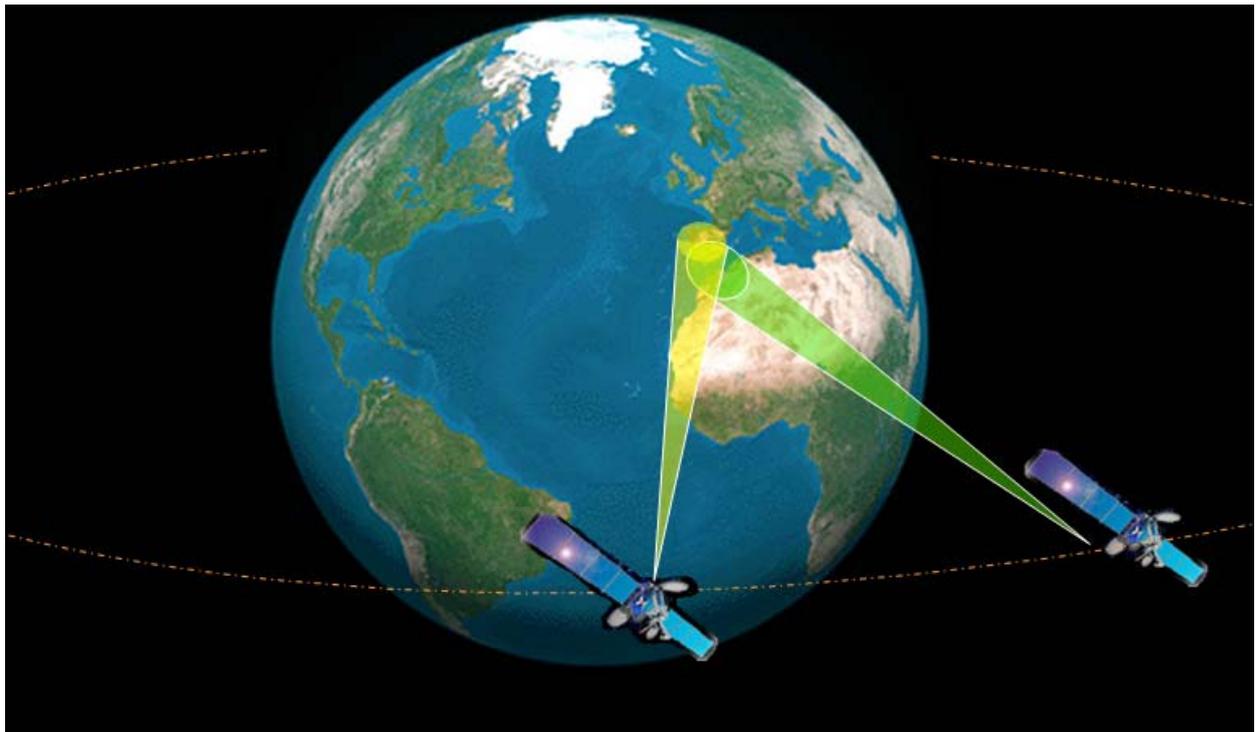


*Trabajo Final de Carrera*

*I.T.T.T*

# COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

## Una visión global



*Ricardo Jesús Fuentes Mejías*  
*Profesor: Miquel Font Rosselló*  
*Junio 2012*

*A mi esposa Isabel y mi hija Lucía,  
de cuya compañía he sustraído las horas necesarias para realizar este trabajo.*

*Tenerife, junio de 2012.*

# ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 1.</b> Breve historia de las comunicaciones vía satélite. ....	2
1.1 Los precursores.....	2
1.2 Los primeros satélites.....	3
1.3 Los primeros satélites de comunicaciones.....	4
1.4 La consolidación.....	5
<b>Capítulo 2.</b> Fundamentos de los sistemas de comunicaciones vía satélite.....	7
2.1 Ventajas de las comunicaciones vía satélite.....	8
2.2 Arquitectura de un sistema de comunicaciones vía satélite.....	9
2.3 Factores que influyen en las comunicaciones vía satélite.....	14
2.4 Características de la propagación Tierra – Satélite.....	14
2.5 parámetros regulados.....	18
<b>Capítulo 3.</b> Arquitectura de los satélites de comunicaciones.....	19
3.1 El Lanzamiento.....	19
3.2 Vehículos lanzadores.....	20
3.3 La Órbita.....	23
3.4 Elementos del satélite.....	29
<b>Capítulo 4.</b> Tecnología de los sistemas de comunicaciones vía satélite.....	31
4.1 La antena.....	31
4.2 Amplificadores, convertidores y transceptores.....	34
4.3 Equipos de comunicaciones.....	38
4.4 Sistemas de seguimiento y control.....	39
<b>Capítulo 5.</b> Redes Satélite.....	41
5.1 Enlaces Inter-Satélite.....	41
5.2 Redes VSAT.....	44
5.3 Redes IPSAT.....	49
5.4 Redes DBS.....	53
5.5 Redes DAMA.....	55

<b>Capítulo 6. Aplicaciones de los satélites.....</b>	<b>58</b>
6.1 Aplicaciones de Telecomunicaciones.....	59
6.2 Aplicaciones de Geolocalización.....	63
6.3 Aplicaciones meteorológicas.....	66
6.4 Teledetección espacial.....	66
6.5 Sistema de búsqueda y salvamento.....	68
<b>Capítulo 7. Situación del mercado de las comunicaciones vía satélite.....</b>	<b>71</b>
7.1 Sistemas de satélites de comunicaciones no estacionarios.....	72
7.2 Sistemas de satélites de comunicaciones geoestacionarios.....	79
7.3 Sistemas de posicionamiento global.....	83
7.4 Suministradores de servicios.....	86
7.5 Empresas españolas con actividad espacial.....	87
<b>Capítulo 8. El sistema español de comunicaciones vía satélite.....</b>	<b>90</b>
8.1 Introducción.....	90
8.2 El programa espacial español.....	92
8.3 La Serie Hispasat.....	95
8.4 La Serie Amazonas.....	97
8.5 Satélites Hisdesat: Spainsat y Xtar-Eur.....	100
8.6 Programa de observación de la Tierra.....	106
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>109</b>
<b>Glosario de términos.....</b>	<b>113</b>
<b>Bibliografía y Fuentes de información.....</b>	<b>118</b>

# INTRODUCCIÓN

Cuando en 1945 el físico y escritor británico Sir Arthur C. Clark predijo un sistema de telecomunicaciones mundial basado en tres satélites geoestacionarios, la idea de unas telecomunicaciones entre dos puntos cualesquiera del planeta, realizadas de forma virtualmente instantáneas, pertenecía al campo de la ciencia ficción.

Sin embargo, desde entonces hasta hoy, el panorama de las telecomunicaciones ha evolucionado de forma asombrosa. Siendo precisamente el sector de las telecomunicaciones vía satélite uno de los que más rápidamente ha cambiado. Gracias a él, hoy en día disfrutamos de una amplia panoplia de servicios (telefonía, Internet, Televisión, geolocalización...) que difícilmente sería posible sin la existencia de los satélites de telecomunicaciones.

En este Trabajo Final de Carrera pretendo realizar un estudio global sobre las comunicaciones vía satélite. Realizando un breve repaso a su historia, desde sus orígenes hasta la situación actual. Explicando los diferentes tipos de satélites de comunicaciones según la órbita empleada, y describiendo los tipos de órbitas y sus características físicas. Analizando las especiales características de la propagación Tierra-satélite y las características del segmento terreno y el segmento aéreo. Estudiando los servicios que se ofrecen actualmente vía satélite y las características y posibilidades actuales de este mercado así como sus tendencias futuras.

Por último realizaré una exposición del sistema gubernamental español de comunicaciones vía satélite, exponiendo los satélites existentes y el tipo de servicios que proporcionan.

# CAPÍTULO 1

## Breve historia de las Comunicaciones Vía Satélite

Las comunicaciones por satélite dependen de la posibilidad de disponer de un vector de lanzamiento capaz de posicionar el satélite en la posición orbital deseada. Por esto la historia de las comunicaciones vía satélite está íntimamente ligada con la evolución de la carrera espacial.

### 1. Los precursores

Las primeras noticias que se tiene sobre cohetes autopropulsados son de 1232 en China. Sin embargo, el primer estudio matemático no se realiza hasta 1903 cuando el científico ruso Konstantine Eduardovich Tsiolkosvky (fig.1) publica sus estudios acerca de los vuelos espaciales resumidos en una fórmula<sup>1</sup> que lleva su nombre y que relaciona la velocidad del cohete y la del gas que lo propulsa con su masa y la masa del combustible.



Figura 1



Figura 2

Posteriormente, en 1923 el alemán Hermann Oberth<sup>2</sup> (fig.2) sentó las bases matemáticas de la técnica de cohetes y en 1926, el físico norteamericano R. H. Goddard<sup>3</sup> idea el primer cohete de combustión líquida cuyo vuelo duró 2,5 segundos y alcanzó una altura de 12,3 metros, estrellándose a 55,2 metros del lugar del lanzamiento.

Estos tres científicos son considerados actualmente los padres de la astronáutica y el vuelo espacial, siendo continuados sus estudios por Wernher von Braun quien en 1932 se hizo cargo como director técnico del Centro de Investigaciones de Peenemünde, donde diseñó

<sup>1</sup>  $v = u \cdot \ln\left(\frac{M_0}{M}\right) + v_0$   $v$  es la velocidad final de cohete,  $u$  es la velocidad de salida de los gases,  $M_0$  es la masa inicial del cohete,  $M$  la masa final y  $v_0$  su velocidad inicial antes de la quema del combustible.

<sup>2</sup> Rauschenbach, Boris V. Hermann Oberth: The Father of Spaceflight. Clarence, New York: West-Art (1994).

<sup>3</sup> Lehman, Milton. Robert H. Goddard: A Pioneer of Space Research. New York: Da Capo (1988).

las famosas V-2. Proyectiles de largo alcance propulsadas por petróleo y oxígeno líquido que bombardearon Londres en 1944 y fueron precursoras de los misiles actuales.

Tras el final de la segunda Guerra mundial von Braun (fig.3) fue llevado a Estados Unidos, siendo parte fundamental del programa espacial.



Figura 3

## 2. Los primeros satélites

El primer autor que planteó la posibilidad de utilizar satélites de comunicaciones fue Arthur C. Clarke quien planteo en un artículo publicado en 1945 en la revista «Wireless World» un sistema de satélites situados en una órbita circular a 36.000 kilómetros de altura sobre el ecuador y separados 120° entre sí. Esta idea no comenzó a materializarse hasta años después, cuando el 4 de octubre de 1957 la antigua Unión Soviética pone en órbita el primer satélite artificial, el Sputnik 1 (fig.4), utilizando como vector de lanzamiento una versión modificada del ICBM<sup>4</sup> R-7.

El Sputnik 1 tenía una masa aproximada de 83 kg, portaba dos transmisores de radio (20,007 y 40,002 MHz) y orbitó la Tierra a una distancia de entre 938 km en su apogeo y 214 km, en su perigeo.

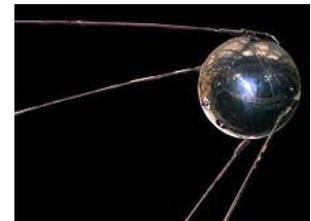


Figura 4



Figura 5

Apenas un mes después, el 3 de noviembre la entonces URSS lanza el Sputnik 2, utilizándose también un cohete R-7.

Los Estados Unidos no se quedan atrás y el 12 de enero de 1958 se lanza el Explorer 1, utilizando como vector de lanzamiento el cohete Juno I, el cual era una versión modificada del cohete Jupiter-C (fig.5)

Estos primeros satélites, aunque transmitían a los centros de seguimiento los datos recogidos en órbita, no eran realmente satélites de comunicaciones.

<sup>4</sup> ICBM: Acrónimo inglés de Misil Balístico Intercontinental.

### 3. Los primeros satélites de comunicaciones

En octubre de 1960 se lanzó el satélite Courier 1B, a bordo del lanzador Delta I<sup>5</sup>. Este satélite estaba equipado con receptores de radio, un sistema de grabación y transmisores, de forma que podía recibir y grabar mensajes de tierra, para retransmitirlos posteriormente.

Pero el primer satélite de comunicaciones ya estaba en órbita en ese momento. Se trataba del Echo 1 (fig.6) que fue lanzado el 12 de agosto de 1960, también mediante un cohete Delta I.

El Echo 1 era simplemente una inmensa esfera de plástico de 30,5 metros de diámetro cubierto de una capa reflectora que orbitaba a 1.600 kilómetros de la superficie. Se trataba de un satélite pasivo, pues finalidad era reflejar, a modo de un gigantesco espejo espacial, la señales que se le enviaban desde un punto del planeta para poder captarse en otro lugar desde el que no existía visión en línea recta debido a la curvatura terrestre.



Figura 6



Figura 7

En 1962 tiene lugar el lanzamiento del primer satélite comercial de la Historia. Se trataba del Telstar 1 (fig.7), de la compañía AT&T y que también fue el primer satélite activo.

De la misma forma que lo hace un repetidor terrestre, este satélite, recibía señales de radio, y tras aumentar su potencia les cambiaba la frecuencia (para no interferirse consigo mismo) y las retransmitía para su recepción en tierra.

El 19 de agosto de 1964 se lanzó, a bordo de un cohete Delta, el primer satélite que se situó en órbita geoestacionaria. Se trataba del satélite Syncom 3, que fue utilizado para retransmitir las olimpiadas de Tokio y estuvo en servicio hasta 1969.

<sup>5</sup> Los cohetes Delta fueron el principal vector de lanzamiento de la NASA hasta la entrada en servicio de los transbordadores espaciales. Tras el desastre del Challenger en 1989 recobraron su antiguo protagonismo, y hoy en día el lanzador Delta IV es capaz de poner en órbita geoestacionaria una carga de 15 toneladas.

Este satélite fue el tercero de la serie de satélites de su mismo nombre (fig.8). Sus dos antecesores fueron el Syncom 1 que fue lanzado en febrero de 1963 y el Syncom 2 que fue lanzado en julio de ese mismo año. Ambos satélites se posicionaron en una órbita geoestacionaria inclinada 33° respecto del ecuador.

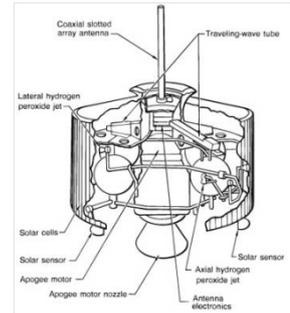


Figura 8

#### 4. La consolidación

La serie de satélites Syncom consiguió demostrar la viabilidad de los satélites geoestacionarios y su utilidad para proporcionar comunicaciones transoceánicas. Poco después se crea la primera y más importante entidad internacional mundial promotora y gestora de satélites de comunicaciones. Se trataba de Intelsat que fue formada inicialmente por 11 países y que hoy en día proporciona servicios a naciones de todo el mundo.

Su primer satélite fue el Intelsat 1 o Early Bird. Lanzado en abril de 1965 a bordo de un cohete Delta D, se posicionó en órbita geoestacionaria sobre las costas de Brasil y fue el primer satélite de comunicaciones de uso público. Era capaz de cursar 240 comunicaciones simultáneas o bien un canal de televisión. Estuvo en servicio hasta 1969 y se empleó para retransmitir la llegada del Hombre a la Luna en 1969. Hoy en día todavía sigue en órbita aunque sin prestar servicio.

El lanzamiento del Intelsat 1 abrió las puertas a otras empresas de comunicaciones para la puesta en órbita de sus propios satélites y desde entonces muchos países han lanzado sus propios satélites de comunicaciones, incluida España que se lanzó su primer satélite el Hispasat 1A en septiembre de 1992 desde el centrol espacial de Kourou, en la Guayana francesa, utilizando como vector de lanzamiento un cohete Ariane 4.

#### First Satellites Launched By Spacefaring Nations

<b>1957</b>	Oct 4	source: USSR	satellite: Sputnik 1	rocket: Old Number Seven	launch site: Baikonur Cosmodrome
<b>1958</b>	Jan 31	source: USA	satellite: Explorer 1	rocket: Jupiter-C	launch site: Cape Canaveral
<b>1965</b>	Nov 26	source: France	satellite: Asterix 1	rocket: Diamant	launch site: Algeria
<b>1970</b>	Feb 11	source: Japan	satellite: Ohsumi	rocket: Lambda 4S-5	launch site: Kagoshima
<b>1970</b>	Apr 24	source: China	satellite: Mao 1	rocket: Long March-1	launch site: Inner Mongolia
<b>1971</b>	Oct 28	source: Great Britain	satellite: Black Knight 1	rocket: Black Arrow	launch site: Woomera Australia
<b>1979</b>	Dec 24	source: Europe	satellite: CAT	rocket: Ariane	launch site: Kourou, French Guiana
<b>1980</b>	Jul 18	source: India	satellite: Rohini 1	rocket: Satellite Launch Vehicle	launch site: Sriharikota Island
<b>1988</b>	Sep 19	source: Israel	satellite: Horizon 1	rocket: Shavit	launch site: Negev Desert
<b>1989</b>	Dec 5	source: Iraq	satellite: rocket 3rd stage	rocket: three-stage rocket	launch site: Al-Anbar

Figura 9

Desde entonces y hasta la actualidad el crecimiento ha sido imparable, de tal forma que tenemos que actualmente hay<sup>6</sup> aproximadamente 957 satélites de comunicaciones activos orbitando la tierra y más de 5.400 inactivos.

En la figura 9 se recogen los primeros satélites lanzados por algunos países hasta 1989. Y en la figura 10 se puede observar el número total de satélites actualmente en órbita que poseen las diferentes naciones.

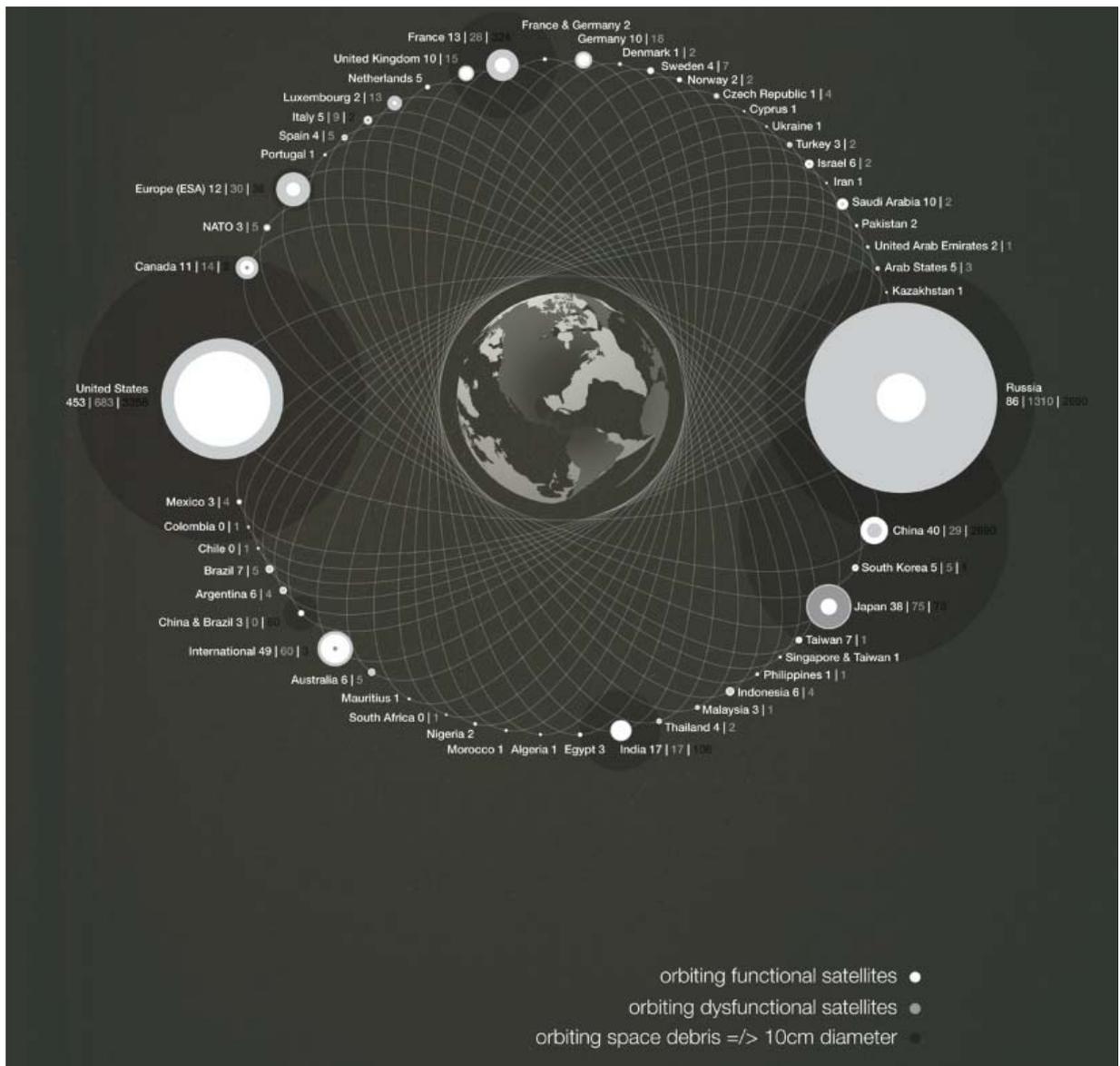


Figura 10

<sup>6</sup> Fuente: [http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/04/110407\\_satelites\\_orbita\\_gagarin\\_aniversario\\_pea.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/04/110407_satelites_orbita_gagarin_aniversario_pea.shtml)

## CAPÍTULO 2

# Fundamentos de las Comunicaciones Vía Satélite

Las comunicaciones vía satélite han evolucionado hasta convertirse en un elemento más de la vida cotidiana. Casi todas las transmisiones televisivas viajan vía satélite, llegando a los hogares directamente desde el espacio. Incluso en la era de la tecnología óptica por cable y los sistemas de conmutación digital, los satélites todavía cubren las necesidades básicas de telecomunicación de la mayor parte de los países del planeta, especialmente en zonas que carecen de infraestructuras terrestres de comunicaciones. De este modo, se estima que el 60% de las comunicaciones en África y Oriente Medio se realizan vía satélite.

Los satélites han permitido la universalización de los servicios públicos tanto a nivel nacional como internacional. Originariamente, los sistemas de satélites fueron controlados y operados exclusivamente por organismos internacionales y empresas públicas, mientras que hoy en día existe un importante número de empresas privadas que comercializan comunicaciones vía satélite.

La capacidad de un sistema de comunicaciones vía satélite viene limitada por el coste de desarrollo del propio satélite y por la capacidad de lanzamiento. Los primeros sistemas de comunicaciones vía satélite presentaban una baja eficiencia, debido principalmente a su poca disponibilidad de potencia y a su corta vida útil.

El crecimiento en la demanda de comunicación y el desarrollo social acompañado por la aparición de las tecnologías de digitalización ha cambiado las necesidades y percepción hacia el uso de satélites colaborando en el desarrollo de los servicios multimedia de banda ancha.

Este hecho ha sido ayudado por el desarrollo de los satélites incrementando la potencia y su eficiencia lo que permite hacer llegar directamente la señal a los clientes sin la necesidad de utilizar infraestructuras mastodónticas.

Una primera consecuencia es el cambio en la forma de medir la capacidad de los transpondedores<sup>7</sup> siendo ahora la unidad de medida la velocidad binaria total o capacidad de transportar información creación, desarrollo y consolidación de los servicios prestados por los satélites de comunicaciones hoy en día.

---

<sup>7</sup> El Transpondedor es un dispositivo ubicado en un satélite de comunicaciones cuya misión es recibir, amplificar y retransmitir la señal recibida en una banda distinta. El término proviene de la fusión de las palabras inglesas Transmitter y Responder.

## 1. Ventajas de las comunicaciones vía satélite

Las comunicaciones por satélite presentan una serie de ventajas que las diferencian del resto de técnicas de comunicación, como por ejemplo la radio tradicional, o las comunicaciones soportadas por cable (Fibra Óptica, hilo de cobre...). Esto no significa que en todas las ocasiones las redes satélites sean la mejor solución, sino que esto se debe valorar cada caso en función de las necesidades específicas de la red.

Las ventajas más destacables de las comunicaciones por satélite con respecto a otras tecnologías son las siguientes:

- Independencia de la geografía, pues la cobertura satélite no depende de la configuración del terreno ni de las fronteras políticas.
- Mayor flexibilidad en la configuración (voz, datos, video).
- Mayor rapidez de implementación, al no depender de la existencia previa de infraestructuras de comunicaciones. Una vez que los satélites necesarios están en órbita la construcción y activación de las estaciones terrestres es muy rápida.
- Relativa economía de costes. El elemento más oneroso de un sistema de comunicaciones por satélite es el propio aparato más las estaciones terrestres de control y seguimiento. Sin embargo, los terminales son relativamente baratos. Además la red puede ir ampliándose progresivamente con las necesidades de la aplicación. Esto no ocurre con las instalaciones cableadas que requieren de un proyecto de construcción extensivo, además de permisos para el establecimiento de las líneas si éstas atraviesan otros países y regiones. Sin contar con que el mantenimiento de estas infraestructuras cableadas es, mucho mayor y complejo que el de los sistemas vía satélite.
- Características de servicio uniformes. En la zona de cobertura del satélite los servicios son ofrecidos para todos los usuarios de la misma manera. Esto supone una ventaja sobre las redes terrestres en las que para la realización de la comunicación son precisas varias interconexiones entre segmentos de la red.
- Servicio total desde un único proveedor. Una red de satélites puede ser operada por un único proveedor. El cliente sólo tendrá que tratar con ese proveedor aunque se desplace por la zona de cobertura del sistema.
- Redundancia y seguridad.
- Permite usuarios móviles.

- Permite Broadcasting<sup>8</sup>.
- Permite comunicaciones temporales<sup>9</sup>.

Estas ventajas no son exclusivas de las redes satélites, así por ejemplo la radio tradicional también permite el Broadcasting, posibilidad ésta que no permiten las redes telefónicas.

A estas ventajas hay que añadir las ventajas intrínsecas de las comunicaciones digitales, debido a que las comunicaciones vía satélite trabajan desde hace mucho tiempo con señales de carácter digital.

- La calidad de la transmisión no depende de la distancia ni de la topología de la red.
- Es muy resistente a las interferencias, los errores se pueden corregir de una forma muy rápida.
- Permite compartir la frecuencia de la señal con otras señales digitales y analógicas.
- Permite un ahorro económico al poderse aplicar algoritmos de compresión de la información.
- Permite que los interfaces estén normalizados.

En resumen, podemos establecer que las principales ventajas de las comunicaciones vía satélite son las siguientes:

- Mayor velocidad de transferencia de la información (el ancho de banda disponible).
- Mayor versatilidad del tráfico cursado (voz, datos, video...)
- Mayor seguridad.
- Conveniencia (localización geográfica de las estaciones...)
- Menor coste de tiempo y dinero, para su implementación y mantenimiento, en determinados casos.

## 2. Arquitectura de un sistema de comunicaciones vía satélite

En esencia, un sistema de comunicaciones vía satélite no es más que una estación repetidora de microondas que, situada en órbita sobre la superficie terrestre, permite a dos o más usuarios intercambiar información de varias maneras. Por este motivo, la estructura

---

<sup>8</sup> El término broadcasting hace referencia al concepto de difusión de información desde un único emisor a varios receptores. El ejemplo típico es la radio difusión o las emisiones de televisión por satélite.

<sup>9</sup> Temporales en el sentido de poca permanencia en el tiempo y que se inician sin necesidad de disponer de infraestructuras previas.

de un sistema de comunicaciones vía satélite se puede dividir en tres grandes bloques<sup>10</sup>, que se aprecian en la siguiente figura (fig. 11):

- El segmento terreno.
- El segmento espacial.
- El enlace con el satélite. Ascendente y descendente.



Figura 11

### Características del segmento terreno

El segmento terreno está formado por los terminales satélite, que pueden ser desde grandes estaciones de comunicaciones que reciben la señal y la distribuyen por un área geográfica hasta pequeños terminales portátiles, como por ejemplo el terminal telefónico IsatPhone (fig. 12) que pesa únicamente 279 gramos.



Figura 12

El Terminal terrestre permite al usuario comunicarse con otros terminales. El usuario genera la información en forma de señal en banda base<sup>11</sup>. Esta señal en banda base es procesada antes de poder ser transmitida al satélite. Proceso que consta de los siguientes pasos:

1. **Multiplexado.** Permite que la información de diferentes usuarios sea transmitida en una sola señal. En este paso, la señal está todavía en banda base.
2. **Codificación.** Añade información extra para cifrar la información y para detectar y corregir posibles errores en la transmisión.

<sup>10</sup> Algunos autores (i.e. Vicente González Millán) sólo distinguen dos bloques: el segmento terrestre y el segmento espacial.

<sup>11</sup> Banda base: Conjunto de señales que no sufren ningún proceso de modulación a la salida de la fuente que las origina.

3. **Modulación.** La información se imprime en una señal denominada portadora. En este paso se eleva la frecuencia de la señal de banda base a frecuencia intermedia.
4. **Conversión de frecuencia.** La señal es amplificada y convertida (elevada) a la frecuencia en la que será transmitida al satélite. Esta frecuencia se denomina Radio Frecuencia (RF).

La siguiente figura (fig. 13) muestra en un diagrama de bloques el proceso que acaba de ser descrito. Evidentemente, las señales recibidas del satélite sufren el proceso inverso.

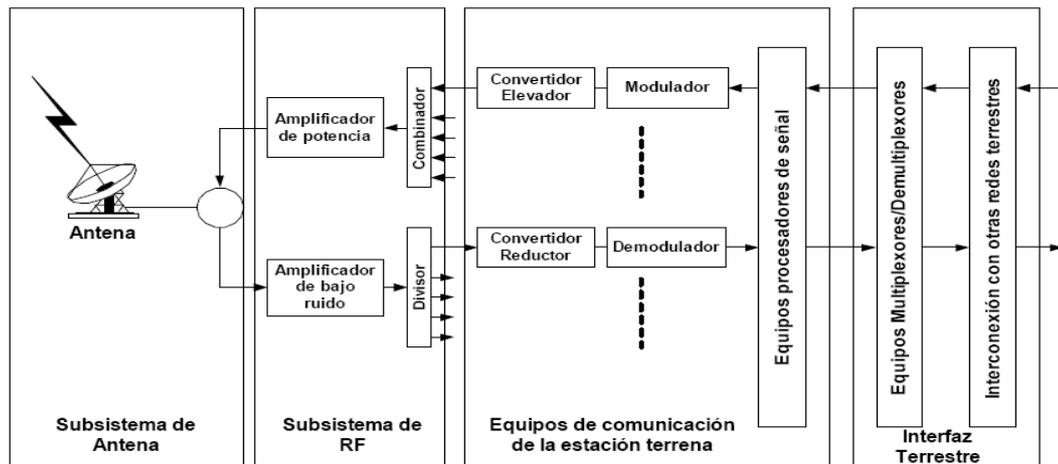


Figura 13

### Características del segmento espacial

El segmento espacial está formado por los propios satélites, que pueden ser sólo uno o varios formando una constelación, y las estaciones de seguimiento y control, como por ejemplo la estación espacial de Maspalomas situada en la isla de Gran Canaria (fig. 14).



Figura 14

El satélite puede ser entendido como un gran repetidor en el espacio. Éste recibe la señal en la banda de frecuencia del enlace ascendente (desde el terminal al satélite) la amplifica y la retransmite hacia la estación de tierra en la banda de frecuencia del enlace descendente (que es distinto del ascendente para evitar la interferencia).

La figura siguiente (fig. 15) muestra en un diagrama de bloques el proceso que sufre la señal dentro del satélite.

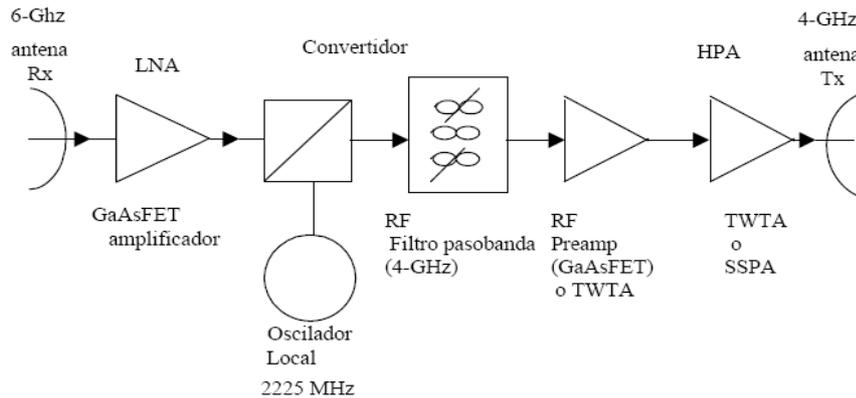


Figura 15

## Características del Enlace

Por último, el enlace estudia el comportamiento de la señal desde el segmento terreno al segmento aéreo.

