



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

COMUNICACIONES. PRINCIPALES SUBSISTEMAS DE
UN SATELITE DE COMUNICACIONES Y SUS
FUNCIONES

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
OSWALDO RIOS GONZALEZ

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO. 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

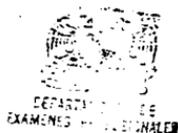
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuatitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones."Principales Subsistemas de un Satélite de Comunicaciones y sus Funciones".

que presenta el pasante: Oswaldo Rios González
con número de cuenta: 8608230-1 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de México, a 12 de Septiembre de 19 97

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>III</u> Ing.	<u>Juan González Vega</u>	<u>JG</u>
<u>IV</u> Ing.	<u>Vicente Magaña González</u>	<u>Vicente Magaña</u>
<u>I</u> Ing.	<u>Alfonso Contreras Marquez</u>	<u>Alfonso Contreras Marquez</u>

DEP/V0805EN

A Dios por concederme la dicha de ver realizado uno de mis más grandes sueños.

A mis padres Francisco y Flora por el apoyo, comprensión y paciencia que recibí de ellos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por darme la oportunidad de concluir mis estudios profesionales.

A todos mis compañeros por la amistad que nos unió.

INDICE

Introducción	1
1. SUBSISTEMAS QUE CONFORMAN A UN SATELITE DE COMUNICACIONES	3
2. SUBSISTEMA DE ANTENAS	4
3. SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES	8
3.1 Conceptos generales	9
3.2 Acceso múltiple por división en frecuencia	20
3.3 Acceso múltiple por división en el tiempo	22
3.4 Acceso múltiple por diferencia de códigos	24
3.5 Acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite	25
3.6 Frecuencias asignadas y reutilización de frecuencias	25
4. SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA	26
5. SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO	31
6. SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION	33
7. SUBSISTEMA DE PROPULSION	35
8. SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO	37
9. SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	40
Conclusiones	42
Glosario	43
Bibliografía	44

INTRODUCCION

Los satélites de comunicación son complejas estructuras que constan de una amplia diversidad de componentes electrónicos y mecánicos, destinados a la transmisión, recepción y distribución de información entre dos o más puntos ubicados sobre la superficie terrestre.

Los satélites se convierten así en el instrumento elegido para muchos servicios, no sólo porque con relativa facilidad pueden cubrir largas distancias, sino también porque se les puede hacer funcionar en gamas de frecuencia muy elevadas para la obtención de una gran cantidad de datos.

Lo sobresaliente es el hecho de que la tecnología ha permitido transmitir mucho más información, con mayor exactitud, eficiencia y velocidad a un precio cada vez más bajo.

La flexibilidad inherente de las comunicaciones vía satélite no se limita a puntos fijos sobre la Tierra, sino que se aplica a terminales móviles como barcos, aeronaves y vehículos espaciales.

El satélite de comunicación tiene que ser muy seguro, porque, una vez lanzado, sólo lo conecta con su control el vínculo de la radio. Por esta razón, todos los subsistemas de a bordo tienen que funcionar eficazmente, para su correcta orientación y transmisión de información hacia la Tierra.

Además del eficaz funcionamiento de todos los subsistemas, deben cumplirse varios requisitos para que el satélite permanezca fijo con respecto a la Tierra, es decir geostacionario. En primer lugar, el satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra; además, para que no pierda altura en forma progresiva y pueda completar una vuelta cada 24 horas, debe estar aproximadamente a 36000 Km de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo finalmente, el satélite debe tener una velocidad constante de 3075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra (Figura 1).

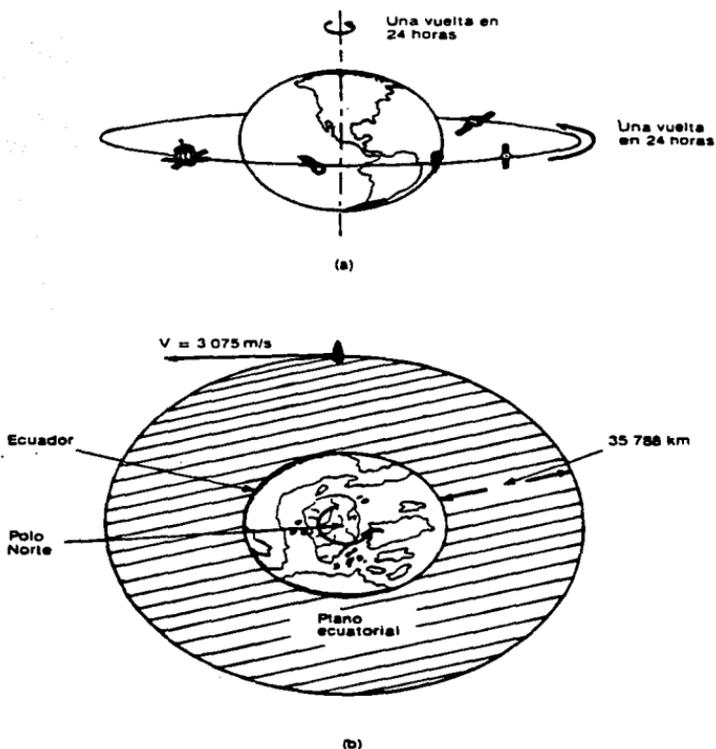


Figura 1. Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven. a) Vista lateral; b) vista superior.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria, también conocida como Cinturón de Clarke. En la actualidad ésta es la órbita más congestionada de satélites alrededor de la Tierra, debido a las ventajas que representa para sus propietarios, por razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones. En las Figuras 2 y 3 se muestran dos tipos de satélites de forma cilíndrica

El medio espacial es muy hostil, dado que los satélites están sometidos a temperaturas extremas, a radiación solar intensa y al bombardeo de micrometeoritos y partículas fugaces. Los ingenieros espaciales tienen que diseñar satélites capaces de funcionar muchos años en ese ambiente, pues normalmente es imposible subsanar cualquier falla una vez lanzado el artefacto.

La vida útil de un satélite de comunicaciones es aquella donde dicho satélite aún es operable (transmisión de comunicaciones). En un principio, era de algunos meses a un año, incrementándose a 4 años con el avance de la tecnología, pero en la actualidad se tienen satélites con una vida útil de 8 a 14 años de duración. En la mayoría de los casos, esta vida útil también está regida por la cantidad de combustible, el cual es necesario para la reorientación y corrección de la posición del satélite. Dependiendo de la optimización de su combustible, el satélite permanecerá en su posición más tiempo del adecuado, incrementándose su vida de 1 a 2 años más.

La estructura de un satélite de comunicaciones está constituida por dos plataformas principales: módulo de antenas y estructura externa.

Módulo de antenas. Es el encargado de soportar todo el conjunto de antenas, así como el despliegue de las mismas hasta su posición final.

Estructura externa. Es el armazón principal que soporta todo el peso de los dispositivos electrónicos y mecánicos que conforman al satélite.

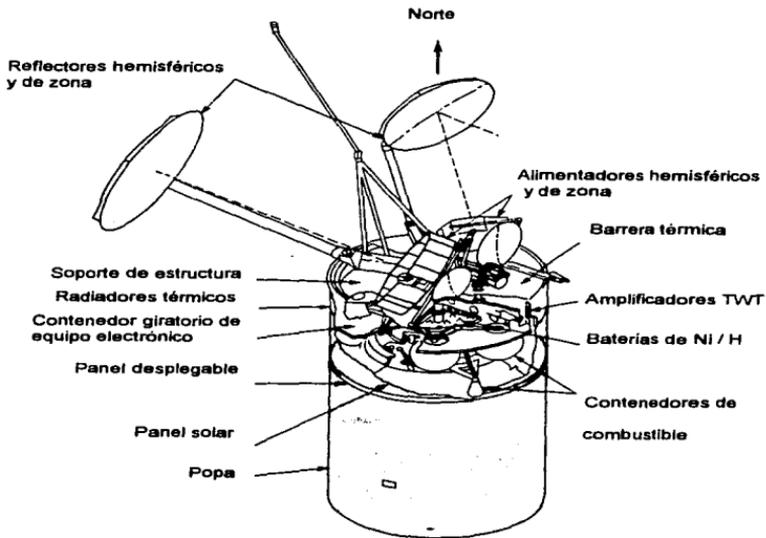


Figura 2 Satélite INTELSAT IV

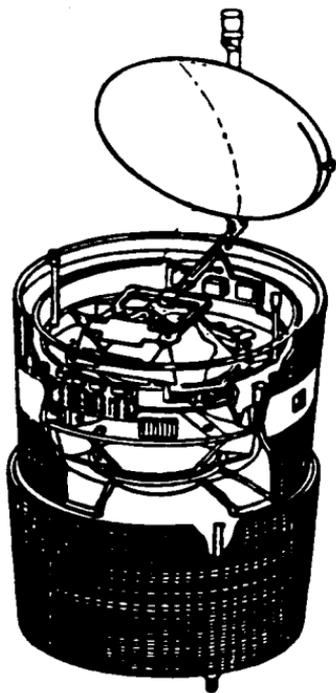


Figura 3 Satélite Morelos I

1. SUBSISTEMAS QUE CONFORMAN A UN SATELITE DE COMUNICACIONES

Un satélite de comunicaciones, como se mencionó anteriormente, es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica para su óptimo funcionamiento, disipar el calor externo, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en donde está ubicado, y desde luego poder comunicarse con la Tierra. Sus subsistemas más importantes se indican en la Tabla 1.

Tabla 1 Principales subsistemas de un satélite de comunicaciones y sus funciones.

Subsistema	Función
1.- Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia.
2.- Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia.
3.- Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
4.- Control térmico	Regular la temperatura del conjunto.
5.- Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite.
6.- Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la orientación.
7.- Rastreo, telemetría y comando.	Intercambiar información con el centro de control en Tierra para conservar el funcionamiento del satélite
8.- Estructural	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

2. SUBSISTEMA DE ANTENAS

Las antenas de un satélite de comunicaciones tienen la función de recibir las señales de radiofrecuencia que provienen de las estaciones terrenas transmisoras. Una vez dentro del satélite, dichas señales son sometidas a un proceso de amplificación y conversión de frecuencia, para posteriormente ser retransmitidas hacia la Tierra, concentradas en un haz de alta potencia. En algunos casos, las antenas que reciben no son las mismas que transmiten, pero también es posible que una sola lo haga simultáneamente, es decir, recibir y transmitir al mismo tiempo, utilizando para este fin frecuencias y elementos de alimentación diferentes. Los elementos de alimentación, conocidos como *alimentadores*, son por lo general antenas de corneta conectadas a guías de onda, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o en dado caso la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores.

Si el subsistema de antenas fallara, teniendo como consecuencia una mala orientación hacia la superficie de la Tierra, entonces no sería posible la correcta transmisión desde el satélite ni la recepción de señales provenientes de las estaciones terrenas.

Las antenas de un satélite son el puerto de entrada y de salida, la interface o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio libre y las señales que circulan en el interior del satélite por varios de sus subsistemas.

Un satélite posee antenas de diferentes tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que trabajen y la cobertura que deban tener sobre determinadas zonas geográficas de la Tierra.

La razón por la cual un satélite utiliza distintos tipos de antenas, se debe a que una antena parabólica de pequeñas dimensiones puede recibir y transmitir dentro de una extensa superficie territorial, mientras que una de dimensiones mayores, que está operando a la misma frecuencia, solamente podrá hacerlo

dentro de una zona geográfica más pequeña, pero, cuanto más grandes son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que la irradia con muy altos niveles de densidad de potencia, facilitando el diseño y reduciendo el costo de las estaciones terrenas receptoras.

Por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor será su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas, cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

La *dimensión eléctrica* de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, es decir, es el número de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca. Por ejemplo, una antena de dos metros de diámetro la cual irradia energía a una frecuencia de 11 GHz, lo hace dentro de un haz de iluminación más angosto que como lo haría si tuviese que operar a una frecuencia de 4 GHz, simplemente por que cuanto más alta es la frecuencia, la longitud de onda electromagnética es más corta y el tamaño eléctrico de la antena aumenta.

Un factor interesante sobre las antenas son sus propiedades recíprocas, esto es que tienen las mismas impedancias y radiación, tanto para transmitir y recibir la misma frecuencia.

La *ganancia* de una antena se expresa de la siguiente forma:

$$G = \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2}$$

donde: λ = longitud de onda

A_e = área efectiva de la antena

La ganancia de la antena también dependerá del modo en que la energía de alimentación se difunda sobre el reflector, debiendo ser ésta distribución de manera uniforme.

