestacionaria. Esta órbita es un caso particular de las órbitas geosíncronas, que se definen como órbitas en las que el satélite se mueve con la misma velocidad angular que la Tierra y la misma dirección. En consecuencia, el período orbital es igual a un día sideral (23 h, 56 m).

El único parámetro orbital que queda determinado por esta condición es el semieje mayor de la elipse, cuyo valor es de 42.165 km.

El satélite, visto desde la Tierra, describe una curva cerrada cada día. La forma y dimensiones de la curva dependen de los demás parámetros orbitales y se reducen dimensionalmente a medida que la inclinación y la excentricidad disminuyen.

Cuando la órbita es circular, esta curva tiene la forma de un ocho, y cuando además la inclinación es nula, es decir, la órbita es ecuatorial, la curva se reduce a un punto y el satélite está fijo respecto a la Tierra. La órbita entonces se denomina geoestacionaria y se encuentra a una altitud de 35.787 km.

Esta situación es ideal para el enlace entre la Tierra y el satélite, por lo que son muy numerosas las aplicaciones en las que se utiliza esta órbita, tanto civiles como militares, y muy especialmente en comunicaciones.

La línea geométrica (circunferencia) de la órbita geoestacionaria es única, y en consecuencia es un recurso limitado, por lo que se plantean serios problemas de distribución entre los usuarios, debido a que un satélite origina interferencias sobre los satélites próximos.

La distribución de la órbita geoestacionaria entre los usuarios se debe resolver a nivel internacional. Para ello se ha establecido una normativa de coordinación que resuelve la ITU (*International Telecommunications Union*). Para los satélites civiles esto se está haciendo progresivamente más difícil.

En el caso de los satélites militares de comunicaciones que utilizan la órbita geoestacionaria, la situación no es aún crítica, debido a que el número de satélites es reducido y a que las frecuencias asignadas al empleo militar son distintas a las del empleo civil. Sin embargo, los satélites militares pueden ser objeto de interferencias provocadas.

Algunos sistemas de satélites militares de comunicaciones tienen órbitas muy diferentes de la geoestacionaria por diversas razones.

El caso más típico es el de los sistemas de comunicaciones soviéticos, que si bien para uso civil utilizan también, aunque no exclusivamente, satélites geoestacionarios, para los sistemas militares utilizan una red táctica con satélites en órbita baja y el sistema MOLNIYA para servicio del hemisferio norte, cubriendo las latitudes más elevadas del territorio de la URSS.

El sistema táctico emplea numerosos satélites en órbita baja, lo que facilita la comunicación con equipos de baja potencia y en consecuencia es un sistema idóneo para la red de inteligencia. Otras ventajas son la dificultad de captar las emisiones, dirigidas dentro del territorio soviético, y la dificultad de neutralización del sistema (porque, aunque los satélites son accesibles a los sistemas ASAT, debido al gran número de unidades utilizadas, sería muy difícil la destrucción de todos).

El sistema MOLNIYA, utilizando órbitas muy excéntricas, con un apogeo de 40.000 km situado en el hemisferio norte e inclinación de 63 grados y con un total de ocho satélites que se suceden sobre el territorio soviético, consigue la cobertura permanente.

Otro sistema futuro, el MILSTAR de los EE.UU., utilizará ocho satélites en órbita geosíncrona. Cuatro en órbita geoestacionaria y cuatro en órbita de inclinación elevada, a fin de tener cobertura polar, de modo que la cobertura global queda asegurada. Este sistema utilizará las frecuencias de 44 Ghz para enlace ascendente y de 20 Ghz para el descendente, y la frecuencia de 66 Ghz para enlace entre satélites.

## **Requerimientos de la Defensa**

Evidentemente, los requerimientos de la defensa en materia de comunicaciones espaciales son establecidos por cada país, o por cada bloque militar, de conformidad con sus necesidades y con sus posibilidades técnicas y económicas.

Los requerimientos se clasifican como:

- De aplicación.
- De confiabilidad.
- De seguridad.

Estos requerimientos se explican a continuación:

### *Requerimientos de aplicación*

Los requerimientos de aplicación se establecen por el usuario, principalmente los organismos de defensa (aunque no exclusivamente), de cada país

o bloque. Además de la defensa, pueden ser usuarios del sistema otros órganos gubernamentales con competencias en otros sectores, como la diplomacia, la protección civil, etc.

Los requerimientos se definen a partir de la utilización. Con ello se determina la cobertura, de la que se obtiene el número de satélites del sistema y las especificaciones técnicas completas del sistema.

El mayor espectro de requerimientos de aplicación se presenta, sin duda, en los sistemas de comunicaciones militares de los EE.UU. que se describirán posteriormente.

Sin embargo, hay requerimientos específicos de algunos países. Es característico en el caso de la URSS, la utilización de un sistema de numerosos satélites en órbita baja, que permiten la transmisión de información con emisiones de baja potencia, por los agentes soviéticos distribuidos en todo el globo, y el registro de esta información a bordo y su retransmisión a tierra a su paso sobre el territorio soviético.

El sistema británico SKYNET se ha concebido especialmente para las comunicaciones entre la metrópoli y las unidades de la armada destacadas en el Extremo Oriente.

En el sistema francés SYRACUSE, constituido por una carga útil militar integrada en el satélite de comunicaciones civiles *Telecom*, un requerimiento específico militar es el enlace con el área de Nueva Caledonia.

El sistema español HISPASAT sigue la misma constitución que el sistema SYRACUSE, ya explicado. Los requerimientos son más simples porque España no tiene unidades militares destacadas en zonas lejanas, y en consecuencia, la cobertura se limita a la península, las islas Baleares y Canarias y una zona marítima, limitada, para servicio de la Armada.

#### *Requerimientos de confiabilidad*

La confiabilidad en el aspecto técnico está relacionada con las frecuencias a utilizar, con la redundancia del equipo, con la disponibilidad de unidades de reserva, con el correcto control de los satélites, etc.; es decir, son condiciones similares a las que caracterizan la confiabilidad de los sistemas civiles comerciales, con las diferencias respecto a los sistemas militares que éstos requieren estaciones de tierra con capacidad de movilidad, mediante un transporte fácilmente aplicable o estaciones totalmente móviles.