Dentro del enlace podemos diferenciar entre el enlace ascendente (Up Link) y el enlace descendente (Down Link). Cada uno de ellos hace referencia a la señal que se emite desde la estación o que se recibe respectivamente. La unión de ambos enlaces se denomina canal y la unión de dos o más canales se denomina circuito.

Para materializar este enlace se utilizan señales de radiofrecuencia (RF) de alta potencia, debido a la distancia en que el satélite se encuentra situado sobre la superficie de la Tierra (aproximadamente 36.000 Km en el caso de órbitas geoestacionarias<sup>12</sup>). Sin embargo, la potencia recibida en la antena es del orden de picovatios<sup>13</sup>.

Las señales de radio son ondas electromagnéticas, por lo que se pueden clasificar en función de su frecuencia. Al conjunto de todas estas frecuencias se le denomina espectro

<sup>12</sup> En el capítulo 3 se explica el concepto de órbita geoestacionaria.

<sup>13</sup> Picovatio =  $10^{-12}$  vatios.

electromagnético y en el caso de las ondas de radio, utilizadas en la transmisión vía satélite, la clasificación es la siguiente:

<b>ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</b>		
<b>Rango de frecuencias</b>	<b>Nombre</b>	<b>Acrónimo</b>
1-3000 Hz	Frecuencia extremadamente baja	ELF
3-30 Khz	Frecuencia muy baja	VLF
30-300 Khz	Baja frecuencia	LF
300-3000 Khz	Frecuencia media	MF
3-30 Mhz	Alta frecuencia	HF
30-300Mhz	Muy alta frecuencia	VHF
300-3000 Mhz	Frecuencia ultra alta	UHF
3-30 Ghz	Frecuencia super alta	SHF
30-300 Ghz	Frecuencia extremadamente alta	EHF

Figura 16

Por encima de 300 Gigahercios se sitúan el infrarrojo y el espectro visible.

Dentro de las frecuencias de radio, las frecuencias utilizadas por los satélites se clasifican a su vez en varios grupos llamados bandas<sup>14</sup> y que se dedican a diferentes usos, civiles o militares. Las bandas utilizadas en las comunicaciones vía satélite son las que se recogen en la figura 15. Como curiosidad, se puede destacar que el nombre de las bandas proviene de la codificación utilizada durante la segunda guerra mundial.

<b>BANDAS DE COMUNICACIÓN POR SATÉLITE</b>		
<b>Banda</b>	<b>Frecuencia (GHz)</b>	<b>Uso Principal</b>
Banda L	1 - 2	Servicios Móviles
Banda C	3.7 -6.5	Servicios Fijos
Banda S	2.5 - 3	Servicios Móviles
Banda X	7.25 - 8.4	Servicios Militares
Banda Ku	10.7 -18	Servicios Fijos
Banda Ka	18 - 304	

Figura 17

<sup>14</sup> La totalidad del espectro electromagnético se encuentra dividida en bandas cuyos límites están definidos y estandarizados por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT).

### 3. Factores que influyen en las comunicaciones vía satélite

Cuando se planifica la instalación de una red satélite, se tienen en cuenta una serie de factores, de los cuales el coste suele ser generalmente es más importante, aunque no siempre es así.

Esto significa que en determinadas redes se da prioridad a determinados factores. Por ejemplo uno de los factores más importantes en las redes de emergencia suele ser la seguridad<sup>15</sup>, entendido en el sentido de disponibilidad de la red, por lo que se suelen incorporar gran cantidad de equipos redundantes. En este contexto, las redes satélite ofrecen una alternativa eficaz como sistema redundante a las redes terrestres.

Un ejemplo de red satélite redundante de una red terrestre es la red RECOSAT<sup>16</sup>, que proporciona comunicaciones por satélite a Protección Civil y que permite la comunicación de sus distintos centros a nivel nacional en caso de fallo de la red terrestre. Esta red se basa en el satélite Hispasat 1D y utiliza 52 terminales satélite VSAT ubicados en capitales de provincia e islas menores.

Otro ejemplo de redes en los que la seguridad es importante es el caso de las redes militares. En este caso la seguridad no sólo se entiende de modo global, en sus tres aspectos: Confidencialidad, Disponibilidad e Integridad. Para garantizar la seguridad, las redes militares de comunicaciones vía satélite incorporan cifrado a nivel de banda base, así como diversos mecanismos para evitar la detección de las señales (i.e. técnicas de espectro expandido, mecanismos para evitar interferencias...)

Otro factor importante que afecta a las comunicaciones entre el satélite y los terminales es la propia atenuación atmosférica de la señal. Factor se verá en detalle a continuación.

### 4. Características de la propagación Tierra - Satélite

Las comunicaciones vía satélite se basan en el envío de ondas electromagnéticas desde una estación terrena al satélite y de éste, de nuevo, a la Tierra, lo que se ha definido como enlaces ascendente y descendente. En ambos enlaces la onda electromagnética puede sufrir diversos efectos que se traducen en pérdidas en la potencia emitida por la estación o

---

<sup>15</sup> La Seguridad de las comunicaciones comprende tres aspectos: Confidencialidad (la información no es accesible sin autorización), Disponibilidad (La información es alcanzable en todo momento) e Integridad (La información no es modificable por entes no autorizados).

<sup>16</sup> RECOSAT: Red de Comunicaciones vía Satélite de emergencias de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias.

el satélite. De los dos casos, el más crítico es el del satélite por ser éste el que menos capacidad tiene para generar potencia.

Las pérdidas en la propagación de la señal se pueden dividir en dos tipos: las pérdidas constantes, debidas a fenómenos normalmente predecibles, y las aleatorias y variables con el tiempo, que sólo pueden ser estimadas estadísticamente.

La siguiente figura muestra un ejemplo de la potencia de señal recibida en la estación terrena a lo largo de un día.

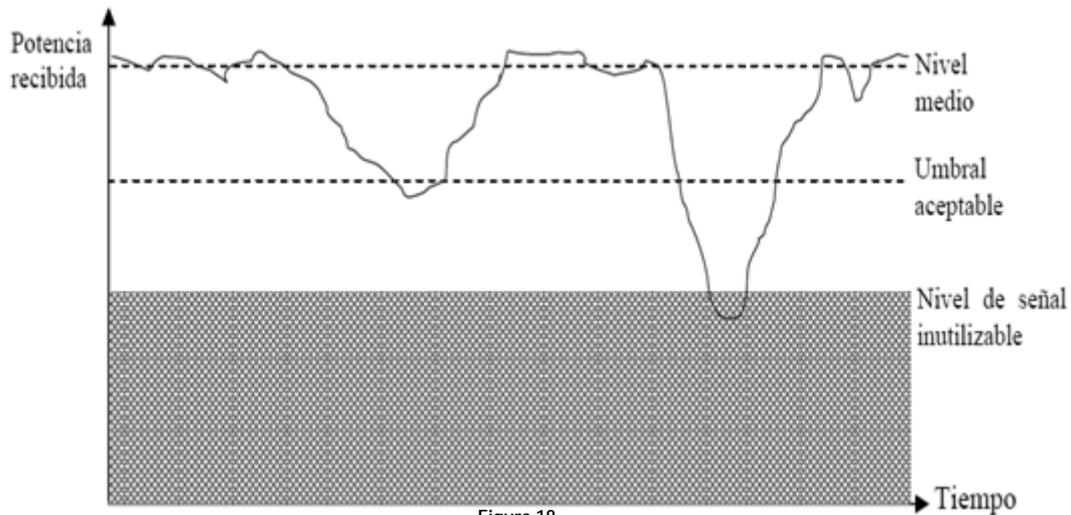


Figura 18

El nivel medio de la señal representa el resultado de las pérdidas constantes y predecibles, mientras que las pérdidas aleatorias pueden producir que la potencia recibida caiga por debajo del nivel de señal utilizable. La diferencia en decibelios entre el nivel medio y el umbral aceptable es el margen del enlace.

A continuación se analizarán las principales causas de atenuación.

### Perdidas en espacio libre

La propagación de una onda electromagnética en el espacio libre sufre una atenuación en su potencia que depende inversamente del cuadrado de la distancia a la antena emisora., según la siguiente fórmula:

$$P_R = \frac{P_T}{4\pi R^2}$$

Donde  $P_R$  es la potencia recibida,  $P_T$  la potencia transmitida y  $R$  la distancia recorrida en metros.

Como puede observarse, esta atenuación no depende de la frecuencia, si no que es algo intrínseco al fenómeno de la propagación de una onda electromagnética. Aunque es

necesario tener en cuenta las ganancias de las antenas, factor que sí que depende de la frecuencia de la señal. En la figura 19 se puede apreciar la evolución de estas pérdidas para frecuencias en diferentes bandas (L, C, Ku, Ka)

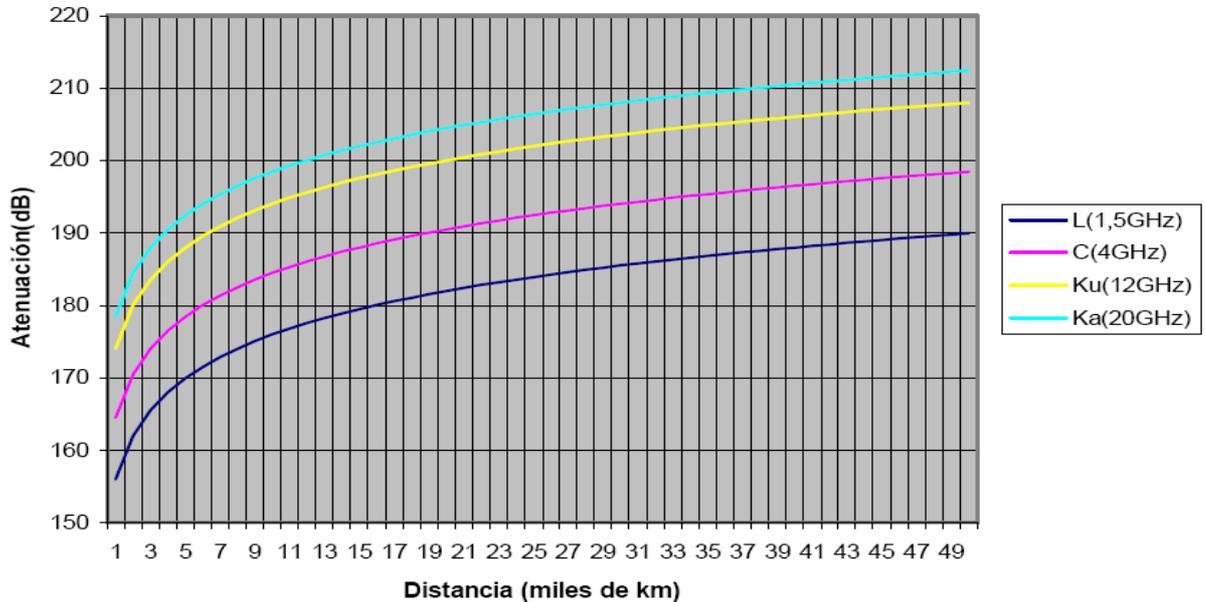


Figura 19

### Pérdidas por absorción

Durante la propagación de la onda electromagnética, una parte de su potencia es absorbida por el medio en el que se desplaza y convertida en calor. En el caso de la propagación vía satélite, la absorción se produce en la atmósfera debido a los componentes que la forman.

La absorción se sitúa por debajo de 1 dB en las bandas C y Ku. Por encima de 10GHz aparecen una serie de frecuencias prohibidas debidas a las resonancias de ciertos componentes de la atmósfera como la molécula de vapor de agua o de oxígeno. A esas frecuencias la absorción es máxima y la transmisión desde y hacia la Tierra es inviable. No obstante, esas frecuencias pueden usarse para la comunicación directa entre satélites.

### Atenuación por lluvia

Después de las pérdidas en espacio libre, la mayor causa de atenuación en la señal de una transmisión vía satélites es la lluvia. El motivo de esta atenuación es la resonancia que se produce entre el tamaño de las gotas de lluvia (realmente la distancia que separa las moléculas de agua dentro de una gota) y la longitud de onda de la señal. Este efecto se produce únicamente con precipitaciones líquidas pues las moléculas en ese caso no están fuertemente ligadas. En los casos de precipitaciones sólidas (nieve o hielo) este efecto no

tiene lugar debido a que entonces las moléculas de agua se encuentran fuertemente ligadas.

El efecto de la lluvia se hace notar más en los enlaces descendentes que en los ascendentes debido a que en el enlace ascendente la señal procede de una estación terrena que puede conseguir más potencia en caso de lluvia. Sin embargo, para el enlace descendente, la potencia está limitada y, si se produce atenuación, es posible que llegue a afectar a la calidad de la señal recibida sin que se pueda hacer nada por evitarlo.

El diámetro típico de una gota de agua es de unos 1,5 mm. Por tanto, el efecto de atenuación se dará con mayor importancia en longitudes de onda de valores semejantes. Esto quiere decir que la atenuación será directamente proporcional a la frecuencia de la señal (inversamente proporcional a la longitud de onda).

Para la banda C (enlace descendente a 4 GHz) la longitud de onda es de 75 mm, unas 50 veces el diámetro de la gota, y la atenuación es muy pequeña (por debajo de 1 dB en las peores condiciones). Para el enlace descendente de la banda Ku a 12 GHz, la longitud de onda es de 25 mm (unas 16 veces el diámetro de la gota) y la atenuación es mayor, llegando a los 5 dB (prácticamente se absorbe la cuarta parte de la señal). Si nos vamos a la banda Ka, el enlace descendente es a 20 GHz o, lo que es lo mismo, a una longitud de onda de 15 mm, 10 veces más que la de la gota. En este caso, la atenuación máxima es de casi 20 dB, lo que implica que sólo un 1% de la señal llega al receptor. Para frecuencias superiores la atenuación es mayor, presentando un máximo a 200 GHz.

### **Refracción**

En el camino entre la estación terrena y el satélite la señal debe atravesar toda la atmósfera de la Tierra. La capa más baja de la atmósfera, la troposfera, presenta una densidad menor conforme subimos de altura. Esta variación de densidad atmosférica produce la observación del satélite en una posición diferente de la real debido a la refracción de la onda electromagnética.

La refracción hace que las ondas electromagnéticas cambien de dirección conforme atraviesan la troposfera. Este efecto se tiene en cuenta en las transmisiones terrestres incrementando el radio de la Tierra en un factor  $4/3$  para calcular la línea de visión directa. Para los satélites, el efecto de la curvatura debida a refracción es menor que en el caso terrestre al ser el ángulo de incidencia de las ondas mayor.

### Otros factores

Otros efectos que ocurren en la troposfera son debidos a fluctuaciones y discontinuidades producidas por las nubes, inversiones térmicas y contaminación. Estos fenómenos, por su naturaleza aleatoria pueden producir atenuación de la señal semejante a la de la lluvia.

En la zona más alta de la atmósfera, la ionosfera, se dan lugar otros fenómenos a tener en cuenta. Por su constitución a base de partículas ionizadas, la ionosfera se comporta como un reflector para frecuencias entre 0,1 y 30 MHz, lo que se utiliza para la comunicación en onda corta a larga distancia haciendo que la señal “rebote” en esa capa. Además de reflejarla, la ionosfera cambia la polarización de la señal, cambio que se incrementa en los periodos de gran actividad solar que tienen lugar cada 11 y 22 años. El cambio de polaridad se reduce con la frecuencia y es despreciable por encima de la banda Ku.

## 5. Parámetros regulados

Las comunicaciones vía satélite, al igual que cualquier otro tipo de tecnología se encuentran reguladas por diversos organismos oficiales e instituciones. Además, al tratarse de un servicio que afecta a diversos países, todas estas regulaciones tienen su aplicación a nivel internacional. Lo que significa que es necesaria una coordinación entre los distintos organismos.

El organismo encargado de la regulación de las telecomunicaciones es la UIT, quien establece las normas a seguir para establecer una red de comunicaciones vía satélite. También existen entidades de carácter privado que tienen sus propias reglamentaciones y que en algunos casos terminan por convertirse en estándares, como ejemplo se pueden citar INTELSAT<sup>17</sup> y la Agencia Espacial Europea (ESA)<sup>18</sup>.

Los parámetros más importantes que se regulan son:

- Canales y frecuencias.
- Potencia y niveles de interferencia.
- Estándares de transmisión (modulación, etc.)
- Tipo de tráfico de comunicaciones.
- Localización física de los transmisores.
- Posiciones orbitales.
- Velocidades (para algunos servicios).

<sup>17</sup> Consorcio internacional creado en 1964 y responsable del Early Bird, primer satélite comercial de comunicaciones. Ver el capítulo 1.

<sup>18</sup> Agencia Espacial Europea (<http://www.esa.int>)

## CAPÍTULO 3

# Arquitectura de los Satélites de Comunicaciones

La colocación de un satélite, ya sea de comunicaciones o no, en su órbita es un proceso complejo que comienza con el lanzamiento, a bordo de un vehículo o sistema lanzador y que finaliza con la ubicación del satélite en su posición orbital definitiva.

### 1. El Lanzamiento del Satélite

El lanzamiento de un satélite de comunicaciones es un proceso muy complejo y con altas posibilidades de que algo salga mal. Normalmente se desarrolla bajo la responsabilidad de la organización que aporta el lanzador, cuyo compromiso suele concluir al situar el satélite en perfectas condiciones en la llamada órbita de transferencia<sup>19</sup>.

Dependiendo de la posición geográfica de la base de lanzamiento, de las estaciones terrenas de apoyo disponibles, del tipo de lanzador y, sobre todo, de las propias restricciones que imponga el satélite, sólo se puede iniciar la operación de lanzamiento en determinados períodos del día denominados ventanas de lanzamiento que suelen durar de una a cinco horas diarias.

El proceso de lanzamiento más habitual es el denominado “transferencia de Hofmann” (fig. 20) que consta de los siguientes pasos:

- Paso 1.- Disparo del conjunto de lanzador-satélite desde tierra hacia el Este, aprovechando la rotación terrestre.
- Paso 2.- Colocación del satélite, junto con la última fase del lanzador, en una órbita baja de estacionamiento.
- Paso 3.- Impulsión del satélite a una órbita elíptica denominada de transferencia. Alcanzada esta órbita concluye el proceso de lanzamiento propiamente dicho.
- Paso 4.- Utilizando el empuje del motor de apogeo situado en el propio satélite, se realiza el viaje hasta su posición orbital definitiva<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> La órbita de transferencia es una órbita intermedia donde se posiciona temporalmente el satélite antes de ocupar su posición orbital definitiva.

<sup>20</sup> Posición orbital: Cada una de las localizaciones en las que se puede ubicar un satélite.

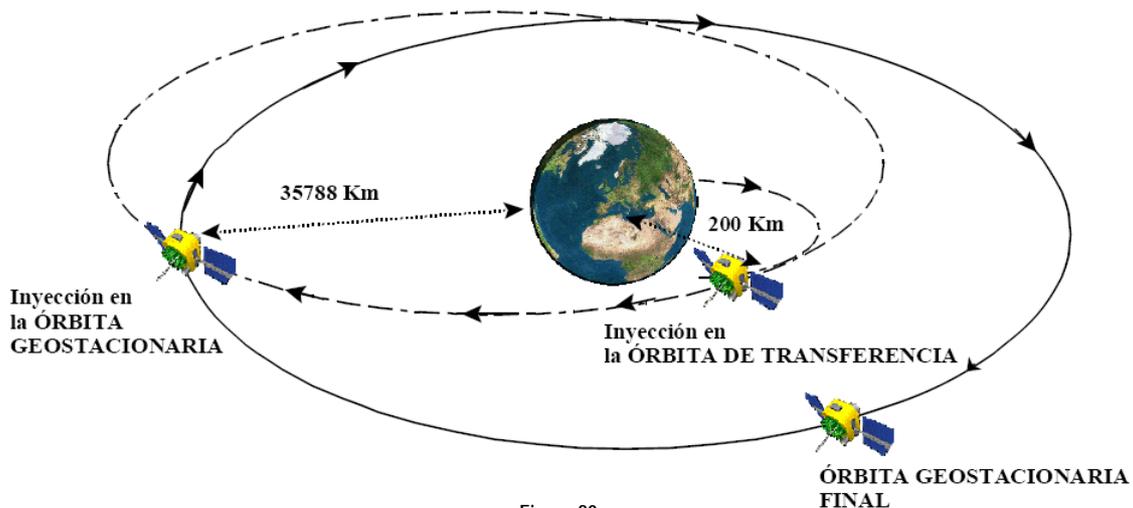


Figura 20

## 2. Vehículos Lanzadores

Para poder colocar un satélite de comunicaciones en órbita es necesario usar sistemas lanzadores que tengan la suficiente potencia para vencer la atracción gravitacional y colocar los satélites fuera de la atmósfera.

Actualmente existe un gran número de lanzadores distintos lo que supone una fuerte competencia en el sector. Entre los principales lanzadores cabe destacar la familia Ariane, la familia Atlas, la familia Delta, la familia Proton y la familia Soyuz.

A la hora de seleccionar el lanzador más adecuado para un satélite es necesario tener en cuenta los siguientes factores, ordenados por orden de importancia: La fiabilidad del lanzador, la capacidad para realizar la misión con la carga de pago deseada, el precio del lanzamiento, la disponibilidad, las relaciones entre las dos empresas y los acuerdos comerciales y las condiciones de lanzamiento.

Las dos primeras cuestiones se deben al alto riesgo técnico del lanzamiento. Los datos históricos de los distintos tipos de lanzadores demuestran que el porcentaje de fallos disminuye con el número de lanzamientos, reduciéndose por debajo del 20% a partir de los 100 lanzamientos.

Esta peligrosidad hace que la carga de pago tenga que cumplir unos estrictos requisitos que eviten el modificar el comportamiento del lanzador, lo que provoca que en ocasiones el cliente deba rediseñar su producto. En algunos casos estas modificaciones son más costosas que la elección de otro lanzador.

También hay que destacar que actualmente algunos lanzadores son capaces de poner varios satélites en órbita en cada lanzamiento.

Los lanzadores no pueden alcanzar cualquier órbita. Normalmente un lanzador no puede alcanzar la órbita geoestacionaria, por lo que sitúa al satélite en una órbita de transferencia y son los propios motores del satélite los que realizan la transferencia final.

Desde la cancelación del programa de transbordadores espaciales de la NASA<sup>21</sup>, todos los lanzadores son del tipo ELV<sup>22</sup>, es decir vehículos desechables de un solo uso.

A continuación veremos las principales familias de lanzadores.

### **Ariane**

Los lanzadores de la familia Ariane son un producto de la compañía Arianespace, que fue creada en 1980 como la primera compañía de transporte espacial comercial, y es hoy en día la compañía líder en lanzamientos comerciales.

El lanzamiento de los cohetes Ariane se realiza desde el centro espacial que la ESA tiene situado en la Guayana Francesa. Este centro espacial presenta la ventaja de su situación geográfica, pues al estar muy cercana al ecuador la inclinación de la órbita de transferencia es de solo unos 5°, con lo que ahorramos combustible en el motor que coloca el satélite en la órbita geoestacionaria. De este modo se permite alargar su vida útil o bien incrementar el número de equipos abordo.

El lanzador Ariane permite el lanzamiento de uno o dos satélites mediante una configuración conocida como SYLDA. Este nombre es un acrónimo de Systéme Lancement Double Ariane, que es un sistema de bodega para carga útil, que se emplea para el transporte de diversos tipos de satélites, en grupos de dos. El dispositivo tiene una longitud total de 8,65 m. Una vez ha entrado en la órbita adecuada, el satélite situado en la parte superior es liberado y, acto seguido, un sistema pirotécnico abre el resto del compartimiento para dejar salir al segundo satélite.

Los sucesivos modelos del Ariane (I, II, III, IV) fueron apareciendo a medida que aumentaba la masa de los satélites que debían poner en órbita.

En la actualidad se ha desarrollado el Ariane V (fig.21), un lanzador con una capacidad de carga útil de hasta 6.800 kg, dentro de la órbita de transferencia geoestacionaria, y de hasta 18.000 kg en



Figura 21

<sup>21</sup> NASA: National Space Agency.

<sup>22</sup> ELV: Expendable Launch Vehicles.

una órbita LEO. Este lanzador es capaz de órbita los satélites de telecomunicaciones más pesados.

Entre las misiones más destacadas del Ariane 5, se pueden nombrar: el lanzamiento con éxito de la nave espacial Roseta en su trayectoria hacia un cometa, la puesta en órbita del satélite Skynet 5B (la plataforma de telecomunicaciones más grande del mundo jamás lanzada), la misión doble de lanzamiento con Hot Bird 7A y Spainsat, y muchos más.

Por último, el lanzador Ariane 5 ECA es el más poderoso de la familia Ariane. Es capaz de colocar una carga útil de 9.600 Kg dentro de la órbita geoestacionaria.

### **Soyuz**

Soyuz (fig. 22) es uno de los lanzadores más fiables del mundo y también uno de los usados con más frecuencia. Más de 1.700 satélites han sido puestos en órbita por lanzadores Soyuz.

Soyuz presenta dos versiones diferentes. Soyuz 2-1-a, con capacidad para colocar 2.700 Kg. de carga útil en órbita de transferencia, y Soyuz 2-1-b, esta última ha mejorado el sistema de propulsión, incrementando la capacidad de carga útil, y ha modernizado el sistema del ordenador abordo.



Figura 22

### **ILS (Atlas y Protón)**

El consorcio internacional ILS<sup>23</sup> está formado por las empresas «Lockheed Martin» y «Khrunichev State Research and Production Space Center», las cuales han aportado su experiencia profesional para el desarrollo y evolución de los lanzadores Atlas y Proton, integrando ambos lanzadores para crear una solución de lanzamiento complementaria.

---

<sup>23</sup> ILS: International Launch Services.

Los vehículos lanzadores Atlas están fabricados por Lockheed Martin Space Systems en sus instalaciones de Denver (Colorado), Harlingen (Texas) y San Diego (California).

Desde el lanzamiento del primer vehículo Atlas en 1957, se han llevado a cabo 585 vuelos con un porcentaje de éxito muy alto, lo que ha hecho de Atlas uno de los primeros sistemas lanzadores del mundo y el pilar para el programa espacial americano.

Para adaptarse a la creciente demanda de carga de pago, ILS ofrece varias configuraciones del Atlas: Atlas II, Atlas III y Atlas V

El lanzador Proton está construido por Khrunichev State Research and Production Space Center. Protón posee una larga y distinguida historia, llegando a ser uno de los vehículos claves en el programa espacial ruso. Es el vehículo lanzador ruso más grande todavía operativo, y ha alcanzado un record de fiabilidad del 96% con más de 320 lanzamientos desde mediados de los 60.

Protón se usa para lanzar todas las misiones interplanetarias y geoestacionarias rusas por Khrunichev, mientras que ILS supervisa la mayoría de los lanzamientos de satélites comerciales.

### 3. La Órbita

La órbita se define como la trayectoria seguida por el satélite en equilibrio entre dos fuerzas opuestas, que son la fuerza de gravedad terrestre, que atrae al satélite hacia el centro de la tierra y la fuerza centrífuga que tiende a separar al satélite de su órbita.

Los tipos de órbitas más comunes son los siguientes:

- **Órbitas elípticas inclinadas un ángulo de 64° respecto al plano ecuatorial.** Este tipo de órbita se caracteriza porque es particularmente estable respecto a las irregularidades en la fuerza gravitacional terrestre y debido a su inclinación cubre regiones de alta altitud durante un largo tiempo del período<sup>24</sup> orbital.
- **Órbitas circulares inclinadas.** La altitud del satélite es constante e igual a varios cientos de kilómetros. El período es del orden de una hora y media. Con una inclinación de casi 90°, este tipo de órbita garantiza que el satélite pasará sobre cada región de la tierra, por lo que es empleada por satélites observacionales.

---

<sup>24</sup> Período orbital (o simplemente periodo) es el tiempo que tarda el satélite en completar una revolución alrededor del planeta.

- **Órbitas ecuatoriales.** Son órbitas circulares con inclinación cero. La más conocida es la órbita geoestacionaria en la cual el satélite gira alrededor de la tierra a una altitud de 35.768 Km y en la misma dirección de la tierra. El periodo orbital es igual al de rotación de la tierra y en la misma dirección. El satélite aparecerá como un punto fijo en el espacio y asegurará una operación continua como un repetidor de radio en tiempo real para el área de visibilidad del satélite (aproximadamente el 40% de la superficie de la Tierra).

A continuación se detallarán las características de las órbitas más utilizadas y que se pueden observar en la figura 23.

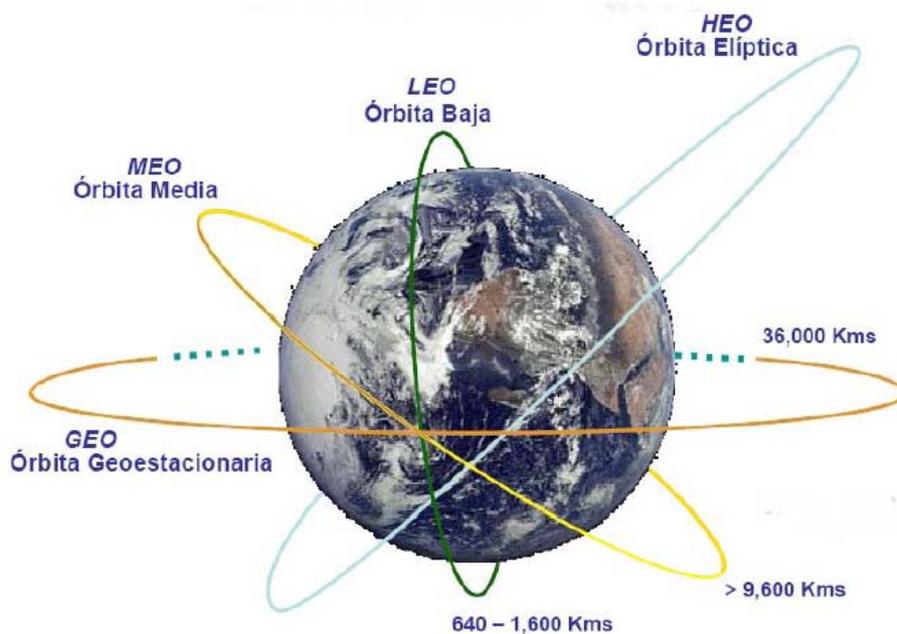


Figura 23

### Órbita Geoestacionaria.

Si la órbita circular se encuentra sobre el ecuador y el satélite viaja en la misma dirección que la tierra, el satélite aparecerá estacionario respecto a un punto de la tierra. En este caso la órbita se denomina geoestacionaria<sup>25</sup>. La distancia del satélite a la corteza terrestre será de aproximadamente 36.000 Km. y el satélite realmente no está fijo en el espacio sino que se mueve a una velocidad de aproximadamente 11.000 Km/h, describiendo una circunferencia completa cada 24 horas, es decir, el mismo tiempo que tarda la tierra en girar sobre su propio eje.

<sup>25</sup> Arthur C. Clarke planteo el concepto de órbita geoestacionaria en un artículo publicado en 1945 en la revista «Wireless World». Por este motivo este tipo de órbita también se conoce con el nombre de órbita de Clarke.

Los satélites geoestacionarios se sitúan sobre el plano del Ecuador porque si la órbita del satélite se dispone verticalmente o inclinada con respecto al Ecuador, la dirección del satélite será distinta a la de giro de la Tierra, con lo cual el satélite no permanecerá estacionado e incluso desaparecerá en ocasiones de la visibilidad del observador en la Tierra. En una órbita de 24 horas sobre el Ecuador, el satélite viaja de Este a Oeste en perfecta sincronía con la Tierra, y por tanto permanecerá geoestacionario con respecto a cualquier punto del planeta (fig. 24).

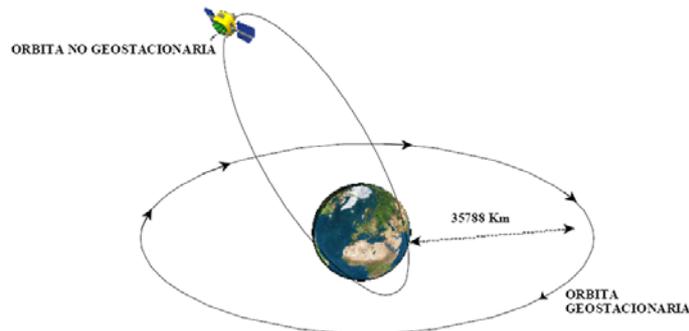


Figura 24

La órbita geoestacionaria se emplea actualmente en la mayor parte de los sistemas de satélites debido a las siguientes ventajas:

- El satélite permanece estacionario respecto a un punto de la Tierra. La antena de la estación de tierra no es necesario que siga permanentemente al satélite, lo cual reduce el costo de forma considerable.
- Con un mínimo de 5° de ángulo de elevación de la antena de la estación de tierra, el satélite geoestacionario puede cubrir al menos el 40% de la superficie de la tierra, por lo que tres satélites geoestacionarios separados 120° pueden cubrir la totalidad de la superficie del planeta, excepto para las regiones polares, asumiendo un mínimo de 5° de ángulo de elevación.