Como se mencionó anteriormente, los satélites de comunicación están constituidos por un conjunto de varios tipos y tamaños de antenas. Actualmente existen satélites que pueden contar con arreglos de 2, 4 y 8 tipos de antenas, las cuales son enfocadas para distintos servicios o coberturas tales como antenas para cobertura global, cobertura hemisférica, cobertura de zona, cobertura puntual y telemetría y comando.

TIPOS DE ANTENAS QUE UTILIZAN LOS SATELITES DE COMUNICACION DE ACUERDO A SU USO

- 1.- Antenas de cobertura global
- 2.- Antenas de cobertura hemisférica
- 3.- Antenas para cobertura de zona
- 4.- Antenas de cobertura puntual o haz puntual
- 5 - Antena de telemetría y comando

Antenas de cobertura global. Son antenas de corneta, tienen la forma de un cono y están conectadas a un tubo o guías de onda. Este tipo de antenas cubre la mayor parte de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite, es decir, pueden recibir desde cualquier estación transmisora que se encuentre dentro de los límites de esa zona y pueden transmitir también hacia cualquier estación receptora que se halle dentro del mismo contorno. Sus frecuencias de operación están dentro de la banda Ku y C (Figura 4).

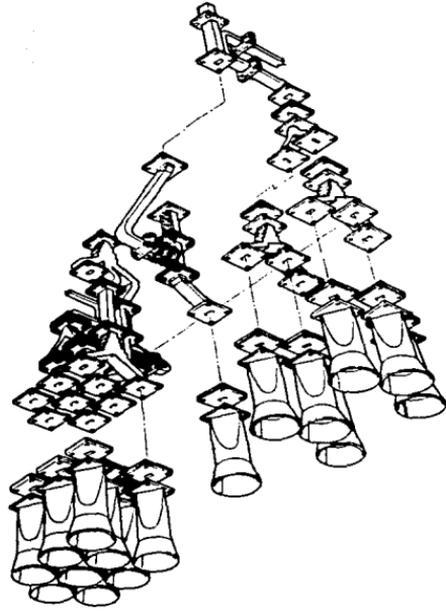


Figura 4 Arreglo de antenas de concha conectadas a los alimentadores y a los tubos de guías de onda.

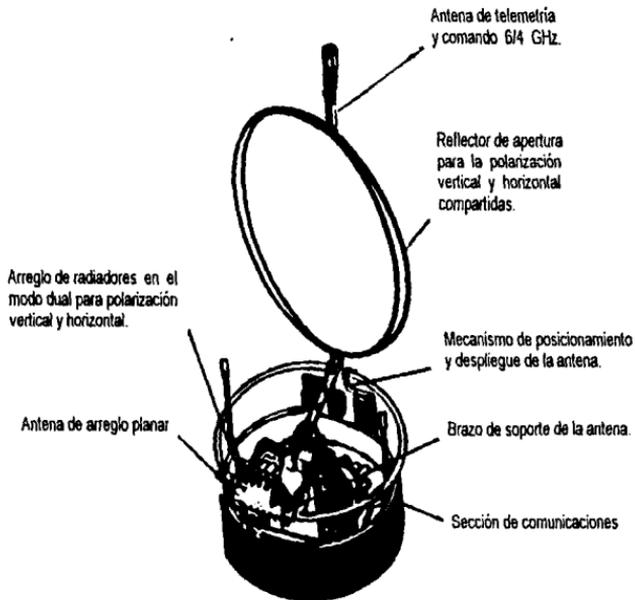


Figura 6 Tipos más característicos de antenas (antena de arreglo planar, antena de reflector, antena de telemetría y comando).

Antenas de cobertura hemisférica. Son de forma parabólica. Pueden cubrir dos hemisferios diferentes o continentes vistos desde la posición del satélite; su huella de iluminación es más pequeña que las de tipo global y pueden trabajar dentro de la banda Ku o C.

Antenas para cobertura de zona. Son antenas de forma parabólica las cuales solo pueden irradiar energía hacia zonas más pequeñas o a una zona característica sobre la superficie de la Tierra, en este caso su huella de iluminación es mucho más pequeña que las de tipo hemisférico y su frecuencia de operación es en la banda C.

Antenas de cobertura puntual. Son antenas de tipo parabólico, que tienen la particularidad de poder concentrar su potencia casi en un punto de la superficie, en relación con las dimensiones del planeta; transmiten dentro de la banda de frecuencia Ku y los haces de iluminación de estas antenas, por ser tan angostos, reciben el nombre de *haces pincel o puntuales*.

Antena de telemetría y comando. Hasta ahora sólo se ha hecho referencia a las antenas del satélite cuya función es intercomunicar distintos puntos geográficos, existiendo otro tipo de antena de gran importancia que no tiene nada que ver con lo antes mencionado. Se trata de la antena de telemetría y comando, la cual se encarga de recibir las señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control en la Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviar al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todos los subsistemas del satélite.

La antena de telemetría y comando no es parabólica ni de cometa, ya que estas últimas son altamente direccionales, sino una antena bicónica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir, que emite más o menos con la misma intensidad en todas direcciones; de esta forma, aun cuando el satélite cambie bruscamente de orientación, su comunicación con el centro de control no se interrumpe y se sigue teniendo control sobre el mismo.

En la práctica y en condiciones normales de operación, se prefiere el uso de las antenas de plato reflector para la transmisión y recepción de señales de telemetría y comando. La antena propia de telemetría y comando es utilizada sólo en casos extremos y durante el lanzamiento y colocación en órbita del satélite, utilizando la banda de frecuencias de VHF y UHF.

Las antenas de un satélite, como se ha mencionado, cubren la Tierra con haces de iluminación; la cobertura de cada haz, denominada *huella de iluminación* (intersección del haz radiado por la antena con la superficie de la Tierra), está limitada por un contorno muy irregular, siendo la irregularidad de estos contornos hecha a propósito por los diseñadores de las antenas del satélite, aunque sea mucho más sencillo construir una antena cuya huella de iluminación sea un círculo o una elipse, debido a que de esta forma no se desperdicia potencia transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay tráfico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, por lo cual se aprovecha mejor concentrándola para que ilumine sólo los lugares geográficos con mayor demanda de servicios de comunicación (Figura 6).

3. SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

3.1 Conceptos generales

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) son recibidas por la antenas del satélite, y ellas mismas son las encargadas de retransmitir toda esa información hacia la Tierra, una vez que ha sido procesada debidamente.

Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con la mejor calidad posible, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando en forma simultánea. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante la utilización de

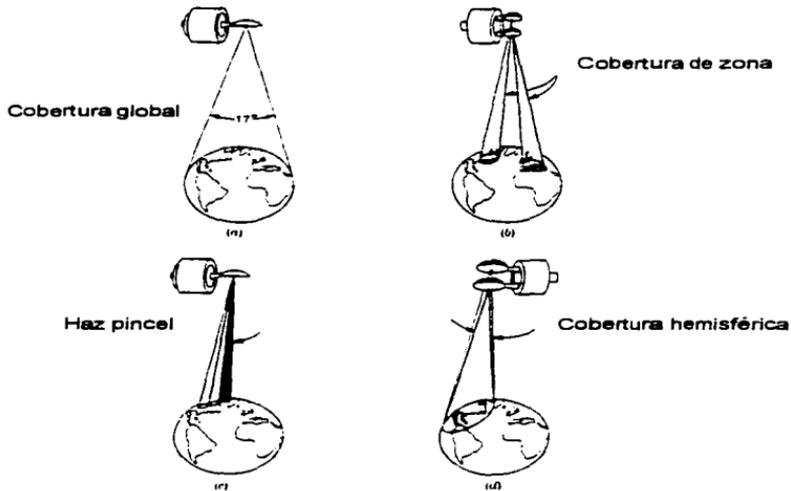


Figura 6 Diferentes coberturas para antenas.

dispositivos tales como filtros, amplificadores de potencia y de bajo ruido, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores, los cuales se muestran en la Figura 7.

En todos los satélites de comunicaciones es normal que algunos de estos equipos o dispositivos se instalen repetidos, o sea, que sean redundantes, para que en el caso de que uno de ellos falle, exista aún la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y las de transmisión; para efectuar este tipo de maniobras se cuenta con conmutadores que se encargan de realizar la conexión de un elemento a otro.

Un **Transponder** es una ranura de frecuencia en la que podemos acceder una señal electromagnética la cual seguirá una trayectoria sin interrupción desde las antenas receptoras hasta las retransmisoras comprendiendo todos los dispositivos empleados durante su recorrido. Debido a esto, es evidente que los sistemas de comunicación de los satélites cuentan con varios transpondedores cuyo número dependerá del tipo de satélite. Los dispositivos que conforman a un transponder son: Amplificador de bajo ruido, Amplificador de potencia, Convertidor de frecuencias, Demultiplexor, Atenuador variable, Amplificadores de potencia, Multiplexor y el grupo de antenas receptoras y transmisoras.

En realidad, cada sistema de comunicación cuenta con una cadena más compleja de lo que se ha descrito anteriormente, debido a que puede haber ligeras variaciones en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia, pero lo que se ha incluido por el momento es suficiente para poder explicar a grandes rasgos cuál es su función. Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es la de asignar las trayectorias o transpondedores en los que deben ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia y el espacio ocupado dentro de cada amplificador.

Las señales provenientes de la Tierra que entran por la antena receptora, pueden contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónicos o de datos, los cuales son enviados por frecuencias diferentes. Al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la más alta de las que se

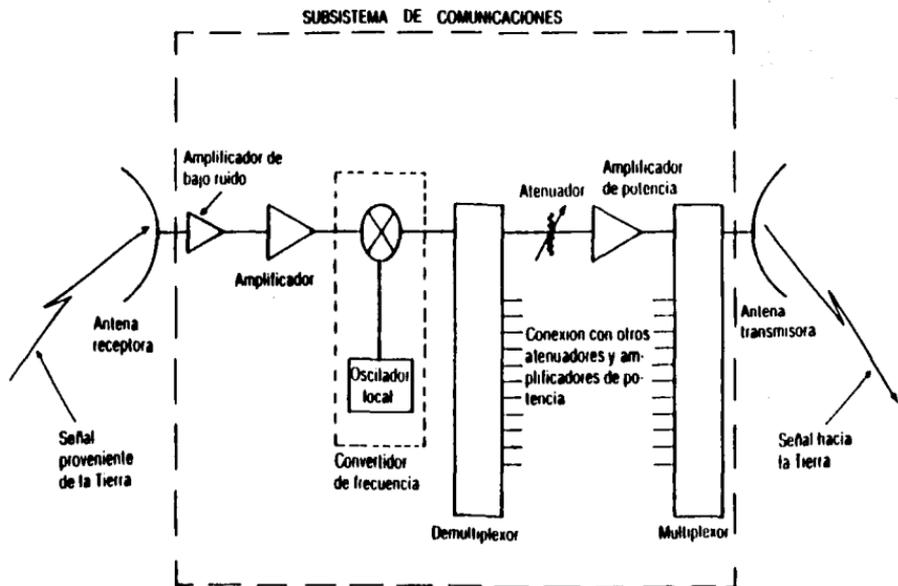


Figura 7 Relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones.

transmiten se le da el nombre de **ancho de banda**. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo que compone al satélite, éste será capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias y recibir con la misma calidad mayor número de canales televisión, telefonía y datos que con un ancho de banda menor.

Un satélite puede tener una o varias antenas receptoras, y cada una de ellas debe ser capaz de recibir varios canales con información, que posteriormente serán amplificados por separado en distintos transpondedores. Es decir, tanto las antenas transmisoras como las receptoras tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar dentro de las frecuencias asignadas para los satélites de comunicación, cuya mayor parte funciona en la actualidad dentro de la gama de frecuencias de la banda C y banda Ku, siendo el ancho de banda de operación de cada una de ellas de 500 MHz para la transmisión y 500 MHz para la recepción.

Existen también satélites denominados **híbridos**, los cuales tienen los equipos necesarios para poder trabajar en forma simultánea tanto en la banda C como en la banda Ku, duplicándose la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están dentro del rango de 5.925 y 6.425 GHz con una frecuencia intermedia de 6.175 GHz.

Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente de 3.70 y 4.20 GHz con una frecuencia central de 3.95 GHz; posteriormente, todas estas señales contenidas en esta última gama de frecuencias son entregadas a la antena transmisora para que las envíe de regreso a la Tierra. Este tipo de enlace de Tierra a satélite y de satélite a Tierra tiene la nomenclatura de 6/4 GHz.

En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencia y transmisión es similar al de la banda C, sólo que las frecuencias Tierra-satélite están en el rango de 14.0 y 14.5 GHz, con una

frecuencia central de 14.25 GHz y las frecuencias satélite-Tierra están dentro del rango de 11.7 y 12.2 GHz con una frecuencia central de 11.95 GHz; en este caso el enlace se representa con la nomenclatura de 14/12 GHz.