Sin embargo, la confiabilidad de los sistemas militares está también asociada a la capacidad de operación cuando están sometidos a acciones agresivas del enemigo.

Estas agresiones pueden ser de diversos tipos y se pueden aplicar contra el segmento espacial, contra el segmento terrestre o contra los enlaces entre ambos segmentos.

Los procedimientos de agresión y las posibles contramedidas aplicables que se pueden identificar son los siguientes:

### *Requerimientos de seguridad*

Las transmisiones militares tienen requerimientos de seguridad contra dos tipos de agresiones:

- *Pasivas*: La lectura o escucha de informaciones por receptores a los que no van destinadas, particularmente por el enemigo.
- *Activas*: Además de las interferencias que afectan a la confiabilidad, que se han considerado anteriormente, hay una agresión activa, especialmente perjudicial, que consiste en que el enemigo puede inyectar su propia señal en el enlace de telemando de modo que puede operar el satélite dentro de sus límites de capacidad.

Los requerimientos de seguridad consisten en asegurar la protección contra estas agresiones.

A fin de conseguir la protección contra el conocimiento por el enemigo de las señales captadas, se utiliza la criptografía.

La técnica de la criptografía ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas y ha pasado de técnicas andróginas de transposición y sustitución de caracteres a técnicas digitales cifrando por métodos aleatorios muy complejos y de difícil descripción con las técnicas actuales. Todo mensaje cifrado, se acaba descifrando, pero lo importante es que cuando se consiga descifrarlo, la información no sea útil para el enemigo.

Respecto a la inyección de señales por el enemigo en el enlace ascendente, la protección utilizada es la de firmas digitales en las señales verdaderas que permiten conocer su autenticidad.

### **Vulnerabilidades de los satélites**

#### *Destrucción del satélite con sistemas ASAT*

Los sistemas ASAT existentes en la actualidad solamente son aplicables a satélites en órbita baja. En consecuencia, solamente podrían utilizarse contra el sistema soviético de satélites en órbita baja. Sin embargo, este sistema ya se ha concebido con su contramedida a esta agresión, porque

está constituido por un número muy elevado de satélites (entre 20 y 30) a 1.300 km de altitud, además de otra constelación de tres satélites a 800 km de altitud que, evidentemente, sería más fácil neutralizable.

Dado el número elevado de satélites y la continuidad en su reposición (del orden de 20 al año), resultaría muy difícil la destrucción total del sistema, aunque se podría reducir su capacidad con la destrucción de algunas unidades.

### *Destrucción del segmento terrestre*

Implica el ataque a objetivos fijos en territorio enemigo o a blancos móviles, como buques o aviones. El segmento terrestre está constituido por la estación de control del satélite (que generalmente se considera parte del segmento espacial y que sería el objetivo ideal para neutralizar el satélite) y por las estaciones de operación del sistema, que pueden ser muy numerosas y fijas o móviles.

La estación de control estará protegida con todas las medidas posibles, incluso por la redundancia. Así que la neutralización total del segmento terrestre es una operación militar de extrema dificultad.

### *Neutralización de equipos mediante explosiones nucleares en el espacio exterior*

La explosión nuclear produce un intenso impulso electromagnético (EMP) que afecta considerablemente a gran número de elementos del equipo de comunicaciones.

La explosión nuclear elevada está asociada a dos tipos de efectos electromagnéticos de diferente naturaleza, pero ambos relacionados con todo el espectro electromagnético en la banda de longitudes de onda superior al infrarrojo, desde las ondas milimétricas a las ondas más largas.

El primer efecto, corresponde a la emisión de un impulso electromagnético de muy corta duración originado por la explosión (este efecto se puede producir también en detonaciones de explosivos químicos convencionales).

Si la explosión se produce hacia los 40 km de altitud, los efectos térmicos y mecánicos, tan devastadores en una explosión nuclear cerca de la superficie, son despreciables. De la energía total de la explosión solamente persiste una radiación gamma intensa que corresponde aproximadamente al 1 por 100 de la energía total de la bomba, y se localiza en una esfera de un espesor de 2 a 3 m, centrada en el punto de explosión que se expande a la velocidad de la luz.

La expansión de la esfera tiene una incidencia directa sobre satélites en el espacio hasta distancias considerables, del orden de miles de km, pero además la expansión hacia la superficie tiene como consecuencia la interacción con la atmósfera, que se inicia a unos 40 km y que produce el segundo tipo de efecto, debido a la alteración de las propiedades eléctricas de la atmósfera. Este efecto es el que se acusa en las capas de la atmósfera, produciendo perturbaciones en las comunicaciones y en el radar, y en particular, en la superficie, afectando a las instalaciones.

En las instalaciones terrestres, se pueden aplicar medidas de protección, o de «endurecimiento», basadas en los mismos criterios que se utilizan contra agresiones electromagnéticas.

Respecto al segmento espacial, el efecto nocivo resulta de la interacción de la radiación gamma con los equipos del satélite. Este aspecto es menos conocido por el carácter confidencial de los trabajos teóricos y experimentales realizados con simulación de la radiación. Sin embargo, es bien conocido que se aplican procedimientos de protección, o de «endurecimiento» del satélite contra el EMP; es decir, protección de los elementos sensibles a la radiación gamma en los satélites militares de las últimas generaciones.

En resumen, un requerimiento actual de la Defensa es la protección de los segmentos espacial y terrestre de los sistemas espaciales de comunicaciones contra los efectos del EMP originado por las explosiones nucleares en el espacio.

### *Acción sobre las transmisiones*

El enlace, en doble sentido, entre el satélite y tierra es el elemento más vulnerable de la cadena de comunicación.

Las acciones que puede realizar el enemigo para inutilizar las transmisiones son de dos tipos, unas afectan a la confiabilidad, que se consideran en este apartado. Otras, que afectan a la seguridad, se consideran posteriormente.