Aunque un satélite geoestacionario aparece desde la tierra como inmóvil, la atracción gravitacional de la Luna y del Sol causa un desplazamiento en su órbita y la posición del satélite tiende a inclinarse a la velocidad de 1° al año. También, la no uniformidad del campo gravitacional de la tierra y la presión de la radiación del sol pueden causar un desplazamiento en la longitud. Pero este desplazamiento resulta menor en varios órdenes de magnitud que la atracción debido a la luna y al sol.

Estos efectos hacen que el satélite se desplace, describiendo un movimiento en forma de ocho en el interior de un cubo de 75 km x 75 km x 85 km, tal y como se aprecia en la figura

25. Este cubo representa un desplazamiento máximo de  $0.1^\circ$  en longitud y latitud desde el punto de vista terrestre y recibe el nombre de posición orbital.

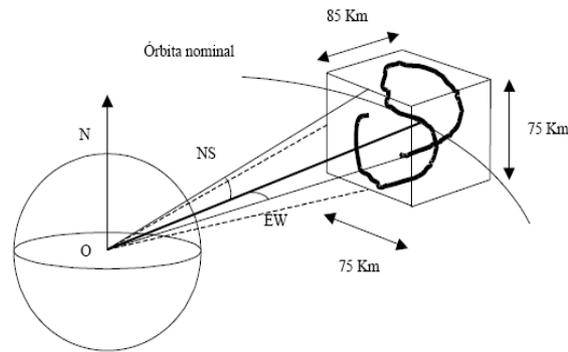


Figura 25

La UIT se encarga de gestionar y adjudicar las posiciones orbitales entre los diferentes estados.

### Órbitas bajas o LEO

Las órbitas LEO<sup>26</sup> se sitúan a una distancia<sup>27</sup> de la superficie de la tierra mínima de 200 Km y máxima de 1.000 Km. Una distancia relativamente pequeña comparada con la órbita geoestacionaria. A estas distancias, el satélite tendrá un periodo orbital de hora y media aproximadamente y realizará en entorno a 15 revoluciones diarias, lo que provoca que se produzcan varios periodos de sombra, donde la tierra se antepone entre el sol y el satélite, lo que produce que este se quede sin su principal fuente de energía. Estos eclipses ocurrirán uno por cada vuelta.

Las órbitas LEO presentan varias ventajas relacionadas precisamente con su menor altitud y que hacen que la gran mayoría de los satélites estén colocados en estas distancias:

- Los satélites pueden ser puestos en órbita, sin necesidad de grandes motores, lo que reduce el coste del lanzamiento.
- Se asegura el paso por toda la superficie terrestre aunque por un breve periodo de tiempo, lo que los hace especialmente útiles en misiones de observación de la superficie terrestre.
- Tienen menos pérdidas debido a su menor distancia con respecto a la tierra, lo que permite poder utilizar en tierra equipos portátiles de menor tamaño para conectarse.

<sup>26</sup> LEO: Low-Earth Orbit.

<sup>27</sup> Por debajo de 200 Km las órbitas no son estables debido a la densidad de la atmósfera. Por encima de 1.000 Km la radiación procedente de los cinturones de Van Allen es muy elevada y puede dañar a los sistemas electrónicos del satélite.

Los principales inconvenientes que presentan las órbitas LEO también son consecuencia de su baja altitud:

- El satélite se desgasta más y se acorta su vida útil, debido a la presencia de mayor radiación y al rozamiento de la atmósfera terrestre, que aunque a esas distancias es escasa, a la velocidad a la que se desplaza el satélite, producen un rozamiento elevado.
- El número de satélites necesario para poder ofrecer una cobertura global es muy elevado, necesitando más de 20 satélites para ello.
- Las variaciones de potencia de recepción son muy variables debido al movimiento del satélite, así como el aumento del efecto Doppler, debido a la alta velocidad del satélite con respecto a la tierra.

Los ejemplos más característicos de este tipo de órbitas son el telescopio Hubble, situado a una distancia de 600 Km. Y la Estación Espacial Internacional situada a 377 Km.

### **Órbitas medias o MEO**

Las órbitas MEO<sup>28</sup>, también conocidas como órbitas ICO<sup>29</sup>, se sitúan a una distancia de la superficie de la tierra comprendida entre 3.000 y 36.000 Km. Suelen colocarse entre los cinturones de Van Allen para evitar en la medida de lo posible, la fuerte radiación. Su inclinación típica oscila entre 45° y 90°. Son órbitas circulares con una velocidad de 7 Km/s y un periodo orbital de 2 horas, por lo que completan entre 2 y 12 revoluciones diarias.

El empleo de este tipo de satélites compensa los problemas que presentan las órbitas geoestacionarias y las LEO, ya que son un poco más caros que los de órbita baja y sus variaciones en potencia no son tan elevadas. Además, el efecto Doppler no es tan significativo, y pueden ofrecer una cobertura global con menor número de satélites, siendo suficiente entre 8 y 16 satélites.

La señal presenta menos retardo y atenuación con respecto a los geoestacionarios, debido a su menor distancia, lo que les hace ideales para ser utilizados con dispositivos portátiles de reducidas dimensiones como puede ser la telefonía móvil.

El inconveniente principal que presentan este tipo de órbitas es debido a que presentan mayor riesgo de radiación, debido a su proximidad a los anillos de Van Allen, y su alto coste, que aunque inferior al de las órbitas geoestacionarias, sigue siendo elevado, puesto

---

<sup>28</sup> MEO: Medium-Earth Orbit.

<sup>29</sup> ICO: Intermediate Circular Orbit.

que no se disponen en la actualidad de motores capaces de colocar directamente a los satélites en estas órbitas.

Como ejemplos de satélites que trabajan en esta órbita podemos destacar el sistema GPS<sup>30</sup>, cuyos satélites orbitan a 18.000 Km de la superficie terrestre, y el futuro sistema de localización europeo GALILEO<sup>31</sup>.

### Órbitas excéntricas o HEO

A diferencia de las órbitas vistas anteriormente, las órbitas HEO<sup>32</sup> se caracterizan por su gran excentricidad. La altitud de su órbita oscila entre 100 Km y distancias superiores a los 36.000 Km de la órbita geoestacionaria.

Este tipo de órbita permite al satélite proporcionar coberturas muy amplias cuando se encuentra cercano a su zona de apogeo<sup>33</sup>, lo que ocurre durante la mayor parte del recorrido de su órbita.

Otro factor a su favor es que son muy económicos de poner en órbita puesto que su distancia de perigeo<sup>34</sup>, suele ser muy pequeña.

Las desventajas que presentan estas órbitas son las siguientes:

- Los satélites que utilizan estas órbitas tienen que corregir constantemente su recorrido, debido a las altas velocidades que alcanzan en su perigeo.
- Tienen que ser construidos de forma que sean muy resistentes a la radiación, ya que en su recorrido, atraviesan varias veces los cinturones de Van Allen, recibiendo grandes dosis de radiación. Esto eleva considerablemente el coste de fabricación.
- Sufren un gran rozamiento con la atmósfera terrestre en su perigeo, ya que su velocidad es muy elevada y su distancia de la tierra muy corta.
- También presentan elevadas variaciones de potencia: altas pérdidas en distancias cercanas al apogeo, y elevado efecto Doppler en su perigeo.

Debido a estas características, los satélites trabajan en estas órbitas, son muy útiles para proporcionar mayor cobertura que los satélites geoestacionarios, pero los hacen prácticamente inservibles para misiones de observación terrestre, dado que el tiempo que permanecen más cercanos a la tierra, es muy pequeño.

---

<sup>30</sup> GPS: Sistema de posicionamiento global (Global Positioning System). Ver el capítulo seis.

<sup>31</sup> GALILEO: Ver el capítulo seis.

<sup>32</sup> HEO: Highly Elliptical orbit.

<sup>33</sup> Apogeo: punto de una órbita elíptica más lejano de su centro.

<sup>34</sup> Perigeo: punto de una órbita elíptica más cercano a su centro.

#### 4. Elementos del satélite

En esencia, un satélite de comunicaciones está formado por dos módulos. El módulo de servicio y el módulo de comunicaciones.

##### Módulo de servicio

El módulo de servicio aloja los depósitos de combustible, los motores eléctricos y los cohetes que permiten posicionar el satélite. Contiene las baterías de acumuladores que se cargan con la energía eléctrica generada en los paneles solares cuando sobre estos últimos incide la luz solar. Es el encargado también de mantener la temperatura adecuada en los equipos para que éstos trabajen en el margen correcto.

##### Módulo de comunicaciones

El Módulo de comunicaciones del satélite proporciona la cobertura de recepción y transmisión para el satélite. Consta de una antena de comunicaciones y un repetidor de comunicaciones.

La antena de comunicaciones permite la recepción y transmisión de las señales en los rangos de frecuencias del enlace ascendente y descendente. Como se vio anteriormente, se usan frecuencias distintas para transmisión y recepción para evitar la interferencia.

Las antenas de un satélite de comunicaciones pueden ser de dos tipos: De bocina y parabólicas. Las antenas parabólicas permiten enfocar la onda de radiofrecuencia en un haz estrecho y por lo tanto concentrar toda la energía en una determinada zona de la superficie. Las antenas de bocina son omnidireccionales y se utilizan para apuntar correctamente al satélite, mediante la emisión de una señal de baliza.

El repetidor de comunicaciones (fig. 26) está formado por la conexión de los siguientes módulos:

- Un receptor-convertidor descendente de banda ancha.
- Un multiplexor de entrada.
- Amplificadores de Tubo de Ondas Progresivas.
- Un multiplexor de salida.

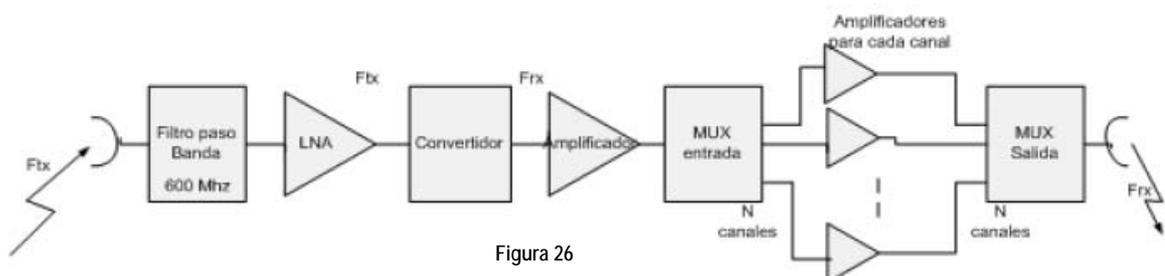


Figura 26

El Receptor-convertidor descendente está diseñado para operar en un ancho de banda de 500 MHz. Las señales de entrada del enlace ascendente son filtradas por un filtro paso banda de 600 MHz y a continuación amplificadas por un amplificador<sup>35</sup> de estado sólido de bajo ruido (figura de ruido típica de 2 a 4 dB).

Una vez amplificada la señal recibida, se convierte a la frecuencia del enlace descendente por un convertidor reductor, para ser amplificadas de nuevo y pasadas a través de un aislador hacia el multiplexor de entrada.

El multiplexor de entrada/salida se utiliza para separar el ancho de banda de 500 MHz en canales individuales cuyo ancho de banda depende de la misión del satélite.

Los canales individuales son pasadas a través de los amplificadores de gran potencia (TOP) para enviarlas de nuevo hacia la tierra.

Las señales de salida de los TOP se combinan de nuevo por el multiplexor de salida para su retransmisión hacia la tierra. El multiplexor de salida proporciona la atenuación necesaria de las señales fuera de banda y de los armónicos producidos por el TOP.

---

<sup>35</sup> Ver el capítulo cinco.

## CAPÍTULO 4

# Tecnología de los sistemas de comunicaciones vía satélite.

Si en el capítulo anterior se estudió el segmento espacial de un sistema de comunicaciones vía satélite, en este módulo capítulo se explicaran con un poco más de detalle los diferentes sistemas y equipos que conforman el segmento terreno del sistema, es decir, los componentes de las estaciones y terminales satélite.

De esta forma se verá una serie de equipos que se repiten en todas las estaciones y terminales. Estamos hablando de la antena, los amplificadores, los Convertidores, los Modems, los Multiplexores y los sistemas de control y apuntamiento.

### 1. La antena

Las antenas empleadas en las comunicaciones por satélite trabajan en un rango de frecuencias muy elevado, por lo que deben ser muy directivas. De hecho, la ganancia<sup>36</sup> y la directividad<sup>37</sup> son precisamente los parámetros<sup>38</sup> que mejor caracterizan a una antena diseñada para enlaces vía satélite.

El subsistema de antena es el interfaz entre el subsistema de transmisión y el satélite y entre el satélite y el subsistema receptor. En su parte transmisora recibe las señales procedentes del subsistema transmisor y las prepara para su transmisión al espacio libre, polarizándolas y añadiéndoles ganancia para, junto con el amplificador de potencia, conseguir el valor de PIRE<sup>39</sup> necesario para el enlace. En su parte receptora recibe las señales del satélite y las dirige a la cadena de recepción, concretamente al amplificador de bajo ruido.

Además de las funciones anteriores, el subsistema de antena permite el correcto apuntamiento al satélite por medio de un sistema de seguimiento por pasos.

<sup>36</sup> La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

<sup>37</sup> La Directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada.

<sup>38</sup> Los parámetros que definen una antena son: Diagrama de Radiación, Densidad de Potencia Radiada, Directividad, Ganancia, Polarización, Impedancia, Adaptación, Área y longitud efectivas.

<sup>39</sup> PIRE: Potencia isotrópica radiada equivalente. Se expresa en decibelios y se calcula conociendo la potencia del emisor y la ganancia de la antena.

De forma esquemática, las funciones que realiza el Subsistema de Antena son las siguientes:

- Seguimiento y adquisición del satélite mediante la señal de baliza.
- Transmisión simultánea de varias portadoras.
- Recepción simultánea de varias portadoras.
- Amplificación de las señales recibidas y a transmitir.
- Polarización adecuada de las señales de comunicaciones.
- Permitir funciones de monitorizado y control locales y remotas.

Las antenas se pueden clasificar en función de su orientación, y en función de su alimentador:

#### Clasificación de las antenas en función de su orientación:

- **Antenas Fijas:** (fig. 27) Se utilizan para el seguimiento de un único satélite. El apuntamiento es poco preciso. Cualquier tipo de sujeción es válida.



Figura 27

- **Elevación-Azimut:** (fig. 28) La antena se mueve como el trípode de una cámara fotográfica: Un eje vertical y un eje horizontal. Controlando el movimiento en ambos ejes se puede cubrir todo el arco geoestacionario.



Figura 28

- **Ecuatorial:** (fig. 29) En este tipo de antenas, un eje es paralelo al eje terrestre, el disco es perpendicular a éste y mira de forma automática al ecuador celeste. Para ver el arco geoestacionario sólo se necesita el movimiento en torno a un solo eje.

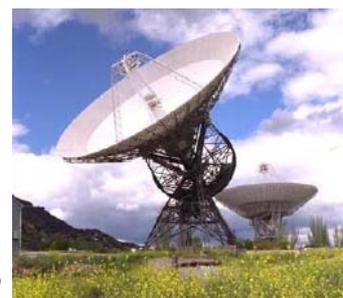


Figura 29

- **Terminales Navales:** (fig. 30) Las antenas de los terminales Navales son un caso particular de las de elevación-azimut. En este tipo de antenas suele existir un tercer eje de giro, llamado de polarización o Cross Level, que permite que la antena gire sobre el eje perpendicular al plato de la antena. Este giro es necesario para que la estabilización de la antena sea más eficiente ya que ésta se sitúa sobre una base inestable (la cubierta de un buque). Además, este tipo de antenas se protege mediante un radomo<sup>40</sup> para evitar la corrosión.

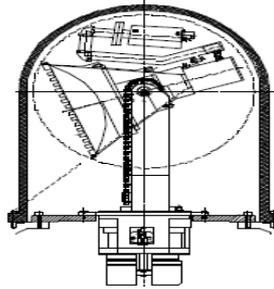


Figura 30

#### Clasificación de las antenas en función del alimentador:

- **Foco simple:** (fig. 31) El alimentador o "feed" (la entrada y salida de la señal) se encuentra en el foco de la elipse de la antena.

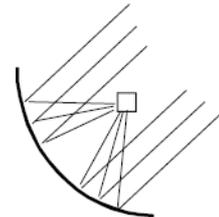


Figura 31

- **Doble reflexión:** (fig. 32) El foco no está el alimentador sino en el subreflector, de forma hiperbólica que dirige la radiación hacia el centro de la antena, donde se sitúa el alimentador. Geométricamente se aumenta el rendimiento de la antena.

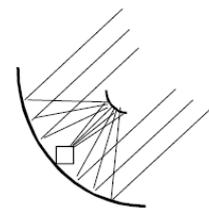


Figura 32

- **Foco en Offset:** (fig. 33) El foco se encuentra desplazado del centro de la antena. Se evita así que el alimentador se sitúe en la zona donde se recibe la radiación.

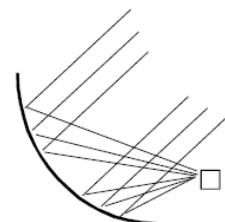


Figura 33

<sup>40</sup> El radomo recubre la antena protegiéndola del ambiente sin afectar a sus propiedades electromagnéticas, al estar construido con materiales transparentes a las ondas de radio.

## 2. Amplificadores, convertidores y transceptores

### Amplificadores de alta potencia

Los amplificadores de alta potencia se colocan a la salida de la cadena de transmisión, antes de la antena, y pueden ser de dos tipos: Tubos de ondas progresivas (TOP) y amplificadores de estado sólido (SSPA<sup>41</sup>).

El Tubo de Ondas Progresivas es un amplificador de banda ancha que abarca toda la banda del satélite con la uniformidad o estabilidad en ganancia necesaria. A causa de estas características el TOP suele ser el tipo de amplificador más utilizado en las estaciones terrenas porque permite transmitir de manera simultánea varias portadoras en un rango de frecuencias mucho mayor.

Sin embargo hay que destacar que la transmisión simultánea de varias portadoras por el mismo tubo produce componentes de intermodulación<sup>42</sup>, las cuales aumentan a medida que el punto de trabajo se acerca a saturación. Por lo tanto, cuando se dan condiciones de operación multiportadora es preciso disminuir la potencia de las señales para trabajar más cerca de la zona lineal.

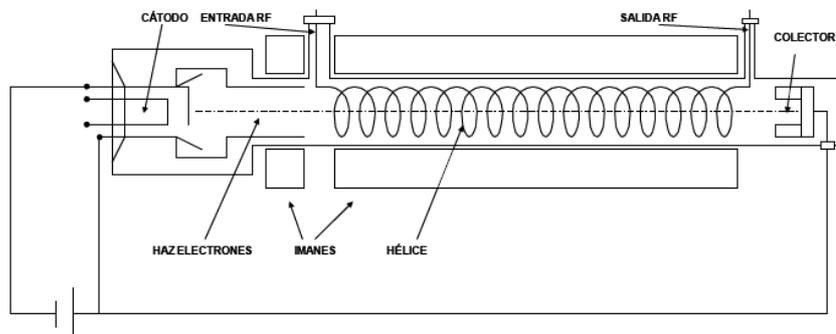


Figura 34

En las estaciones pequeñas de baja capacidad, normalmente es suficiente utilizar amplificadores de estado sólido (SSPA), que emplean transistores de efecto campo y cuya potencia de salida suele ser de aproximadamente 200 vatios. Si se requiere mayor potencia, se puede obtener conectando transistores en paralelo en la etapa de salida.

Los amplificadores de estado sólido han sido usados comúnmente en banda C. También se dispone de amplificadores de potencia de estado sólido trabajando en banda Ku a potencias de salida de aproximadamente 30w. En la actualidad se dispone de amplificadores en la banda X a 400 w de salida.

<sup>41</sup> SSPA: Solid State Power Amplifier.

<sup>42</sup> La intermodulación es la distorsión de la señal deseada por la mezcla de dos o más señales de transmisión en RF. Su efecto es el de aumentar la energía en las subbandas del espectro similar al ruido.

Cada vez con más frecuencia se prefiere utilizar amplificadores del tipo SSPA antes que TOP, debido a las siguientes razones:

- El amplificador de potencia de estado sólido es más lineal que el amplificador basado en tubo de ondas progresivas, por lo que aparecen menos componentes de intermodulación.
- Para la misma potencia de entrada, la potencia de salida del amplificador de estado sólido será mayor al presentar un mayor margen dinámico de entrada para el mismo nivel de intermodulación.
- Los TOP requieren de un sistema de refrigeración mucho más sofisticado que el incorporado para los amplificadores de estado sólido, debido a la gran disipación de calor que realiza.
- La fiabilidad de los amplificadores de potencia de estado sólido es mayor que la de los TOP.



Figura 35

### **Amplificadores de bajo ruido (LNA<sup>43</sup>)**

Los amplificadores de bajo ruido se sitúan en la entrada del canal de recepción, y su misión consiste en amplificar la señal del enlace descendente. La principal característica de estos equipos es su capacidad para aislar la señal del ruido, ya que el nivel de la entrada es muy pequeño y es difícil distinguirlo del ruido.

Se suelen ubicar lo más cerca posible de la antena, para minimizar las pérdidas y el ruido.

### **Convertidores**

En las comunicaciones vía satélite se requieren frecuencias de transmisión elevadas a fin de poder cubrir las distancias de enlace con un requisito de potencia razonable. Sin embargo, a medida que la frecuencia aumenta comienzan a ser más significativos los efectos de atenuación, absorción y dispersión provocados por la lluvia y las capas altas de

<sup>43</sup> LNA: Low Noise Amplifier.

la Atmósfera. Todo ello obliga a reforzar la señal con modulaciones que disminuyan dichos efectos (modulaciones de frecuencia y fase principalmente).

Aquí nos encontramos con el problema de que es mucho más complejo realizar la modulación a frecuencias altas que a una frecuencia menor, por lo que el proceso seguido consiste en realizar la modulación a una frecuencia intermedia (FI) y posteriormente trasladar la señal resultante hasta la frecuencia final de transmisión (RF). De la misma manera, en la recepción de la señal procedente del satélite se lleva a cabo el proceso contrario, comenzando con una conversión a una frecuencia intermedia antes de proceder a su demodulación.

Esta conversión de frecuencias la realizan los convertidores de frecuencia, tanto para la cadena de transmisión (Convertidor-Elevador) como para la cadena de recepción (Convertidor-Reductor). Los Convertidores Elevadores trasladan la señal de FI a RF, y los Convertidores-Reductores trasladan la señal de RF a señal de FI, fijada en 70 MHz.

El ancho de banda de RF, que define la capacidad del convertidor para cubrir la banda de RF operacional es decir, para transmitir (o recibir) se consigue mediante el ajuste de la frecuencia del oscilador local para las diferentes frecuencias de las portadoras que pueden explotarse en el sistema de telecomunicaciones por satélite.

El ancho de banda total de FI, define la capacidad total del convertidor para cubrir todo el ancho de banda de los diversos tamaños de portadora que puedan transmitirse.

A menudo se altera el plan de frecuencias y la capacidad de canales cuando el tráfico a través de los satélites varía y aumenta. Los convertidores elevadores y reductores que pueden ajustarse en frecuencia en todo el ancho de banda de RF son de gran importancia para facilitar dichos cambios. Esta capacidad de cambiar las frecuencias portadoras de RF (denominada agilidad de frecuencias), se mejora mediante la utilización de convertidores elevadores y reductores de doble conversión.

En los sistemas de comunicaciones vía satélite resulta frecuente la conversión de frecuencias de varias portadoras empleando un único convertidor (previamente dichas portadoras han debido atravesar un combinador). Este hecho puede producir intermodulación entre las portadoras, pero reduce el número de convertidores necesarios en una estación.



Figura 36

## Transceptores<sup>44</sup>

Los transceptores se basan en el concepto de integrar los equipos de radiofrecuencia en una única unidad para poder reducir costes y conseguir una mayor integración, a cambio de sacrificar parte de las prestaciones del sistema, sobre todo a nivel de PIRE máxima y ruido de fase. Sin embargo, el avance en el campo de los semiconductores ha permitido aumentar las potencias disponibles en estos equipos por lo que se cada vez son más utilizados.

El transceptor integra en una misma unidad un amplificador de potencia y los convertidores de frecuencia (elevador y reductor). El amplificador de bajo ruido no suele integrarse en el transceptor ya que necesariamente se ubica en el concentrador de la antena para minimizar las pérdidas y el ruido. Además el amplificador de bajo ruido suele realizar una conversión en frecuencia y para realizar esa conversión necesita de una frecuencia de referencia.

El amplificador de bajo ruido de los transceptores se denomina LNC ó LNB (en función de si la referencia de frecuencia la proporciona el transceptor o la genera el propio amplificador).

La alimentación de los LNB/LNC se realiza en muchas ocasiones a través del propio cable de la señal. Esto minimiza el cableado necesario y facilita la instalación aunque dificulta el mantenimiento del sistema. A la salida del LNB/LNC la señal pasa por un modulo convertidor-reductor de forma que a la salida del transceptor se obtienen la señal en FI.

En la parte de transmisión la señal entra en FI y se convierte a la frecuencia de transmisión. A continuación pasa al módulo de amplificación, que básicamente se comporta igual que un SSPA, para enviarse a la antena.

<sup>44</sup> El termino transceptor surge de la unión de las palabras transmisor y receptor.

### 3. Equipos de comunicaciones

#### Módems<sup>45</sup>

Modular consiste en imprimir la señal de información, denominada señal moduladora, en una señal portadora generada por el transmisor, con el objetivo de aprovechar mejor el canal de comunicación ya que posibilita transmitir más información en forma simultánea por un mismo canal, mediante la multiplexación por frecuencias, y además proteger la información de posibles interferencias y ruidos.

La modulación también se puede emplear para colocar una señal en una banda de frecuencia en la cual los requerimientos de diseño por ejemplo de filtros, convertidores o amplificadores se cumplan fácilmente, este último es el caso en el cual las señales de RF son convertidas a Frecuencia Intermedia en el receptor.



Figura 37

#### Multiplexores

La multiplexación permite combinar varias señales independientes (tributarios) en una señal compuesta adecuada para la transmisión por un canal común (agregado o primario) que se envía al satélite. Las señales de entrada al multiplexor pueden ser analógicas (voz) y digitales (por ejemplo ficheros de datos).

Un multiplexor es un equipo que en transmisión combina las señales procedentes de varios usuarios en una sola señal que, posteriormente, modulará la portadora que se transmitirá al satélite. Es decir, comprime y transforma las señales analógicas de voz y fax en un formato digital que junto con las señales de datos, señal de control y de supervisión, forman un agregado digital.

En recepción, se realiza el proceso inverso: Demultiplexado. La señal procedente del satélite se separa en la información individual de cada usuario. Se descomprime, se pasa

<sup>45</sup> **Modem:** Acrónimo de modulador-demodulador.

de conversión digital a analógica (para los canales de voz) y se separan los distintos canales de voz, datos y de control y supervisión.

Normalmente, las comunicaciones vía satélite involucran señales de datos, voz e imagen. Obviamente, los datos son señales digitales, pero las señales telefónicas pueden ser analógicas o digitales. Las señales deben ser separadas para evitar la interferencia entre ellas.

Las formas más comunes de multiplexado son las siguientes:

- **TDM (Multiplexado por división en el tiempo).** Las señales pasan por el transpondedor del satélite a distintos tiempos. La técnica del TDM explora cíclicamente las señales de entrada de los usuarios y les da el ancho de banda total pero una pequeña fracción de tiempo. La velocidad de la señal resultante es la suma de las velocidades de las señales de entrada
- **FDM (Multiplexado por división en frecuencia).** Las señales pasan por el transpondedor del satélite a frecuencias diferentes. Para ello, se transmiten varias señales en un canal modulándolas a frecuencias diferentes.
- **CDM. (Multiplexado por división de código).** Esta técnica reúne lo mejor de las dos anteriores. De FDMA obtiene la ventaja de poder estar transmitiendo y recibiendo información de forma continua, mientras que de TDMA selecciona la posibilidad de emplear todo el ancho de banda del satélite y no una fracción como en FDMA.

#### 4. Sistemas de seguimiento y control

##### Sistemas de apuntamiento y seguimiento

Los sistemas de apuntamiento o ACU<sup>46</sup> dependen del tipo de estación, aumentando su complejidad en función del tamaño de la estación y de si se trata de un satélite geoestacionario o no. Con el ACU se puede realizar el apuntamiento y seguimiento de un satélite, así como controlar el estado de la antena.

El seguimiento o Tracking consiste en mantener el eje del haz de la antena en la dirección del satélite a pesar del movimiento del satélite o de la estación. Los tipos de seguimiento son posibles se caracterizan por el error en el ángulo de apuntamiento. En función del

---

<sup>46</sup> ACU: Accuracy Control Unit.

ancho de haz de la antena y del movimiento del satélite, un Terminal tiene un tipo de seguimiento u otro.

### Sistemas de control y monitorización

Los sistemas de control y monitorización permiten el control centralizado de la estación facilitando las tareas de los operadores que disponen en tiempo real de toda la información necesaria para el funcionamiento de la misma. También proporciona información acerca de las alarmas que se producen, permitiendo configurar los diversos parámetros de la estación.

El sistema de monitorización y control o M&C (Monitoring and Control) consiste en determinadas aplicaciones software y su correspondiente hardware, destinados a realizar el control y gestión automático de una estación o terminal satélite. Las tareas más importantes realizadas por el sistema de M&C son las siguientes:

- Efectuar controles, medidas y cambios de configuración sobre los elementos del terminal.
- Vigilar el estado y la configuración de los elementos del terminal.
- Detectar alarmas.
- Asistir al operador en las tareas no automáticas y realizar tareas automáticas.

Los sistemas de monitorización y control pueden relativamente simples o muy complejos, llegando incluso a realizar el control de redes formadas por decenas de estaciones, monitorizando el espectro utilizado en el satélite y permitiendo el control remoto. (fig.38)

En este último caso, en que el sistema comprende más de una estación, se hace necesario controlar el acceso al satélite, siendo opcional la monitorización de las portadoras. Esto implica la existencia de una estación central dedicada al control de las diferentes estaciones que utilizan los recursos de los transpondedores existentes. La gestión del acceso al satélite se realiza mediante los sistemas de control citados anteriormente, por lo que el correcto funcionamiento de los mismos es fundamental.

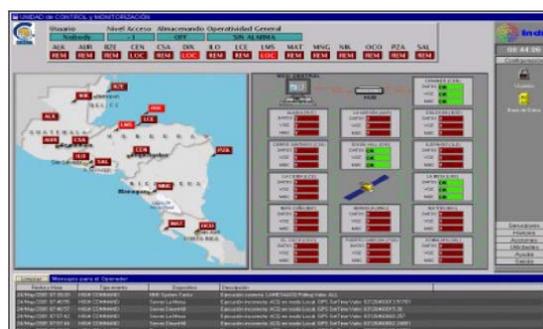


Figura 38

# CAPÍTULO 5

## Redes Satélite.

En este capítulo se describirán las posibilidades a la hora de desarrollar una red satélite, teniendo en cuenta que al describir una red hay que considerar que éstas dependen tanto del segmento terreno como del aéreo. Un claro ejemplo de esto son las redes tipo IRIDIUM, en las que el segmento aéreo determina la topología y el funcionamiento de la red. En estas redes es fundamental considerar los enlaces intersatélite.

Cuando se considera el segmento terreno también existen distintas topologías que van a determinar tanto el funcionamiento de la red como sus aplicaciones. En este sentido se pueden mencionar las redes tipo VSAT o las redes de difusión por satélite SDS.

### 1. Enlaces Intersatélite (ISL<sup>47</sup>)

Los enlaces intersatélite constituyen un caso típico en el que la red depende del segmento aéreo. Su finalidad puede ser muy variada: ampliar la capacidad de la red, prolongar la cobertura, proporcionar redundancia...

Un enlace intersatélite consiste en establecer una comunicación directa entre dos o más satélites con dos enlaces de forma que se pueda mantener una comunicación full dúplex<sup>48</sup>. Para esto es necesario que el satélite disponga de varias antenas (o una antena que puede radiar en varias direcciones) lo que permite encauzar el tráfico hacia una u otra antena.

Para disponer de una comunicación full dúplex entre dos satélites serán necesarios dos enlaces, uno para transmisión y otro para recepción, cada uno de ellos con su propia frecuencia de trabajo.

Los enlaces intersatélite permiten lo siguiente:

- Utilizar satélites geostacionarios como enlace permanente entre satélites en Órbita baja y una red de pequeñas estaciones de tierra.

---

<sup>47</sup> ISL, Inter Satellite Links.

<sup>48</sup> Una comunicación se puede establecer en los dos sentidos simultáneamente se denomina full dúplex". Si se puede establecer en ambos sentidos de forma alternativa se denomina "semi dúplex". Si sólo se puede establecer en un único sentido se denomina "simplex".