En los satélites híbridos, los procesos descritos para la banda C y Ku son llevados a cabo en forma simultánea, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes; estos equipos están contenidos en secciones separadas del subsistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku. Por este motivo, es fácil suponer que al duplicar su capacidad de trabajo es necesario que este tipo de satélites requieran de más energía eléctrica, y en consecuencia necesitan más metros cuadrados de celdas solares para poder efectuar la conversión suficiente de energía solar en energía eléctrica.

Cuando un canal de televisión es transmitido por el satélite, al modularlo en frecuencia sólo ocupará 36 de los 500 MHz del ancho de banda disponible, y técnicamente ésta ocupación es realizada o puede hacerse en cualquier parte de ese rango de frecuencia. Por esta razón el ancho de banda de un satélite se divide en espacios o ranuras, cuyo número estará en función de la aplicación del satélite. En la Figura 8 se muestra una división del ancho de banda de un satélite en 12 ranuras o espacios iguales de 36 MHz para cada ranura. Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan por seguridad para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene (canales de televisión, telefonía y datos). Cada ranura tiene la posibilidad de poder trabajar con un canal de televisión en forma independiente, por lo que la capacidad total del satélite para la banda C de operación, sería igual a 12 canales de televisión. También sería posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión, pero éstos son casos muy especiales.

Para las antenas de un satélite no representa ninguna dificultad el captar una gran gama de frecuencias en forma simultánea, sin embargo, no es nada sencillo la construcción de dispositivos electrónicos de alta potencia, que realicen las funciones de amplificación en forma correcta con todas

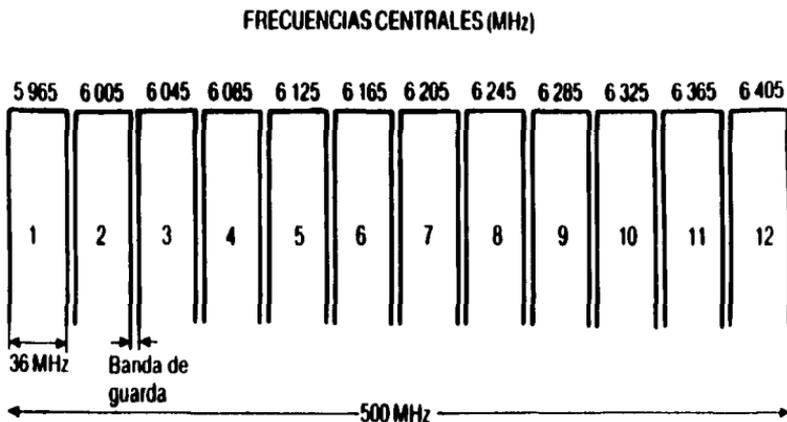


Figura 8 Ancho de banda de un satélite que opera en la banda C, dividido en ranuras de frecuencias de 36 MHz cada una. Cada ranura corresponde a las frecuencias de trabajo de un transpondedor, y las frecuencias centrales que se indican son las que se usan para transmitir de la Tierra al satélite. Para la transmisión satélite-Tierra se hace una división similar del ancho de banda comprendido entre 3.7 y 4.2 GHz, con sus frecuencias centrales correspondientes.

esas señales al mismo tiempo, por lo que es necesario aislar a cada señal para poder procesarlas y amplificarlas por separado, siendo esta una de las razones principales por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después de ser procesadas, todas las señales se unen en un mismo bloque para su transmisión hacia la Tierra.

El primer dispositivo electrónico por el cual pasan las señales proveniente de las antenas receptoras del satélite se le conoce como:

Amplificador de bajo ruido, el cual proporciona poca potencia de salida. Este aparato tiene la propiedad de generar muy poco ruido interno, que es sumado a las señales originales que entran a él para amplificación. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido internamente provocado por su calentamiento; este término es empleado para identificar a las señales nuevas, de diversas frecuencias, que son generadas indeseablemente por el aparato. En el caso de que estas nuevas señales, que son ajenas a la información original, sean muy grandes o intensas, al ser sumadas con la señal de información pueden alterar su contenido. Esta etapa de amplificación es una de las más importantes, porque la señal que recibe el conjunto de antenas es muy débil, debido al largo recorrido de 36000 Km desde la superficie de la Tierra hasta el satélite, por lo que su nivel de potencia de llegada es muy bajo. Por este motivo, es muy importante que el ruido generado por el dispositivo de amplificación sea lo más bajo posible en comparación con el nivel de potencia de las débiles señales recibidas.

El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda de 500 MHz, pues debe ser capaz de poder amplificar en forma simultánea todas las señales recibidas por la antena o conjunto de antenas, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas del proceso que se lleva a cabo en el subsistema de comunicaciones. Este dispositivo es de gran importancia, de cuyo correcto funcionamiento dependerá que la información siga fluyendo en el interior del satélite.

Por esta razón este dispositivo es instalado en duplicado (sistema redundante), para evitar que exista una posible falla.

Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, con muy poca potencia de ruido sumada, continuarán su recorrido a lo largo de la trayectoria del transpondedor; en las etapas siguientes de amplificación se les estará introduciendo un poco más de ruido, pero su efecto ya no será tan dañino como lo hubiera sido en la primera etapa de amplificación, porque ahora estarán vigorizadas con un nivel más alto de potencia, haciéndolas menos vulnerables al ruido generado. Después de haber alcanzado un nivel adecuado de potencia, las señales en cuestión son tomadas a otro nuevo dispositivo llamado convertidor de frecuencia.

El convertidor de frecuencia es un dispositivo que está constituido por un oscilador local que resta las señales que entran por otra que se genera internamente. Las señales resultantes son similares a las que entraron provenientes de este dispositivo, donde la información contenida es la misma, pero han sido desplazadas a un rango más bajo de frecuencias en el espectro radioeléctrico. Después de haber sufrido una amplificación de baja potencia y una preamplificación para poder efectuar el desplazamiento de frecuencias, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques, conteniendo cada grupo canales de televisión, de telefonía y algún paquete de datos de alta velocidad, siendo efectuada esta separación por el demultiplexor.

El demultiplexor es un dispositivo electrónico dotado por una entrada y varias salidas. A él entra la información completa de 500 MHz de ancho de banda, y en su interior, mediante filtros, se separan los canales en bloques de 36 MHz cada uno. A continuación, cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un amplificador de alta potencia, en donde la potencia de entrada para cada amplificador es regulada por un atenuador variable que está a la entrada del amplificador de potencia.

El atenuador es en su forma más simple una resistencia variable, empleada para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia o a la primera etapa de amplificación si existe más de una. Cuando la ganancia del amplificador

de potencia no es lo suficiente para obtener toda la amplificación necesaria en cualquier condición de operación, antes de él será necesario utilizar un amplificador excitador. Esta situación ocurre principalmente en la banda Ku o en frecuencias muy altas. La regulación de la intensidad de entrada permite al amplificador trabajar en distintos puntos de operación, es decir, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de él. Pero si se considera que la potencia de las señales llega muy baja al satélite y que éste tiene una capacidad limitada de potencia, aparentemente no sería lógico atenuar antes de amplificar. Cuando los amplificadores de potencia del satélite entregan a su salida el nivel máximo de potencia posible, se dice que están operando en su punto de saturación. Para que esto suceda, la potencia total de las señales que entran a ellos deberá tener un valor determinado, este tipo de puntos de operación se muestran en la Figura 9.

El amplificador de potencia (alta potencia) es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para que todos los bloques de canales puedan ser retransmitidos y recibidos en la superficie de la Tierra por las estaciones terrenas. Uno de los amplificadores de potencia más empleados son los tubos de propagación de ondas (T.W.T) y los de estado sólido.

Los tubos de ondas viajera ó T.W.T. son dispositivos para altas frecuencias, que tienen una ganancia elevada y un gran ancho de banda. Aprovechan la interacción entre un haz confinado de electrones y una onda electromagnética que se desplaza a una velocidad inferior a la de la luz; este fenómeno se produce cuando se reduce la velocidad de la onda electromagnética por debajo de su valor en el espacio libre usando una estructura de onda lenta o alambre de alta conductividad devanado en forma helicoidal, donde la onda electromagnética se propaga en forma axial al devanado con una velocidad que se acerca a la que se obtendría si su frente de onda siguiera una trayectoria helicoidal durante el recorrido en el conductor a la velocidad de la luz, en donde el valor de la fase axial V_p de la onda es:

$$V_p = C (d / 2pr)$$

- donde: V_p = fase axial
 C = velocidad de la luz
 d = distancia del recorrido
 $2pr$ = circunferencia de la hélice

La velocidad de la fase axial es relativamente constante en un amplio intervalo de frecuencias. por esta característica los T.W.T. son utilizados por anchos de banda de gran tamaño. La acción amplificadora del tubo de ondas viajeras se efectúa por medio de una interacción continua entre la componente de la onda del campo eléctrico y el haz de electrones que se desplaza por dentro de la bobina. Los electrones son frenados continuamente y su energía es transferida a la onda durante el recorrido por la bobina.

El haz de electrones que es desplazado en dirección paralela al eje del devanado, sufre los efectos de una componente axial del campo eléctrico, los electrones son agrupados en regiones en las que el campo frontal es desacelerado y el posterior acelerado. En dado caso que el flujo de electrones se desplace con la misma velocidad que la onda en el devanado dará lugar a un campo de c-d de valor cero.

En los tubos de onda viajera o de propagación de onda, su concentración de electrones se desplaza a una velocidad mayor que la señal de Rf que circula en el devanado dejándola atrás, por lo cual pasará a la región de desaceleración y producirá un trabajo negativo durante la misma, obteniendo energía a expensas de su energía cinética. La interacción de un haz de electrones agrupados y una bobina puede analizarse de acuerdo con las corrientes inducidas; los agrupamientos de electrones se desplazan en forma paralela al eje de la bobina y están concentrados alrededor de él. Las cargas positivas se inducen sobre la bobina mediante los grupos en movimiento y las cargas inducidas se mantienen junto con la concentración debido a un flujo de corriente a lo largo de la bobina; si la fase es correcta, la corriente

inducida incrementará el valor de la onda electromagnética. La amplitud de la onda que se desarrolla sobre la bobina produce una concentración mayor de electrones en forma exponencial durante el recorrido dentro de la bobina aumentando en forma inmediata la amplitud de la onda electromagnética.

En conclusión, la energía cinética de los electrones es la fuente de crecimiento de la energía electromagnética, asociada con el tamaño de la bobina, por lo tanto, los electrones pierden velocidad a una distancia suficiente produciendo una pérdida de energía cinética; por esta condición, los electrones al perder velocidad salen de la fase de desaceleración y dejan de experimentar una interacción útil, la ganancia de energía solo se produce en intervalos pequeños en las cercanías de la velocidad de propagación de la onda en la bobina para la señal de Rf.

La ganancia del tubo de onda viajera está limitada por la disminución en la magnitud de la velocidad del haz, conforme los electrones se desaceleran a través de distintas velocidades de interacción.

A niveles elevados de potencia la concentración es muy densa de tal modo que el agrupamiento electrostático adquiere importancia y limita la salida de potencia del tubo de onda viajera T.W.T. (Figura 10).

Todos estos bloques de canales antes de ser mandados para su retransmisión por el conjunto de antenas, es necesario que sean reunidos en una sola frecuencia, la cual se le da el nombre de señal *portadora*; para que esto ocurra es necesario tener un dispositivo electrónico capaz de efectuar dicha función, el cual se le conoce como multiplexor.

El **multiplexor** es un dispositivo formado por varias entradas y una sola salida, misma de donde salen todas las señales concentradas en un solo haz de potencia (señal portadora), todos los canales o bloques de canales que fueron procesados durante el recorrido por el sistema de comunicación; al llegar al multiplexor se multiplexan todos los bloques de canales para que a la salida del mismo sean retransmitidos por el conjunto de antenas transmisoras hacia la Tierra.

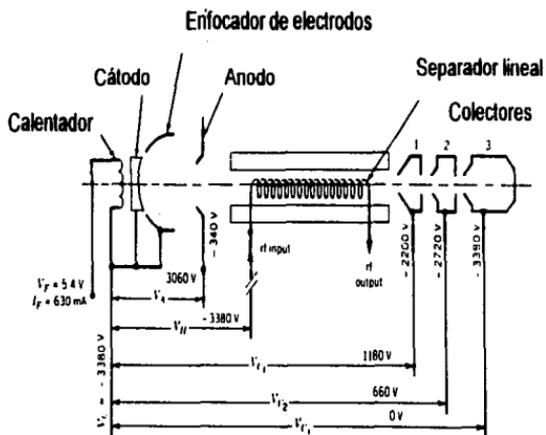


Figura 10 Esquema de un amplificador TWT.