Un sistema de comunicaciones militares tiene requerimientos respecto a la confiabilidad que comprenden:

- Prescripciones para asegurar la operación del equipo a bordo y del equipo de tierra.
- Medidas para asegurar que las causas naturales no perturban la transmisión.
- Disposiciones contra las acciones del enemigo.

Los dos primeros, son similares a los de los sistemas civiles y están asociados a la calidad de los equipos, precisión de apuntado, redundancias

y utilización de frecuencias no perturbadas por fenómenos naturales. Sin embargo, el nivel de confiabilidad requerido en sistemas militares puede ser superior, particularmente para algunas aplicaciones como las relacionadas con la transmisión de órdenes para proceder a un ataque nuclear.

Los sistemas americanos AFSATCOM y MILSTAR, que se describen posteriormente, son un ejemplo de esta aplicación.

Las acciones del enemigo que afectan a la confiabilidad consisten esencialmente en producir interferencias que imposibiliten la separación de la señal oculta por el ruido intenso de éstas. Para evitar este efecto se utilizan las técnicas usuales de ECCM.

### **Sistemas de comunicaciones de los EE.UU.**

Los sistemas militares de comunicaciones espaciales en los EE.UU. se han configurado para cumplimentar los requerimientos de tres grandes grupos de usuarios:

- Usuarios de banda ancha (UHF/SHF), de servicio fijo, representados por el sistema DSCS (*Defence Satellite Communications System*).
- Usuarios tácticos/móviles, representados por el sistema FITSATCOM (*Fleet Satellite Communication*).
- Usuarios de capacidad nuclear, representados por el sistema AFSATCOM (*Air Force Satellite Communications*).

Sin embargo, no sólo no se trata de sistemas totalmente independientes, sino que también se complementan con otros sistemas, no específicamente militares. Se señala esto para poner de manifiesto la interacción civil y militar en EE.UU., que para esta aplicación llega hasta el nivel operacional.

El valor operacional militar de los sistemas y su flexibilidad de empleo se mejoran notablemente mediante su interconexión, ya sea a través de estaciones de tierra (por ejemplo, el satélite *DCS III* se enlaza con los usuarios del sistema AFSATCOM a través de los terminales de tierra DSDC), o directamente mediante enlaces entre satélites. Para este fin se desarrollan enlaces inter-satélites en láser y en EHF.

A continuación se presenta una breve descripción de los sistemas:

*Defense Satellite Communications System (DSCS)* (Sistema de comunicaciones de la Defensa por satélites).

El DSCS es el sistema principal de telecomunicaciones a nivel global para el DOP (*Department of Defence-Departamento de la Defensa*) y determinadas agencias del Gobierno. En el interior de los EE.UU. el DSCS utiliza ampliamente canales de comunicación alquilados a empresas comerciales.



La función principal del DSCS es proveer de canales de voz y datos para fines militares u otros de carácter gubernamental en emplazamientos fuera del país, tanto a bases fijas como a unidades móviles y tácticas. Además de esta función, el DSCS atiende a las necesidades de:

- *World Wide Military Command and Control System* (WWMCCS) (Sistema militar mundial de mando y control).
- *National Command Authorities* (NCA). (Comandante en jefe de las Fuerzas Armadas nacionales).
- *Ground Mobile Forces* (GMF). (Fuerzas móviles terrestres).
- *Diplomatic Telecommunications System* (DTS). (Sistema de telecomunicaciones diplomáticas).
- Determinados aliados.

El DSCS es un sistema de alta capacidad, que opera en SHF (8/7 Ghz), y permite las comunicaciones a escala mundial de mando y control, de tráfico administrativo, información de inteligencia y de situaciones de crisis.

El sistema se ha iniciado experimentalmente en la década de los sesenta, su plenitud operacional se ha conseguido con el sistema DSCS II, cuyo primer satélite se inyectó en órbita en noviembre de 1971.