- Incrementar la capacidad de un sistema combinando las capacidades de varios satélites geoestacionarios.
- Planificar los sistemas con un mayor grado de flexibilidad.
- Considerar sistemas que proporcionen una cobertura mundial utilizando satélites de órbita baja como alternativa al uso de satélites geoestacionarios

Existen tres clases de enlaces intersatélite:

- Enlace GEO–LEO: Entre un satélite en órbita geoestacionaria y otro en órbita baja.
- Enlace GEO– GEO, entre dos geoestacionarios.
- Enlace LEO–LEO, entre dos satélites de órbita baja.

### Enlaces GEO-LEO.

Este tipo de enlaces establece una vía permanente de comunicación a través de un satélite geoestacionario, las estaciones de tierra y un grupo de satélites de órbita baja.

Por motivos económicos no interesa establecer una red de estaciones terrestres que dé cobertura a satélites en órbita baja en todo momento, ya que sería necesario montar estaciones terrestres a lo largo de todo el globo terrestre. Utilizando un satélite geoestacionario podemos tener comunicación con esos satélites en órbita baja en todo momento eliminando la limitación impuesta por las estaciones terrestres.

Este concepto es el utilizado por la NASA en el seguimiento de satélites lo que proporciona comunicación con la lanzadera espacial. Existe un proyecto similar para el control de la lanzadera europea Hermes.

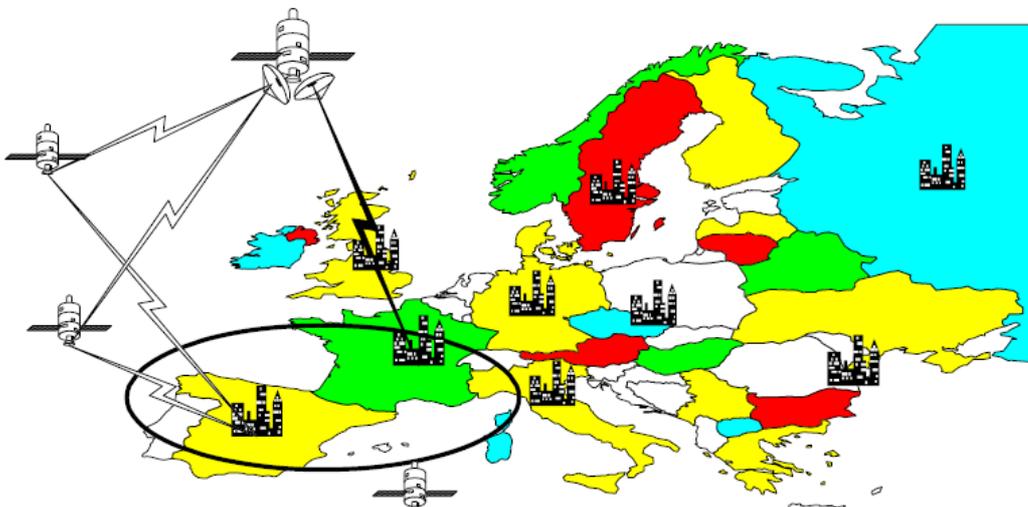


Figura 39

### Enlaces GEO-GEO.

Este tipo de enlaces establece una vía permanente de comunicación a través de dos satélites geoestacionarios y las estaciones de tierra y se puede utilizar con varios propósitos:

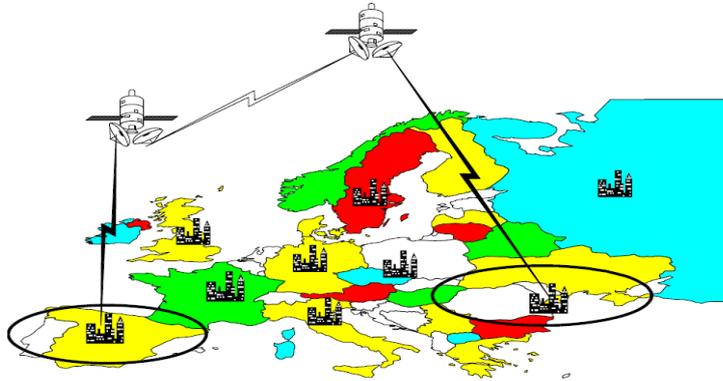


Figura 40

- **Para Incrementar la Capacidad del Sistema:** Si el tráfico que se demanda de un satélite excede su capacidad se puede utilizar otro satélite de mayor capacidad y situado a una cierta separación angular de forma que parte de su huella de cobertura se superponga a la del anterior de forma que el tráfico se reparta entre ambos.
- **Para Extender la Zona de Cobertura:** Un enlace entre satélites permite que dos redes se interconecten y por tanto la cobertura geográfica de los ambos satélites se combina. En las zonas de cobertura común hay dos opciones; o bien se instalan dos antenas, una para cada satélite o se realiza una conexión terrestre entre esas estaciones.
- **Para Aumentar el Mínimo Ángulo de Elevación de las Estaciones:** Los enlaces a larga distancia requieren que las estaciones tengan un ángulo de elevación muy pequeño y en algunas ocasiones éste es menor de  $10^\circ$ , lo que aumenta el riesgo de interferencia con la red de microondas terrestre y un empeoramiento en la Ganancia de la estación receptora. Si el enlace se realiza por medio de dos satélites el ángulo mínimo se incrementa en función de la separación de los satélites, por ejemplo dos satélites separados  $30^\circ$  podrían unir Madrid con Tokio con un ángulo de elevación de  $20^\circ$ .
- **Grupos de Satélites (Satellite Clusters):** Consiste en colocar varios satélites geoestacionarios en la misma posición orbital, con una separación de unos 100 Km

e interconectarlos entre ellos con enlaces intersatélite. Los satélites operan como un único satélite que realmente sería demasiado pesado para poder lanzarse, mejorando mucho las prestaciones del sistema. Considerando además que todos los satélites se ven sometidos a las mismas perturbaciones el control de los mismos se simplifica. Además la pérdida de un satélite puede compensarse con los demás satélites del grupo, y variar el tráfico en función de las necesidades.

### Enlaces LEO – LEO

Las ventajas de los satélites de órbita baja, unidas a la congestión de los satélites de órbita geostacionaria sugieren el futuro aumento de los satélites de órbita baja. Sus desventajas, como su relativamente pequeña cobertura, pueden disminuirse si se interconectan con enlaces intersatélite y se incorporan sistemas de conmutación a bordo. Un ejemplo de este tipo de red es el sistema IRIDIUM de telefonía por satélite.

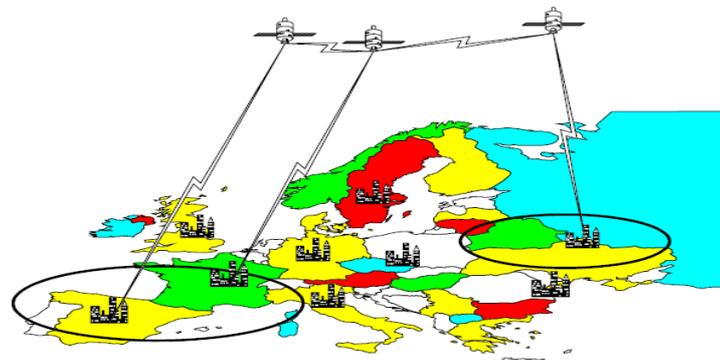


Figura 41

## 2. Redes VSAT

Las redes VSAT son redes privadas de comunicación que utilizan terminales con pequeñas antenas, de menos de 2,4 metros, de donde reciben su nombre<sup>49</sup>.

Estas estaciones no pueden soportar enlaces con el satélite con grandes capacidades, pero son baratas y fáciles de instalar en cualquier sitio, por lo que están dentro de las capacidades financieras de pequeñas compañías corporativas y se pueden usar para montar rápidamente enlaces con el satélite de un modo flexible, constituyendo una herramienta flexible para establecer redes privadas entre diferentes lugares de una compañía.

<sup>49</sup> VSAT: Very Small Aperture Terminal. Son pequeñas estaciones con diámetros de antena menores de 2.4 m, de ahí el nombre de "apertura pequeña" que se refiere al área de la antena.

Otra ventaja de estas redes es que permiten al usuario conectar directamente sus equipos de comunicación al terminal satélite, evitando la necesidad de utilizar los enlaces de red públicos para acceder a la estación de tierra. De este modo, las redes VSAT permiten evitar a los operadores de red pública accediendo directamente a la capacidad del satélite.

### **Configuración de una red VSAT**

Una red VSAT puede estar formada por un gran número de terminales y normalmente está controlada por una estación central llamada Hub<sup>50</sup> que organiza el tráfico entre terminales y optimiza el acceso a las capacidades del satélite.

Las actuales redes VSAT utilizan satélites geoestacionarios, debido a que su aparente posición fija en el cielo, facilita el apuntamiento al satélite y simplifica el diseño de los terminales y la instalación de las VSAT.

Mientras todas las VSAT sean visibles desde el satélite, las portadoras pueden ser retransmitidas por el satélite desde cualquier VSAT a cualquier otra VSAT en la red. Esta técnica se conoce como simple salto o retransmisión directa y no siempre es posible utilizarla, debido a los siguientes factores:

- La atenuación de potencia de la portadora como resultado de la distancia al satélite, que es normalmente de 200 dB en cada enlace: El ascendente y el descendente.
- La limitación de potencia de la señal de radio frecuencia emitida por el satélite, normalmente de algunas decenas de vatios.
- El pequeño tamaño de la VSAT, que limita su potencia transmitida y su sensibilidad receptora.

Cuando las señales recibidas en la VSAT receptora no tienen la calidad requerida por los usuarios de los terminales, los enlaces directos de VSAT a VSAT no son posibles. En este caso la solución consiste en utilizar la técnica de doble salto, instalando en la red una estación terrena más grande que una VSAT, llamada Hub o estación de anclaje.

La estación Hub tiene un tamaño de antena mucho mayor que la de una VSAT, entre cuatro y once metros de diámetro, que da como resultado una ganancia mayor<sup>51</sup> que la de la típica antena VSAT, menos de 2,4 metros de diámetro, y está equipada con un transmisor de mayor potencia.

---

<sup>50</sup> El Hub también recibe el nombre de “Estación de Anclaje”, debido a que centraliza todos los enlaces de la red VSAT.

<sup>51</sup> La Ganancia de una antena depende entre otros factores de su tamaño.

Como resultado de esta mejora de la capacidad, la estación Hub es capaz de recibir adecuadamente todas las portadoras transmitidas por las VSAT, y a su vez transmitir la información deseada a todas las VSAT, por medio de sus propias portadoras transmitidas.

En este caso, la arquitectura de la red tiene forma de estrella. (fig.42). Los enlaces desde el Hub al VSAT se llaman enlaces “Outbound”, y los enlaces de una VSAT al Hub se llaman enlaces “inbound”.

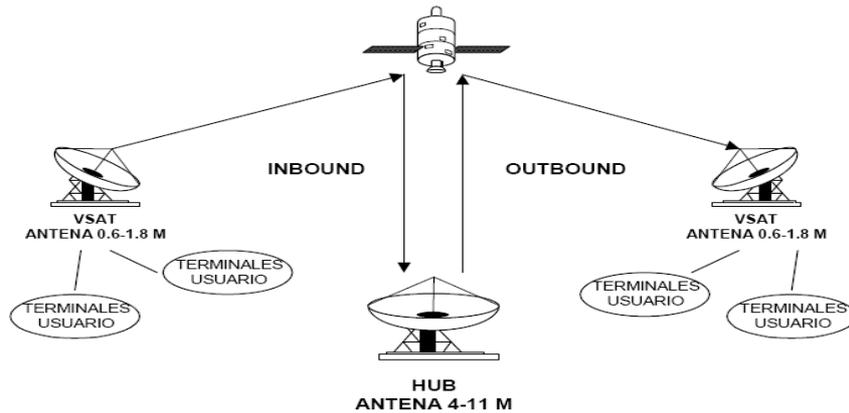


Figura 42

### Tipos de redes VSAT

Las redes VSAT se pueden clasificar según la arquitectura de la red empleada y según el tipo de tráfico cursado.

Clasificación según la arquitectura de la red:

- **Redes en Malla:** (fig.43) Requiere que el satélite tenga visibilidad sobre todas las VSAT y que sea posible el enlace directo entre dos VSAT mediante simple salto. Las redes de malla tienen la ventaja de un reducido retardo en la propagación<sup>52</sup> lo que tiene un especial interés para los servicios de telefonía.

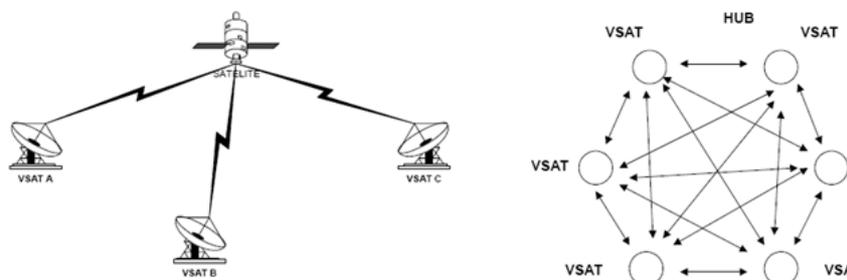


Figura 43

- **Redes en Estrella:** Son la solución empleada cuando no es posible una arquitectura de malla. Presentan mayor retardo en propagación. Las

<sup>52</sup> El retardo que produce un salto simple es de 0,25 segundos, frente a los 0,5 segundos de un doble salto.

comunicaciones punto a punto, que serían convenientemente soportadas por una red en forma de malla, pueden conseguirse mediante doble salto, usando el Hub como conmutador central de la red.

Clasificación según el tipo de tráfico cursado:

- **Redes one-way:** El Hub transmite portadoras a las VSAT, que son sólo receptoras. Esta configuración se utiliza para redes de difusión tipo broadcasting y utiliza siempre una arquitectura en estrella.

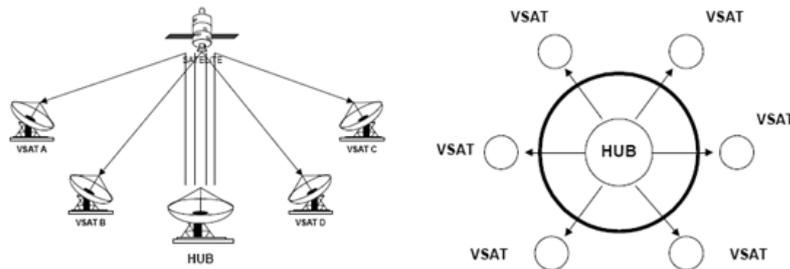


Figura 44

- **Redes two-way:** Las VSATs pueden transmitir y recibir. Estas redes soportan tráfico interactivo. Pueden utilizar una arquitectura en estrella o en malla.

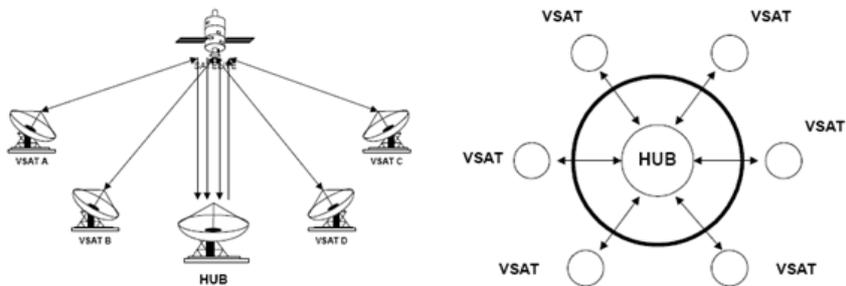


Figura 45

### Partes Involucradas en una red VSAT

En una red VSAT intervienen las siguientes partes:

- **El usuario,** Suele ser un empleado de la compañía que usa terminales de comunicaciones de la oficina, como ordenadores personales, teléfonos y máquinas de fax. En otras ocasiones el terminal es transportable.
- **El operador de red VSAT** puede ser la propia compañía usuaria, si la red pertenece a la compañía, o puede ser una compañía de telecomunicaciones la que alquila el servicio.
- **El proveedor de red VSAT** puede ser una compañía privada o un operador de telecomunicaciones nacional. Se encarga de dimensionar e instalar la red. Elabora

el sistema de administración de la red y diseña el correspondiente software. Sus entradas son las necesidades del cliente, y sus clientes son los operadores de red.

- **El proveedor del equipo:** Es el fabricante del Hub y de las estaciones VSAT. Puede ser el propio proveedor de red o una parte diferente.
- **El operador del satélite:** Para que la red VSAT funcione se debe proporcionar capacidad de satélite. El satélite puede ser propiedad de la compañía usuaria, aunque la mayoría de las veces el satélite es manejado por un operador diferente, que puede ser privado, un operador de satélite nacional o una organización internacional como INTELSAT que alquila la capacidad de satélite.

### Ventajas de las redes VSAT

Las redes VSAT ofrecen las siguientes ventajas:

- **Comunicaciones punto a multipunto y punto a punto:** La configuración de estrella refleja bien la estructura del flujo de información dentro de la mayoría de las grandes organizaciones que tienen un punto de control central donde puede ser instalado el Hub.
- **Asimetría de la transferencia de datos:** Como resultado de su configuración asimétrica, una red en forma de estrella manifiesta capacidades diferentes en el enlace "inbound" y en el "outbound". Lo que también puede ser una ventaja, considerando la necesidad del cliente de diferentes capacidades en la mayoría de sus aplicaciones.
- **Flexibilidad:** Una red VSAT permite un rápido establecimiento y reconfiguraciones de la red, debido al fácil desplazamiento e instalación de una estación remota.
- **Redes corporativas privadas:** Una red VSAT ofrece a su operador control extremo a extremo sobre la calidad de la transmisión y fiabilidad, y le ofrece estabilidad de precios, y la posibilidad de pronosticar sus gastos de comunicaciones. Por tanto, es un soporte adecuado para las redes corporativas privadas.
- **Insensibilidad del coste con la distancia:** El coste de un enlace en una red VSAT no depende de la distancia, por lo que se ahorran costes si la red tiene un número elevado de localizaciones y una gran dispersión geográfica.

### Inconvenientes de las redes VSAT

Las redes VSAT presentan los siguientes inconvenientes:

- **Sensibilidad a las interferencias:** Debido al pequeño tamaño de la antena de las estaciones VSAT.

- **Escuchas ocultas:** Cualquier terminal situado dentro de la zona de cobertura de la señal descendente de un satélite geostacionario puede acceder al contenido de la información demodulando la portadora. Para evitarlo se debe cifrar la señal.
- **Un fallo en el satélite puede conducir a la pérdida de la red:** El talón de Aquiles de la red es el propio satélite. Si éste falla toda la red VSAT estará fuera de juego. Si el fallo está limitado a algún componente duplicado, la solución puede ser sencilla. En ocasiones el fallo implica la pérdida total del satélite. En este caso la solución pasa por reencaminar los servicios a otro satélite situado en una posición orbital cuya cobertura permita restaurar los servicios. Si esto no es posible no queda más remedio que lanzar un nuevo satélite.

### 3. Redes IPSAT

Las redes IPSAT<sup>53</sup> se caracterizan por utilizar normalmente terminales portátiles multipunto de peso reducido y rápido despliegue, que disponen de un canal IP<sub>v4</sub>, que actualmente ofrece velocidades comprendidas entre 256 Kbps y 40 Mbps.

Estos terminales deben ser robustos para poder trabajar en condiciones ambientales difíciles.



Figura 46

#### El protocolo IP

El protocolo IP, consiste en encapsular la información transmitida en paquetes de datos, y proporcionarles una dirección, tanto de origen de los datos como de destino de estos. Esta dirección será única dentro de una red global, que puede incluir otras subredes.

Los paquetes de datos encapsulados mediante IP, serán encaminados por la red hasta su destino. El encaminamiento de los paquetes se lleva a cabo por unos dispositivos denominados routers o enrutadores.

---

<sup>53</sup> Estas redes reciben su nombre por utilizar el protocolo IP: Internet Communications Protocol.

El direccionamiento en IPv<sub>4</sub> utiliza una numeración de 32 bits separados en cuatro octetos de la forma X.X.X.X donde X es un número en base 10 de 1 a 255. De esta forma existen 2<sup>32</sup> direcciones diferentes<sup>54</sup>. Cada dirección IP tiene dos partes: el identificador de red (que define una red específica o grupo de hosts) y el identificador de host (que identifica a éste dentro de la red en cuestión). La dirección IP es única, por lo que cada host de la red está unívocamente identificado. Un ejemplo de dirección de IP sería: 192.172.27.55.

El empleo del protocolo IP, permite que los datos, sean cual sea su formato o contenido, pueda atravesar multitud de redes de distinta topología, tanto de voz como de datos, puesto que la información no se ve afectada por la red, sino que solamente el paquete IP va encaminándose hacia su destino. Además IP permite un mayor control sobre el tráfico de la red, puesto que los paquetes IP pueden ser transmitidos de forma que el primero en llegar a un punto es el que sale, o dar prioridad a unos paquetes frente a los otros. Con esto se consigue evitar que una red se colapse, y pueden establecerse transmisiones prioritarias sobre el resto.

La gran ventaja de IP es que se pueden aprovechar mejor los recursos de comunicaciones disponibles, dado que cualquier dato, del tipo que sea, y el formato que tenga, puede ser transmitido por cualquier red que utilice IP, por lo que se pueden implementar voz y datos en un mismo canal, por una misma red.

### IP por Satélite

La aplicación de la tecnología IP en comunicaciones por satélite, se está expandiendo cada vez más, debido al gran aumento de los servicios de comunicaciones que ofrecen los operadores, producido a su vez por la fuerte demanda del mercado. Es por ello que hoy en día, se esté aplicando IP para divulgar televisión a la carta, servicios de telefonía, y transmisión de datos.

El uso de IP en comunicaciones por satélite, permite transmitir datos por un mismo canal, para varios destinos, lo que repercute en un mejor aprovechamiento del espectro, al evitar la necesidad de retransmitir la información para cada usuario.

Además el protocolo IP tiene la cualidad de ser independiente del hardware utilizado, lo permite la conectividad entre sistemas muy variados. Esto, unido a la cobertura global que ofrecen los satélites, hacen posible una red de comunicaciones global, independiente de la información que se transmita por ella y del sistema que lo realice, dotándola de gran versatilidad y compatibilidad de conexión.

---

<sup>54</sup> IPv<sub>4</sub> está siendo gradualmente sustituido por IPv<sub>6</sub> que permite 2<sup>128</sup> direcciones. <http://www.ipv6.es/es-ES/Paginas/Index.aspx>

A su vez, al utilizar este protocolo a las comunicaciones de voz se reduce el coste de los enlaces, ya que con IP no es necesario mantener un canal ocupado, puesto que éste es compartido por todos los usuarios que emiten a la vez sus paquetes. La red será la encargada de ir encaminando todos los paquetes de un canal hacia su destino.

El protocolo IP también permite establecer prioridades entre los datos cursados, dotándolos de cierta jerarquía, lo que permite que una comunicación se pueda llevar a cabo frente a las otras, evitando que se colapse la red para una comunicación trascendental.

Los inconvenientes que presentan las comunicaciones de voz sobre IP se deben a los retardos que los paquetes pueden sufrir en su camino, puesto que no se trata de un enlace directo y dedicado, sino que puede atravesar multitud de redes, y realizar largos recorridos dependiendo del tráfico de la red. Esto, añadido al proceso de encaminamiento y el proceso de empaquetado de la información, junto con el retardo que supone transmitir una señal a la posición del satélite (~36.000 Km), supone retardos que hay que tener en cuenta a la hora de aplicar IP a comunicaciones en tiempo real. Además, IP no garantiza la entrega de los paquetes, por lo que estos pueden ser desechados por la red después de un tiempo determinado de su emisión si no son recibidos por el destino. Por lo que la información se pierde y hay que retransmitirla, con el consiguiente retardo que ello conlleva.

Hoy en día tanto a nivel civil como militar las transmisiones mediante tecnología IP dan servicio a múltiples aplicaciones críticas. Dichas aplicaciones proporcionan fuentes seguras de información a usuarios en zonas de difícil localización. En este tipo de redes es muy importante cómo se proporciona la conexión con los interfaces terrestres. Los servicios disponibles y su calidad también influyen en cómo se define este tipo de redes.

Las aplicaciones para las redes IP son múltiples pero se pueden destacar las siguientes:

- Redes de datos bajo demanda, para reducir costes en el uso del ancho de banda del satélite.
- Arquitecturas satélite en redes para misiones críticas, incluyendo entre otras:
  - Redes corporativas.
  - Redes militares tácticas.
  - Sistemas de contingencia para situaciones de emergencia.
  - Broadcasting.

### Arquitectura de una red IPSAT

Una red IPSAT consta de una serie de terminales satélite y de una estación de Control denominada “HUB”. Normalmente la Red incluye cifrado<sup>55</sup> específico de bloque del tráfico satélite y los canales establecidos con los usuarios remotos progresan por la red terrestre de voz y datos existentes.

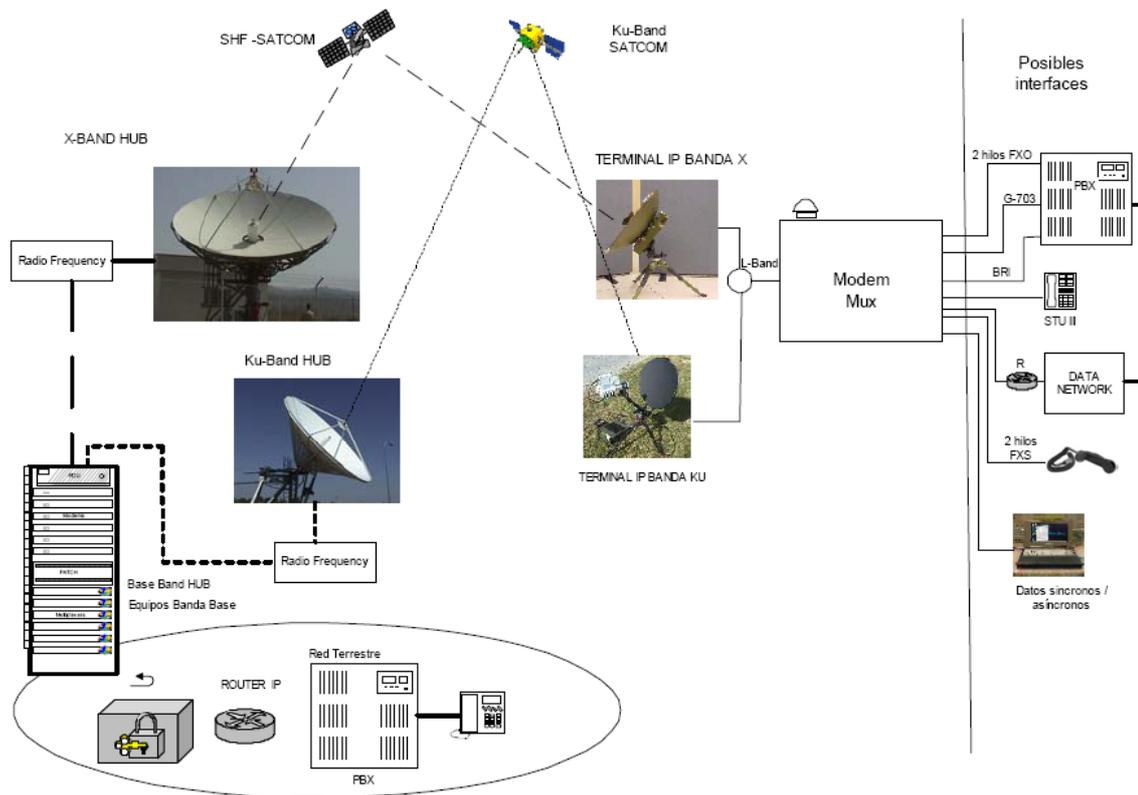


Figura 47

Los terminales IP se suelen dividir en dos partes: La caja de banda base y la parte de Radio Frecuencia o de la antena.

En cada terminal, incluyendo la estación base, los paquetes IP son convertidos por un router al protocolo V.35, posteriormente cifrados, modulados y enviados al satélite. En el otro lado del enlace, un cifrador compatible realiza la función inversa antes de entregar los datos V.35 que son convertidos a IP por un router. Además el usuario puede conectar con otras redes, siempre teniendo en cuenta la limitación de la velocidad de transmisión de datos que posee el terminal, conectando un router externo al conector V.35.

<sup>55</sup> El cifrado permite proteger las comunicaciones de accesos no autorizados.

La caja de banda base incluye todo este subsistema, que consiste en la etapa ascendente, en modular la voz y datos sobre IP en la frecuencia de trabajo, para ser amplificada posteriormente y enviada al satélite.

De forma similar, en la etapa descendente se demodulará la señal proveniente del amplificador y se convertirá en voz y datos sobre IP.

En ambas etapas, ascendente y descendente existe un cifrador para garantizar la seguridad del tráfico ocultando la información, tanto de contenido como de direccionamiento, a posibles observadores. El cifrador debe disponer además de un filtro hardware (cortafuegos) para discriminar el tráfico que no reconoce y evitar de este modo ataques de denegación de servicio (DoS).

#### 4. Redes DBS

Las redes DBS<sup>56</sup> son redes punto a multipunto que proporcionan un servicio de difusión, utilizando como soporte de transmisión un sistema de comunicaciones vía satélite, aprovechando la extensa zona de cobertura que ofrece un satélite de comunicaciones geoestacionario.

Este servicio de difusión se emplea para distribuir una señal de audio, vídeo o datos sobre una extensa zona predeterminada, siendo el servicio más extendido la difusión de televisión por satélite directamente a los hogares de los clientes suscritos, que utilizan una terminal comercial con una antena de pequeñas dimensiones, como el de la figura 48. Este servicio de televisión vía satélite es una realidad desde hace varias décadas, y utiliza los estándares comerciales definidos por DVB<sup>57</sup>. También se conoce con el nombre de DTH: Direct-To-Home TV.



Figura 48

<sup>56</sup> DBS: Direct Broadcast System/Satellite

<sup>57</sup> DVB: Digital Video Broadcasting. [www.dvb.org](http://www.dvb.org)

El sistema de difusión por satélite (DBS) consta de un punto de inyección de las difusiones y múltiples terminales para la recepción de la información.

Los sistemas de difusión constan de varios segmentos. Además de la estación de Inyección y los terminales de recepción hay que considerar el segmento espacial y el sistema que proporciona los contenidos.

En cuanto a los terminales de recepción también pueden ser de distintos tipos según las necesidades del usuario (terminales fijos, terminales móviles y terminales portátiles). Al haber distintos tipos de usuarios y terminales, también existen diferentes modos de operación según las capacidades del terminal y del usuario, aunque básicamente existe una conexión a baja velocidad y conexión a alta velocidad sin restricciones.

El Sistema suele tener la capacidad de transmitir a velocidades muy elevadas, permitiendo asignar dinámicamente el ancho de banda en función del perfil del usuario.

En cuanto a la organización de la red y la gestión de los recursos se definen grupos, a los que se puede enviar información que sea su interés, pudiendo realizar transmisiones unidireccionales, sin necesidad de que exista canal de retorno. Además los usuarios estarán dispersos geográficamente, por lo que se debe poder instalar remotamente aplicaciones o parches de aplicaciones desde el servidor central.

En determinadas ocasiones puede ser necesario el uso del canal de retorno, aunque no todos los usuarios potenciales del sistema pueden disponer de los medios necesarios para disponer de retorno, por lo que se hace indispensable buscar una alternativa homogénea para ellos. Una solución bastante extendida a este problema consiste en utilizar el estándar DVB-RCS<sup>58</sup>, que permite canales de retorno de hasta 2Mbps. Éste es un estándar abierto de comunicaciones interactivas por satélite, definido por el consorcio DVB Project, y normalizado en 1999 por el Instituto Europeo de Telecomunicaciones bajo la norma ETSI EN-301-790.

Una red DBS también permite la comunicación bidireccional de una estación VSAT<sup>59</sup> de forma que el usuario puede tener acceso a servicios básicos y adicionales con una alta disponibilidad, y de forma totalmente autónoma.

---

<sup>58</sup> DVB-RCS: Digital Video Broadcasting- Return Chanel Satellite.

<sup>59</sup> VSAT: Very Small Aperture Terminal. Ver el punto 2 de este capítulo.

## 5. Redes DAMA

### Técnicas de acceso al satélite

Uno de los parámetros que deben ser determinados cuando se diseña una red de comunicaciones vía satélite es el método de acceso al satélite que se utilizará.