Por otra parte, cuanto mayor sea la intensidad de las señales que lleguen al satélite se obtienen mejores resultados en la primera etapa de amplificación (amplificador de bajo ruido), ya que la relación entre la potencia de la señal amplificada y la potencia de ruido térmico generado es mucho mayor, y como la calidad con la que la señal es recuperada en la Tierra depende de estos parámetros, dicha señal tendrá una mejor calidad en la recepción.

Todos los tipos de información que se transmiten al satélite vienen dentro de una señal portadora. Una señal **portadora**, es una señal senoidal de muy alta potencia, la cual es modulada por la información que se esta transmitiendo o se porta sobre ella. Este tipo de proceso es necesario para efectos de transmisión y ubicación de cada bloque de información dentro del espacio de radiofrecuencias, a fin de que no se traslapen entre si.

Otro de los factores que se consideran en un transpondedor es el ruido de intermodulación.

El ruido de intermodulación es producido cuando el transpondedor se encuentra compartido por dos o más señales portadoras en él, y como la característica de entrada-salida del amplificador de potencia es alineal, se genera un número de señales adicionales e indeseables que a la salida se suman a la información original provocando una distorsión. Toda esta gama de señales que se producen adicionalmente se les da el nombre de ruido de intermodulación, y su intensidad es cada vez mayor y más dañina conforme se trata de obtener más y más potencia a la salida del amplificador hasta llegar a un máximo (punto de saturación). Por esta razón, es necesario operar al amplificador de potencia en un punto de trabajo inferior al de saturación, para reducir el ruido de intermodulación y para no alterar la información original, sacrificando a la vez potencia de salida. Esta disminución de potencia realizada por el atenuador, permite regular la intensidad de las portadoras, entregará menos o más potencia a la entrada del amplificador, traduciéndose en un nivel aceptable de ruido de intermodulación. Cuando exista más de una señal portadora al mismo tiempo, se producirá este fenómeno, y cuanto mayor sea su número, mayor es el ruido de intermodulación que afecta a la información original, por lo que entre más

portadoras se requieran amplificar con el mismo dispositivo a la vez, será necesario operar en un punto menor al de saturación.

El diagrama de bloques de la Figura 7 es muy elemental, pero en la realidad existen distintas versiones como el de las Figuras 11 y 12, en donde se muestra la existencia de dos multiplexores y dos demultiplexores, con una capacidad igual a la mitad de la que tienen los de la Figura 7. La potencia de la señal combinada de 500 MHz de ancho de banda que entrega el convertidor de frecuencias es dividida en dos, cada parte entra a uno de los demultiplexores; por medio de filtros; el multiplexor uno solo permute el paso de los canales impares (1,3,5,7, etc.) y el multiplexor dos realiza lo mismo con los canales pares (2,4,6,8, etc.) Cada uno de los canales pares o impares tienen un ancho de banda estándar de 36 MHz aunque existan otras variantes, dependiendo del tipo y uso del satélite.

Este tipo de separación de canales ofrece una gran ventaja con respecto al uso de un solo demultiplexor, debido a que la banda de guarda entre canales adyacentes se incrementa y por lo tanto se reduce el peligro de interferencia entre ellos en la etapa de amplificación. Después de que cada uno de los canales ha sido amplificado por separado, con su correspondiente reducción de potencia a la salida respecto a la saturación, todos ellos son juntados en su correspondiente multiplexor (multiplexor de canales pares e impares), los cuales tienen 6 entradas y una salida cada uno; posteriormente este bloque de canales pares e impares pasan por un sumador de potencias, y el conjunto, ya de nuevo con un ancho de banda total de 500 MHz, entra a las antenas parabólicas transmisoras.

Por otro lado, los niveles de interferencia se reducen aún más si se cambia la polaridad de las señales antes de transmitirlos, por ejemplo la señal que llega al satélite con polarización vertical es retransmitida con polarización horizontal y viceversa.

Para poder visualizar este tipo de conceptos que se han descrito en esta sección, en la Figura 13 se muestra un plan de frecuencias de un satélite híbrido Spacenet; tiene 12 transpondedores angostos de 36 MHz y 6 de 72 MHz en la banda C, así como 6 transpondedores de 72 MHz en la banda Ku. Las

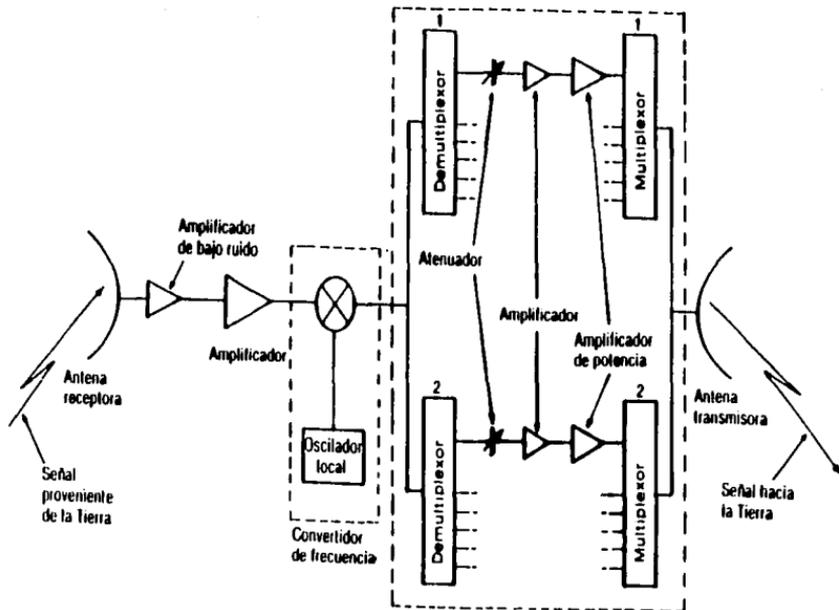


Figura 11 Versión modificada del diagrama y equipos del subsistema de comunicaciones. A diferencia del indicado en la figura 7, se utilizan dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia.

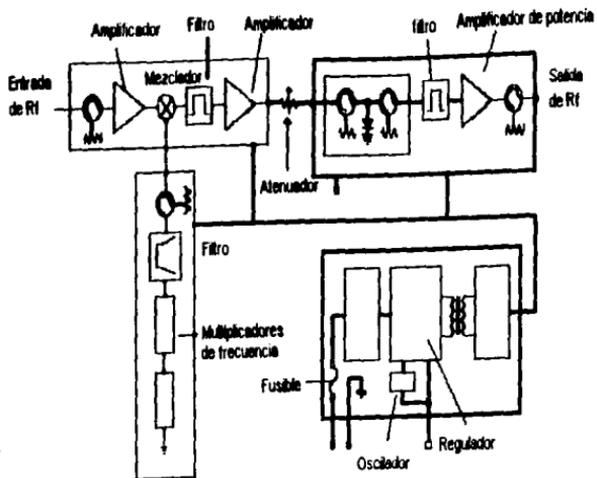


Figura 12 Diagrama de bloques de un receptor de 6 GHz.

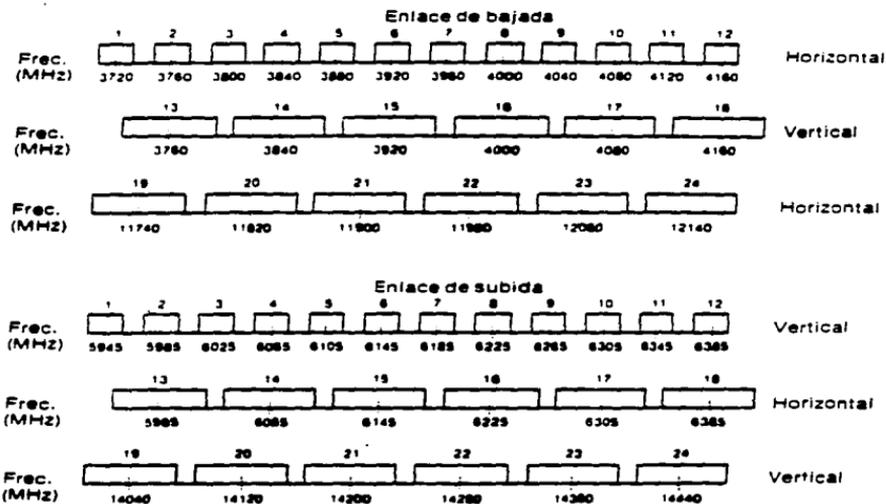


Figura 13 Esquema de polarización de frecuencias para un satélite de comunicaciones.

señales de los transpondedores de la banda C angosta son transmitidos hacia el satélite con polarización vertical y retransmitidos hacia la superficie de la Tierra con polarización horizontal; para los transpondedores de ancho de banda C, se usa polarización horizontal en el enlace de subida y vertical en el enlace de bajada, y con respecto a los transpondedores de la banda Ku, el enlace de subida se realiza con polarización vertical y el de bajada con polarización horizontal.

En las Figuras 14 y 15 se muestra el diagrama de la composición del sistema de telecomunicaciones del Spacenet. La señal que llega de la Tierra es recibida en el satélite por los reflectores parabólicos de cometa y las cometas de los alimentadores; esta señal pasa a través de los diplexores que separan las trayectorias de recepción y de transmisión, puesto que cada antena se utiliza para dos cosas. Más tarde, son sumadas en combinadores de potencia, para entrar posteriormente a los receptores redundantes, los cuales están integrados por los amplificadores de bajo ruido y los convertidores de frecuencia, ubicados en la parte izquierda de los diagramas. Los acopladores híbridos de 3 db alimenta a los demultiplexores, en donde los canales son separados en pares e impares; más tarde cada canal pasa por una sección de atenuación correspondiente para posteriormente entrar a un conmutador de entrada el cual esta conectado a otro atenuador y a un amplificador de potencia. Posteriormente entra a un conmutador de salida y de ahí pasará a un multiplexor es cual es una guía de onda múltiple a la que entran los canales por varios puertos y que están conectados a la antena transmisora. Por otro lado, los canales pares e impares ya agrupados por separado en los multiplexores, entran a una red de división de potencia que esta conectada a las cometas de alimentador de la antena parabólica y a las cuales entran las señales a través de los mismos diplexores que las dirigieron anteriormente hacia el combinador de potencia y los receptores.

El satélite realiza diferentes tipos de enlaces, de los cuales se pueden diferenciar tres tipos: punto a punto, punto-multipunto y multipunto-punto.