### SISTEMA DSCS II

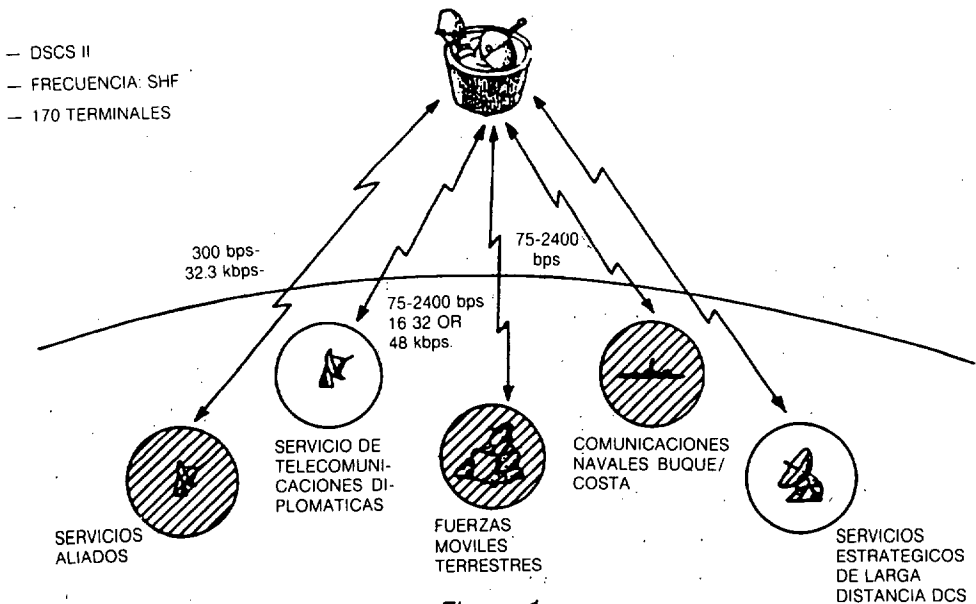
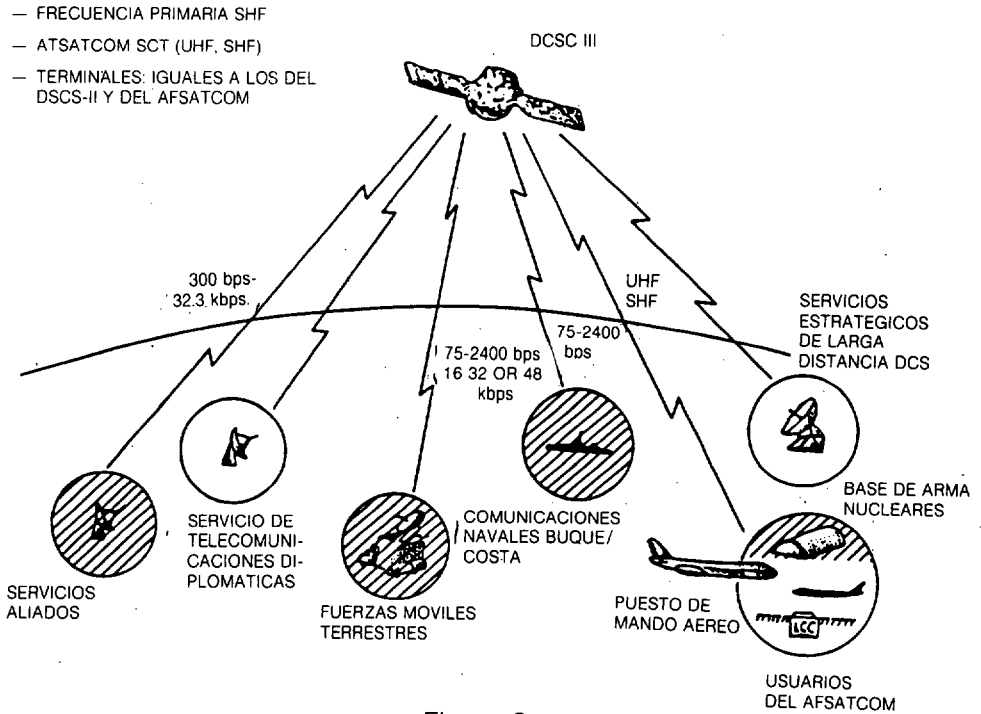


Figura 1

## SISTEMA DSCS III



Los satélites se sitúan en órbita geosíncrona con una pequeña inclinación respecto al ecuador.

En los Anexos (tablas 1 y 2, pp. 34-35) figuran las características principales de los satélites del sistema DSCS II y del DSCS III.

En las figuras 1 y 2 se presentan esquemas simplificados de los sistemas citados.

*Fleet Satcom Communication System (FLTSATCOM). (Sistemas de Comunicaciones por satélite de las flotas norteamericanas)*

El sistema FLTSATCOM satisface los requerimientos de comunicaciones vía satélite de la Armada norteamericana en UHF.

Los satélites, están equipados con el transponder AFSATCOM para uso operacional de alta prioridad de las Fuerzas Aéreas.

Los satélites *FLTSATCOM* se han puesto en órbita en febrero de 1978, mayo de 1979 y enero y octubre de 1980, estos satélites constituyen el elemento esencial del segmento espacial del sistema.

Los satélites están constituidos por un módulo de carga útil, que incluye las antenas, y un módulo de plataforma con paneles solares. Ambos módulos son exagonales. El módulo de carga útil contiene el equipo de comunicaciones de UHF, de SHF y las antenas. El módulo de plataforma incluye los equipos de los subsistemas, de control de actitud, telemetría y telemando, potencia y distribución, baliza para seguimiento, motor de apogeo, etc.

Las características de los satélites se exponen en el Anexo (tabla 3, pp. 36-37).

Además de los cuatro satélites mencionados puestos en órbita para establecer el sistema, se han construido inicialmente dos de repuesto y otros tres más posteriormente, para la sustitución de los satélites del sistema a medida que quedaran fuera de servicio.

En la figura 3 se muestra un esquema simplificado del sistema *FLTSATCOM*.

### SISTEMA *FLTSATCOM*

- FRECUENCIAS: UHF, SHF
- 1000 TERMINALES

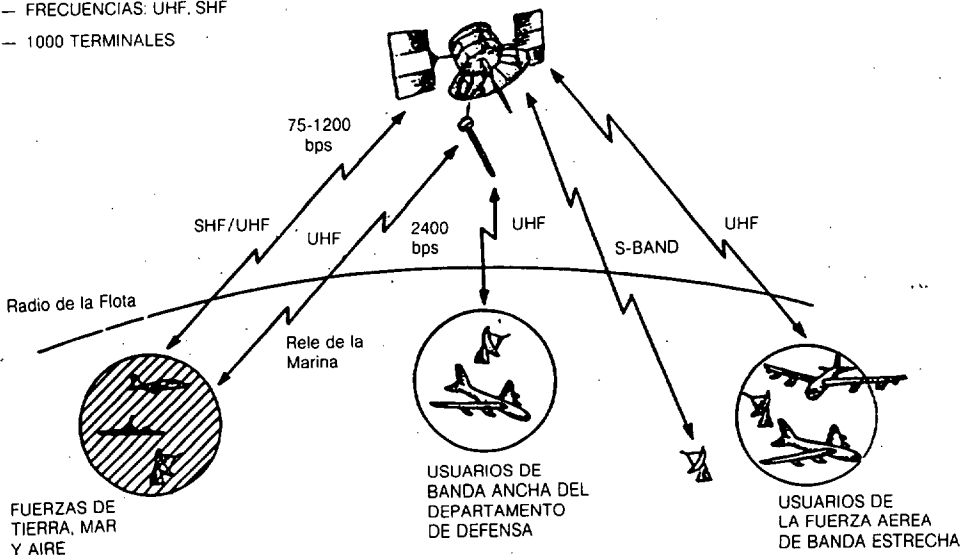


Figura 3

Air Force Satellite Communications System (AFSATCOM). *Sistema de comunicaciones por satélite de las Fuerzas Aéreas*

Proporciona comunicaciones de mando y control a las autoridades del Mando Nacional (*National Command*), Junta de Jefes de Estado Mayor, los Comandantes en Jefe militares, las fuerzas nucleares y ciertos usuarios de alta prioridad.