El satélite de comunicaciones está equipado con uno o varios transpondedores operando en paralelo en diferentes sub-bandas del ancho de banda total usado. Para evitar interferencias es necesario que las estaciones receptoras sean capaces de discriminar entre las portadoras recibidas, es decir hay que distribuir el acceso al satélite entre todas las estaciones. Para ello existen diversas formas de proceder, dependiendo del método de multiplexación<sup>60</sup> que se utilice:

- **Acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA):** Localizando las portadoras en el dominio de la frecuencia. Si el espectro de las portadoras ocupa una diferente sub-banda para cada una de ellas, la estación receptora puede separarlas mediante filtrado.
- **Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA):** Localizando las portadoras en el dominio del tiempo. Varias portadoras recibidas secuencialmente por el receptor se pueden discriminar temporalmente incluso si ocupan la misma banda de frecuencia.
- **Acceso Múltiple por División por Código (CDMA):** Asignación un código a cada portadora conocido por el receptor. Esto asegura la identificación de cada portadora incluso cuando todas las portadoras ocupan la misma banda simultáneamente. La adicción del código implica un aumento del ancho de banda ocupado por la señal frente al que ocuparía si solamente portase la información útil.

### Asignación Fija

Los tres métodos descritos en el párrafo anterior funcionan con una asignación fija de los recursos del satélite a cada una de las estaciones o terminales que componen la red, de forma que la capacidad total de la red es igual a la suma de los requerimientos máximos de cada usuario. Es decir, la capacidad máxima de la red se diseña para cubrir la necesidad máxima prevista.

Este método implica necesariamente que la mayor parte del tiempo habrá recursos del sistema que no serán aprovechados, sobre todo si el tráfico es intermitente o tipo ráfaga.

---

<sup>60</sup> Ver el capítulo 2, páginas 38 y 39.

### Acceso bajo demanda

Para solucionar este problema se puede utilizar el procedimiento DAMA<sup>61</sup>, que se basa en el acceso al satélite bajo demanda de los terminales de la red. Cada usuario de la red transmite por el canal pero sólo cuando lo demanda, liberando recursos el resto del tiempo.

DAMA es un sistema de acceso en el cual un centro de control responde a las peticiones de acceso a los recursos del satélite, asignando una frecuencia de forma temporal y liberándola cuando cesa la demanda de uso de los recursos de la red.

A diferencia de la asignación fija, en la que la capacidad del sistema era igual a la suma de los requerimientos máximos de cada usuario, un sistema que utiliza un acceso bajo demanda, sólo necesitará una capacidad máxima igual al promedio de los requerimientos de los usuarios. De esta forma, si el tráfico es intermitente o tipo ráfaga, el procedimiento DAMA puede ser mucho más eficiente que una asignación fija. En caso de las comunicaciones de voz se trata de un medio ideal de asignación de recursos debido a la propia naturaleza aleatoria y ocasional del tráfico de voz. Se estima que el uso de la tecnología DAMA frente a FDMA puede reducir hasta en un 60% el uso del satélite.

### Arquitectura de una red DAMA

Básicamente, una red DAMA está formada por una estación central ó Hub, el satélite de comunicaciones y varios terminales remotos.

En la Estación Central se ubican los servidores para procesado de llamada y mantenimiento de base de datos del sistema, el Terminal de Administración y Mantenimiento, la antena, el subsistema de Radiofrecuencia y los canales de señalización.

Los terminales remotos, pueden ser muy variados, aunque normalmente serán terminales VSAT. En la figura 49 se muestra un ejemplo de un terminal DAMA portátil. Se trata del AN/PSC-5, fabricado por la empresa "Raytheon Company", que trabaja en la banda UHF y permite enlace de baja capacidad.



Figura 49

Una red DAMA permite montar redes punto-punto y redes en estrella, de forma que funcionará según las necesidades en cada momento:

<sup>61</sup> DAMA: Demand Assigned Multiple Accesses.

- Para servicios de intercambio de voz, datos y servicios de videoconferencia funcionará como una red en malla: Todos con todos mediante un sólo salto satélite.
- Para servicios de Intranet y correo electrónico funcionará como una red en estrella: en el sentido de que dependen de un servidor central ubicado en el Centro de Control de Red del Sistema.

### Aplicaciones de un sistema DAMA

Las principales aplicaciones de este sistema son:

- Telefonía Rural.
- Redes de telefonía privadas.
- Redes militares.
- Redes de emergencia.
- Despliegue rápido de redes de comunicaciones en áreas de recuperación de desastres.

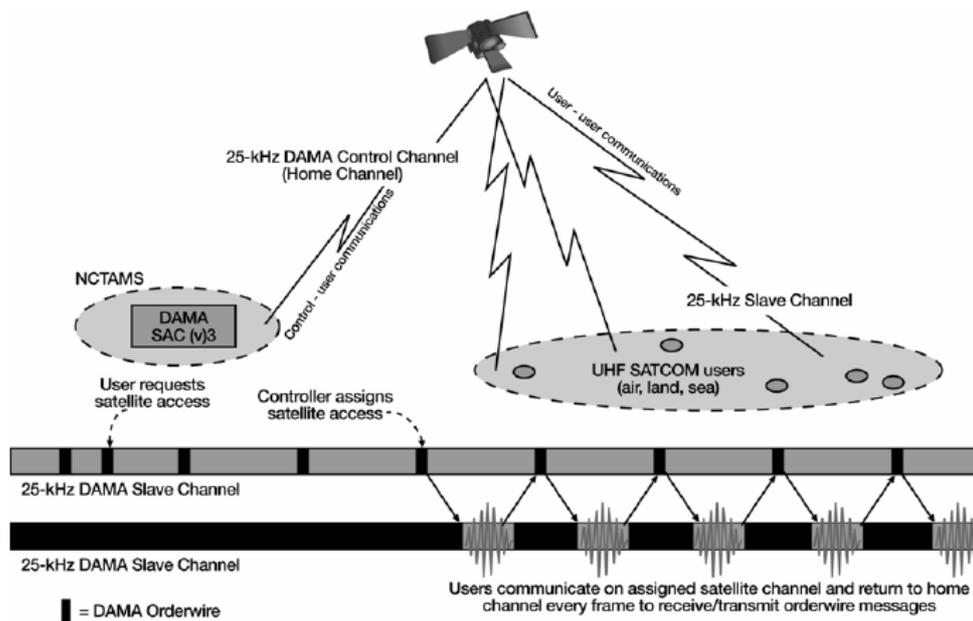


Figura 50

# CAPÍTULO 6

## Aplicaciones de los Satélites.

Los satélites artificiales ofrecen multitud de aplicaciones, tanto dentro del campo de las telecomunicaciones, como en otros ámbitos. En una primera instancia, estas aplicaciones se pueden clasificar en Servicios fijos (FSS<sup>62</sup>) y en servicios móviles (MSS<sup>63</sup>), dependiendo obviamente de si el usuario permanece fijo o si por el contrario es móvil. También caben otras clasificaciones, según varios parámetros. Por ejemplo según el tipo de servicios ofrecidos (comunicaciones, localización, observación).

A continuación se enumeran la clasificación que recoge la Unión Internacional de Telecomunicaciones<sup>64</sup> de las aplicaciones ofrecidas por los satélites, alguna de las cuales se expondrán con cierto detalle en el presente capítulo:

- Servicio Móvil Aeronáutico.
- Servicio Móvil de Radio determinación.
- Servicio Satélite para aficionados
- Servicio de TV por satélite.
- Servicio de explotación terrestre.
- Servicios fijos.
- Servicios Inter Satélite.
- Servicios Móviles Terrestres.
- Servicios Móviles Marítimos.
- Meteorología por satélite.
- Servicios Móviles.
- Operaciones Espaciales.
- Investigación Espacial.

---

<sup>62</sup> FSS: Fixed Satellite Services.

<sup>63</sup> MSS: Mobile Satellite Services.

<sup>64</sup> <http://www.itu.int/ITU-R/go/space/en>

## 1. Aplicaciones de Telecomunicaciones.

Las telecomunicaciones vía satélite, desde su inicio en los años sesenta del pasado siglo, han permitido superar todos los obstáculos geográficos y establecer enlaces de comunicación totalmente fiables, no sólo para telefonía y televisión, sino también para servicios asociados a la conexión con Internet y difusión de contenidos multimedia.

Los satélites de comunicaciones han sido desde su nacimiento un complemento ideal a los medios de telecomunicación más antiguos hasta constituir hoy en día una de las técnicas más maduras y fiables. Al mismo tiempo, los satélites, debido a sus características únicas, han abierto numerosas oportunidades al desarrollo de nuevos servicios que bien antes no tenían atractivo económico, eran difíciles de implementar o rozaban los límites de la tecnología.

A continuación se comentarán brevemente algunos campos donde se aplican las comunicaciones vía satélite.

### Apoyo a los sistemas de telefonía fija

Este apoyo se materializa en dos campos. Por un lado como una forma de doblar y extender las redes de distribución de las compañías telefónicas. En este caso se abarca desde enlaces multicanal entre centros de telecomunicaciones importantes que interconectan con las redes terrestres, hasta enlaces de rutas de poco tráfico entre localidades remotas. El carácter del servicio puede variar desde servicios telefónicos convencionales proporcionados en regiones en las que no existe infraestructura terrestre de telecomunicaciones, hasta servicios especializados que complementan una amplia red terrestre o son paralelos a ésta.

El segundo campo es la extensión de la red de telefonía a zonas donde no existe infraestructura física. En este contexto, durante los últimos años el desarrollo de la telefonía rural ha sido posible en gran medida gracias al empleo de los satélites de comunicaciones.



Figura 51

### Internet rural

Esta aplicación es una extensión obvia del apartado anterior, ya que de la misma forma que los usuarios acceden a Internet usando la infraestructura física, ya sea mediante ADSL sobre par de cobre o mediante fibra óptica, de su proveedor de telefonía fija. En ausencia de infraestructuras de telecomunicaciones, el mismo proveedor que proporciona telefonía vía satélite puede proporcionar acceso a Internet en el mismo terminal.

En este sentido y como se verá en el capítulo siguiente, existe una amplia oferta en el mercado para acceder a Internet vía satélite con velocidades similares, e incluso superiores a una conexión ADSL estándar, puesto que se ofrecen hasta 10 Mbps de bajada y 4 Mbps de subida.<sup>65</sup>

### Servicios móviles de comunicaciones personales

Los recientes adelantos tecnológicos han permitido desarrollar un nuevo tipo de sistema de comunicaciones pequeño, de fabricación y lanzamiento relativamente baratos y capaces de estar en órbita mucho más cerca de la Tierra, que recibe el nombre de GMPCS<sup>66</sup>.

El GMPCS es un sistema de comunicaciones personales que ofrece cobertura prácticamente mundial mediante una constelación de satélites accesibles con pequeños terminales fácilmente transportables. Los sistemas de satélite del GMPCS proporcionan servicios de telecomunicaciones, directamente a los usuarios. Este sistema está regulado por la UIT en su resolución número 1116 (mayo de 1998)<sup>67</sup>.

Los GMPCS son los primeros sistemas de telecomunicaciones verdaderamente móviles y proporcionan un amplio abanico de servicios a los usuarios, desde telefonía hasta acceso a Internet de Banda ancha. También permiten ampliar los servicios prestados a los usuarios de teléfonos móviles para que puedan salir de su región celular.

Además de su obvio empleo como sistemas móviles también pueden ser una alternativa a los proveedores terrestres de Internet, sobre todo en zonas rurales o aisladas.

Los GMPCS pueden trabajar con satélites geoestacionarios como Inmarsat, o bien utilizar una constelación de satélites en órbita baja como Iridium<sup>68</sup>.

---

<sup>65</sup> Ejemplo de proveedores: [http://www.eurona.net/?page\\_id=13](http://www.eurona.net/?page_id=13) y <http://es.skydsl.eu/>

<sup>66</sup> GMPCS: Global mobile personal communications system.

<sup>67</sup> <http://www.itu.int/osg/gmpcs/index.asp?lang=es>

<sup>68</sup> En el capítulo siete se exponen los principales proveedores de GMPCS: Inmarsat, Thuraya, Iridium y Globalstar.

Los satélites de órbita terrestre baja, (LEO<sup>69</sup>) son por lo general pequeños, con un volumen de alrededor de 1 metro cúbico y una masa de aproximadamente 100 Kg. Los usuarios tienen acceso a los servicios que ofrecen los sistemas que utilizan satélites LEO, mediante pequeños terminales portátiles equipados con una antena omnidireccional que consume poca energía y de apariencia similar a los primeros teléfonos móviles.

Los sistemas que trabajan con satélites geoestacionarios, como por ejemplo Inmarsat o Thuraya, ofrecen servicios que conforman auténticas oficinas móviles, proporcionando además de telefonía, Internet de banda ancha, video conferencia en tiempo real y comunicación IP en Streaming, lo que permite el intercambio de contenidos multimedia de alta calidad. Estos proveedores se verán con más detalle en el capítulo siguiente.

### Servicios de Televisión

Actualmente, los servicios de televisión se ofrecen al usuario final básicamente bajo cuatro formatos:

- Televisión analógica terrestre, en aquellas zonas del planeta donde no se ha producido aún el “Apagón Analógico<sup>70</sup>”.
- Televisión Digital Terrestre (TDT)
- Televisión por cable.
- Televisión por satélite.

Aunque parece obvio que el papel de los satélites de comunicaciones es fundamental para transportar señales de televisión, es importante resaltar la función que a su vez juegan como infraestructura de distribución tanto para la TV terrestre como la TV por cable. En el caso de la TV terrestre, el satélite se utiliza como medio para la distribución de las correspondientes señales a un conjunto de emisores, los cuales difunden al usuario final las citadas señales en las bandas VHF/UHF una vez transmoduladas

El uso del satélite para la distribución de la TV por cable es ampliamente conocido. Los diferentes canales de televisión son distribuidos a las cabeceras de cable correspondientes, las cuales a su vez la difunden a sus abonados utilizando su propia red de fibra, tal y como se aprecia en la figura siguiente.

---

<sup>69</sup> En el capítulo tres se explican las características de las diferentes órbitas satelitales.

<sup>70</sup> La Comisión Europea marcó el año 2012 como fecha límite para cesar las emisiones de TV analógica en toda la Unión Europea.

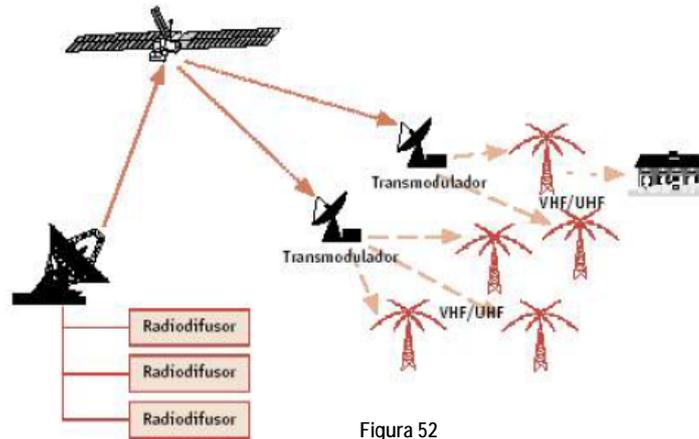


Figura 52

Por último, es en la TV vía satélite donde estos muestran su capacidad como medio radiodifusor por excelencia. La fabricación de satélites capaces de ofrecer elevadas potencias y, que por tanto permiten utilizar antenas de pequeño diámetro sobre amplias zonas de cobertura ha hecho posible el desarrollo de las plataformas de TV por satélite durante los últimos años. La capacidad para alojar un elevado número de canales unida a la facilidad y rapidez para el despliegue de abonados son dos de las principales ventajas que hacen que hoy en día dichas plataformas gocen de una situación de privilegio frente a otros medios de difusión<sup>71</sup>.

### Comunicaciones en situaciones de emergencia

Por último, es necesario señalar el servicio que ofrecen los satélites para comunicaciones de emergencia. En caso de catástrofes naturales, perturbaciones civiles o accidentes en gran escala, las facilidades de telecomunicaciones normales basadas en instalaciones terrenales quedan frecuentemente sobrecargadas, temporalmente interrumpidas o directamente destruidas. La disponibilidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite garantiza que un elemento del sistema permanezca aislado de las interrupciones en la infraestructura terrena. Mediante el despliegue de pequeños terminales transportados al lugar de la emergencia, pueden establecerse comunicaciones y ayudar al restablecimiento de los servicios necesarios.

Esto se consigue de forma rápida mediante el empleo de unas estaciones satélite móviles que reciben el nombre de terminales de restauración de red. Estos terminales suelen ser multiportadora y permiten levantar los servicios iniciales en situaciones de emergencia donde no funcionen las redes terrenales.

<sup>71</sup> En el capítulo 5 se analizaron las redes de difusión de televisión vía satélite (DBS).

## 2. Aplicaciones de Geolocalización.

Estas aplicaciones son muy importantes y útiles y además gozan de gran aceptación y empleo por el público en general. Para acceder a estos servicios se utilizan pequeños terminales, como el de la figura 53, que proporcionan no sólo la posición actual del usuario referenciada a varios sistemas de coordenadas, sino también permiten navegación mediante rutas introducidas y seguimiento de flotas.



Figura 53

El Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) es un sistema de radiolocalización desde el espacio con una o más constelaciones de satélites que aumentan según las necesidades de apoyo a la operación prevista y con los que se suministra información tridimensional las 24 horas del día acerca de la posición, velocidad y hora a los usuarios equipados debidamente en cualquier parte de la superficie o cerca de la superficie.

Actualmente existen tres sistemas diferentes:

- El sistema mundial de determinación de la posición (GPS), explotado por EEUU.
- El sistema orbital mundial de navegación por satélites (GLONASS), a cargo de la Federación Rusa.
- El Sistema europeo Galileo, aún en fase de desarrollo.

Tanto el GPS como el GLONASS se desarrollaron al principio con fines militares y todavía están sujetos al control militar de EEUU y de la Federación Rusa. Sin embargo se ha ofrecido a los usuarios civiles la utilización gratuita de ambos sistemas militares de navegación por satélite.

### Servicio de Posición Global GPS

El GPS<sup>72</sup> es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición en tres dimensiones y la velocidad de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión máxima de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros.

<sup>72</sup> GPS: Global Positioning System

Aunque fue desarrollado y es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, también se utiliza en aplicaciones civiles de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas y otras actividades afines, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas.

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en tres anillos circulares, con periodos orbitales de unas 12 horas e inclinadas 63°, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra.

Para determinar la posición, el terminal GPS localiza un mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con estas señales, el terminal sincroniza su reloj y calcula el retraso de las señales, obteniendo así la distancia al satélite y calculando por triangulación su posición.

### **Glonass**

La antigua Unión Soviética tenía un sistema similar al GPS llamado GLONASS<sup>73</sup> que ahora es gestionado por la Federación Rusa. Como en el caso de GPS, en un principio fue concebido para fines militares y en la actualidad también tiene usos civiles, aunque su operación sigue estando bajo el control militar.

Consta de una constelación de 24 satélites (21 en activo y 3 satélites de repuesto) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno y siguiendo una órbita inclinada de 64,8° con un radio de 25.510 kilómetros. La constelación GLONASS se mueve en órbita alrededor de la tierra con una altitud de 19.100 kilómetros (algo más bajo que el GPS) y tarda aproximadamente 11 horas y 15 minutos en completar una órbita.

El sistema GLONASS, que a diferencia del GPS no tiene una degradación deliberada de la señal para uso civil, ofrece dos niveles de servicio: El Canal de Precisión Normal, disponible para todos los usuarios, que brinda una precisión horizontal de 60 m y una precisión vertical de 75 m en la determinación de la posición, y el canal de Alta Precisión que sólo está disponible para usuarios autorizados.

Un complejo control de tierra se encarga del funcionamiento de la constelación del GLONASS. Consiste en el centro del control del sistema (SCC) y varias estaciones de mando de rastreo (CTS).

---

<sup>73</sup> GLONASS: Global Navigation Satellite System.

## Galileo

La Unión Europea, con apoyo de la Agencia Espacial Europea, está desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado “Galileo”. Al contrario que GPS y GLONASS, Galileo será de uso civil. Aunque Galileo es un sistema global independiente de GPS, es totalmente compatible e interoperable con él, lo que permite que un receptor GALILEO pueda explotar simultáneamente las señales recibidas de los satélites GALILEO y GPS.

El sistema Galileo estará formado por una constelación mundial de 30 satélites en órbita terrestre media distribuidos en tres planos inclinados con un ángulo de  $56^\circ$  hacia el ecuador, a 23.616 km de altitud. Se van a distribuir diez satélites alrededor de cada plano y cada uno tardará 14 horas para completar la órbita de la Tierra. Cada plano tiene un satélite de reserva activo, capaz de reemplazar a cualquier satélite que falle en ese plano.

Los satélites Galileo, a diferencia de los que forman la malla GPS, estarán en una órbita ligeramente desviada del ecuador. De este modo sus datos serán más exactos en las regiones cercanas a los polos, donde los satélites estadounidenses pierden notablemente su precisión.

Hasta el momento, se han lanzado dos satélites de prueba Giove-A y Giove-B<sup>74</sup> (lanzados en 2005 y 2008) y los dos primeros satélites de la constelación, que se lanzaron en octubre de 2011 desde la base espacial europea en Kourou (Guayana francesa), utilizando un lanzador ruso Soyuz.



Figura 54

El lanzamiento de los dos siguientes satélites se realizará el próximo 28 de septiembre de 2012. Está previsto que el sistema comience a funcionar en 2014 y que se encuentre plenamente operativo en 2019.

<sup>74</sup> Giove: Galileo In Orbit Validation Element.

### 3. Aplicaciones meteorológicas.

En el campo de la meteorología los sistemas de alcance mundial o multi-regional representan un papel cada vez más relevante en la Vigilancia Meteorológica Mundial y están integrados en su sistema mundial de telecomunicaciones como elemento esencial a nivel mundial, regional y nacional.

Los sistemas de comunicaciones por satélite son un componente importante en este sistema mundial. Especialmente en las zonas en las que las telecomunicaciones convencionales no pueden prestar un servicio eficaz.



Figura 55

Varios países han establecido planes concretos de establecer sistemas de telecomunicaciones multipunto por satélite para sus redes nacionales de telecomunicaciones meteorológicas que están remplazando las transmisiones radiofónicas, que entrañan altos gastos recurrentes de funcionamiento y cuya eficiencia es limitada.

### 4. Teledetección espacial

La teledetección espacial nace en 1972 con el lanzamiento del primer ERTS<sup>75</sup>, que fue posteriormente rebautizado con el nombre de LANDSAT<sup>76</sup>. Desde entonces, los satélites de observación van equipados con una variedad de instrumentos diseñados para registrar los detalles de la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera. Esto les permite observar, vigilar e identificar zonas u objetos situados sobre las superficies terrestre y marítima durante las 24 horas del día, independientemente de las condiciones de luz o meteorológicas y desde altitudes de centenares de kilómetros. Satisfaciendo de esta

<sup>75</sup> ERTS: Earth Resources Technology Satellite.

<sup>76</sup> La NASA tiene previsto lanzar el LANDSAT 8 el 15/01/2013.

manera determinadas necesidades nacionales de información, bien sean con finalidades políticas, económicas o militares.

La teledetección espacial, consiste en la obtención de información sobre un sistema dinámico terrestre, mediante sensores localizados en satélites y el posterior análisis de dicha información por medio de procesado digital e interpretación de imágenes. De esta manera, la teledetección permite obtener información “a distancia” de la superficie terrestre. El intercambio de dicha información entre sistema y sensor se realiza a través de un flujo de energía electromagnética, que puede tener un carácter unidireccional, constituyendo lo que se conoce como teledetección pasiva, o bidireccional, denominándose entonces teledetección activa.



Figura 56

### Teledetección pasiva

En el caso de la teledetección pasiva, la fuente primaria de radiación es el Sol. La energía que emite se encuentra distribuida a lo largo del espectro electromagnético. Los sensores trabajan en la región del visible y diversas partes del infrarrojo. En la atmósfera, previamente a su interacción con la superficie terrestre, esta energía se ve sometida a modificaciones de intensidad y de distribución espectral. Tras la interacción la energía reflejada vuelve a través de la atmósfera siendo de nuevo modificada antes de alcanzar el sensor donde finalmente es captada. La información así obtenida es posteriormente enviada a las estaciones receptoras en Tierra para su procesado posterior.

### Teledetección activa

En la teledetección activa, el sistema terrestre que se pretende observar se irradia con una fuente artificial instalada en el propio satélite. Esto supone la independencia respecto de la iluminación externa, por lo que tenemos la posibilidad de controlar la radiación electromagnética emitida (potencia, longitud de onda, polarización, ángulo de iluminación),

registrando el sensor la porción de radiación devuelta por la superficie terrestre. Estos sensores activos trabajan en la región del espectro correspondiente a las microondas. Esta es la forma habitual de funcionamiento de los radares.

En este caso, y ésta es su gran ventaja como sistema de observación de la Tierra, la radiación no se ve alterada por la presencia de la atmósfera o lo hace muy débilmente de manera que su funcionamiento es independiente de la cobertura nubosa, pudiendo “ver” a través de las nubes.

## 5. Sistema de búsqueda y salvamento

El Sistema Internacional de Satélites de Búsqueda y salvamento (COSPAS-SARSAT)<sup>77</sup> consta de una constelación de seis satélites LEOSAR en órbita polar entre 800 y 1000 Kilómetros de altitud, y siete satélites GEOSAR geostacionarios. Más una red de estaciones receptoras en tierra que alertan sobre situaciones de peligro e informan a las autoridades encargadas del salvamento de la posición de los usuarios marítimos, aéreos y terrestres en peligro.



Figura 57

Este sistema suministra datos sobre la posición de los afectados dentro de la zona de cobertura de las estaciones terrestres y a radiobalizas que funcionan a 406 MHz y que pueden activarse en cualquier parte del mundo. Se puede lograr una cobertura completa de la Tierra, incluidas las regiones polares, utilizando simplemente radiobalizas de emergencia para emitir señales de socorro.

Básicamente, el sistema COSPAS-SARSAT está compuesto por tres tipos de radiobalizas:

- Radiobalizas marítimas de emergencia e indicadoras de posición (EPIRB)<sup>78</sup>.
- Transmisiones aéreas de localización de emergencia (ELT)<sup>79</sup>.
- Radiobalizas de localización personal (PLB)<sup>80</sup>.

<sup>77</sup> SARSAT: Search and Rescue Satellite-Aided Tracking. COSPAS: Sistema Espacial para la búsqueda de buques en peligro (en ruso).

<sup>78</sup> EPIRB: Emergency Position-Indicating Radio Beacons.

<sup>79</sup> ELT: Emergency Locator Transmitters.

<sup>80</sup> PLB: Personal Locator Beacons.

El funcionamiento del sistema está representado en la figura 57. Las balizas transmiten las señales de alerta a los satélites, que las retransmiten las a estaciones terrestres denominadas LUT<sup>81</sup> donde se procesan y se determina la localización de la baliza. Esta información se envía al Centro de Control de Misiones (MCC)<sup>82</sup> que se encarga de transmitirla a otro MCC o bien al Centro de Coordinación de Rescates (RCC)<sup>83</sup>.

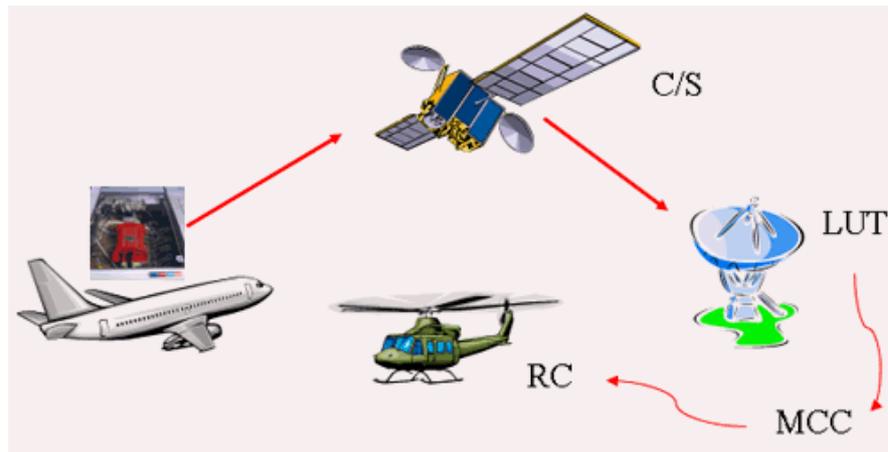


Figura 58

Todas las radiobalizas han de cumplir con las especificaciones del sistema impuestas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), además de las impuestas por los respectivos organismos reguladores de cada país, entre las que se incluye el registro obligatorio en una base de datos que permita su identificación en caso de activación. Concretamente en España, hay 815 ELT registradas en la Dirección General de Aviación Civil y 18.255 registradas EPIRB en la Dirección General de la Marina Mercante (datos del año 2008).

Las balizas más modernas transmiten un mensaje que incluye un campo con un patrón de sincronización, el código de país, la identificación unívoca de la baliza, su posición GPS si está disponible, un código de corrección de errores y datos suplementarios. Esta señal se capta y se retransmite por un satélite GEOSAR, permitiendo localizar a la baliza de forma casi inmediata (menos de 10 minutos en el 99% de los casos).

Para balizas más antiguas que no dispongan de señal GPS, gracias al movimiento relativo de los satélites LEOSAR se pueden emplear técnicas de análisis del efecto Doppler respecto a la portadora de 406 MHz de la baliza para determinar su posición. La utilización

<sup>81</sup> LUT: Local User Terminal.

<sup>82</sup> MCC: Mission Control Centre.

<sup>83</sup> RCC: Rescue Control Centre.

de técnicas Doppler requiere datos de más de un satélite para resolver posibles ambigüedades, lo que puede causar cierto retraso en el procesamiento de la alerta, especialmente en zonas próximas al Ecuador.

La probabilidad de detección de los LEOSAR en un sólo pase es superior al 98%, aumentando hasta el 100% en pases sucesivos. La precisión de la localización usando análisis Doppler es del 87% en un radio de 5 km.

El tiempo total de espera para identificar y posicionar a una radiobaliza puede variar entre menos de una hora para latitudes altas hasta menos de dos horas cerca del Ecuador, con una probabilidad del 95%.

# CAPÍTULO 7

## Situación del mercado de las comunicaciones vía satélite.

Hoy en día existe una amplia oferta de servicios basados en las telecomunicaciones vía satélite, así como un gran número de proveedores de estos servicios.

Las motivaciones que mueven a los usuarios finales a utilizar los satélites de telecomunicaciones son muy diversas. Entre ellas destacan las ventajas derivadas de la economía de escala, basada en el constante aumento del número de satélites operativos, así como en el incremento de su potencia de emisión debido al desarrollo y perfeccionamiento tecnológico. Así mismo, las ventajas en la recepción de las señales hacen disminuir el tamaño del diámetro de la antena y consiguientemente su precio final repercute a la baja en el usuario.

Al final, la última motivación será generalmente económica, por lo que la decisión de utilizar estos medios dependerá de que sean rentables. Lo cual ocurrirá en los siguientes casos:

- Cuando no existe infraestructura previa de telecomunicaciones.
- Cuando las condiciones geográficas hacen impracticables las líneas tradicionales.
- Cuando la capacidad y la flexibilidad son importantes.
- Cuando se necesita una implantación muy rápida.
- Cuando no es rentable el llevar un determinado servicio al usuario final.
- Cuando se necesita un medio redundante o alternativo.
- Cuando los usuarios finales tienen sus propios terminales
- En implementaciones temporales.
- Pequeñas y medianas rutas.
- Múltiples destinatarios sobre áreas geográficas muy grandes.
- Usuarios móviles.

El mundo de las telecomunicaciones por satélite se ha caracterizado siempre por un número limitado de operadores grandes, por la presencia de consorcios internacionales (Intelsat, Inmarsat, Eutelsat) que recientemente se han privatizado, y por fuertes relaciones con el ámbito militar.

## 1. Sistemas de Satélites de Comunicaciones no estacionarios

Los sistemas de satélites de comunicaciones no geoestacionarios se utilizan principalmente como soporte de transmisión de los sistemas GMPCS<sup>84</sup> y se trata de constelaciones de satélites LEO, siendo las principales Iridium, Globalstar e ICO.



Iridium es un sistema desarrollado por Motorola para proveer servicios de Telefonía Satelital Móvil (TSM) con cobertura mundial. La cobertura global de sistema Iridium, junto con su órbita baja, lo hacen muy atractivo para comunicaciones móviles en zonas muy despobladas donde la aparición de operadores de telefonía móvil terrestre sea muy difícil. Así como en situaciones de emergencia como terremotos, inundaciones,... ya que no necesita infraestructura terrena cercana.

Obtuvo licencia de construcción de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de Estados Unidos en 1995. Consta de 66 satélites de órbita baja (LEO) a 780 km de altura en trayectorias casi polares, por lo que cubre la totalidad de la tierra. La red espacial se mueve mucho más deprisa que el terminal del usuario. Los satélites tienen procesamiento y conmutación a bordo, y se comunican entre sí mediante canales de alta capacidad, por lo que sólo precisan de un número limitado<sup>85</sup> de estaciones terrenas de interconexión.

Las estaciones terrenas de interconexión o pasarelas, se sitúan en regiones clave de la Tierra. Su misión es interconectar la constelación Iridium con la red telefónica pública conmutada, lo cual permite la comunicación entre cualquier teléfono del mundo y cualquier terminal Iridium. Estas pasarelas utilizan el estándar GSM de telefonía móvil.