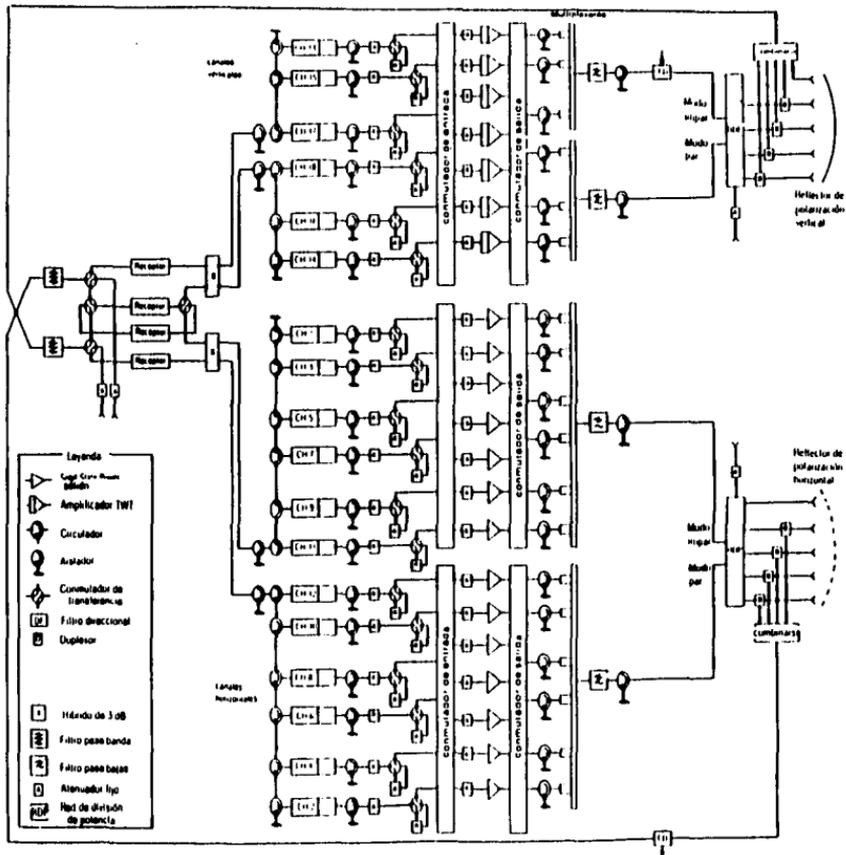


Figura 14 Subsistema de comunicaciones (bloque C) de un satélite Spacenet

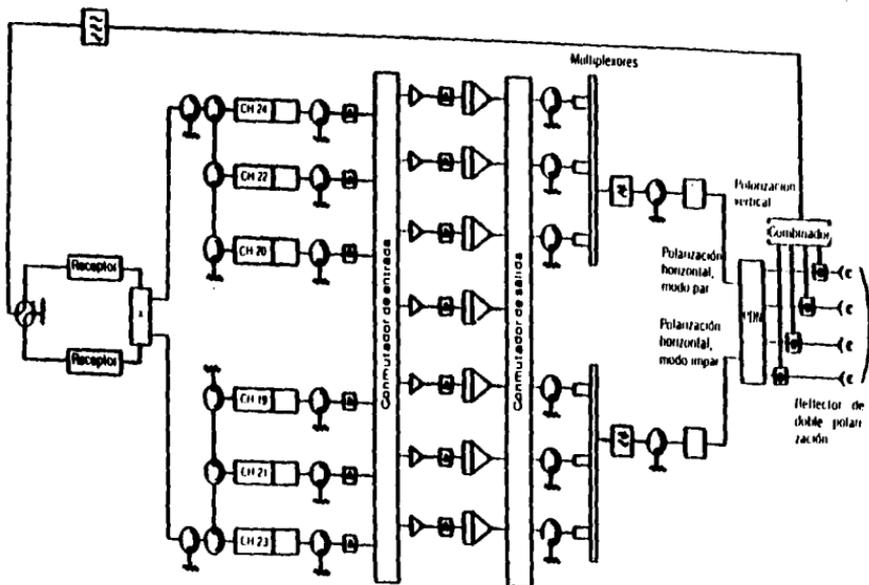


Figura 15 Subsistema de comunicaciones (banda Ku) de un satélite Spacenet

El enlace punto a punto es aquel que une dos puntos geográficos de la Tierra, por ejemplo, una conversación telefónica, en cuyo caso el enlace es bidireccional.

El enlace punto-multipunto corresponde a un sistema de distribución de información, en donde la señal es generada en un solo punto, por ejemplo, un centro de cómputo o un estudio de televisión, siendo este tipo de enlace unidireccional.

El enlace multipunto-punto es el inverso del enlace punto-multipunto, el cual concentra toda la información procedente de varias centrales a un solo punto, por ejemplo, concentrar toda la información de las plantas generadoras de energía para observar su funcionamiento desde una planta central de control.

Para que no ocurra ningún tipo de problema entre las señales que llegan en forma simultánea al satélite, se establecen técnicas de acceso las cuales se mencionan a continuación.

3.2 Acceso múltiple por división en frecuencia

Como ya se sabe que el ancho de banda de los satélites de comunicación es de 500 MHz el cual está dividido en ranuras de 36 MHz, por lo que el amplificador de cada transpondedor tiene la capacidad de poder albergar en su interior un gran número de señales que ocupen este ancho de banda. Sin embargo, las estaciones terrenas que transmiten hacia el satélite no tienen el suficiente tráfico como para ocupar en su totalidad dicho ancho de banda de cada transpondedor. Considérese como ejemplo, una gran ciudad, otra de tamaño medio y una población rural que desean hacer uso del satélite. Si los tres tipos de población transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con anchos de banda y frecuencias portadoras diferentes para que no exista interferencia; si la suma de los anchos de banda de estas tres señales ocupa un total de 36 MHz, entonces estarán en un solo transpondedor en forma simultánea, separadas por bandas de guarda como se ilustra en la Figura 16. Esta forma de uso compartido o simultáneo de un transpondedor por varias estaciones terrenas, estén o no situadas en la misma ciudad se le conoce como

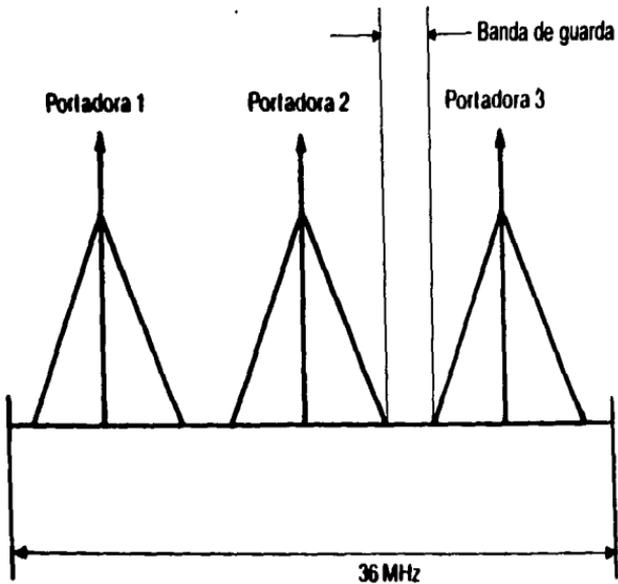


Figura 16 Transponder conteniendo tres diferentes portadoras, las cuales son accedidas con la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia.

acceso múltiple por división de frecuencias o FDMA, ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en ranuras de frecuencia las cuales se asignan a cada una de las señales.

Este tipo de configuración es rígida e invariable, dado que cada estación deberá transmitir siempre en la misma frecuencia central o portadora, y es válida cuando se puede garantizar que durante la mayor parte del tiempo cada una de ellas ocupará en forma activa este ancho de banda que se le asignó, por este motivo también se le llama acceso múltiple por división de frecuencias con *asignación fija*.

Existen otros casos de esta asignación que se producen cuando el tráfico generado en distintos puntos de la Tierra no es continuo; bajo este término el transpondedor no es ocupado en forma eficiente si se emplea la técnica anterior, por lo que se tendrá que usar otra versión de acceso múltiple que sea más flexible para estos casos; la alternativa se denomina acceso múltiple por división de frecuencias con *asignación por demanda* o DAMA.

La técnica de acceso múltiple DAMA permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico. Las ranuras podrán ser asignadas a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesiten para poder establecer comunicación; en el momento en que alguna deje de transmitir esa ranura será liberada y queda disponible para cualquier otra estación del sistema que la solicite temporalmente (horas, minutos o segundos).

La ocupación de cualquier ranura vacía no se puede hacer en forma arbitraria, sino a través de una estación central que coordine el banco de frecuencias disponibles. Cada vez que cualquier estación terrena desee iniciar una transmisión, debe solicitar al banco de frecuencias que le asigne una de ellas para su portadora; este mismo banco de frecuencias se comunica con la estación solicitante informándole que se le va a transmitir y en que frecuencia deberá sintonizar para que reciba la señal. Solamente hasta que la estación receptora y transmisora hayan recibido la asignación de sus frecuencias de operación se podrá iniciar el enlace.

Un ejemplo de este tipo de enlaces es el denominado SPADE usado por INTELSAT, para brindar comunicaciones telefónicas a países que tienen poco tráfico entre sí, pero que necesitan comunicarse en forma ocasional. Precisamente en este último caso es mucho más eficiente y económico enlazarse a través del sistema SPADE, que no es más que un sistema DAMA internacional con algunas adaptaciones; este sistema consiste en un transponder de 36 MHz ranurado en 800 secciones capaces de conducir al mismo tiempo 400 conversaciones telefónicas empleando 400 ranuras para los canales de ida y 400 para los de regreso.

En este sistema SPADE cada ranura tiene su frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un solo canal telefónico modulado o de datos de alta velocidad, esta forma de transmisión se llama **canal único por portadora o SCPC**.

Como norma general, SCPC con asignación por demanda es utilizado para comunicar puntos de tráfico ocasional (zonas de poco intercambio entre sí). Para el enlace de puntos que generan tráfico permanentemente se emplea la asignación fija, que puede ser SCPC, o bien se emplea la **portadora multicanal o MCPC**. Una portadora multicanal transporta varios canales que fueron modulados en frecuencia o en tiempo, combinados en forma adecuada, y ubicándolos en ranuras de frecuencias muy angostas o muy anchas dependiendo del número de canales que contengan, los cuales pueden ser tanto analógicos como digitales, dichas portadoras multicanal pueden contener 12, 24, 36 48, etc. canales telefónicos.

Existe otro tipo de acceso que lleva el nombre de TDMA.

3.3 Acceso múltiple por división en el tiempo o TDMA

Es una técnica totalmente digital por la cual varias estaciones terrenas acceden u ocupan un solo transponder o parte de él. En esta técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con cierto ancho de banda fijo, el cual es compartido entre ellas secuencialmente en el tiempo, es decir,

cada estación tiene un tiempo asignado T para transmitir lo que guste dentro de la ranura, y cuando el tiempo se agote deberá dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en secuencia.

El tiempo asignado no es igual para cada estación, debido a que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, por lo tanto, la ranura de tiempo que se le asigne debe de ser mayor a diferencia de las otras estaciones. Estos tiempos asignados pueden ser fijos para cada estación, en cuyo caso se tendrá un acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija, mostrada en las Figuras 17 y 18, o puede variar con el tiempo cuando alguna estación tenga exceso de tráfico. Para estos casos se realiza una reorganización en la distribución de tiempos con una nueva estructura de marco o trama de transmisión, asignando ranuras de tiempo más largas a la estación con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico; esta estructura se repite secuencialmente hasta que se realice otro ajuste. En cualquiera de los casos mostrados, la duración de un marco o ciclo es de milisegundos, por lo que es necesario contar con un mecanismo confiable de sincronización para que no exista algún traslape entre las transmisiones de los diversos puntos o estaciones. Un sistema TDMA deberá contar con módulos de almacenamiento de información digital, que funcionan como memorias de amortiguamiento los cuales liberan la información por paquetes en cada ráfaga. Una de las grandes ventajas de esta técnica es que durante cada ranura de tiempo se pueden transmitir en forma multiplexada digitalmente, y por paquetes, fragmentos de canales telefónicos y de datos sobre la misma portadora de la ráfaga.

La modalidad de TDMA que se utiliza más en la práctica es la de ocupación del transponder en forma completa por la portadora modulada; como sólo hay una portadora en ese instante en el amplificador de potencia, no habrá ruido de intermodulación y se aprovechará al máximo la potencia de salida, beneficiando a todas las estaciones terrenas que la utilizan.

La técnica TDMA y FDMA, no es más que una forma en la que las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él, como se muestra en la Figura 19. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, los canales de video, voz y datos que se van a transmitir, deberán pasar por varias etapas de

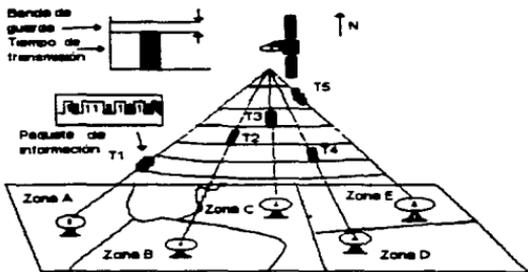


Figure 17. Muestra 5 estaciones terrenas las cuales comparten un mismo transceptor con la técnica de acceso múltiple por división de tiempo.

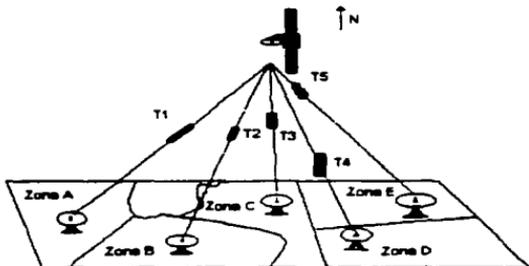


Figure 18. Red de 5 estaciones las cuales comparten un mismo transceptor con la técnica de acceso múltiple con división de tiempo con asignación fije.

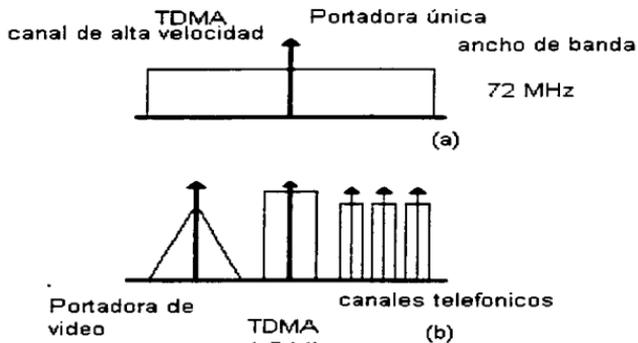


Figura 19. Transponder de 72 MHz el cual utiliza la técnica de TDMA. a) ocupación total canal de alta velocidad, b) ocupación multiple FDMA

procesamiento a partir de su estado de banda base (como son en su forma original), principalmente las etapas de multiplexaje y modulación: por ejemplo un enlace FDM/FM/FDMA, en donde la señal es multiplexada por diferencia de frecuencias, después es modulada en frecuencia a una portadora y posteriormente es accesada al transpondedor del satélite por acceso múltiple por división de frecuencias o tiempos. Otro ejemplo típico es el enlace TDM/QPSK/TDMA, en el que primero son multiplexados varios canales en el tiempo en forma digital, más tarde son modulados digitalmente con desplazamientos de fase en cuadratura con la portadora, y por último son accesadas al satélite mediante el acceso múltiple por división de tiempo.