La característica de este sistema es el requerimiento operacional de que debe operar en un ambiente bélico caracterizado por radiación nuclear, interferencias y elevada potencia de energía electromagnética en todo el espectro.

Su forma típica de utilización es el empleo de mensajes breves de baja velocidad y con el uso de técnicas anti-interferencias, lo que permite el empleo de dispositivos simples para terminales de baja potencia en aviones de bombardeo, puestos de mando aerotransportados y centros de control de lanzamiento de ICBM.

La capacidad inicial del AFSATCOM se ha conseguido integrando el transponder AFSATCOM en los satélites *FLTSATCOM* de la Navy y en los satélites *SDS (Satellite Data System)* de la Air Force. El sistema SDS es parte del programa AFSATCOM.

El sistema AFSATCOM opera en UHF y provee comunicaciones en acceso múltiple a terminales en tierra, en aviones (B-52, F-111, EC/RC-135, KC-10, E-4B y TACAMO), en Centros de control de lanzamiento de misiles estratégicos *Titan* y *Minoteman* y en los puestos de mando de la fuerza estratégica.

Los terminales de AFSATCOM están desplegados en los elementos de fuerza del *Single Integrated Operational Plan*, de operaciones en casos de crisis y de operaciones de emergencia.

Los terminales de aviones y de tierra son idénticos excepto en la configuración de las antenas y la alimentación de potencia. La *Rockwell International* suministra estos terminales que se han instalado en puestos de mando aéreos, en aviones B-52, FB-111, cisternas, aviones de reconocimiento y en los TACAMO de la Navy, en los centros de control de lanzamiento de misiles y en centros de mando en tierra.

El terminal es de diseño modular, lo que permite integrar los módulos necesarios para el enlace visual entre los terminales a bordo y los terminales en tierra.

Todos los terminales proveen comunicaciones en doble sentido de teletipo en canales normales UHF, utilizando modulación por desviación de frecuencia (*Frequency Shift Keying*) (FSK) a 75 bps.

El elemento fundamental del terminal es el transmisor-receptor, que es común a todos los tipos de terminales. Este módulo opera en el intervalo de frecuencia de 225 a 400 Mhz, con una separación de 25 Khz entre canales.

En la figura 4 se presenta un esquema simplificado del sistema AFSATCOM.

### SISTEMA AFSATCOM

- EQUIPOS DE COMUNICACIONES A BORDO DE SATÉLITES
- FRECUENCIAS: UHF, SHF
- 75 bps
- 1100 TERMINALES

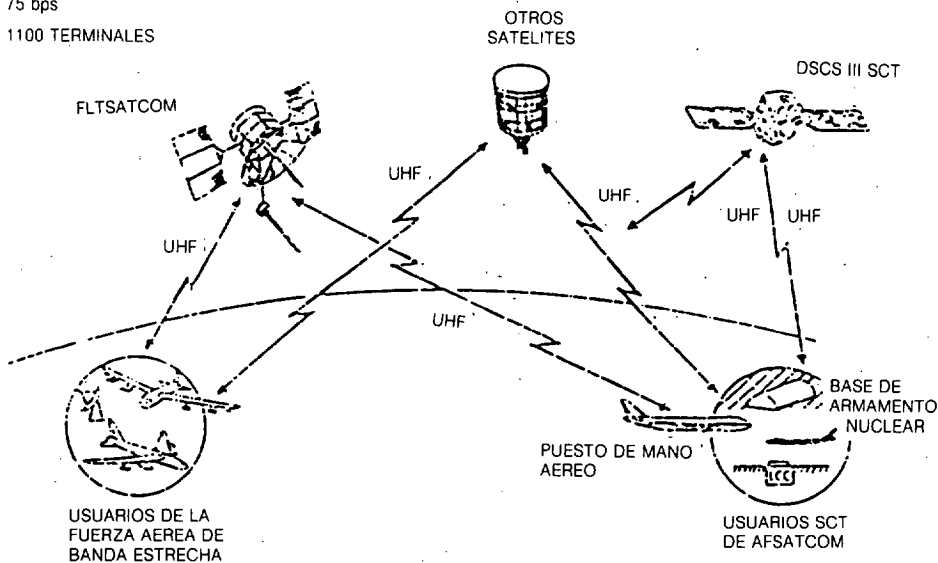


Figura 4

#### Single Channel Transponder (SCT) Injection Subsystem (SCTIS) del DSCS III (Transponder de un solo canal)

El SCT del satélite DSCS III transmite en UHF de modo que es compatible con los terminales UHF de AFSATCOM.

El DSCS III permite en consecuencia el enlace entre los terminales del sistema DSCS y los terminales del AFSATCOM en UHF.

#### Satellite Data System (SDS) (Sistema de datos por satélite)

Los satélites de los sistemas FLTSATCOM y DSCS están situados en órbitas geosíncronas por lo que la cobertura de las zonas polares queda excluida.

Los satélites del sistema SDS están situados en una órbita elíptica con una inclinación de 63 grados, similar a la utilizada por los satélites soviéticos *Molniya*. El sistema suministra enlace transpolar para mando (en tiempo real), control y comunicaciones para el sistema AFSATCOM y servicio con la estación de ASTF en Thule (Groenlandia).

El Futuro del SDS depende esencialmente del desarrollo del programa MILSTAR, puesto que este sistema prolongará las comunicaciones estratégicas que realizan los satélites SDS.

### Military Strategic, Tactical and Relay (*MILSTAR*)

Se trata del sistema espacial de comunicaciones militares de desarrollo más avanzado en los EE.UU. y atenderá las necesidades estratégicas de las fuerzas nucleares y las necesidades prioritarias de las fuerzas tácticas móviles.