También utiliza enlaces intersatélite para desviar el tráfico cuando algún satélite no tiene visión directa con alguna pasarela. Cada satélite de la constelación tiene 4 antenas destinadas a estos enlaces intersatélite, con lo cual se tienen dos enlaces permanentes con los dos satélites contiguos del mismo plano orbital<sup>86</sup> y otros dos enlaces con cada uno de los dos satélites más cercanos de los planos contiguos<sup>87</sup>.

Los enlaces intersatélite si bien encarecen el satélite y aumentan su peso, también permiten disminuir el número de pasarelas, permitiendo cobertura global en zonas muy

---

<sup>84</sup> GMPCS: Global Mobile Personal Communications System. Ver el apartado primero del capítulo ocho.

<sup>85</sup> En Europa solo hay una estación terrena de interconexión, concretamente en Italia.

<sup>86</sup> Estos enlaces son permanentes gracias a que la posición relativa entre los mismos no varía.

<sup>87</sup> Estos enlaces no son permanentes ya que la posición relativa entre satélites de planos orbitales contiguos no se mantiene.

poco pobladas o amplias regiones oceánicas donde colocar una pasarela puede no ser económicamente viable.

Iridium entró en funcionamiento en noviembre de 1998. Debido a dificultades financieras importantes decidió interrumpir el servicio en agosto de 2000. Sin embargo fue adquirido por otro grupo que redefinió el servicio en el 2001.

Iridium trabaja en banda L, concretamente entre 1621,3 y 1626,5 MHz en Estados Unidos y entre 1616 y 1626,5 MHz. en el resto del mundo. Además de telefonía móvil, ofrece servicios de fax y datos en IP hasta 128 Kbps. La calidad del sonido vía satélite es prácticamente igual a la de un GSM.

Actualmente Iridium, se utiliza activamente en mercados verticales como los petroleros, mineros, seguridad, entre otros. Desde los sucesos del 11 de septiembre de 2001 los organismos de seguridad estadounidenses utilizan Iridium como su sistema preferido de comunicaciones de voz vía satélite. Solamente la fuerza aérea de los Estados Unidos cuenta actualmente con 25.000 terminales activos, los más recientes de ellos son el modelo 9575" Extreme" (Fig.58), que por ser robusto y resistente a golpes, polvo y agua, está preparado para trabajar en ambientes muy exigentes.



Figura 59

Se pueden contratar los servicios de Iridium directamente en su página web<sup>88</sup> o a través de cualquier proveedor que facilitan la compra o el alquiler de terminales Iridium. Algunos de ellos son los siguientes:

- Erziasat (<http://www.erziasat.com/category/proveedores/iridium>)
- Biccom (<http://www.biccom.net/telefono-satelite-iridium.html>)
- Disvent (<http://www.disvent.com>)

<sup>88</sup> <http://www.iridium.com/CompanyProfile.aspx>



Globalstar L.P. es un consorcio con sede en California, fundado en 1991 por Loral Space & Communications Ltd. y Qualcomm Inc. más doce socios fundadores, formados por proveedores de servicios y fabricantes de equipos de telecomunicaciones líderes en el mundo, los cuales se relacionan a continuación.

- Alcatel Telecom (Francia). Diseña, Produce, integra y prueba las cargas útiles
- Alenia Spazio (Italia). Se encarga del armado final, integración y pruebas de los satélites.
- DASA (antigua Deutsche Aerospace AG). Suministra los componentes de propulsión de los satélites, paneles solares y subsistemas de control de comportamiento y de órbita.
- Hyundai (Corea del Sur). Fabrica ciertos componentes de las cargas útiles
- Loral Space & Communications Ltd.
- Space Systems/Loral. (EE.UU). Diseña, fabrica, monta, prueba y lanza los satélites de la constelación.
- AirTouch Communications.
- DACOM.
- France Telecom.
- Vodafone Group.
- Elsig Bailey.
- CHINASAT (China Telecommunications Broadcast Satellite Corporation)

Globalstar cede el acceso al sistema Globalstar a sus socios fundadores y a franquiciados, con quienes constituye una red mundial de socios regionales de servicios de telecomunicaciones en más de 100 países que abarcan los cinco continentes.

La constelación Globalstar está compuesta por 52 satélites que, con un peso aproximado de 440 Kg, completan una revolución a la Tierra cada dos horas. Cuarenta y ocho de ellos son satélites principales que fueron colocados a 1414 Km de la Tierra en órbita circular y distribuidos en 8 planos



Figura 60

inclinados a 52° respecto del ecuador. Los cuatro satélites restantes se colocan en órbitas intermedias, en reserva de los satélites principales. Cada satélite de la constelación tiene un coste de fabricación de aproximadamente 15 millones de US \$. Son lanzados desde el cosmódromo de Baikonur, utilizando como vector de lanzamiento un cohete Soyuz.

Este diseño de constelación presenta las siguientes ventajas:

- Todas las ventajas de la órbita baja: terminales de tamaño similar a los terminales celulares de primera generación y servicio sin ningún retraso de la voz.
- Permite concentrar toda la capacidad de la constelación en las zonas de uso potencial.
- Un servicio satelital redundante para cada terminal. Los satélites Globalstar se cruzan por encima de los usuarios. De esta forma, cada terminal tiene un acceso simultáneo a cuatro satélites. Esta redundancia satelital permite evitar los cortes de comunicación cuando un obstáculo surge entre el usuario y un satélite en particular y bloquea la señal. Globalstar es el único sistema LEO que presenta esta garantía de calidad de servicio.

Los satélites Globalstar son satélites "transparentes", es decir actúan como simples repetidores entre los terminales GLOBALSTAR y la estación terrena más cercana para la interconexión con las redes terrestres nacionales. Por este motivo el satélite debe estar enlazado con alguna de las estaciones terrestres para proporcionar la comunicación. Lo que provoca que no exista cobertura en amplias zonas marinas (Fig.61), aunque el usuario sí tenga enlace con el satélite.

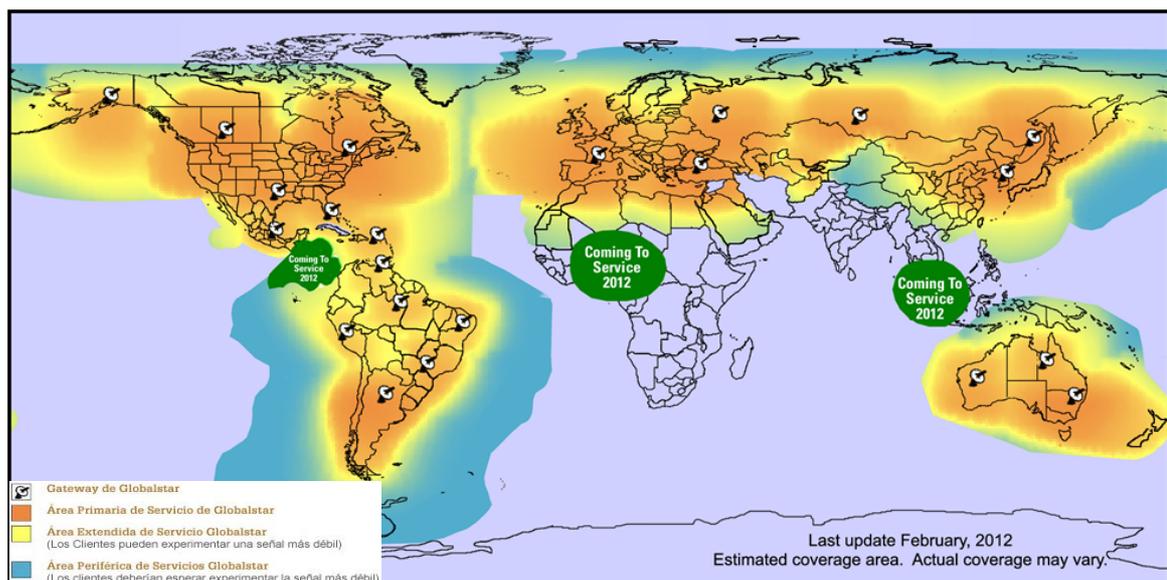


Figura 61

La constelación Globalstar ofrece soporte a las redes GSM para ampliar la cobertura en los cinco continentes, servicios de roaming<sup>89</sup> y servicios de mensajería breve (SMS).

La actual oferta de Globalstar se estructura en dos grandes bloques:

- Servicio monomodo: Trabaja al 100% como telefonía vía satélite, independientemente de que exista o no cobertura de telefonía móvil terrestre.
- Servicio binodo o dual: Es un servicio complementario. Donde no existe la cobertura de telefonía móvil terrestre, el sistema contacta con la red de satélites de Globalstar.

Además del servicio de telecomunicaciones, Globalstar dispone también de una oferta de terminales móviles tanto monomodo como bimodo, de reducido tamaño y peso y de terminales fijos, para equipar zonas aisladas donde la instalación de infraestructuras clásicas no es rentable (Fig.62).



Figura 62

Al igual que sucede con Iridium, se pueden contratar los servicios de Globalstar directamente en su página web<sup>90</sup> o a través de cualquier proveedor que facilitan la compra de terminales, así como sus servicios que consisten además de telefonía un sistema de posicionamiento y localización SPOT, que se verá en el apartado tercero de este capítulo.

Algunos de los proveedores de globalstar ellos son los siguientes:

- Erziasat (<http://www.erziasat.com/productos/globalstar>)
- Tesacom (<http://www.tesacom.net/productos/>)

<sup>89</sup> Roaming: Itinerancia. Permite utilizar los servicios del proveedor de telefonía móvil en el extranjero.

<sup>90</sup> www.globalstar.com



En 1995 se funda ICO Global Communications, con el propósito de formar una constelación de satélites situados en órbita media. En junio de 2011, ICO Global Communications cambió su denominación corporativa y pasó a denominarse Pendrell Corporation.

El sistema de satélites de ICO está compuesto por doce satélites que operan en órbitas medias (MEO) a una altitud de 10.390 Km, de los cuales sólo diez son operativos y los otros dos se tienen de reserva en caso de mal funcionamiento.

Los satélites se encuentran situados en dos órbitas ortogonales inclinadas 45 grados respecto al ecuador, de esta forma cada satélite cubre aproximadamente una quinta parte de la superficie terrestre y da unas cuatro vueltas al día a la Tierra. Gracias a esta distribución orbital, se asegura que un usuario esté cubierto por al menos dos satélites donde quiera que se encuentre. En la figura siguiente se muestra las trayectorias de estos satélites.

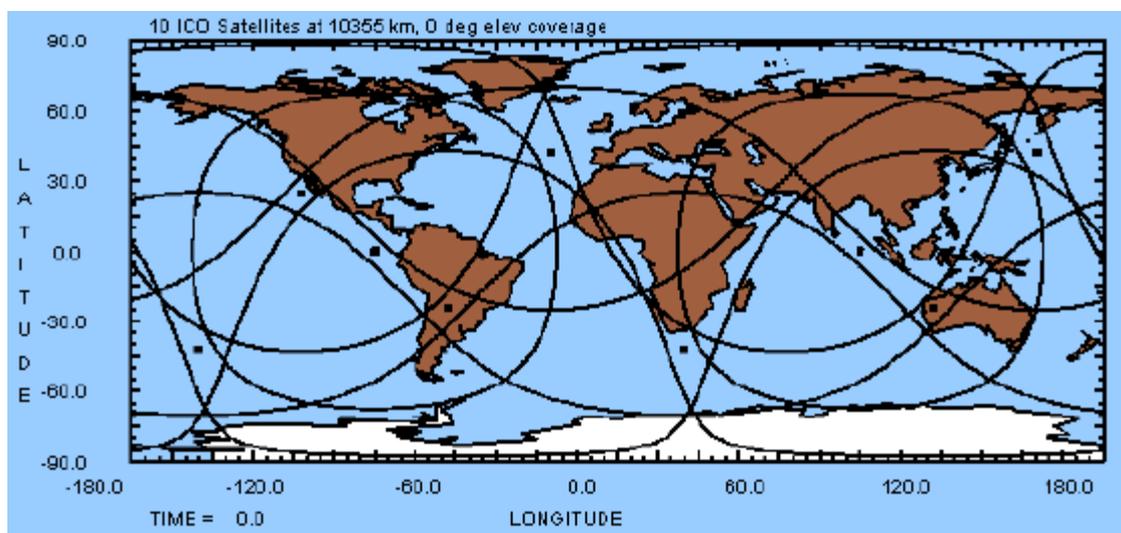


Figura 63

Dispone de 12 estaciones terrenas distribuidas a lo largo de la geografía terrestre, conectándose entre ellos formando un anillo, de manera que se forma una red denominada ICONET, que proporciona el enlace entre los satélites y las distintas redes de telefonía fija, móvil o de datos. Por lo tanto, la función del satélite es simplemente hacer de repetidor, mientras que todo el peso recae sobre la ICONET.

La propuesta de ICO es más modesta que la de Iridium y de menor coste. Como características puede destacarse la similitud con el sistema GSM, del que toma muchos de sus protocolos de red. ICO incorpora, además, un sistema de mensajería que funciona incluso en el interior de edificios.

En abril de 2008, se lanzó el ICO-G1, que ocupa una órbita geoestacionaria. Este satélite de 6634 Kg de masa fue el mayor satélite comercial lanzado hasta ese momento.

En la actualidad, el sistema se encuentra ofreciendo servicios de telefonía móvil, mensajería, video... en el territorio de EEUU.

### Comparativa entre los tres sistemas no estacionarios

En la siguiente tabla se comparan las principales características de los tres sistemas de satélites de comunicaciones no estacionarios vistos:

NOMBRE DEL SISTEMA	ICO	IRIDIUM	GLOBALSTAR
Compañía	ICO Global Communications	Motorola	Loral
Numero de satélites	12	66	48
Técnica de acceso	TDMA	TDMA	CDMA
Tipo de órbita	MEO	LEO	LEO
Altitud de la órbita (km)	10.335	780	1414
Satélites por plano orbital	5	11	6
Haces por satélite	163	48	16
Uso de procesador a bordo	No	Sí	No
Fecha de comienzo	2000	1997	1997
Fecha de puesta en servicio	2000	1998	1999

## 2. Sistemas de Satélites de Comunicaciones Geoestacionarios

Los sistemas geoestacionarios se consideraban superados hasta hace poco, debido a su elevado retardo de transmisión, 260 ms frente a los 20 ms de los satélites LEO (ocasionado por la distancia a la cual orbitan) y también por su falta de cobertura total de la superficie terrestre. Sin embargo paradójicamente hoy en día gozan de muy buena salud.

Los dos principales sistemas de satélites geoestacionarios son Inmarsat y Thuraya.



Inmarsat<sup>91</sup> fue fundada en 1979 como una organización intergubernamental<sup>92</sup> con foco en el sector marítimo, siendo el primer operador global de comunicación móvil por satélite. Desde su creación ha estado siempre a la vanguardia de los servicios móviles por satélite.

Actualmente es el proveedor mundial líder de servicios de voz global, datos y soluciones de comunicaciones IP. Ofrece una amplia variedad de servicios modernos y estables para comunicaciones terrestres, marítimas e incluso aéreas.

Inmarsat es propietaria y opera una flota de 11 satélites, de los cuales destacan los tres de la serie I-4s, lanzados en 2005 (F1 y F2) y 2008 (F3), que desde sus posiciones orbitales geoestacionarias proporcionan servicio de voz y datos IP en todo el planeta, excepto las zonas polares (Fig.64).

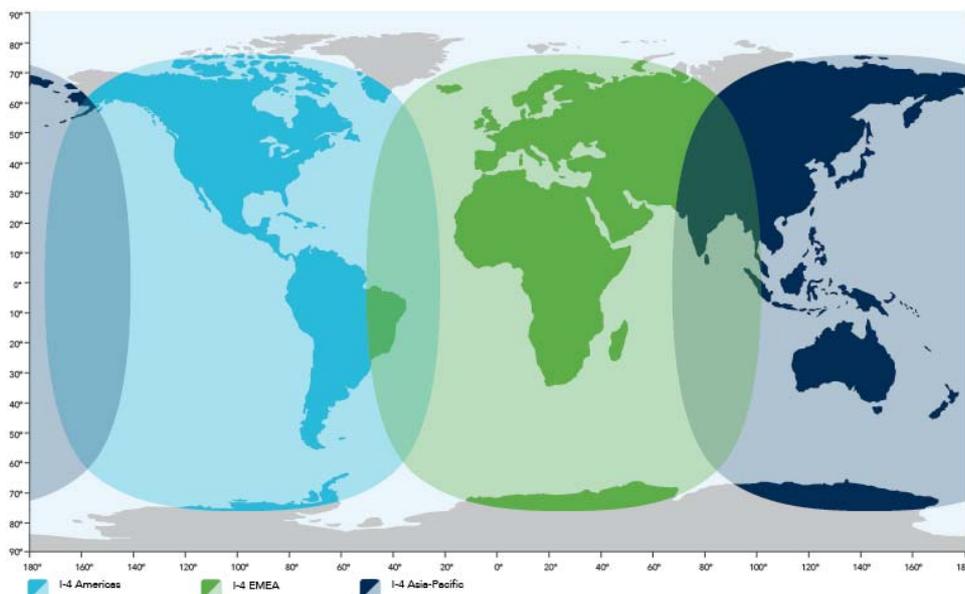


Figura 64

<sup>91</sup> INMARSAT: International MARitime telecommunication SATellite

<sup>92</sup> En 1999 se convirtió en una compañía comercial privada con sede en Londres.

Los tres satélites Inmarsat-4s son el soporte para el servicio BGAN<sup>93</sup> que con una amplia gama de terminales, tanto portátiles como vehiculares, proporciona comunicaciones de voz, datos en IP estándar hasta 492 Kbps y datos en IP Streaming hasta 256 Kbps. En la figura 65 se aprecia el terminal portátil BGAN Explorer 700 fabricado por la empresa Thrane & Thrane.



Figura 65

Se espera que los satélites I-4s permanezcan en servicio al menos hasta 2020, aunque ya se está preparando su relevo. Se trata de los tres satélites Inmarsat-5s que serán lanzados en 2013-2014 y trabajando en banda Ka ofrecerán el servicio Inmarsat Global Xpress™ que proporcionará datos en banda ancha de hasta 50 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida, utilizando terminales VSAT.

Además del servicio BGAN, Inmarsat ofrece su terminal telefónico Isatphone (Fig.66) que es muy ligero (279 gr) y resistente al agua, polvo y calor.



Figura 66

A diferencia de lo que sucede con Iridium o Globalstar, no se pueden contratar los servicios de Inmarsat directamente en su página web<sup>94</sup>, aunque ésta nos proporciona una lista de proveedores autorizados cercanos a nuestra ubicación, y de la delegación oficial más cercana. Concretamente en el caso de España, ésta se encuentra en San Sebastián de los Reyes (Madrid)

[http://www.inmarsat.com/Partners/Partner\\_search/default.aspx?CompanyID=132158&language=EN&textonly=False](http://www.inmarsat.com/Partners/Partner_search/default.aspx?CompanyID=132158&language=EN&textonly=False)

Algunos de los proveedores autorizados por Inmarsat:

- <http://www.telefonica-wholesale.com>
- <http://www.nautsat.com>
- <http://www.satlink.es>
- <http://www.PrepaidSatphone.com>

<sup>93</sup> BGAN: Broadband Global Area Network.

<sup>94</sup> [www.inmarsat.com](http://www.inmarsat.com)

**THURAYA** 

Thuraya es un proveedor regional de comunicaciones por satélite, fundado en 1997. Tiene su sede en Emiratos Árabes Unidos y centra su oferta de servicios en Europa, Oriente Medio y África. El sistema Thuraya sólo utiliza dos satélites geoestacionarios, por lo que su cobertura no es global (Fig.67).



Figura 67

Tiene acuerdos de roaming con mas que 200 operadoras de redes de móviles alrededor del mundo, ofreciendo servicios de voz, datos, GPS, buzón de voz etc. También permite recibir notificaciones de llamadas fuera de cobertura mediante un "aviso de alta potencia".

Algunos terminales telefónicos de Thuraya (Fig.68), como por ejemplo el Thuraya XT-Dual, permiten la utilización de una tarjeta GSM convencional y la selección de una configuración por defecto. Esta es una importante característica pues quiere decir que el usuario podrá seleccionar si desea que las llamadas salientes se realicen preferentemente a través de la red GSM y sólo en caso de ausencia de red por la red satélite, opción más común, o en cambio prefiere que la salida sea vía satélite y en caso de falta de cobertura, por ejemplo dentro de edificios, utilice la red GSM.

El teléfono Thuraya XT-Dual permite elegir entre utilizar la cobertura GSM o trabajar como terminal satélite. Es un Teléfono ligero y resistente a golpes, polvo y salpicaduras. Tiene un GPS integrado y además de voz proporciona datos GPRS-SAT a baja velocidad: hasta 60 Kbps de bajada y 15 Kbps de subida.



Figura 68

Además de terminales telefónicos de pequeño tamaño, Thuraya también ofrece soluciones de banda ancha vía satélite. Se trata del equipo Thuraya-IP (Fig.69), que con un peso de 1,3 Kg y unas pequeñas dimensiones proporciona una conexión de datos IP estándar de 444 kbps y también IP en streaming de 256 Kbps o 384 si se le acopla una antena externa rectangular.



Figura 69

Este terminal tiene también una característica muy útil, y que comparte con el Inmarsat BGAN Explorer 700, que es que incorpora un router WIFI que le permite crear una LAN inalámbrica.

Thuraya ofrece varios planes de precios, incluyendo contrato o prepago, para sus soluciones de voz y datos. La contratación de sus servicios se realiza a través de una red internacional de proveedores autorizados, presentes en más de 140 países. La propia página web de Thuraya ofrece información sobre todos los proveedores autorizados en el siguiente vínculo:

[http://www.thuraya.com/search\\_partner/index.php?cdn=fxtr565](http://www.thuraya.com/search_partner/index.php?cdn=fxtr565)

En España el proveedor autorizado es Satlink ([www.satlink.es](http://www.satlink.es)), aunque también se pueden adquirir productos Thuraya en otras empresas, como por ejemplo las siguientes:

<http://www.erziasat.com/productos/telefonos-satelite/thuraya>

<http://www.ts2.pl/en/Thuraya>

<http://www.prepaysatphone.com/thuraya-planes.htm>

<http://www.fibersat.es/gama-de-productos/thuraya/equipos-thuraya/>

[http://www.subprof.com/tienda/index.php?sort=&cPath=415\\_617&filter\\_id=194&language=es&nom=Electr%F3nica+++Navegaci%F3n+Telefonos+v%EDa+satelite](http://www.subprof.com/tienda/index.php?sort=&cPath=415_617&filter_id=194&language=es&nom=Electr%F3nica+++Navegaci%F3n+Telefonos+v%EDa+satelite)

### 3. Sistemas de posicionamiento global

La mayoría de las empresas que ofrecen servicios de posicionamiento global vía satélite, utilizan el sistema GPS<sup>95</sup>. Todos los terminales telefónicos y modem satélite que trabajan con un sistema de satélites geoestacionarios, incorporan un receptor GPS que nos proporciona la posición actual, facilitando de este modo el apuntamiento al satélite que nos da servicio.

Los posicionadores y navegadores GPS no sólo se emplean en aplicaciones náuticas. Actualmente existe un amplio mercado de navegadores diseñados para un uso particular o profesional. En las grandes ciudades, las flotas de taxis utilizan navegadores GPS para localizar el mejor camino al destino buscado. También es bastante común ver vehículos tipo turismo que incorporan un navegador GPS.

Existe una amplia oferta en el mercado con un gran número de fabricantes y modelos diferentes, en la siguiente figura (Fig.70) se ve un ejemplo de una empresa que oferta estos sistemas por Internet.



Figura 70

(Esta imagen ha sido extraída del siguiente vínculo: [www.preciomania.com](http://www.preciomania.com))

Otras empresas que comercializan navegadores GPS son por ejemplo, las siguientes:

<http://www.garmin.com/>

<http://www.navegadoresgps.com>

[http://www.tomtom.com/es\\_es/](http://www.tomtom.com/es_es/)

<sup>95</sup> Ver el apartado segundo del capítulo 6.

### i-Kids<sup>96</sup>

Un ejemplo de la gran cantidad de productos GPS que existen en el mercado es el terminal iKids. Se trata de un teléfono GSM con receptor GPS de uso personal, diseñado especialmente para niños. El dispositivo GPS que incorpora el I-Kids<sup>97</sup> nos permite saber en cualquier momento del día donde están los hijos, recibiendo a través de Internet, WAP o SMS la posición de terminal con un error máximo de 5 metros.



Figura 71

También permite mostrar la ruta realizada con posiciones cada 10 minutos durante las últimas 12 horas e incorpora un botón de pánico para utilizar en caso de emergencia.

### Seguimiento de flotas

Una de las aplicaciones GPS más utilizadas a nivel comercial es el seguimiento de flotas y localización de vehículos. Se trata de aplicaciones que permiten la localización GPS para el seguimiento, control y gestión de los vehículos de una empresa. A través de una aplicación web, la empresa puede saber la situación exacta donde se encuentran los vehículos de toda su flota en tiempo real, para gestionarlos de forma fácil y segura.

Estas aplicaciones suelen ofrecer los siguientes servicios:

- Localización de los vehículos.
- Información sobre la velocidad de a la que se desplazan los vehículos en cualquier momento.
- Estado del vehículo: Circulando, llave puesta, motor apagado, averiado...
- Histórico de recorrido.
- Estadísticas de tiempo en parada, número de paradas, horas en circulación, kilómetros recorridos, etc.
- Información sobre los vehículos más cercanos a una dirección determinada.
- Elaborar informes de actividad, distancia, velocidad y paradas.

En el mercado se puede encontrar una amplia oferta de empresas que ofrecen estos servicios, algunas de las cuales son las siguientes:

<http://www.itrak.es/ES/>

<sup>96</sup> www.i-kids.net

<sup>97</sup> Lamentablemente, esta empresa ha dejado de prestar sus servicios recientemente.

<http://www.4gflota.com/index.php/programa-de-gestion-4gflota/>  
[http://zenithal.es/localizacion\\_y\\_control\\_de\\_flotas\\_basic.html](http://zenithal.es/localizacion_y_control_de_flotas_basic.html)  
<http://www.goltratec.com/control-de-flotas-de-vehiculos/>  
<http://www.gpsistema.com/>



Globalstar ofrece un servicio de geolocalización y seguimiento utilizando un posicionador GPS (Fig.72), de apenas 147 gramos de peso y unas reducidas medidas de 9,4 x 6,6 x 2,5 centímetros.

Se trata de Spot LLC, que es un producto muy utilizado por excursionistas y trabajadores en zonas remotas. Tiene varias funciones que permiten mostrar la posición del usuario y la ruta seguida, así como varios mensajes predeterminados, entre otros la posibilidad de alertar a los servicios de emergencia locales en caso de necesidad.



Figura 72

Otra posibilidad es utilizar la versión Spot connect, convierte cualquier smartphone en un terminal satélite (Fig.73). Simplemente configurando el smartphone con SPOT Connect, se puede conectar con la red de satélites de Globalstar y de este modo enviar mensajes y coordenadas GPS desde casi cualquier lugar en el planeta. También permite enviar correos electrónicos y mensajes de texto. Y en caso de una emergencia crítica, envía un mensaje SOS solicitando asistencia de emergencia.



Figura 73

Spot se puede contratar directamente en la propia página web de spot:

<http://www.findmespot.eu/shop/index.php?language=es>

O bien a través de proveedores autorizados. En el siguiente vínculo encontramos las empresas que comercializan spot en Barcelona.

[http://www.findmespot.eu/sp/locatearetailer/index.php?country=Espa%F1a&city\\_selection=BARCELONA&x=54&y=13](http://www.findmespot.eu/sp/locatearetailer/index.php?country=Espa%F1a&city_selection=BARCELONA&x=54&y=13)

#### 4. Suministradores de servicios

Los suministradores de servicios de comunicaciones vía satélite se pueden dividir en empresas ofertantes de segmento espacial, de segmento terreno y propiamente de servicio.

##### **Suministradores de Segmento Espacial**

Este campo cada vez tiene más proveedores, siendo necesario señalar que la comercialización corresponde a las empresas propietarias de los propios satélites.

Podemos clasificar las tipologías de sistemas de satélites, según su cobertura y el tipo de consorcio propietario:

1. **Sistemas globales:** Tienen una cobertura que abarca a todo el mundo y pertenecen a consorcios internacionales de varios países que colaboran para tener economías de escala frente al coste y complejidad de estos sistemas, como por ejemplo Inmarsat.
2. **Sistemas regionales:** Cubren zonas geográficas limitadas y pertenecen a organizaciones o asociaciones de países con intereses en común. Algunos ejemplos de sistemas regionales que cubren Europa son EUTELSAT para servicios FSS y ASTRA que oferta servicios de difusión de televisión.
3. **Sistemas domésticos:** Son los que satisfacen las necesidades de comunicación por satélite de un país o parte de él, aunque pueden proyectar sus sinergias hacia un número mayor de países y continentes. Suelen ser propiedad de los operadores de telecomunicación de los países o de compañías privadas. En España contamos con HISPASAT desde 1992.

##### **Suministradores de Segmento Terreno**

Actualmente, la oferta en este segmento es muy amplia. Existen desde compañías especializadas en componentes concretos de las estaciones como son los amplificadores de bajo ruido o antenas parabólicas hasta proveedores de sistemas integrales, que incluso son capaces de proporcionar una oferta vertical completa más allá del mero suministro de estaciones terrenas, como es el caso de Hughes Network System, compañía multinacional norteamericana, o ANT Bosch Telecom, empresa alemana fabricante y licenciataria de aprovisionamiento de servicios en Alemania.

En España una de los fabricantes más importantes es Indra Espacio.

## Suministradores de Servicios

En el mercado europeo podemos encontrar una amplia oferta de proveedores de servicios:

- Hispasat. (<http://www.hispasat.com>) Trabaja como mayorista y proporciona servicios de banda ancha y audiovisuales (televisión) entre otros.
- Quantis (<http://www.quantis.es/spa>) Proporciona teléfono e Internet vía satélite a particulares y empresas.
- prepaidSatphone (<http://www.prepaysatphone.com/Default.asp>) Ofrece teléfonos vía satélite y planes de precios de varias compañías: Inmarsat, Thuraya e Iridium.
- Astra (<http://www.onastra.es/68295/es>) Proporciona televisión y radio vía satélite en abierto.
- Digital + (<http://www.plus.es/>) Proporciona televisión y radio vía satélite prepago.

## 5. Empresas españolas con actividad espacial



Figura 74

Las empresas españolas que ejercen alguna actividad relacionada con actividades espaciales, están asociadas a proEspacio<sup>98</sup>, asociación sin ánimo de lucro que agrupa a la mayor parte de las empresas que tienen actividad espacial.

Desde su creación a mediados de 1995 tiene como objetivo fundamental la potenciación del sector en nuestro país, manteniendo y mejorando el desarrollo industrial dedicado a proyectos espaciales, así como promover el interés de los organismos públicos Nacionales e internacionales y la comunidad científica en pro de una creciente participación de la industria nacional en los programas espaciales.

Para cubrir este objetivo proEspacio trabaja en las siguientes líneas de actuación:

- Fomentar la actividad espacial en todas sus vertientes.
- Divulgar entre los estamentos sociales y la opinión pública las tecnologías y aplicaciones del espacio en la vida cotidiana.

<sup>98</sup> proEspacio: (<http://www.proespacio.org>) Asociación Española de Empresas del Sector Espacial.

- Cooperar con las diferentes administraciones para lograr una mayor participación cualitativa y cuantitativa de España en el sector espacial nacional, europeo y mundial.
- Ampliar el esfuerzo de colaboración entre empresas, universidades y organismos públicos de investigación en actividades de I+D, orientadas al desarrollo de nuevas tecnologías y productos de ampliación espacial.
- Aportar estudios, análisis y opiniones a los organismos responsables de la elaboración de la política espacial española y los planes sectoriales asociados.