3.4 Acceso múltiple por diferencia de códigos

Las técnicas FDMA y TDMA son las de mayor uso en los satélites de comunicación comercial, pero existe otro caso en el cual el transpondedor es ocupado en forma compleja por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y tiempo. Esta técnica se llama **CDMA** o **acceso múltiple por división de códigos**, la cual es muy útil en las transmisiones confidenciales o altamente sensibles a la interferencia; al igual que TDMA, es totalmente digital y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras puedan ser muy pequeñas sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy grandes; pero el inconveniente es que ocupan mucho ancho de banda (un transpondedor completo), puesto que cada bit de información que es transmitido como en modalidad TDMA es transformado en un tren de bit muy largo con el código empleado.

En la Figura 20 se ilustra una red, la cual muestra un número de estaciones terrenas que utilizan esta técnica, en donde cada una de ellas utiliza una secuencia diferente de bits para la codificación de sus bits de información; de cada estación receptora, sólo la estación destino conocerá el código para su transmisión, la cual es capaz de reconstruir el mensaje original aunque llegue sobrepuesto con todos los demás mensajes transmitidos en forma simultánea.

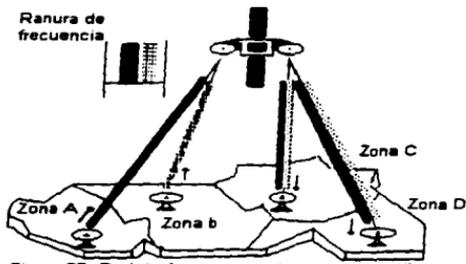


Figura 20. Red de 4 estaciones terrenas que utilizan la técnica de acceso multiple CDMA.

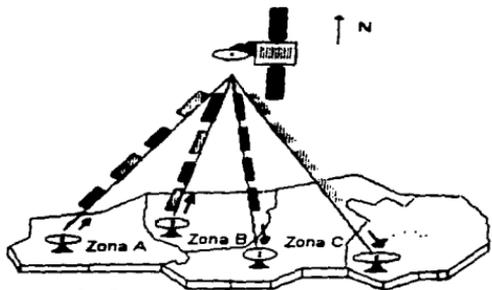


Figura 21. Red de estaciones terrenas accedidas al satélite con la técnica SS/TDMA.

3.5 Acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite

En los tres puntos anteriores se ha visto la utilización de diferentes técnicas de acceso múltiple en los satélites de comunicación. En cualquiera de los tres casos, el satélite sólo cambia la frecuencia de las señales y las amplifica para su retransmisión, sin considerar su contenido (analógicas y digitales) o la técnica de multiplexaje o modulación utilizada, por lo que el satélite funciona sólo como un repetidor, en donde sus transpondedores estarán funcionando con acceso múltiple FDMA o TDMA, o una combinación simultánea de ambos y otros lo harán con CDMA.

En la actualidad, los satélites más modernos se están construyendo con varias antenas de haz pincel, destinadas para cubrir diferentes zonas de la superficie de la Tierra con muy alta densidad de potencia, cada haz está asociado con ciertos receptores y transmisores, lo que permite la conmutación de una parte de la información a otro haz por medio de una matriz de microondas. A este novedoso sistema que es digital, con acceso múltiple TDMA se le denomina como **acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite** o **SS/TDMA** (Figura 21). Los satélites Intelsat VI e Italsat utilizan esta técnica, la cual incrementa la eficiencia de un sistema, debido a que se logra una cobertura total en un territorio dividido en zonas con haces de alta concentración de potencia, en vez de hacerlo con un solo haz de baja intensidad de potencia.

3.6 Frecuencias asignadas y reutilización de frecuencias

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores que son: el ancho de banda y la potencia de los amplificadores. Respecto al ancho de banda, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) asignó para servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka con sus frecuencias centrales asignadas para los enlaces ascendentes y descendentes los cuales se muestran en la Tabla 2. Hay variación entre los límites inferior y superior de cada banda. Las bandas C y Ku son las de más uso comercial, con un ancho de banda asignado de 500 MHz cada una, por lo cual los satélites que

Banda	Enlace ascendente (GHz)	Enlace descendente (GHz)
C: 6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 MHz)
	5.850 - 7.075 (1225 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (1100 MHz)
X: 8/7 GHz	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
Ku: 14/11 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 MHz)
	12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 MHz)	10.700 - 11.700 (1000 MHz)
	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
14/12 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka: 30/20 GHz	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

Tabla 2 Resumen de las frecuencias asignadas a cada banda.

las utilizan operan en este rango de frecuencias; sin embargo, en la actualidad ya se han asignado otras bandas adicionales muy cercanas, cuyo ancho de banda es más amplio (1000 MHz). La banda X es utilizada sólo por satélites militares y gubernamentales. La banda Ka se encuentra en etapa de experimentación, pero en poco tiempo se lanzarán los primeros satélites comerciales que hagan uso de ella, la cual tiene un atractivo ancho de banda de 3500 MHz, pero sus niveles de atenuación para estas frecuencias serán mayores cuando llueve que en la banda C y Ku.

El espectro de radiofrecuencias para este tipo de sistemas es finito, y para incrementar su capacidad se han desarrollado dos técnicas para la utilización de frecuencias por duplicado que son: reutilización con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La *reutilización de frecuencias con aislamiento espacial* se realiza con un subsistema de antenas que produzcan muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si un haz está lo suficientemente separado de otro, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

La *reutilización de frecuencias con discriminación de polaridad*, se efectúa con un mismo haz en forma simultánea a la misma frecuencia, con señales de polarizaciones ortogonales lineales (horizontal y vertical) o circulares (derecha o izquierda). Son muchos los satélites que operan así (Morelos, Intelsat, Spacenet).

4. SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA

Todos los satélites necesitan un suministro de energía eléctrica (sistema de potencia) sin interrupción y sin variaciones en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia que se requiere para cada tipo de satélite dependerá de las características de operación del mismo, y normalmente varía entre 500 y 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica está encargado de

almacenar potencia para operar las cargas, especialmente los amplificadores de potencia que consumen el 70 u 80% de la potencia total útil; además, dicho subsistema esta formado por tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una secundana y un acondicionador de potencia, el cual esta formado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con niveles adecuados a cada parte del satélite. Las primeras horas inmediatas del lanzamiento, la electricidad necesaria es suministrada por las baterias.

La fuente primaria del satélite de comunicaciones está formada por un gran número de arreglos de celdas solares de silicio, conectadas en serie paralelo. La gran desventaja que tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a energía eléctrica es muy pequeña: en un principio era del 8%, ahora se utilizan celdas con un mejor tecnología, que brindan factores de eficiencia del 10 al 12%, ya que aprovechan gran parte del espectro ultravioleta del Sol. En la actualidad se está experimentando con celdas de arseniuro de galio, debido a que este material ofrece una eficiencia del 18%, lo que reduce el número de celdas empleadas, pero tienen la desventaja de que son muy caras y pesadas aunque sean menos dependientes de las condiciones de temperatura.

Se requiere de controles electrónicos para conectar el arreglo solar y las baterias a diversas cargas. Una función de este control es regular la potencia y la carga apropiada de las baterias. En gran parte de los satélites de comunicación se emplea un bus de regulación.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de radiación proveniente del sol que incida sobre ellas, mayor será la cantidad de energía eléctrica que generen, dicho principio también dependerá de la temperatura a la cual estén expuestas las fotoceldas; a menor temperatura de operación de la celda, mayor será el voltaje generado.

Cuando el satélite se encuentra a una unidad astronómica (150 000 000 Km) de distancia del Sol, la intensidad de radiación solar sobre sus celdas es de 1350 watts por cada metro cuadrado de superficie.

Cada celda solar tiene un área de 5 cm cuadrados, las cuales están unidas en arreglos serie-paralelo formando el arreglo solar, como se muestra en la Figura 22. Estas celdas disminuyen su eficiencia conforme va transcurriendo su vida espacial hasta un 30% después de unos 7 años de operación con respecto a su eficiencia original; considerando que la potencia obtenida por las celdas es la décima parte de la energía recibida del Sol, entonces dicho factor está en el rango del 3%.

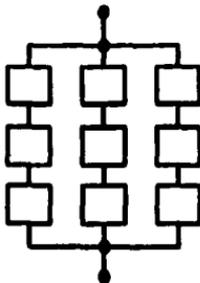
La distancia del satélite al Sol y el aparente movimiento del mismo con respecto al satélite produce que en distintas épocas del año se tenga más o menos energía eléctrica disponible siendo máxima en los equinoccios y mínima en los solsticios.

Existen dos formas de mantener a los satélites geoestacionarios inmóviles en su órbita con respecto a su orientación con la Tierra, a pesar de los efectos que pueda sufrir.

Estas dos formas son: estabilización por giro y estabilización triaxial con cuerpo fijo.

Los satélites de estabilización por giro son de forma cilíndrica, en donde las celdas solares están montadas sobre la mayor parte de su superficie, envolviendo casi en forma total su perímetro, como se observa en la Figura 23. Para este caso no todas las celdas están expuestas a la radiación solar, debido a la parte oculta al Sol y la pared curva del satélite, por lo que tendrá un aprovechamiento de sólo un tercio de toda la energía recolectada por las mismas para la conversión de energía solar a energía eléctrica. Los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial tienen una forma cuadrangular, los cuales se asemejan a un cubo y en cuyas caras laterales se encuentran sus paneles solares extendidos en forma de alas. Este tipo de satélites cuentan en su interior con volantes inerciales que mantienen estable su posición sin necesidad de girar. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo de orientación constante hacia los rayos del Sol, permitiendo una mayor generación de energía y el máximo aprovechamiento de todas las celdas, al igual que la energía que el Sol irradia. Por lo general se opta por ellos cuando los requerimientos de potencia lo exigen (satélites de radiodifusión directa). La configuración del satélite depende de las consideraciones de operación que tendrá, como la de contar con

Ejemplo de una conexión de celdas solares en serie y paralelo



	Montaje cilíndrico	Arreglos desplegados
Control de temperatura	fácil	menos fácil
"Ventanas" libres en la estructura del satélite	difícil	fácil
Área iluminada	aprox. 35%	toda
Potencia obtenible	limitada	ilimitada
Peso por unidad de potencia	≈3 veces más	1
Costo por unidad de potencia	≈3 veces más	1

Figura 22

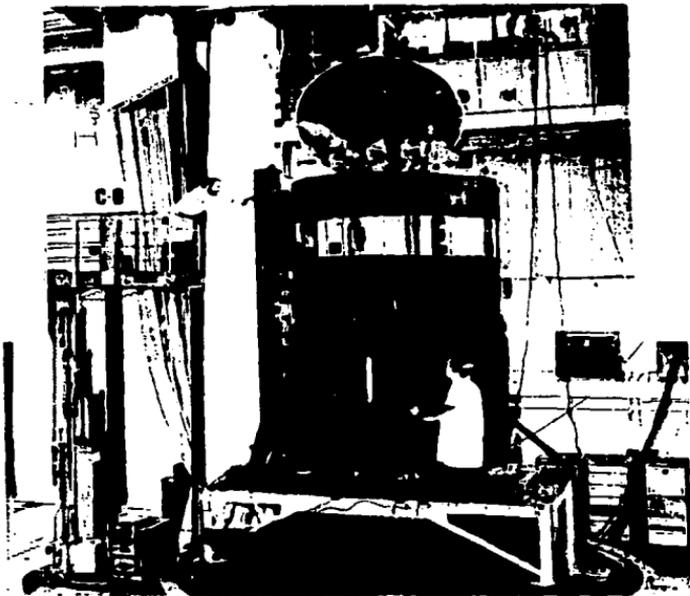


Figura 2.3 Ejemplo de un satélite de configuración cilíndrica con estabilización por giro. El Morelos I tiene sus celdas solares colocadas en dos cilindros que se extienden telescópicamente.

más energía eléctrica disponible para un satélite de estabilización triaxial; pero puede tener sus desventajas, las cuales pueden ser un mal funcionamiento en el despliegue de sus arreglos solares, provocando que el satélite quede fuera de operación; por esta razón en la mayoría de los casos se utilizan satélites de forma cilíndrica (Morelos 1 y 2), ya que este tipo de satélites tienen un sistema de control térmico e inyección de combustible más simple que el de cuerpo fijo.