Un aspecto esencial en la concepción del sistema ha sido la seguridad en su operación, a cuyo fin se utiliza el enlace satélite-satélite para comunicaciones y control. Se han adoptado unas frecuencias muy elevadas, 20 Ghz para el enlace descendente y 44 Ghz para el ascendente por ser muy difíciles de interferir y presentan además otras ventajas evidentes, como el incremento de anchura de banda y la utilización de pequeñas antenas.

Los enlaces descendentes de 20 Ghz son compatibles con los planeados para los satélites *DSCS III*.

La utilización del enlace ascendente en EHF permite el empleo de antenas de dimensiones reducidas para formar haces estrechos. La transmisión se extiende en un ancho de banda de 1 Ghz. Con la técnica actual, es prácticamente imposible interferir esta transmisión desde fuera del haz.

La doble misión estratégica y táctica de MILSTAR ha derivado de conceptos anteriores de la utilización del espacio para estos fines.

La misión estratégica se ha derivado del concepto previo del *Strategic Satellite System*.

La misión táctica se ha derivado del programa anterior del *Tactical Satellite Communications* (TACSATCOM) que no se ha llegado a establecer como un sistema operacional, principalmente por dos serios inconvenientes:

- La vulnerabilidad de la transmisión en UHF por las interferencias.
- El ancho de banda reducido que se puede utilizar en esta frecuencia.

El segmento espacial de MILSTAR está constituido por una constelación de 8 satélites en órbita geosíncrona. Cuatro de estos satélites se situarán en órbita ecuatorial (geoestacionaria) para dar cobertura a las áreas del Atlántico, del Pacífico, del Índico y del Norte y Sur de América. Uno de estos cuatro satélites será de repuesto. Los otros cuatro satélites se situarán en órbitas inclinadas para dar cobertura a las zonas polares y a las áreas de Europa, África y Oeste de Asia.

El sistema MILSTAR incorpora nuevas tecnologías que han requerido un trabajo intenso de investigación y desarrollo realizado en el *Lincoln Laboratory* durante varios años. Aunque la planificación del sistema es secreta, se puede esperar que sea operativo en los primeros años de la década de los noventa.

El sistema incorpora avances técnicos importantes. Ha sido el primero de comunicaciones espaciales que especifica su supervivencia en un medio hostil, no sólo ante intentos de interferencia o de inyección de señales, sino ante ataques desde tierra o desde el espacio, incluyendo protección contra efectos de explosiones nucleares en el espacio (EMP) y contra radiación de láser.

### SISTEMA MILSTAR

- BANDA ANCHA
- ANTENA DE HAZ ESTRECHO
- TERMINALES PEQUEÑOS MÓVILES
- ALTA PROTECCIÓN CONTRA INTERFERENCIAS Y CENTELLEO
- 75, 1200, 2400 bps

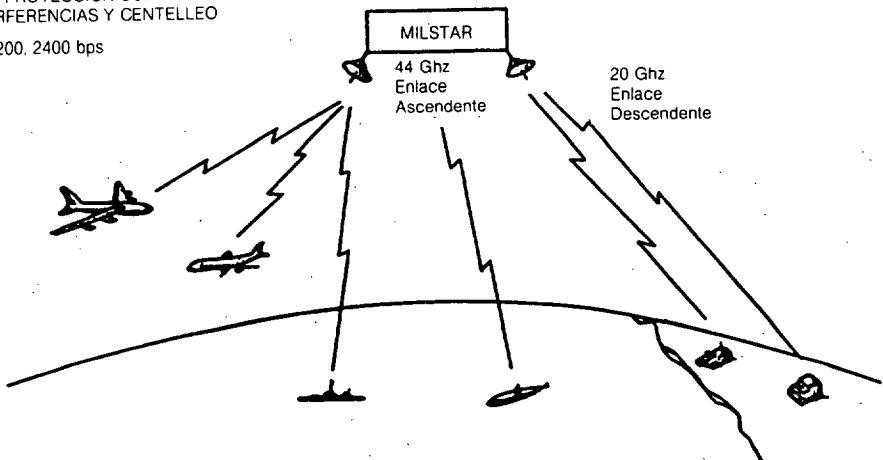


Figura 5

La configuración del segmento espacial, que constituye la constelación, da al sistema un buen nivel de autonomía por lo que es poco vulnerable a una pérdida de soporte en tierra. Al parecer se trata de que el sistema pueda operar durante seis meses sin soporte de tierra.

Los enlaces entre satélites operan a 60 Ghz, frecuencia que no se propaga en la atmósfera, lo que hace estos enlaces invulnerables desde tierra y permiten, también, evitar enlaces con estaciones de tierra que puedan ser críticos en ciertas circunstancias.

Los aspectos técnicos más substanciales del sistema son los siguientes:

- Tecnología avanzada de antenas.
- Procesado de señal a bordo.
- Utilización de bandas EHF.

Se ha previsto que los segmentos espacial y terrestre de MILSTAR se desplieguen y operen simultáneamente con los sistemas de comunicaciones militares existentes durante un período de tres o cuatro años.

Las primeras pruebas de la tecnología avanzada de comunicaciones de MILSTAR se realizarán poniendo en órbita el equipo EHF en dos satélites *FLTSATCOM*.

En la figura 5, aparece un esquema simplificado del sistema MILSTAR.

### **Actividades en otros países**

En la actualidad hay dos sistemas operativos, el sistema SKYNET británico y el sistema SYRACUSE francés basado en la integración de una carga útil militar en los satélites civiles *Telecom*. En España se desarrolla con el mismo criterio una carga útil militar para su integración en el satélite civil *Hispatat*.

En Italia se ha estudiado el proyecto SICRAL de satélite de comunicaciones gubernamentales, esencialmente de carácter militar, que no ha llegado a la fase de desarrollo. El sistema estaría constituido por dos satélites que operarían en UHF y SHF. La banda UHF se emplearía para transmisiones de pequeña capacidad entre los puestos de mando militar y las unidades móviles, terrestres, navales y aéreas; y la banda SHF para transmisiones de alta capacidad, militares y de protección civil.