Las empresas asociadas a proEspacio son las siguientes:



**ALTER Technology Group Spain**  
C/ Tomas Alba Edison, 4  
41092 Isla de la Cartuja • Sevilla  
Tel. +34 95 446 70 50  
[www.altertechnology.com](http://www.altertechnology.com)



**GMV**  
C/ Isaac Newton, 11 (P.T.M.)  
E-28760 Tres Cantos • Madrid  
Tel. +34 91 807 21 00  
[www.gmv.es](http://www.gmv.es)



**EADS Astrium Crisa**  
C/ Torres Quevedo, 9 (P.T.M.)  
28760 Tres Cantos • Madrid  
Tel. +34 91 806 86 00  
[www.crisa.es](http://www.crisa.es)



**GTD - Sistemas de Información S.A.**  
Pg. Gàrcia Faria, 17  
08005 Barcelona  
Tel. +34 93 493 93 00  
[www.gtd.es](http://www.gtd.es)



**DAS Photonics S.L.**  
Ciudad Politécnica de la Innovación  
Camino de Vera s/n Edif. 8F 2ª planta  
46022 Valencia  
Tel. +34 96 355 61 50  
[www.dasphotonics.com](http://www.dasphotonics.com)



**Hisdesat - Servicios Estratégicos S.A.**  
Pº de la Castellana, 149 - 4º  
28046 Madrid  
Tel. +34 91 449 01 49  
[www.hisdesat.es](http://www.hisdesat.es)



**DEIMOS Space, S.L.**  
Ronda de Poniente, 19  
Edificio Fiteni VI, portal 2, 2ª  
28760 Tres Cantos • Madrid  
Tel. +34 91 806 34 50  
[www.deimos-space.com](http://www.deimos-space.com)



**HISPASAT**  
C/ Gobelos, 41  
28023 Madrid  
Tel. +34 91 710 25 40  
[www.hispasat.com](http://www.hispasat.com)



**EADS CASA Espacio**  
Avda. de Aragón, 404  
28022 Madrid  
Tel. +34 91 586 37 00  
[www.astrium.eads.net](http://www.astrium.eads.net)



**IberEspacio**  
C/ Fuencarral, 123 - 5ª planta  
28010 Madrid  
Tel. +34 91 444 15 00  
[www.iberespacio.es](http://www.iberespacio.es)



**Indra Espacio**  
C/ Mar Egeo, 4 • Pol. Ind. nº1  
San Fernando de Henares  
28830 Madrid  
Tel. +34 91 626 90 00  
[www.indracompany.com](http://www.indracompany.com)



**RYMSA**  
Ctra. Campo Real Km 2,100  
28500 Arganda del Rey • Madrid  
Tel. +34 91 876 07 07  
[www.rymsa.com](http://www.rymsa.com)



**INSA**  
Paseo Pintor Rosales, 34  
28008 Madrid  
Tel. +34 91 548 90 60  
[www.insa.es](http://www.insa.es)



**SENER**  
C/ Severo Ochoa, 4 (P.T.M.)  
28760 Tres Cantos • Madrid  
Tel. +34 91 807 70 00  
[www.sener.es](http://www.sener.es)



**MIER Comunicaciones**  
Pol. Ind. Congost Parc. 4-S  
08530 La Garriga • Barcelona  
Tel. +34 93 860 54 70  
[www.mier.es](http://www.mier.es)



**Tecnalia**  
C/ Mikeletegi Pasealekua, 2  
E-20009 Donostia • San Sebastián  
Tel. +34 902 760 002  
[www.tecnalia.com](http://www.tecnalia.com)



**NTE-SENER**  
C/ Can Male, s/n  
08186 Llíssa D'Amunt • Barcelona  
Tel. +34 93 860 90 01  
[www.nte-sener.es](http://www.nte-sener.es)



**Thales Alenia Space España**  
C/ Einstein, 7  
28760 Tres Cantos • Madrid  
Tel. +34 91 807 79 00  
[www.thalesaleniaspace.com](http://www.thalesaleniaspace.com)

# CAPÍTULO 8

## El sistema español de comunicaciones vía satélite.

### 1. Introducción

La trayectoria espacial española nace en 1960, de la mano del INTA<sup>99</sup> con la firma de un acuerdo de colaboración con la NASA que necesitaba disponer de una red mundial de estaciones que le permitiese un constante seguimiento de sus vehículos espaciales en órbita.

A raíz de este acuerdo de colaboración se instala en Maspalomas, Gran Canaria, la primera estación espacial en suelo español que entra a formar parte del programa de vuelos tripulados estadounidense (Fig.14). Tras Maspalomas le seguirán estaciones como las de Robledo de Chavela, Cebreros o Fresnedilla que jugarán un importante papel en la carrera espacial americana en los años 60 y 70 participando en proyectos tan destacados como los Mercury, Gemini y Apolo<sup>100</sup>.

Durante estos primeros años, la participación española en la carrera espacial, está estrechamente vinculada al Ministerio de Defensa a través del INTA. Hasta 1975 los esfuerzos se centran en sentar las bases para una industria aeroespacial nacional, formando equipos de profesionales competitivos y creando el conocimiento científico necesario para el desarrollo de sistemas espaciales. Se diseñan cargas útiles, estructuras, cableado, sistemas de control térmico, antenas de telemetría y mecanismos espaciales. Esta etapa se verá culminada el 15 de noviembre de 1974 con el lanzamiento desde la base de Vandenberg de la USAF<sup>101</sup> en California del INTASAT, el primer satélite artificial científico español, utilizando como vector de lanzamiento un cohete Delta (Fig.75).



Figura 75

<sup>99</sup> INTA: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

<sup>100</sup> El programa Apolo culminó en 1969 cuando el Apolo 11 llevó al Hombre a la Luna.

<sup>101</sup> USAF: United States Air Force.

## Comunicaciones gubernamentales por satélite para seguridad y defensa

Desde el comienzo de la aventura espacial en España, el Ministerio de Defensa siempre ha buscado la capacidad de desarrollar y operar satélites propios que permitieran disponer de información de forma global y rápida sin depender de otros sistemas, que si bien son necesarios y de gran utilidad, no aseguran la autonomía estratégica e independencia necesaria en determinadas situaciones o necesidades.

Es cierto que el grado de autonomía ha estado vinculado en gran medida al ritmo inversor procedente del ámbito privado e institucional. En esta senda destaca el primer paso dado por el Ministerio de Defensa e Hispasat con el lanzamiento de los Hispasat 1A y 1B en 1992 y 1993 que incorporaban una carga útil gubernamental para usos de defensa.

Desde julio de 2001 Hispasat<sup>102</sup> ha sido sustituida por Hisdesat<sup>103</sup> que se ha especializado en garantizar la seguridad de las comunicaciones vía satélite relacionadas con inteligencia, servicios exteriores, seguridad y defensa.

En la actualidad el sistema español de satélites para uso gubernamental está compuesto por dos satélites geoestacionarios que trabajan en banda X y Ka: El Spainsat, ocupando la posición orbital geoestacionaria de 30° Oeste y el Xtar-Eur, colocado en la posición geoestacionaria de 29° Este.

Entre ambos, el sistema proporciona cobertura para comunicaciones de banda ancha en América, Europa y Asia incluyendo los océanos Atlántico e Índico, proporcionando capacidad en bandas X y Ka para el Ministerio de Defensa y el resto de capacidad en banda X se ha habilitado a disposición de otros organismos gubernamentales tanto españoles como extranjeros aliados o amigos.

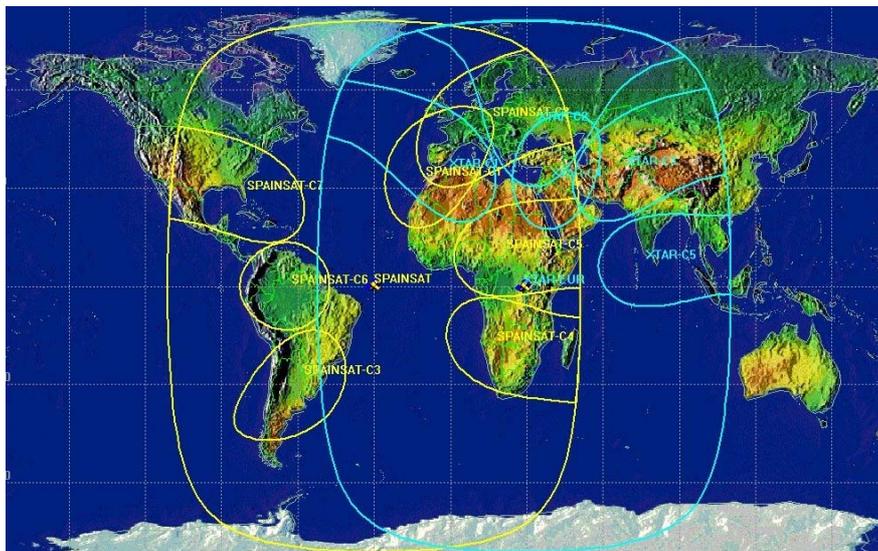


Figura 76

<sup>102</sup> <http://www.hispasat.com/>

<sup>103</sup> <http://www.hisdesat.es/>

## 2. El programa espacial español: INTA

Como se ha dicho en la introducción de este capítulo, en 1974 se lanzó el primer satélite español: El INTASAT. Este satélite (Fig.77) era un poliedro de doce caras de pequeñas dimensiones, que pesaba sólo 24,5 kg. Durante su vida útil de casi dos años, el INTASAT estudió el comportamiento de los electrones en la ionosfera.



Figura 77

La última señal del INTASAT se recibió a las 22:03 del día 5 de octubre, después de 689 días de funcionamiento. El satélite, continuaría en órbita durante largo tiempo, perdiendo altura hasta su total desintegración en la atmósfera.

De forma paralela, tanto la industria nacional como la comunidad científica comienzan a participar en distintos programas europeos, gestionados desde la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE), y a partir de la década de los ochenta desde el Centro para el desarrollo tecnológico industrial (<http://www.cdti.es/>). Fruto de estos esfuerzos son los avances en materia de componentes estructurales de fibra de carbono, equipos de radiofrecuencia activa y pasiva, gestión de datos a bordo, navegación por GPS, mecánica orbital, capacidad de diseño de circuitos híbridos e integrados o el procesado de imágenes de observación de la Tierra.

Aprovechando estos desarrollos, en 1997 se produce el lanzamiento del MiniSat-01 (Fig.78) una plataforma de pequeño tamaño y un peso total de 200 kg, equipada con un espectrógrafo preparado para trabajar en longitudes de onda inferiores a  $1.200 \text{ \AA}^{104}$ , una cámara de imagen en rayos gamma dotada de una máscara codificada y un experimento para estudiar el comportamiento de los fluidos en ausencia de gravedad.



Figura 78

<sup>104</sup> 1 Angstrom(  $\text{\AA}$ ) =  $10^{-10}$  metros.

MiniSat-01 fue el primer satélite enteramente concebido en España, bajo la dirección del INTA. De hecho, fue el primer satélite lanzado al espacio desde territorio de la Unión Europea. Para ello se empleó un lanzador Pegasus XL, de la empresa Orbital Science Corporation<sup>105</sup>.

El MiniSat-01 estaba diseñado para 2 años, pero continuó operando y enviando datos científicos durante casi 5 años. El Centro de Control estaba situado en el INTA, en Torrejón de Ardoz, y los datos se recibían en el Centro de Operaciones Científicas en el INTA-LAEFF. Al final de su vida útil terminó reentrando y desintegrándose en la atmósfera, tal y como estaba previsto.

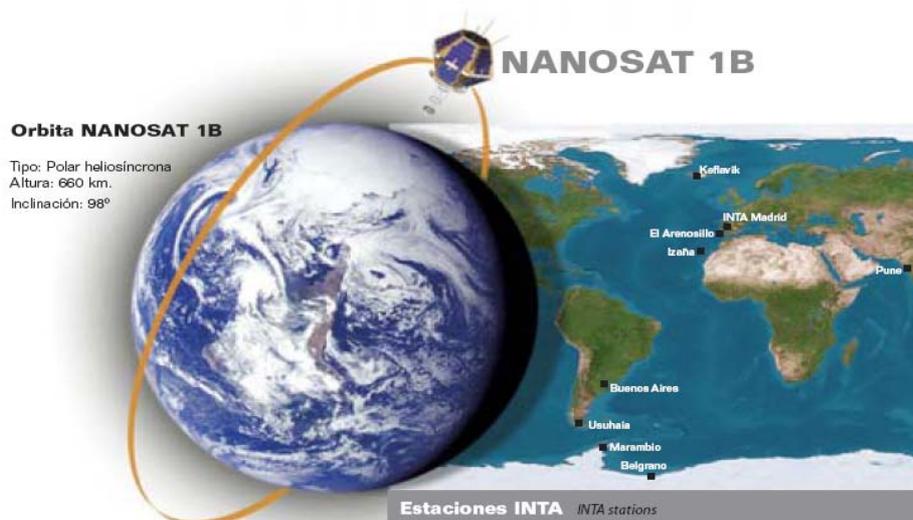


Figura 79

### Programa NanoSat

Tras el MiniSat-01 llegó el programa NanoSat, formado por dos micro satélites:

- Nanosat-01, lanzado el 18 de diciembre de 2004 a bordo de un cohete Ariane 5.
- Nanosat-1B, lanzado el 29 de julio de 2009, a bordo del lanzador ruso Dnieper<sup>106</sup>.

El Nanosat-01, que con su peso de menos de 20 Kg y 50 cm de lado, se considera un satélite ultraligero. Orbitaba la Tierra a 650 kilómetros de altura en una órbita polar y ha realizado cuatro experimentos. El satélite guardaba los datos de los experimentos y los descarga cuando se establece la comunicación con la estación de datos cuando pasa por la vertical de Madrid, una vez cada 12 horas.

La órbita polar, que utiliza tanto el Nanosat-01 como su sucesor el Nanosat-1B, permite enlazar estaciones situadas en zonas polares no cubiertas por los satélites geoestacionarios.

<sup>105</sup> El cohete pegasus se lanza desde un avión nodriza en vuelo. <http://www.orbital.com/spacelaunch/pegasus/>

<sup>106</sup> El cohete Dnieper es un antiguo ICBM SS18 reconvertido.

El Nanosat-1B, que igual que su antecesor tiene forma hexagonal y va cubierto de paneles solares, es un satélite de comunicaciones desarrollado íntegramente en España. Porta un transmisor-receptor en banda S experimental, diseñado por la empresa A. D. Telecom y desarrollado por el INTA.

El objetivo de este experimento es disponer para los futuros micro y nanosatélites de un transmisor-receptor de altas prestaciones y bajo coste, basado en las últimas tecnologías de dispositivos electrónicos.

También incorpora una antena de media ganancia para las comunicaciones en UHF, que facilita las comunicaciones con estaciones móviles, como el buque oceanográfico Hespérides.

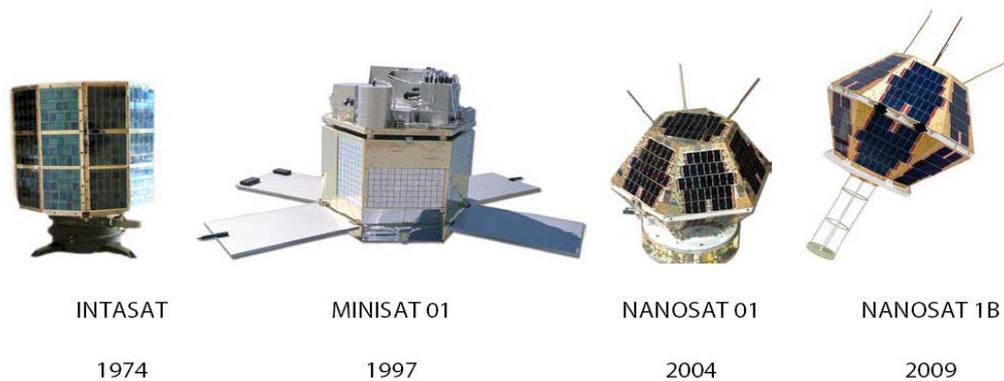


Figura 80

En palabras de INTA, «Los nanosatélites son el resultado de aplicar al espacio la tendencia a la miniaturización de la tecnología, que permite conseguir altas prestaciones con un tamaño y peso reducidos».

### Picosatélites

La continuación del programa Nanosat, lo constituyen picosatélites como el Optos, actualmente en desarrollo.

El Optos, programa conjunto del INTA y del CDTI, es un picosatélite cuyas dimensiones son 1x1x3 m. y su peso alrededor de 3 Kg. Proporcionará un acceso “fácil” y “rápido” al espacio, basado en tiempos de desarrollo cortos y bajos costes. Optos sigue el estándar de Cubesat<sup>107</sup>, de configuración triple, con una estructura interna de fibra de carbono que facilita la integración. Se trata del primer picosatélite español y aunque su lanzamiento estaba previsto para este año, aún no ha tenido lugar. (<http://www.inta.es/NoticiaActualidad.aspx?Id=1960>)

<sup>107</sup> [http://www.esa.int/esaCP/SEMYPWSXXXG\\_Spain\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMYPWSXXXG_Spain_0.html) y <http://www.amsat.org/amsat-new/satellites/cubesats.php>



### 3. La Serie Hispasat

Hispasat S.A. se constituyó en 1989 con el mandato del Gobierno de gestionar el sistema español de comunicaciones por satélite del mismo nombre, utilizando la posición orbital 30º Oeste, sobre el Atlántico cerca de las costas de Brasil. Convirtiéndose en el primer sistema de satélites europeo en disponer de capacidad transatlántica.

El diseño inicial del sistema contaba sólo con dos satélites, ambos en la misma posición orbital de 30º W. El Hispasat 1A y el Hispasat 1B. En septiembre de 1992 se lanzó el 1A con éxito, y su primera utilización fue en diciembre de ese año, por las tropas españolas destacadas en la antigua Yugoslavia. La distribución de las señales de las televisiones privadas se realizó a través del satélite a partir de enero de 1993. En julio de 1993 se lanzó el 1B, completando así una capacidad total de 23 transpondedores en banda Ku, además de una misión en banda X totalmente duplicada y diseñada para cubrir las necesidades del Ministerio de Defensa. Estos dos satélites terminaron su vida útil en el año 2005.

La flota de satélites de Hispasat se ha ido completando con el lanzamiento de otros cinco satélites:

- Hispasat 1C<sup>108</sup>, 1D y 1E también en la posición orbital 30º W.
- Amazonas 1 y 2 en la posición orbital 61º W.

Además está previsto el lanzamiento de tres satélites más.

En la figura 78 se recoge la flota<sup>109</sup> total de Hispasat a fecha de mayo de 2012.

POSICIÓN ORBITAL	SATELITE	Nº DE TRANSPONDEDORES	AÑO LANZAMIENTO
30º Oeste	Hispasat 1C	24 Ku	2000
30º Oeste	Hispasat 1D	28 Ku	2002
30º Oeste	Hispasat 1E	53 Ku, Ka	2010
61º Oeste	Amazonas 1	32 Ku, 19 C	2004
61º Oeste	Amazonas 2	54 Ku, 10 C	2009
61º Oeste	Amazonas 3	33 Ku, 19 C, Ka	Previsto 2013
-	Hispasat AG1	20 Ku, Ka (1)	Previsto 2013
30º Oeste	Hispasat 1F	TBD	Previsto 2014

Figura 81

<sup>108</sup> El Hispasat 1F sustituirá al 1C y al 1D.

<sup>109</sup> Fuente: <http://www.hispasat.com/Detail.aspx?SectionsId=67&lang=es> El Hispasat 1F sustituirá al 1C y al 1D.

Estos satélites constituyen el soporte idóneo para comunicaciones entre ambos lados del Atlántico, ofreciendo capacidad tanto a los operadores de telecomunicaciones y radiodifusoras, en el ámbito de las empresas privadas, como al Estado para sus aplicaciones gubernamentales.

### Hispasat 1D

El satélite Hispasat 1D, ubicado en la posición orbital 30° W, fue lanzado en 2002 desde Cabo Cañaveral a bordo de un cohete Atlas II<sup>110</sup> con el objetivo fundamental de asegurar la continuidad de las misiones civiles (banda Ku) de los satélites 1A y 1B, una vez que acabó su vida útil en 2005. Y por lo tanto, facilitar la continuidad de los servicios prestados a los clientes actuales.



La cobertura del Hispasat 1D (Fig.79) abarca en Europa desde las Islas Canarias hasta Rusia y desde Escandinavia hasta el Norte

La cobertura sobre el continente americano cubre desde Canadá a Tierra del Fuego.

Incorpora un haz sobre Oriente Próximo, lo que permite, mediante un doble salto, el acceso a los satélites asiáticos a los clientes americanos y europeos (y viceversa), logrando prácticamente conectividad global.

Figura 82

El satélite Hispasat 1D, desde su privilegiada posición orbital 30° Oeste, se presenta como el satélite de mejores prestaciones sobre la Península Ibérica y las Islas y con una óptima cobertura sobre Iberoamérica, tradicional zona de expansión de la economía española.

<sup>110</sup> El cohete Atlas II fue construido y operado por la compañía ILS (Internacional Launch Services).

El satélite Hispasat 1D está basado en la plataforma<sup>111</sup> estabilizada en 3 ejes SPACEBUS 3000B de Alcatel, con una masa en el lanzamiento superior a las tres toneladas e incorpora tecnologías de última generación que le aseguran hasta 15 años de vida operativa.

Posee tres antenas desarrolladas por CASA-Espacio (Actualmente EADS), que facilitan excelentes huellas sobre las zonas de cobertura. Una antena facilita la recepción y transmisión sobre América, otra antena se emplea para la transmisión sobre Europa y la tercera antena permite la cobertura de recepción desde Europa.

Dispone de 28 transpondedores en la banda de frecuencia Ku (con amplificadores de potencia de 100 w), y anchos de banda entre 36 y 72 MHz, lo que incrementa la capacidad actual del sistema Hispasat.

Esta mayor capacidad permite la transmisión de señales de televisión y radio digital, servicios avanzados de telecomunicaciones en entornos empresariales, permiten el acceso a Internet en banda ancha, ofreciendo hasta 45 Mbps de bajada y 2 Mbps de subida, y el desarrollo de nuevos servicios interactivos y multimedia asociados a la tecnología digital como la teleformación, distribución de contenidos, vídeo y cine bajo demanda, videoconferencia de alta calidad, todo ello utilizando antenas receptoras de pequeño diámetro, de 35 a 75 cm.

<http://www.hispasat.com/media/InternetXsatelite/perfilgenericod.swf>



#### 4. La Serie Amazonas

En el año 2004 Hispasat, junto con su filial brasileña Hispamar satélites, ocupó una segunda posición orbital. Se trata de la 61º Oeste que, gracias a su posición centrada sobre Brasil, es idónea para cubrir toda Hispanoamérica. En esta posición se han situado los dos satélites actuales de la serie Amazonas y se situará el futuro Amazonas 3. (Fig.81).

La serie Amazonas está formada por el Amazonas 1 lanzado en 2004, el Amazonas 2 lanzado en 2009 y el futuro Amazonas 3 cuyo lanzamiento está previsto para el próximo año 2013. Todos ellos en órbita geoestacionaria.

<sup>111</sup> [http://space.skyrocket.de/doc\\_sat/aeosp\\_spacebus-b-class.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sat/aeosp_spacebus-b-class.htm)

## Amazonas 1

El Satélite Amazonas 1, fue lanzado el cinco de agosto de 2004 desde el cosmódromo de Baikonur, a bordo del lanzador Protón de ILS, alcanzando su posición orbital 61° W aproximadamente diez horas después del lanzamiento. Su vida útil prevista era de 15 años, aunque un fallo ocurrido durante el lanzamiento provocó una fuga de combustible, lo que redujo su vida en cinco años, al final de la cual será sustituido por el Amazonas 3.

El Amazonas 1, que ha sido fabricado por EADS-Astrium, sobre su plataforma Eurostar 3000s, tiene unas dimensiones de 5,88 x 2,4 x 2,9 metros, un peso de 4605 Kg, y está equipado con 51 transpondedores, 32 trabajando en banda Ku y 19 en banda C. Así como cinco antenas.

Amazonas 1 fue el primer satélite de Hispasat en incorporar el sistema Amerhis de procesado a bordo, que permite la interconexión entre usuarios con un único salto



Figura 83

realizándose la multiplexación de la señal a bordo del satélite, reduciendo el coste de los equipos en tierra, y optimiza el aprovechamiento de los recursos de potencia a bordo del satélite.

La cobertura del satélite Amazonas 1 abarca todo el continente americano utilizando frecuencias en banda C y en banda Ku.

También dispone de cobertura en la zona suroeste de Europa y parte del Magreb, aunque sólo en banda Ku.

Los servicios que proporciona este satélite son los siguientes:

- Redes VSAT, en aplicaciones institucionales y empresariales.
- Sistemas unidireccionales de datos.
- Redes corporativas.
- Enlaces punto a punto mediante satélite.
- Redes de difusión y distribución de datos.
- Acceso a Internet de banda ancha: 6 Mbps de bajada y 2 Mbps de subida.

## Amazonas 2

El Satélite Amazonas 2, fue lanzado el dos de octubre de desde el cosmódromo de Kourou (Guayana Francesa) a bordo del lanzador Ariane 5 ECA (Fig.84) y alcanzó unas horas después su posición orbital 61°W sin incidentes.



Figura 84

El Amazonas 2 utiliza la misma plataforma que su antecesor, el Amazonas 1, aunque a dispone de más transpondedores que él. El Amazonas 2 monta un total de 64 transpondedores, 54 en banda Ku y 10 en banda C.

También incorpora el sistema Amerhis y ofrece servicios similares a los ofrecidos por el Amazonas 1. La principal diferencia entre ambos satélites la encontramos en la cobertura, puesto que el Amazonas 2 centra su servicio en América, sin enfocar ninguno de sus haces hacia Europa.

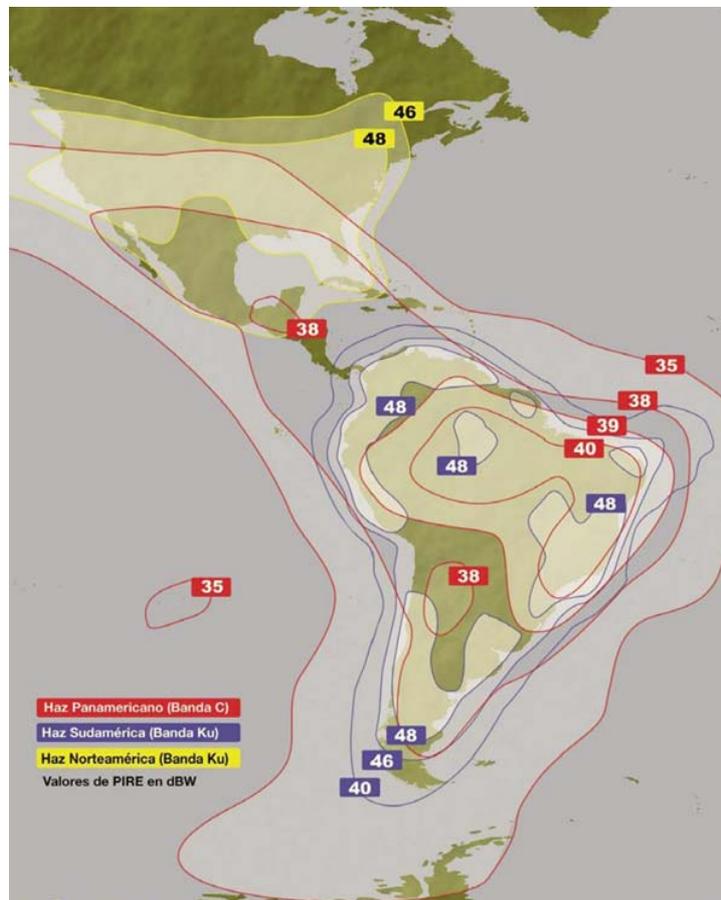


Figura 85



## 5. Satélites Hisdesat. Spainsat y Xtar-Eur

Los dos primeros satélites Hispasat incorporaban carga gubernamental, pero a partir del Hispasat 1C su carga es completamente comercial, debido a la creación en el año 2001 de la empresa “Hisdesat servicios estratégicos S.A”, con el objeto de adquirir, operar y comercializar sistemas espaciales de aplicación gubernamental. Por este motivo, cuando en el año 2005 el satélite Hispasat 1B finaliza su vida útil, dos años después de lo previsto, el servicio que prestaba a las comunicaciones gubernamentales es sustituido por los dos satélites de Hisdesat, el Spainsat y el Xtar-Eur.

Desde su creación, Hisdesat es el operador de servicios gubernamentales por satélite en el área de defensa y su finalidad es garantizar la seguridad de las comunicaciones vía satélite relacionadas con inteligencia, exteriores, seguridad y defensa. Para ello cuenta con una flota de dos satélites geoestacionarios que trabajan en banda X y Ka:

- Spainsat, en la posición orbital 30° Oeste.
- Xtar-Eur, en la posición orbital 29° Este

Entre ambos, el sistema Hisdesat proporciona la cobertura necesaria (Fig.76) para las comunicaciones del Ministerio de Defensa y otros organismos gubernamentales tanto españoles como extranjeros aliados o amigos. Da soporte a todas las misiones internacionales de las Fuerzas Armadas españolas y a sus misiones dentro del territorio nacional, incluyendo las necesidades de la UME<sup>112</sup> en casos de emergencia y desastres naturales y también a otros organismos relacionados con el Ministerio de defensa como el CNI<sup>113</sup>, el CSIC<sup>114</sup> y la Guardia Civil.

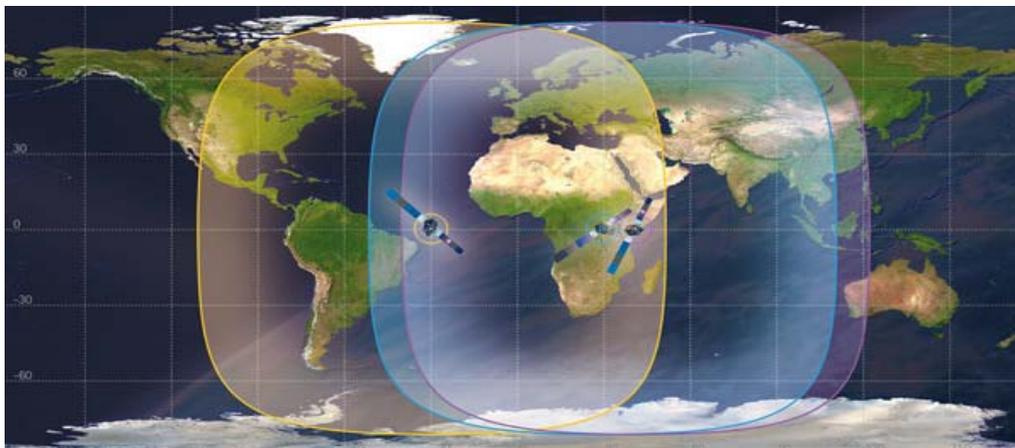


Figura 86

<sup>112</sup> UME: Unidad Militar de Emergencias. <http://www.ume.mde.es/>

<sup>113</sup> CNI: Centro Nacional de Inteligencia. <http://www.cni.es/>

<sup>114</sup> CSIC: Centro Superior de Investigaciones Científicas. <http://www.csic.es/web/guest/home>

Ambos satélites establecen sus comunicaciones en Banda X, reservada para aplicaciones gubernamentales, lo que impide su interceptación o interferencia por parte de terceros. Sus transpondedores son interoperables con todos los terminales terrestres existentes en Banda X, permitiendo de este modo la compatibilidad con los sistemas de los países aliados.

El sistema permite comunicaciones fijas y móviles para voz, datos y vídeo. Es capaz de trabajar en banda ancha con terminales pequeños tipo VSAT así como con terminales en movimiento, proporcionando además capacidad SOTM<sup>115</sup> a terminales móviles vehiculares navales o aéreos.

Las plataformas de los dos satélites, Spainsat y Xtar-Eur, están basadas en el modelo LS-1300 de Space Systems/Loral, con estabilización en 3 ejes, y tienen una vida útil estimada de 15 años.

Sus antenas de a bordo están configuradas de modo que puedan proporcionar una combinación de haces, tanto fijos como orientables, para maximizar la flexibilidad del sistema. Los haces orientables no tienen limitaciones en sus apuntamientos dentro de la cobertura de cada satélite y en cualquier momento pueden enfocarse sobre un área determinada. Además es posible utilizar varios transpondedores en el mismo haz.

En la figura 87 se resumen las principales características de ambos satélites.

<b>PLATAFORMA</b>		
Las características más destacadas de la plataforma de satélites SpainSat y Xtar-Eur son:		
DESCRIPCIÓN	SpainSat	Xtar-Eur
Estabilización	3 ejes	3 ejes
Masa de lanzamiento (Kg)	3.682	3.631
Masa seca (Kg)	1.461	1.411
Masa carga útil (Kg)	282	285
Potencia total disponible (W)	6.100	6.100
Potencia consumida (W)	3.813	3.725
Potencia cons. Carga útil (W)	2.822	2.520
Vida operacional nominal	15 años	15 años
Posición orbital	30° W	29° E
Plataforma	LS 1300	LS 1300
Fecha de lanzamiento	12/03/2006	12/02/2005
Vehículo lanzador	Ariane 5 ECA	Ariane 5 ECA

Figura 87

<sup>115</sup> SOTM: Satellite on the move.

## SpainSat

SpainSat fue lanzado el 12 de marzo de 2006 desde las instalaciones de la ESA en Kourou (Guayana Francesa) a bordo de un Ariane 5, con un peso en el lanzamiento superior a los 3.700 Kg. Se opera desde dos centros de seguimiento y control situados en Maspalomas (Fig.14) y en Arganda del Rey, Madrid (Fig.88), que actúan de forma redundante para proporcionar seguridad al sistema.



Figura 88

Está equipado con trece transpondedores de alta potencia en Banda X y un transpondedor en Banda Ka.