Fuente secundaria. Está formada por un conjunto de baterías que suministran energía en los momentos en que el satélite entra en la fase oscura de la Tierra durante un eclipse o durante las horas de mayor demanda. Sus relevadores eléctricos detectan la disminución de energía suministrada por las celdas, conectando en forma automática las baterías; de esta forma las baterías se descargan al suministrar su energía a los distintos sistemas que lo necesiten en el satélite, en donde su operación puede ser de unos minutos o de una hora.

Las baterías son recargadas cuando el arreglo solar es expuesto nuevamente a los rayos del Sol. Los eclipses de Tierra y Luna ocurren cuando estos se interponen entre el Sol y el satélite; los eclipses de Tierra sólo ocurren en los 21 días anteriores y posteriores a los equinoccios de primavera y otoño.

Todos los satélites de comunicación en el momento de su lanzamiento no son situados sobre la longitud geográfica de servicio ya que son desplazados al oeste, esto es para prevenir el fenómeno de eclipses, los cuales se producen al filo de la media noche; para la mayoría de los satélites durante la media noche todavía hay una gran demanda de servicio y por esta razón se desplazan hacia el oeste para que dicho fenómeno ocurra más tarde en esa zona de servicio (a la 1 a.m. aproximadamente), así la escasez de energía eléctrica es menos importante y es aprovechada en forma más óptima la potencia de las baterías.

Las baterías que más se utilizan en los satélites geoestacionarios de comunicación son las de níquel-cadmio, las cuales tienen una eficiencia de potencia y peso bastante bajo, pero son muy confiables y de larga duración. Algunos satélites como Intelsat y Spacenet ya han utilizado baterías de otros materiales

como son las de níquel hidrogenado, dado que tienen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores, y quizá, en el transcurso del tiempo serán las más empleadas (año 2000). Este tipo de baterías se muestran en las Figuras 25 y 26.

En la tabla 3 se muestran los requisitos de energía que un satélite necesita.

Tabla 3

	(Equinoccio de otoño)	(Solsticio de verano)	(eclipse)
Comunicaciones	760	769	68
Rastreo, telemetría y comando	39	39	39
Control térmico	136	86	30
Pérdidas de potencia	10	10	9
Baterías de descarga	100	30	—
Control de altitud	48	73	48
Control eléctrico de potencia	9	9	9
Total de carga	1111	1016	903
Potencia de reserva	243	272	76
Potencia total	1354	1288	97

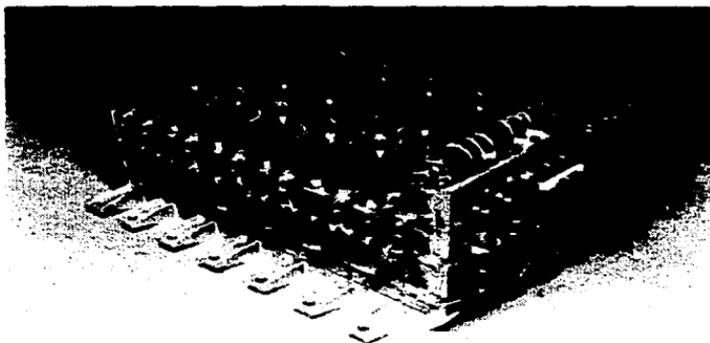


Figura 25 Baterías de níquel-cadmio de un satélite de comunicaciones.



Figura 26 Banco de baterías de níquel-hidrógeno.

5. SUBSISTEMA DE CONTROL TÉRMICO

Los satélites de comunicación como ya se indicó, están formados por varios subsistemas, que trabajan a diferentes temperaturas para operar en forma eficiente, por lo que es necesario tener un balance térmico del conjunto.

Uno de los factores que intervienen en el equilibrio es el calor interior generado por el satélite, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia y la energía que es irradiada por el Sol y la Tierra. La radiación que proviene de la Tierra está compuesta por dos tipos: una es la radiación propia de ella y la otra es la del Sol, la cual se refleja en la superficie. La suma del calor generado en forma interna por el satélite más la absorción de energía del Sol y de la Tierra, menos el calor radiado del satélite hacia el espacio, se debe de mantener lo más constante posible y con pocas variaciones, para que el satélite funcione en forma adecuada.

El control del balance térmico es también importante cuando ocurre un eclipse, ya que el satélite se enfría rápidamente al quedar en la fase oscura, y cuando está de nuevo expuesto a los rayos solares sufre un incremento brusco de temperatura.

Los diseñadores y especialistas de satélites tienen una gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada parte del satélite, por ejemplo, una parte del satélite está cubierta con un gran reflector óptico de cuarzo, que cumple la función de un gran espejo, el cual rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío; dada esta propiedad los amplificadores de potencia están colocados junto a él (Figura 23). Por esta razón la antena está cubierta con un material plástico aislante para su protección (kapton y mylar aluminizado).

Las antenas parabólicas están cubiertas por un material llamado kapton y las antenas de corneta están cubiertas con mylar o kapton aluminizado y algunos equipos internos con kapton, mylar y kevlar.

Los colores también juegan un papel importante en el control térmico del satélite de comunicaciones por sus propiedades de absorción y emisión, por ejemplo, la pintura blanca absorbe la radiación infrarroja de la Tierra pero rechaza el flujo solar; su emisión es muy alta y su absorberencia muy baja, comportándose como un elemento frío frente al Sol. Por otra parte, la pintura negra tiene una emisión alta pero también una absorberencia alta, y cuando esta expuesta al Sol su temperatura es superior a 0 grados centígrados, mientras que la pintura blanca su temperatura será de -50 grados centígrados. Entre otros tipos de acabados también se emplean secciones de pintura aluminizada para tener una gran emisión y una absorberencia baja; los zonas cubiertas con pintura aluminizada son más calientes en la obscuridad donde no inciden los rayos solares. Con la combinación de materiales y colores, y con la ayuda de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva en un nivel adecuado durante la mayor parte del tiempo.

El equilibrio térmico se altera cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución del calor que proviene del Sol, así como el reflejado por la Tierra. Si no se toman las medidas de protección especiales, el satélite sufrirá un cambio térmico muy fuerte, enfriándose de tal manera que los componentes que son sensibles a las bajas temperaturas dejarán de funcionar (baterías), las cuales están encargadas de suministrar la energía necesaria para la operación del satélite durante la fase oscura del eclipse, por lo que es necesario contar con un sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura baja en forma alarmante.

Para evitar este problema se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos funcionan bajo el principio de evaporación y condensación de algún fluido en los extremos de un ducto, en el extremo donde está la fuente de calor (amplificadores de potencia) el fluido se evapora, y en el otro se encuentra un radiador que transmite el calor al exterior del ducto, hacia la parte fría; esto ocasiona que el fluido se condense, pero al recircular en el interior del caloducto pasa de

nuevo a las condiciones de evaporación y así en forma sucesiva. En la Figura 27 se observa un recubrimiento de varios dispositivos del satélite por un material aislante (mylar aluminizado).

6. SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION

El principal objetivo de un satélite de comunicaciones es el de recibir las señales de radiofrecuencia que provienen de la superficie del planeta procesándolas en su interior para más tarde enviarlas a la Tierra, todo esto a través de sus conjuntos de antenas receptoras y retransmisoras; esto no podría suceder si el satélite de comunicación no está bien orientado hacia su zona de servicio. Para que esto sea posible, es necesario tener el control del satélite tanto en su posición como en su orientación hacia la superficie terrestre. Este tipo de control se puede obtener en diferentes tipos de satélites tanto de forma cilíndrica como de paneles extendidos.

Las dos técnicas empleadas para este propósito son: estabilización por giro (satélites cilíndricos) o estabilización triaxial (satélites de paneles extendidos). Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite (parte de su estructura) se encuentra girando para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas para la comunicación permanecen orientadas hacia la superficie de la Tierra. El satélite, al girar sobre su eje, que es paralelo al de la rotación de la Tierra, se vuelve menos vulnerable a las perturbaciones (fuerzas gravitacionales, viento solar, etc.).

Los satélites con estabilización triaxial no giran, y permanecen estáticos con sus largos paneles extendidos en sus caras laterales y sus antenas direccionadas hacia la Tierra. En estos casos la estabilización de la estructura de dicho satélite es conservada mediante volantes giratorios contenidos en su interior, y cuya colocación se realiza en cada eje (x , y , z), tomándose como referencia para definir la orientación del satélite con respecto a la superficie terrestre.



Figura 27. Diferentes tipos de recubrimiento para mantener el equilibrio térmico para un satélite INTELSAT.

Un dato importante para este tipo de satélites es que sus paneles están apuntando hacia cada uno de los polos geográficos de la Tierra.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, es preciso poder determinar en donde se encuentra el satélite y cuál es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer su posición, es necesario medir la distancia a la cual está situado y su ángulo de inclinación con respecto a un punto fijo de referencia sobre la Tierra (centro de control). La distancia es medida transmitiendo una señal piloto en dirección al satélite, la cual retransmitirá después hacia el centro de control, en donde la diferencia que se detecte entre las fases de la señal transmitida y la recibida indicará que tan lejos está el satélite. La medición del ángulo se puede realizar por medio de interferometría, empleando dos estaciones terrenas separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada estación. La técnica de la máxima recepción es otra alternativa empleada para la medición del ángulo, teniendo como ventaja que sólo se emplea una estación; consiste en ir moviendo la antena receptora hacia el satélite hasta detectar el nivel máximo de radiación. Cuando se obtiene la posición de la máxima recepción, se considera que la antena de la estación esta orientada en forma adecuada en dirección del satélite, por lo que se podrá obtener el ángulo y dirección en donde esté situado.

Para conocer la orientación de cuerpo del satélite con respecto a la superficie terrestre, se utilizan sensores de Sol y de Tierra. Los sensores solares son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuyo valor depende de la dirección de la radiación solar en ellos. Los sensores de Tierra son los encargados de medir la cantidad de radiación infrarroja emitida por el planeta, utilizando dispositivos sensibles al calor (termopila). La cantidad de calor recibido por estos dispositivos está en función de la orientación con respecto a la Tierra (Figura 28).

La precisión ofrecida por los sensores de Tierra y Sol para conocer la posición y orientación de un satélite son muy aceptables, pero en la actualidad ya se cuenta con sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena.

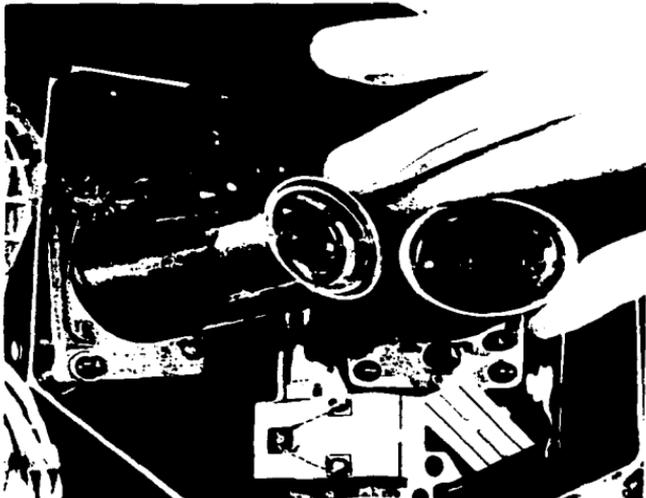


Figura 28 Sensores de Tierra y de Sol para un satélite de comunicaciones

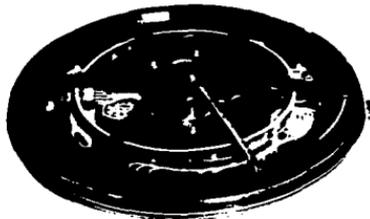


Figura 29 Volante de reacción que contribuirá a conservar el equilibrio de un satélite con estabilización triaxial

además determinan el ángulo que existe entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la trayectoria de las ondas de radio o haz piloto.

El procedimiento de corrección de posición y orientación para el satélite se basa en la comparación de resultados de las mediciones de los sensores con un ciertos valores de referencia considerados como correctos, calculando en forma inmediata las correcciones requeridas para reducir las diferencias, y finalmente efectuarlas con la ayuda de un actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite; el flujo de información correspondiente se realiza por el subsistema de telemetría y comando. Los actuadores mecánicos son volantes giratorios o giroscopios, cuya velocidad de rotación se cambia para producir un par correctivo; también se pueden utilizar bobinas, las cuales generan un campo magnético producido por la presencia del campo gravitacional de la Tierra, obteniéndose el par correctivo deseado, como se muestran en la Figura 29.