### **Sistema SKYNET (Gran Bretaña)**

El sistema de comunicaciones espaciales militares SKYNET (el primero para esta aplicación por un país europeo) es operativo desde 1969. Desde entonces se han sucedido diversas generaciones hasta la actual, el SKYNET 4.



El primer satélite *Skynet* se construyó en EE.UU. y se inyectó en una órbita geosíncrona con 2,4 grados de inclinación por un vehículo *Thor Delta*. Las sucesivas generaciones se han construido en Gran Bretaña, pero se ha mantenido la dependencia de los EE.UU. para la operación de lanzamiento, hasta el satélite *Skynet 4B* que se ha inyectado en órbita por un vehículo europeo *Ariane*. La generación 4 ha representado un considerable avance hacia la europeización porque la plataforma está basada en la de los sistemas civiles de ESA, ECS y MARECS, construida por *British Aerospace*.

La evolución de la carga útil también ha sido considerable. La primera generación respondía a un requerimiento militar claro, las comunicaciones de la metrópoli con los buques de la flota destacados a grandes distancias, en particular en el Extremo Oriente.

El sistema SKYNET 4 consta de tres satélites en órbita (uno de reserva) y un segmento de tierra constituido por un conjunto diverso de estaciones terrestres fijas o transportables y estaciones embarcadas en buques. El sistema proporciona comunicaciones entre las estaciones fijas, transportables o a bordo de buques y estaciones terrenas en la banda SHF y comunicaciones con submarinos en UHF.

El repetidor en SHF emplea cuatro modelos de cobertura de antena:

- Global.
- Europa.
- Atlántico Norte.
- Haz estrecho, Europa Central.

Los cuatro enlaces en SHF se transmiten independientemente desde tierra y se reciben a bordo del satélite en una antena de bocina de cobertura global.

Para las comunicaciones en UHF se utiliza una antena helicoidal en tierra para recepción y transmisión.

El usuario del sistema SKYNET es el Ministerio de Defensa británico. Después de veinte años de experiencia en el desarrollo y operación de satélites de comunicaciones militares se ha llegado a un sistema de tecnología avanzada, con cargas útiles de alto índice coste/eficacia y con terminales de pequeñas dimensiones.

#### *Sistema SYRACUSE (Francia).*

El sistema SYRACUSE (*Système de Radio-Communications utilisant Satellite*) utiliza como segmento espacial una carga útil militar integrada en los satélites de comunicaciones civiles *Telecom* del PTT francés. La

operación del sistema se ha iniciado en 1986, con la primera generación SYRACUSE I.

El sistema consta de dos satélites *Telecom 1*, geoestacionarios, *Telecom 1A* situado a 8 grados oeste y *Telecom 1B* situado a 5 grados oeste. Con ambos satélites la cobertura se extiende desde las Antillas a la isla de Reunión. Cada satélite emite dos haces para localización y seguimiento desde tierra.

Dado el carácter militar de la misión se adoptan las medidas de seguridad adecuadas para evitar la vulnerabilidad de las transmisiones, como el encriptado y las técnicas de ECCM normales. El tráfico se hace en telefonía, télex y datos con transmisión a 75, 2.400 y 16.000 bits.

El segmento de tierra del sistema está constituido por un conjunto de terminales fijas, transportables, móviles, en tierra y a bordo de buques.

Las estaciones fijas están situadas en el territorio metropolitano, disponen de antenas de 8 m. de diámetro de seguimiento automático, con amplificadores de Klystrom de 1.500 w. Estas estaciones están enlazadas con la red militar, de modo que se pueden utilizar los enlaces espaciales para comunicación entre ellas o con los destacamentos equipados con terminales.

Los terminales transportables, con antenas de 3 m. y apuntado manual, tienen también amplificadores Plystron de 1.500 w, se montan sobre camión, de modo que son transportables por tierra. También se pueden transportar por aire.

Los terminales tácticos, con antena de 1,3 m. de diámetro y un amplificador (tubo de ondas progresivas, de 150 w) se montan sobre vehículo. También se pueden transportar en un avión Transall.

Los terminales navales constan de dos antenas de 1,5 m. de diámetro, estabilizadas en tres ejes, que se instalan en el buque de modo que al menos una no esté en la sombra producida por la infraestructura del buque. Las antenas se orientan utilizando los datos de seguimiento programados o las señales emitidas por el satélite.

Se ha tratado de reducir el desarrollo de los elementos del segmento de tierra, con el criterio de que los cuatro tipos de terminales tienen elementos comunes como convertidores ascendentes y descendentes, amplificadores de alta potencia (excepto los terminales tácticos), receptores de los haces de localización, amplificación de bajo ruido, etc.

La siguiente generación del sistema, SYRACUSE II, se base también en la integración de una carga útil militar (de mayor capacidad que la de SYRACUSE I) en satélites civiles, *Telecom 2*.

La carga útil está constituida por cinco repetidores, uno global, dos de haz estrecho, uno con haz orientable y uno de reserva. Esta carga útil presenta la novedad técnica del haz orientable, que permite la comunicación puntual con las zonas que en cualquier momento puedan tener una necesidad militar de enlace.

### **Previsiones futuras**

Los proyectos más avanzados de los que se tiene conocimiento son los que se desarrollan en EE.UU., donde además de un programa permanente de desarrollo de tecnología de comunicaciones soportado por el DOD, principalmente a través del Ejército y de la Marina. Se pueden identificar dos programas específicos de gran importancia:

- «Comunicaciones Espaciales Avanzadas», de las Fuerzas Aéreas.
- «Comunicaciones Láser para Submarinos» de la Agencia para Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa (DARPA).

El programa de las Fuerzas Aéreas está orientado a la transición a las comunicaciones en EHF, con la finalidad de conseguir que los satélites de comunicaciones sean más adaptables a las situaciones tácticas cambiantes y mejorar su resistencia a las interferencias.

El programa comprende el desarrollo de nuevos elementos de los sistemas, como amplificadores de potencia, antenas, procesadores de señal, receptores y sintetizadores.