Desde el punto de vista de la investigación y desarrollo, el elemento más importante del SpainSat es la antena IRMA<sup>116</sup>, una antena plana de apuntamiento electrónico de sus haces, desarrollada íntegramente en España, y que sirve para proteger de interferencias las comunicaciones vitales.

La antena, IRMA es una antena activa de recepción en banda X con cuatro canales de salida: 1 haz global, 1 haz fijo y 2 haces móviles. Sus parámetros radioeléctricos son reconfigurables desde la estación de control, de forma que si se encuentra con una señal no deseada (intentando captar o interferir la frecuencia de comunicación), los haces pueden simplemente ser desviados para evitarla.

El SpainSat, desde su posición orbital 30° W permite una cobertura simultánea de la mayor parte de Europa, Norte de África, algunas zonas de Oriente Medio y la mayor parte de América. Para cubrir estas zonas de cobertura (Fig.89) dispone de dos haces globales, y siete haces de teatro, de los cuales dos son fijos y los otros cinco son reorientables.

<sup>116</sup> IRMA: In-Orbit Reconfigurable Multi-beam Antenna

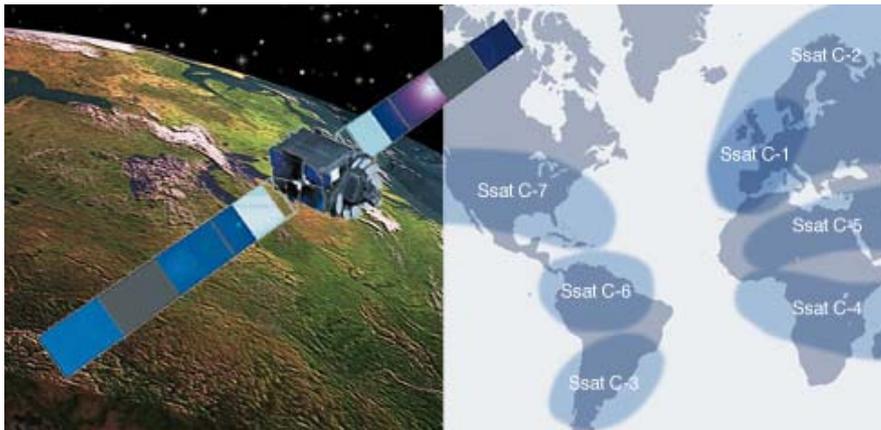


Figura 89

El sistema de haces del satélite Spainsat es el siguiente:

- 2 haces globales
- 7 haces de “Teatro”:
  - 2 haces fijos: uno sobre España (C1) y otro sobre EEUU (C7).
  - 5 haces orientables (uno en banda Ka y cuatro en banda X).

### Xtar-Eur

La empresa XTAR es una joint venture<sup>117</sup> entre Loral Space & Communications (56%) e Hisdesat (44%), creada para servir a las necesidades de los gobiernos de Estados Unidos, España y los países aliados.

El resultado de este consorcio ha sido el satélite Xtar-Eur que fue lanzado el 12 de febrero de 2005, desde las instalaciones de la ESA en Kourou (Guayana Francesa), a bordo de un Ariane 5 y entró en servicio el 30 de marzo del mismo año.

Al igual que el spainsat, se opera desde los centros de seguimiento y control de Maspalomas (Fig.14) y Arganda del Rey, Madrid (Fig.88). Además dispone de otros dos Centros de Control, situados en Ottawa (Canadá) y Mt. Jackson (Virginia, EE.UU).

Está equipado con doce transpondedores que trabajan en la banda X. Su misión principal es servir de respaldo del Spainsat en las zonas de cobertura común, y dar servicio a las necesidades del Gobierno de España, en las zonas de operaciones de Oriente Medio donde no alcanza la cobertura del Spainsat para las misiones<sup>118</sup> que desarrollan nuestras Fuerzas Armadas en esas zonas.

<sup>117</sup> Joint Venture: Colaboración empresarial <http://www.e-economic.es/programa/glosario/definicion-joint-venture>

<sup>118</sup> Actualmente, España participa en la operación L/H en el Líbano, en la operación R/A en Afganistán y en la operación Atalanta contra la piratería en el océano Índico.

Desde su posición orbital en 29° Este ofrece una cobertura desde Brasil hasta Indonesia, incluyendo Europa, África, Oriente Medio y gran parte de Asia. Para cubrir estas zonas de cobertura (Fig.90) cuenta con dos haces globales, y cinco haces de teatro, uno de ellos fijo sobre España y los otros cuatro orientables.



Figura 90

El sistema de haces del satélite Xtar-Eur es el siguiente:

- 2 haces globales
- 5 haces de “Teatro”:
  - 1 haz fijo: uno sobre España (C1).
  - 4 haces orientables.

### Segmento terreno Hisdesat

El segmento terreno del sistema de satélites de Hisdesat está formado por cuatro centros de control y seguimiento de los satélites, dos de ellos situados en España, Maspalomas y Arganda del Rey, y los otros dos en Norteamérica, Mt. Jackson en Virginia (EEUU) y Ottawa en Canadá (Fig.91).

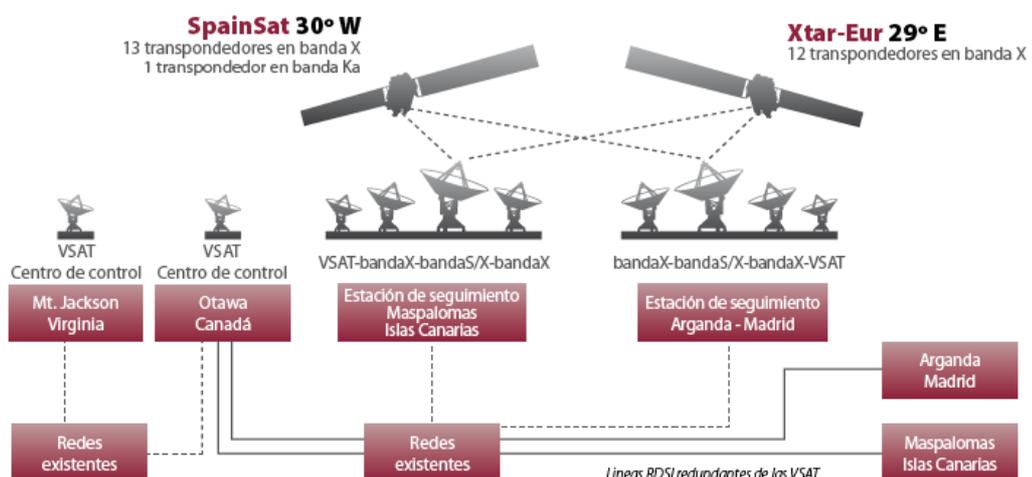


Figura 91

En estos centros, se analizan las telemidas y se preparan los comandos a los satélites. Para ello están dotados de antenas de TTC (Seguimiento, Telemetría y Comandos). Operan permanentemente, las 24 horas del día, todos los días del año, y están equipados con los sistemas informáticos más avanzados para el control y supervisión de los satélites desde tierra.

Debido al carácter gubernamental de los servicios que se prestan, el sistema es de alta seguridad y para ello cuenta con todos sus elementos duplicados para disponer de las redundancias adecuadas, de esta forma cada satélite dispone de dos centros de control exactamente iguales, situados en zonas geográficas separadas. Igualmente, cada uno de ellos dispone de estaciones de seguimiento o antenas TTC en dos bandas de frecuencia diferentes (X y S), situadas en zonas geográficas separadas (Madrid y Canarias).

El satélite SpainSat dispone de una antena de 16,4 m. de diámetro en bandas X y S y una de 6,3 m. en banda X en Arganda, además de una de 6,3 m. de diámetro en Maspalomas. El satélite Xtar-Eur dispone de una antena de 16,4 m. de diámetro en bandas X y S y, una de 6,3 m. en banda X en Maspalomas, además de una antena de 6,3 m. de diámetro en Arganda.

Todas estas antenas son intercambiables para cualquiera de los satélites de forma inmediata en función de las necesidades del servicio.

Además de esta doble redundancia, basada en dispersión geográfica de los centros de control y de duplicidad de servicios en cada centro, para aumentar la seguridad, el control terrestre permite la operación de ambos satélites incluso con una de las dos ubicaciones completamente fuera de servicio, garantizando a los usuarios una prestación del servicio de forma continuada en cualquier momento y situación.

De forma añadida a los centros de seguimiento situados en España, Loral Space & Communications dispone de dos centros de control específicos para el satélite Xtar-Eur, situados en Ottawa (Canadá) y Mt. Jackson (EE.UU.)



Figura 92

## 6. Programa de observación de la Tierra (PNOT): Satélites Paz e Ingenio

El Programa Nacional de Observación de la Tierra por satélite (PNOTS) se puso en marcha en julio de 2007, con la firma del Acuerdo de colaboración entre los Ministerios de Defensa y de Industria, Turismo y Comercio. Y estará formado por dos satélites, Paz e Ingenio, que operarán bajo un único sistema, asegurando así una mayor eficacia y eficiencia de la prestación de servicios.

Hidesat será la responsable de la operación, puesta en órbita y explotación comercial de los dos satélites, en colaboración con el INTA, que proporcionará el segmento terreno.

Con este nuevo sistema de satélites, España será el primer país europeo en disponer de un sistema dual de observación (óptico y radar) y de doble uso (civil y militar). Además se posibilita con el Programa de Observación un salto cualitativo de gran trascendencia en la posición de la industria nacional del sector espacial.

Con estos dos nuevos satélites, más los dos de comunicaciones (Spainsat y Xtar-Eur) España dispondrá de cuatro satélites para atender sus necesidades tanto en el campo de la observación de la Tierra como en el de las comunicaciones por satélite, situándose así en un primer nivel mundial en cuanto a recursos espaciales.

Este programa tendrá múltiples aplicaciones. Por un lado, las propias de Defensa como simulación de operaciones militares, inteligencia, vigilancia de la superficie terrestre, control táctico, verificación de tratados internacionales y control fronterizo o la lucha contra la piratería. Por otro lado, las aplicaciones civiles como control de recursos naturales, evaluación de catástrofes, incendios forestales o control de contaminación, así como cartografía de alta resolución, urbanismo y ordenación del territorio.

El PNOT, una vez que entre en servicio proporcionará los siguientes beneficios:

- **Estratégicos:** Dará independencia operativa a España, proporcionando autonomía y versatilidad operativa en la obtención de información en los campos estratégicos, tácticos y de seguridad, y permitirá gestionar con productos y servicios la contribución nacional al programa europeo GMES<sup>119</sup>, siendo un recurso de negociación con otros países.

---

<sup>119</sup> GMES: Global Monitoring for the Environment and Security. <http://www.gmes.info/>

- **Industriales:** la componente de I+D+i<sup>120</sup> en este desarrollo permitirá posicionar a la industria nacional para liderar programas europeos, posibilitando un salto cualitativo en la posición de la industria nacional y de todo el sector espacial en un mundo cada vez más globalizado.

### Satélite Paz

El satélite Paz, con tecnología radar, se enfoca fundamentalmente en atender las necesidades de seguridad y defensa, por lo que estará gestionado por el Ministerio de Defensa.

Tendrá una órbita heliosíncrona de unos 514 km. de altura y realizará unas quince revoluciones diarias, proporcionando algo más de 100 imágenes diarias en función del modo de operación. Estas imágenes serán de alta resolución y se podrán obtener en absoluta oscuridad y en condiciones climáticas adversas, ofreciendo información precisa para múltiples aplicaciones.



Figura 93

Hidesat será la responsable de gestionar tanto el diseño como el desarrollo y fabricación del mismo. Su peso será de aproximadamente 1.100 kilogramos y sus dimensiones serán de 5 metros de largo por 1 de base.

Su lanzamiento, que está programado para finales del año 2012, se realizará por un lanzador ruso Dnieper. Y está previsto que este satélite empiece a prestar servicios en el año 2013.

<sup>120</sup> I+D+i: Investigación, desarrollo e innovación.

## Satélite Ingenio

El satélite Ingenio, con tecnología óptica, está orientado principalmente a satisfacer las necesidades de usuarios civiles. Está dirigido por el Ministerio de Industria y por el CDTI<sup>121</sup>. La Agencia Espacial Europea (ESA) es la responsable de gestionar el contrato de fabricación.

Ingenio tendrá una órbita heliosíncrona de unos 670 Km de altura, realizando unas catorce revoluciones diarias. Contará con capacidad para tomar hasta 600 imágenes diarias en pancromático de 2.5 m. de resolución y en multiespectral con 10 m. de resolución. Podrá realizar además 8 coberturas anuales completas del territorio nacional.

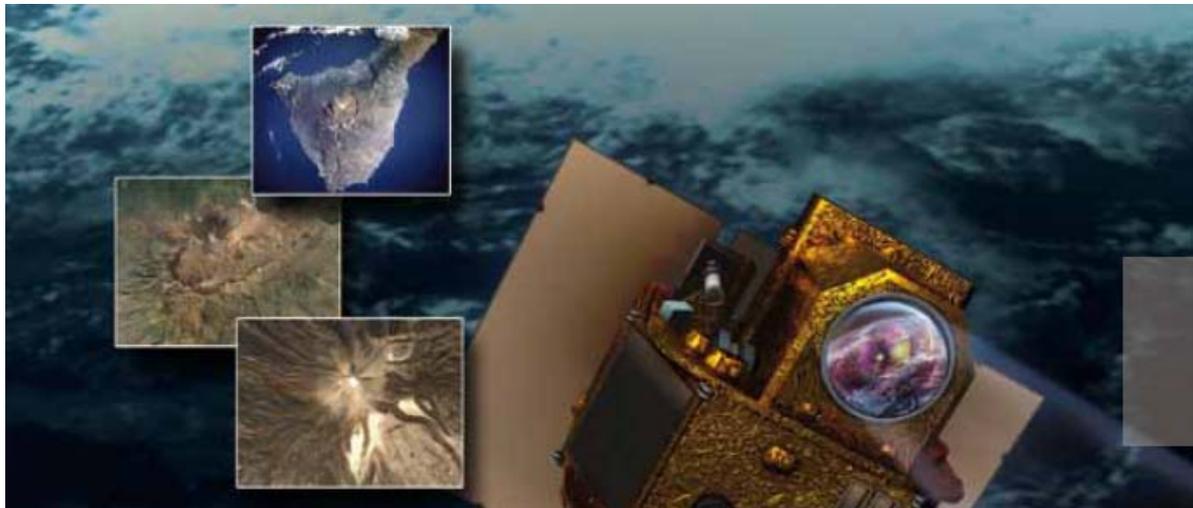


Figura 94

Este satélite, que pesará 300 kilogramos, tiene programado su lanzamiento para el año 2014, estando previsto que empiece a prestar servicios en el año 2015

---

<sup>121</sup> CDTI: Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial. Organismo dependiente del Ministerio de Industria.

# Índice de Figuras

## Capítulo 1

**Figura 1:** Konstantine Eduardovich Tsiolkosvky (1857-1935).

**Figura 2:** Robert Hutchings Godgard (1882-1945).

**Figura 3:** Wernher von Braun (1912–1977).

**Figura 4:** Sputnik 1. Primer satélite artificial de la historia.

**Figura 5:** Lanzamiento en 1958 del Explorer 1 en un cohete Juno I.

**Figura 6:** Satélite Echo 1.

**Figura 7:** Satélite Telstar 1.

**Figura 8:** Detalle de los satélites Syncom.

**Figura 9:** Primeros lanzamientos por países hasta 1989.

**Figura 10:** Infografía creada por Michael Paukner que representa el números de satélites en órbita por naciones (<http://www.flickr.com/photos/michaelpaukner/4314987544/sizes/o/>).

## Capítulo 2

**Figura 11:** Arquitectura básica del Sistema de Comunicaciones por Satélite.

**Figura 12:** Terminal telefónico IsatPhone.

**Figura 13:** Diagrama de bloques de una estación terrena

**Figura 14:** Estación de seguimiento de Maspalomas, situada en la isla de Gran Canaria.

**Figura 15:** Diagrama de bloques del proceso que sufre la señal dentro del satélite.

**Figura 16:** Espectro electromagnético.

**Figura 17:** Principales bandas de comunicación utilizadas en las comunicaciones vía satélite.

**Figura 18:** Ejemplo de potencia media recibida en una estación terrena.

**Figura 19:** Perdidas en espacio libre en función de la distancia.

## Capítulo 3

**Figura 20:** Proceso de transferencia de Hofmann.

**Figura 21:** Lanzador Ariane V.

**Figura 22:** lanzador soyuz.

**Figura 23:** Principales tipos de órbitas.

**Figura 24:** Órbita geoestacionaria.

**Figura 25:** Posición orbital

**Figura 26:** Diagrama de bloques de un repetidor de comunicaciones.

#### **Capítulo 4**

**Figura 27:** Antena banda Ku en montaje fijo.

**Figura 28:** Antena terminal militar tipo elevación-azimut.

**Figura 29:** Antena ecuatorial.

**Figura 30:** Antena naval dentro de un radomo.

**Figura 31:** Esquema de antena con foco simple.

**Figura 32:** Esquema de antena con doble reflexión.

**Figura 33:** Esquema de antena con foco en offset.

**Figura 34:** Esquema del tubo de ondas progresivas (TOP).

**Figura 35:** Amplificador de estado sólido de banda C de Wavestream.

[http://www.wavestream.com/es/pdf/case\\_studies/Starz%20Demo%20Case%20Study%201220-2010\[Spanish\].pdf](http://www.wavestream.com/es/pdf/case_studies/Starz%20Demo%20Case%20Study%201220-2010[Spanish].pdf)

**Figura 36:** Convertidor elevador fabricado por la empresa INDRA.

**Figura 37:** Modem satélite P300 fabricado por la empresa Paradise.

**Figura 38:** Unidad de Control y Monitorización. Proyecto COCESNA-INDRA.

#### **Capítulo 5**

**Figura 39:** Enlaces GEO-LEO.

**Figura 40:** Enlaces GEO-GEO.

**Figura 41:** Enlaces LEO-LEO.

**Figura 42:** Arquitectura en forma de estrella de una red VSAT.

**Figura 43:** Red VSAT con arquitectura en malla.

**Figura 44:** Red VSAT one-way con arquitectura en estrella.

**Figura 45:** Red VSAT two-way con arquitectura en estrella.

**Figura 46:** Terminal IP portátil preparado para trabajar en banda KU.

**Figura 47:** Esquema de una red IPSAT.

**Figura 48:** Ejemplo de sistema doméstico de televisión por satélite DBS.

**Figura 49:** Terminal portátil militar DAMA AN/PSC-5.

<http://articles.janes.com/articles/Janes-Military-Communications/AN-PSC-5-SPITFIRE-VHF-UHF-LOS-SATCOM-terminal-United-States.html>

**Figura 50:** Esquema de comunicaciones de voz en 25-kHz DAMA usado por el US Army.

<http://www.uhf-satcom.com/uhf/r3403g.pdf>

## **Capítulo 6**

- Figura 51:** Anuncio de un sistema de telefonía rural vía en Méjico.
- Figura 52:** Esquema de distribución de señales de TV por satélite.
- Figura 53:** Terminal GPS de la empresa Garmin.
- Figura 54:** Uno de los satélites Galileo preparado para el lanzamiento.
- Figura 55:** Imagen de un satélite meteorológico.
- Figura 56:** Esquema del proceso de teledetección.
- Figura 57:** Emblema del sistema COSPAS-SARSAT.
- Figura 58:** Esquema de funcionamiento del sistema COSPAS-SARSAT.

## **Capítulo 7**

- Figura 59:** Terminal Iridium modelo 9575” Extreme”.
- Figura 60:** Lanzamiento de un satélite Globalstar.
- Figura 61:** Cobertura Globalstar.
- Figura 62:** Algunos modelos de teléfonos de Globalstar.
- Figura 63:** Trayectorias de los satélites MEO de ICO Global Communications.
- Figura 64:** Cobertura de Inmarsat.
- Figura 65:** Terminal portátil Inmarsat Bgan Explorer 700.
- Figura 66:** Terminal telefónico Inmarsat Isatphone.
- Figura 67:** Cobertura del sistema Thuraya.
- Figura 68:** Teléfono Thuraya XT-Dual.
- Figura 69:** Modem satélite Thuraya-IP con y sin antena exterior.
- Figura 70:** Varios ejemplos de navegadores GPS.
- Figura 71:** Teléfono con GPS i-Kids.
- Figura 72:** Localizador spot.
- Figura 73:** Spot Connect.
- Figura 74:** Logo de proEspacio.

## **Capítulo 8**

- Figura 75:** Lanzamiento del INTASAT en un cohete Delta.
- Figura 76:** Cobertura conjunta del sistema Spainsat y Xtar-Eur.
- Figura 77:** INTASAT. Primer satélite español.
- Figura 78:** MiniSat 01. Primer satélite desarrollado completamente en España
- Figura 79:** Órbita del Satélite NanoSat-1B.
- Figura 80:** Satélites desarrollados y lanzados por el INTA hasta la fecha.

**Figura 81:** Flota de satélites de Hispasat S.A.

**Figura 82:** Cobertura del Hispasat 1D.

**Figura 83:** Cobertura del Amazonas 1.

**Figura 84:** El Amazonas 2 poco antes de su lanzamiento a bordo de un Ariane 5.

**Figura 85:** Cobertura del Amazonas 2.

**Figura 86:** Cobertura completa del sistema Hisdesat.

**Figura 87:** Características de los satélites Spainsat y Xtar-Eur.

**Figura 88:** Estación de seguimiento de Arganda del Rey, Madrid.

**Figura 89:** Sistema de haces del spainsat.

**Figura 90:** Sistema de haces del Xtar-Eur.

**Figura 91:** Segmento terreno del sistema Hisdesat.

**Figura 92:** Detalle de una antena TTC de Hisdesat.

**Figura 93:** Reproducción artística del satélite Paz.

**Figura 94:** Reproducción artística del satélite Ingenio.

# Glosario de Términos

- **Amerhis:** Sistema de procesado a bordo para comunicaciones multimedia embarcado en los dos satélites Amazonas. Permite la interconexión entre usuarios con un único salto realizándose la multiplexación de la señal a bordo del satélite, lo que reduce el costo de los equipos en tierra, con mejor aprovechamiento de los recursos espectrales de potencia a bordo del satélite.
- **Ángstrom:** (Å) Unidad de longitud empleada principalmente para expresar longitudes de onda, distancias moleculares y atómicas. Un ángstrom equivale a una diezmil millonésima parte de un metro.  $1 \text{ Å} = 10^{-10}$  metros
- **Banda BSS (Broadcast Satellite Service):** Frecuencias para servicios de radiodifusión por satélite. En Europa, estas frecuencias comprenden la sub-banda de 10,7 a 11,7 GHz para recepción y 17,3 a 18,1 para transmisión.
- **Banda C:** Banda de frecuencias de 3,7 a 4,2 GHz para recepción. Para transmisión, de 5,925 a 6,425 Ghz.
- **Banda FSS (Fixed Satellite System):** Esta gama de frecuencias, comprendidas entre 10,7 y 11,7 GHz, es una subdivisión de la banda Ku.
- **Banda Ku:** Esta gama, utilizada por la televisión y la radio, se extiende de 10,70 a 12,75 GHz en recepción y de 12.75 a 14.50 GHz para transmisión. Es la banda más extendida en Europa, teniendo en cuenta el pequeño tamaño de las parabólicas necesarias para su recepción. Se subdivide en sub-bandas: Télécom, DBS y otras.
- **Banda X:** Esta banda está reservada exclusivamente para usos gubernamentales.
- **Broadcasting:** Difusión de información desde un único emisor a varios receptores. El ejemplo típico es la radio difusión o las emisiones de televisión por satélite.

- **Canal:** Medio físico por el que se transmite una señal específica. El ancho de banda de un canal de televisión es, por ejemplo, de 6 MHz, en los Estados Unidos y de 8 MHz, en Europa para el cable y la recepción herziana. En los satélites, éste puede llegar a un total de 27, 36 ó 72 MHz.
- **Cobertura:** Área geográfica en la que se puede apuntar a un determinado satélite.
- **DAMA:** Demand Assigned Multiple Accesses. Acceso múltiple asignado bajo demanda.
- **DBS (Direct Broadcasting Satellite):** Inicialmente, se refería a los satélites de la banda Ku que utilizan tubos de dimensión de potencia muy fuerte, como TDF, TV Sat y Tele X. DBS también designa la porción de banda Ku comprendida entre 11,7 y 12,5 GHz, cualquiera que sea el satélite utilizado.
- **Decodificador:** Equipo que, en conjunción con una tarjeta inteligente, permite al usuario el acceso al servicio. En el caso de la recepción digital, el decodificador se encuentra integrado en el receptor (IRD).
- **Digital:** Sistema en el que la información se procesa por impulsos eléctricos de "on-off" (conexión-desconexión), "high-low" (alto-bajo) ó "1-0", en lugar de señales o estados en constante variación como sucede con los sistemas analógicos.
- **Decibelio:** El decibelio representa una relación de dos niveles de potencia que suelen referirse a las ganancias o pérdidas debidas a un amplificador o a otro dispositivo. La escala de decibelios es logarítmica, por lo que una variación de mas/menos tres decibelios en el nivel de recepción representa que la señal recibida se ha doblado o reducido a la mitad, dependiendo del signo.
- **DTH (Direct To Home):** Se refiere a la transmisión de señales de radio desde un satélite directamente al domicilio del usuario, por medio de una antena parabólica de pequeño tamaño. El servicio DTH más popular es la televisión por satélite.
- **DVB (Digital Video Broadcasting):** Es una especificación europea de emisión digital para televisión, asociada al formato de compresión MPEG-2.

- **ELV (Expendable Launch Vehicles):** son vehículos que no necesitan tripulación humana, sirviendo solo para un único lanzamiento, ya que no son recuperables (Delta y Ariane). Tras llegar a una órbita de transferencia, mediante el encendido de motores en el apogeo de esta órbita, pueden alcanzar la órbita geoestacionaria
- **Frecuencia:** Número de oscilaciones producidas por unidad de tiempo. La frecuencia evalúa el número de veces que este fenómeno se produce en un intervalo dado. Las transmisiones por satélite se hacen en gigahercios (GHz), es decir, con radiaciones electromagnéticas que oscilan miles de millones de veces por segundo.
- **Gigahercios (GHz):** Unidad de medida habitual para las frecuencias de emisión de los satélites. Equivale a mil millones de ciclos por segundo, Herzio (Hz).
- **G/T:** Relación entre la ganancia y la temperatura de ruido de un sistema de recepción. Su valor es un factor influyente en la calidad de la recepción.
- **ICBM:** (Intercontinental ballistic missile) Misil Balístico Intercontinental
- **ISP (Internet Service Provider):** Proveedor de acceso a Internet.
- **Multiplex:** Es la señal que reagrupa un conjunto de programas comprimidos y difundidos simultáneamente en una misma frecuencia.
- **Plataforma:** También llamado Módulo de Servicios, es la encargada de mantener operativos los satélites en su posición orbital durante su vida útil.
- **Plataforma de banda ancha:** Sistema que integra una infraestructura terrestre o HUB, el satélite y terminales VSAT (Very Small Aperture Terminal) para poder dar servicios IP como el acceso a Internet, videoconferencia, VoIP..., en las coberturas intrínsecas del satélite.
- **PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente):** Potencia equivalente a la radiada por una antena que emite en todas direcciones. Resulta de la potencia del transmisor y de la ganancia de la antena. La pire se expresa en dBW (decibelio/Watios). Su valor es un factor influyente en la calidad de la recepción.

- **QPSK (Quaternary Phase Shift Keying):** Es un método de modulación utilizado para las emisiones digitales por satélite. La información está en la fase de la señal modulada, en cuatro estados.
- **Red de Banda Ancha:** Red de transmisión de datos a alta velocidad en la que dos o más señales pueden compartir el mismo medio de transmisión. Según la recomendación I.113 de ITU-T, el sector de estandarización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la banda ancha comprende a las técnicas capaces de transmitir más rápido que un acceso primario de ISDN, sea éste a 1.5 ó 2 Mbps. Aunque según convenciones políticas y de proveedores de servicios de Internet, velocidades de 256 Kbps también se comercializan como de banda ancha.
- **RDSI (Red Digital de Servicios Integrados):** Combina servicios digitales de voz y datos a través de la red en un solo medio. Hace posible ofrecer ambos servicios a través de un solo "cable". El canal básico es de 64 Kbit/s.
- **Roaming:** (Itinerancia). Permite utilizar los servicios del proveedor de telefonía móvil en el extranjero.
- **Streaming:** Distribución de multimedia a través de un enlace de comunicaciones, de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga. La palabra streaming se refiere a que se trata de una corriente continua (sin interrupción). El término se aplica habitualmente a la difusión de audio o video y requiere una conexión por lo menos de igual ancho de banda que la tasa de transmisión del servicio
- **Triangulación:** Técnica que permite determinar la posición propia según el ángulo y distancia respecto de puntos conocidos. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta, o coordenadas reales del punto de medición.
- **STS (Transbordadores):** gran parte del lanzador es recuperable, necesita tripulación humana. En este caso los satélites son liberados en órbita baja, pudiendo pasar a una órbita de transferencia y, posteriormente, a la órbita geoestacionaria.

- **TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo):** Las técnicas a través de las cuales un transpondedor puede ser compartido entre varias estaciones. En el TDMA a cada usuario se le asigna todo el ancho de banda disponible, pero sólo durante un periodo de tiempo limitado que se repite periódicamente.
- **TDT:** Televisión Digital Terrestre.
- **Transpondedor:** Dispositivo ubicado en un satélite de comunicaciones cuya misión es recibir, amplificar y retransmitir la señal recibida en una banda distinta. El termino proviene de la fusión de las palabras inglesas Transmitter (Transmisor) y Responder (Contestador/Respondedor). Se le asocia a una o varias antenas de emisión, que determinan, por su forma y orientación, la potencia y la zona de cobertura del haz emitido.
- **UHF:** Abreviación del término inglés Ultra High Frequency, utilizada para designar la banda de frecuencias comprendidas entre 300 y 3000 MHz. Se corresponden a los canales de televisión europea del 21 al 69.
- **Vector de lanzamiento:** Es el medio empleado para poner en órbita al satélite. Puede ser un cohete (ver ELV) o un transbordador (ver STS) cuando estaban en servicio.
- **VHF:** Abreviación del término inglés Very High Frequency, utilizada para designar la banda de frecuencias comprendidas entre 30 y 300 MHz. En Europa, se refieren a las bandas I y III, para televisión, y II para FM.
- **VSAT (Very Small Aperture Terminal):** Terminal con una antena de tamaño reducido. (de 0'9 a 2'4m)

# Bibliografía y Fuentes

Para el desarrollo del presente trabajo se han consultado las siguientes fuentes:

- Curso de EPU en sistemas de Comunicación de la Universidad de Valencia. Profesor Vicente González Millán.
- <http://www.heavens-above.com/>
- <http://www.spacetoday.org/Satellites/Hamsats/HamsatsBasics.html>
- <http://www.lu1dma.com.ar/satelites.htm>
- <http://www.amsat.org>
- <http://www.proespacio.org>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/satcomhistory.html>
- <http://www.upv.es/satelite/>
- <http://www.esa.int/esaCP/Spain.html>
- [http://62.97.86.250/es/DGPCE/Informacion\\_y\\_documentacion/catalogo/carpeta02/carpet\\_a24/vademecum/vdm028.htm#2801a](http://62.97.86.250/es/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta02/carpet_a24/vademecum/vdm028.htm#2801a)
- <http://mix.msfc.nasa.gov/>
- <http://www.stellarscout.com>
- <http://www.satmagazine.com>
- <http://space.skyrocket.de/index.html>
- <http://www.upv.es/antenas/>
- <http://www.itu.int/es>
- <http://www.ipv6.es/es-ES/Paginas/Index.aspx>
- <http://www.dvb.org/>
- <http://www.iridium.com/>
- <http://www.inmarsat.com/>
- <http://www.thuraya.com/>
- <http://www.globalstar.com/>
- <http://www.cospas-sarsat.org/>
- <http://emercomms.ipellejero.es/2009/11/26/cospas-sarsat/>
- <http://www.erziasat.com/category/proveedores/iridium>

- <http://www.upv.es/satelite/trabajos/pracGrupo19/indexf.htm>
- <http://www.bicom.net/telefono-satelite-iridium.html>
- [http://www.fondear.org/infonautic/equipo\\_y\\_usos/Electronica\\_Instrumentacion/Thuraya\\_Iridium/Thuraya\\_Iridium.htm](http://www.fondear.org/infonautic/equipo_y_usos/Electronica_Instrumentacion/Thuraya_Iridium/Thuraya_Iridium.htm)
- <http://www.spaceandtech.com/spacedata/>
- <http://www.hispasat.com/>
- <http://www.hisdesat.es/>
- <http://www.intelpage.info/satelites-spainsat-y-xtar-eur.html>
- <http://www.inta.es/>
- <http://www.satellite-calculations.com/>
- <http://www.infoastro.com/>
- <http://www.defensa.gob.es/>
- <http://www.infoespacial.com/>
- <http://www.astrium.eads.net/es/>