Para los amplificadores de potencia el desarrollo se orienta a los amplificadores de estado sólido y a nuevos tubos de ondas progresivas, en particular a componentes de larga vida para los enlaces desdecentes a 20 Ghz, para su aplicación a MILSTAR y siguientes generaciones del DSCS, y para el enlace entre satélites.

Otros campos de desarrollo de tecnología son el procesado de señal a bordo, en particular con procesadores de banda base, y procesado de espectro extenso avanzado, receptores de bajo ruido y terminales de comunicaciones de avión. En el desarrollo de estos terminales se realiza un gran esfuerzo dirigido a equipos EHF y de doble banda EHF/SHF. En este programa se ha realizado la primera demostración de tecnología de satélite de comunicaciones en EHF, utilizando los satélites *Les 8* y *9* y un terminal de doble banda instalado en un avión C-135.

Las Fuerzas Aéreas también investigan las comunicaciones con láser, que por su enorme capacidad de transmisión de datos y por la práctica inmunidad a las interferencias (por la estrechez del haz), resulta un

procedimiento muy atractivo para Satélites Relé de datos y para su utilización en un puesto de mando aeotransportado.

DARPA desarrolla un programa extenso de Comunicaciones Láser para Submarinos (SLC) que comprende la tecnología de comunicaciones Avión/Submarino (SLCAIR) y Satélite/Submarino (SLCSAT), basado en la utilización de un láser azul-verde para la comunicación a través del agua con submarinos sumergidos.

De hecho, la Armada después de muchos años de operación de sus submarinos nucleares estratégicos no dispone de sistemas de comunicaciones suficientemente satisfactorios con submarinos sumergidos, lo que justifica el gran esfuerzo dedicado a este programa.

El programa, dada su novedad, implica la investigación de fenómenos físicos, como la propagación del láser en la atmósfera y en el agua, la medida de ruido a frecuencias ópticas, y el desarrollo de nuevas tecnologías, necesarias para el transmisor, el receptor y los filtros de banda muy estrecha.

También son objeto de estudio las posibles configuraciones del sistema, como la utilización de un láser de alta potencia en tierra, que dirige su haz a un satélite que actúa como reflector para reflejar el haz a la zona elegida o la utilización de un láser de menor potencia a bordo de un satélite que dirige el haz directamente a la zona de recepción.

## ANEXO

**TABLA 1** Características de los satélites del sistema DSCS II

<i>Peso:</i>	1.300 libras
<i>Dimensiones:</i>	Diámetro: 9 pies Altura: 13 pies
<i>Potencia eléctrica:</i>	Al lanzamiento: 535 w. Cargas de comunicaciones: 235 w.
<i>Vida:</i>	Nominal: 5 años
<i>Precisión:</i>	Plataforma: 0,14 grados Antena de haz estrecho: 0,2 grados
<i>Capacidad de cambio de longitud:</i>	15 grados/día
<i>Inclinación orbital:</i>	3 grados
<i>Subsistema de telemetría y telemando:</i>	Seguridad criptográfica Telemandos: 215 Velocidad de telemando: 1.000 baudios Telemetría: 250 bps
<i>Lanzamiento:</i>	Doble en TITAN III C.

## EQUIPO DE COMUNICACIONES

<i>Repetidor:</i>	Banda X = Conversión a una frecuencia
<i>Potencia efectiva radiada:</i>	Haz de cobertura terrestre: 28 dBW Haces de cobertura estrecha: (por haz) 40 dBW
<i>Potencia de salida:</i>	20 w. en cada TWT (hay 2)
<i>Ancho de banda total:</i>	410 Mhz
<i>Capacidad:</i>	1.300 canales de voz dúplex o hasta 100 Mbit en datos
<i>Antena de cobertura terrestre:</i>	Bocina - Polarización circular - Ancho de haz transmitido 18 - Ganancia 16,8 dB
<i>Antena de cobertura estrecha:</i>	Parabólica - Polarización circular - Ancho de haz transmitido 2,5 - Ganancia 33 dB - Desplazamiento 10

**TABLA 2** Características de los satélites del sistema DSCS III

<i>Peso:</i>	2.400 libras
<i>Estabilización:</i>	Tres ejes. Un eje orientado al Sol
<i>Potencia eléctrica:</i>	Al lanzamiento 1.100 w.
<i>Vida:</i>	10 años (proyecto)
<i>Precisión:</i>	0,08 grados
<i>Propulsión:</i>	Capacidad de hidracina: 600 libras
<i>Supervivencia:</i>	Contra radiación
<i>Lanzamiento:</i>	Titán 34 D.

## EQUIPO DE COMUNICACIONES

<i>Antena receptor:</i>	Banda ancha, lentes de guía de ondas de 61 haces Completo control de haz Nulos de banda ancha
<i>Antenas transmisoras:</i>	Dos bocinas para cobertura terrestre Dos lentes de guía de ondas de 19 haces Dos bocinas para cobertura terrestre Plato de alta ganancia
<i>Potencia del transponder:</i>	Canales 1 y 2 - 40 w. Canales 3, 4, 5 y 6 - 10 w.
<i>Ancho de banda del transponder:</i>	Nominal 60 Mhz

**TABLA 3** Características de los satélites del FLTSATCOM

<i>Peso:</i>	2.170 libras
<i>Dimensiones:</i>	Cuerpo hexagonal de ocho pies Altura: 50 pulgadas Dos paneles solares de 7 x 13 pies

*Potencia eléctrica:* 1,2 Kw.  
*Estabilización:* Ruedas de inercia de tres ejes  
Propulsión hidracina  
*Vida:* Nominal 5 años  
*Lanzador:* Atlas Centaur

### **EQUIPO DE COMUNICACIONES**

*Antena receptora UHF:* Helicoidal 18 vueltas  
*Antena transmisora UHF:* Parabólica desplegable de 16 pies Ø  
*Canales:* Uno de 25 Khz radio flota  
Nueve de 25 Khz relé-flota  
12 de 5 Khz AFSATCOM  
Uno de 500 Khz banda ancha