7. SUBSISTEMA DE PROPULSION

El subsistema de propulsión funciona bajo el principio de la tercera ley de Newton; mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, se producen fuerzas de empuje en sentido contrario. Existen propulsores químicos y eléctricos, pero los de tipo químico son los más empleados porque proporcionan niveles de empuje mucho más grandes que los de tipo eléctrico.

La eficiencia de un propulsor está basada en su empuje e impulso específico del combustible utilizado. Cada tipo de combustible proporciona un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para crear un incremento de velocidad mayor será el impulso específico. El impulso específico se puede definir como el empuje producido por cada

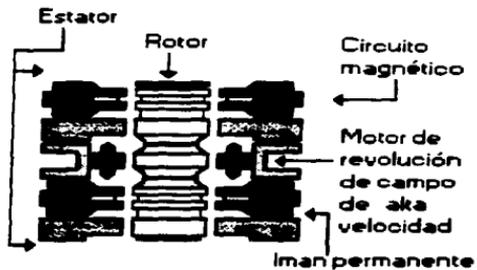


Figura 29a. Corrector de rumbo magnético (giroscopio).

unidad de peso del combustible (propelente) que se consume por segundo en cada empuje característico. Los propulsores de combustible de impulso específico son los más utilizados para reducir el peso del propelente y los gastos de lanzamiento del satélite, realizando empujes más prolongados para dar la velocidad necesaria en la dirección indicada.

El principio básico de operación de los propulsores químicos está basado en la generación de gases a una gran temperatura en el interior de una cámara de combustión, los cuales son acelerados al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo en forma progresiva en su área transversal y ensanchándose al final. Los primeros satélites utilizaron gases fríos (nitrógeno y peróxido de hidrógeno), pero su impulso específico era muy bajo (70 segundos), siendo sustituidos este tipo de gases por **hidrazina monopropelente**. La hidrazina es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador; por este medio la hidrazina se evapora y se descompone en un proceso exotérmico separándose en hidrógeno, nitrógeno y amoníaco a una temperatura de 300 grados centígrados con un impulso de 225 segundos de duración; este impulso es mejorado con solo incrementar la temperatura a un valor de 1000 grados centígrados con la ayuda de calentadores resistivos después de la descomposición catalítica, obteniendo un impulso de 300 segundos de duración, reduciéndose la masa del combustible en el satélite durante el lanzamiento. En la actualidad se están empleando sistemas **bipropelentes**, con los cuales no se emplea un catalizador sino un combustible y un oxidante; al entrar en contacto estas dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin el empleo de un sistema de ignición dando como resultado un impulso del orden de 300 segundos.

La ventaja que ofrece este tipo de propulsores es el diseño de un sistema de propulsión único, que es empleado tanto para la colocación del satélite en su órbita como para maniobras de corrección de orientación y posición, utilizando para esto los mismos tanques de almacenamiento de combustible, haciendo al satélite más ligero, al no utilizar un subsistema de control a reacción independiente en

combinación con un motor de apogeo de combustible sólido. Algunos satélites como el INSAT-1 de la India utilizan esta configuración bipropelente.

En cuanto a los propulsores eléctricos, funcionan bajo el principio de generar un empuje, acelerando una masa ionizada dentro de un campo magnético, pero en la actualidad se encuentra en la etapa de pruebas y desarrollo, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y cesio.

Un diagrama para este tipo de impulsores de hidrazina se muestra en la Figura 30 y 31.

8. SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO (TT y C)

Este subsistema permite el conocimiento a control remoto del funcionamiento y posición del satélite, permitiendo el envío de instrucciones para algún cambio de orientación. El equipo de telemetría y comando cuenta con una gran variedad de sensores instalados en varios puntos de prueba, los cuales miden: voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperatura. Todas las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite a la Tierra con una velocidad de 200 a 1000 bits por cada segundo, permitiendo conocer el estado de operación del satélite con apoyo de la información de rastreo.

El rastreo se efectúa con la transmisión de varias señales piloto llamadas tonos, los cuales son transmitidos por la estación terrena de control en dirección del satélite. Normalmente para el rastreo se utilizan 6 o 7 tonos diferentes, cuya frecuencia es de unos cuantos kilohertz, que son modulados y montados en una señal portadora para la transmisión de regreso a la Tierra, en donde son detectados por el centro de control. La señal recibida en la Tierra es comparada en fase con la transmitida al satélite, y la diferencia permitirá calcular que tan cerca o lejos está, con una exactitud de unos cuantos metros.

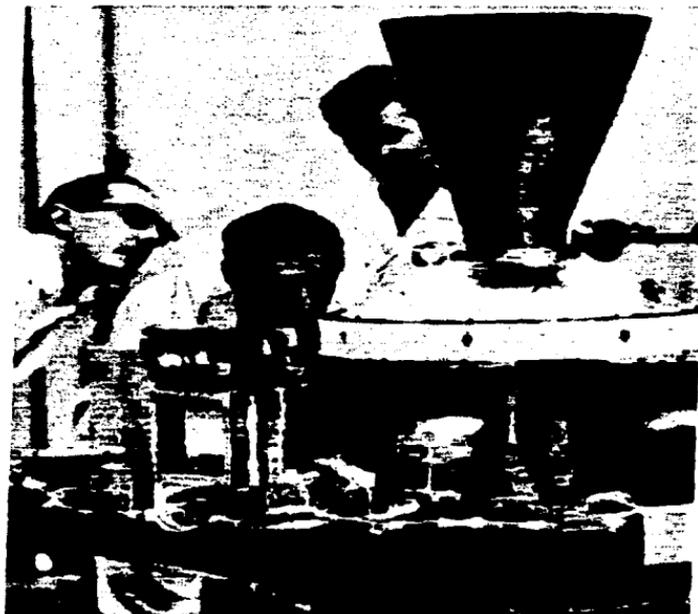


Figura 30. Sistema de propulsión para un satélite de comunicaciones (INTELSAT).

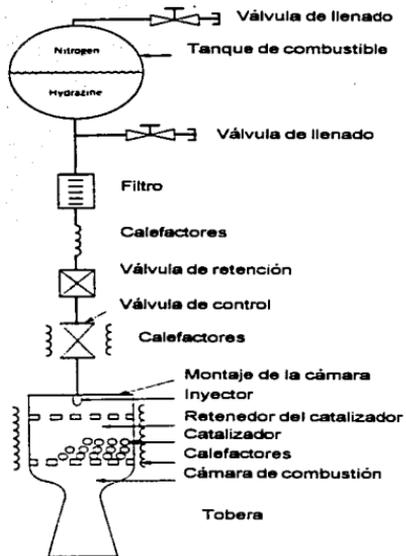


Figura 31 Sistema de propulsión.

Todos los tonos y comandos que el satélite transmite hacia la Tierra se realizan a través de un mismo amplificador operacional el cual se encuentra en el satélite.

Durante la vida de operación del satélite, este amplificador es el mismo de alguno de los transpondedores utilizados para las comunicaciones, ya que las señales transmitidas y recibidas por el subsistema de telemetría, rastreo y comando ocupan muy poco ancho de banda y pueden compartir el mismo amplificador de banda C o Ku con otro tipo de señales. Durante la delicada operación del lanzamiento del satélite, las instrucciones son enviadas por la banda VHF y S, situadas entre los 140 MHz y 2 GHz, y cuya transmisión y recepción es realizada por la antena de rastreo, telemetría y comando.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite tales como: cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algunos interruptores, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura o la colocación en órbita, extender los paneles solares, orientar las antenas y encender el motor de apogeo. La mayoría de estas tareas son hechas automáticamente.

Todas estas señales de comandos son codificadas por cuestiones de seguridad, y la mayor parte de los satélites en operación utilizan una secuencia, en la que primero retransmite los comandos al centro de control que recibió, los cuales son verificados en la Tierra, y si se comprueba que las órdenes fueron recibidas en forma correcta, el centro de control transmitirá la señal de ejecución; al recibir el satélite esta orden realiza en forma inmediata todas las correcciones indicadas en los comandos enviados.

Estas tres funciones son usualmente integradas a un singular sistema y son separadas cuidadosamente de las comunicaciones. En la tabla 4 se muestra su diagrama de operación (TT y C)

En conclusión:

La telemetría es el medio por el cual se verifica la distancia del satélite y son transmitidas a un observador.

El rastreo es realizado observando y acumulando datos para graficar la ruta de movimiento del satélite.
Los comandos son los encargados de establecer y mantener el control del satélite (Figura 32).

Tabla 4 Diagrama funcional de un subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando (TT y C)

Comandos de radiofrecuencia
Recepción de la señal en un gran ángulo de apertura
Banda base de modular (comandos)
Demodular de una banda base de alineación
Procesamiento de comandos
Detección de tonos
Decodificación y verificación de los comandos adecuados
Comandos a ejecutar y a distribuir
Procesamiento de telemetría
Condiciones de datos y multiplexación
Formato de generación de telemetría
Mediciones llevadas a cabo en el momento de la posición
Verificación de comandos y datos
Procesamiento de datos
Telemetría de Rf
Portadora modulada
Generación de la señal de Rf
Transmitir señales (PCM y FM) o de rango de datos
Comandos del satélite, Datos de Telemetría y Rango

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

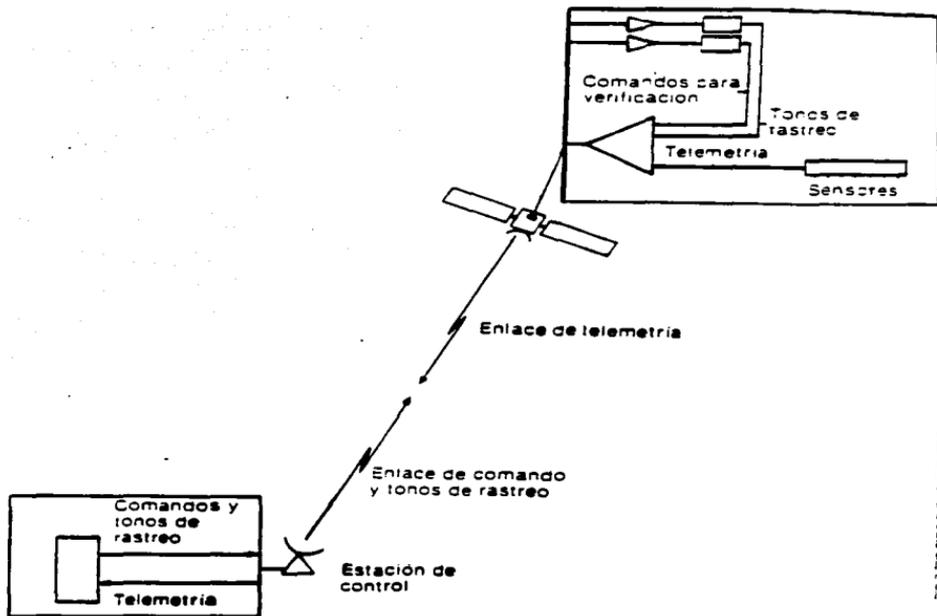


Figura 32 El subsistema de rastreo, telemetría y comando permite conocer y controlar la operación, posición y orientación del satélite.

De la figura 32, un comando originado en el control central del satélite, es enviado a la estación terrena y es entonces transmitida; el comando receptor en el satélite recibe la señal, la demodula y la procesa, después decodifica un comando, verifica la señal, la cual es pasada a la telemetría, retornando al control central del satélite, después de ser verificada es ejecutada desde el control central; el sistema de telemetría acumula los datos de varios sistemas los cuales son procesados a una forma deseada, modulando en radiofrecuencia.

9. SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

La estructura del satélite es el armazón encargado de soportar todos los subsistemas que forman al satélite de comunicación, dándole la rigidez necesaria tanto en la órbita geostacionaria como en el momento del lanzamiento. La estructura del satélite está diseñada para proporcionar un soporte mecánico a todos los componentes y sistemas empleados, así como proporcionar una alineación precisa en donde sea necesario (antenas) y ayudar al control térmico con las propiedades de superficie deseadas como lo muestran las Figuras 33 y 34. La estructura es la encargada de soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se verá sujeto el satélite en el momento que abandone la Tierra, las cuales se muestran en la tabla 5. Tanto la estructura como cada una de sus partes que lo integran deberán resistir durante la puesta en órbita y tiempo de vida útil, por lo que el diseñador cuenta con una gran variedad de materiales para la construcción de la estructura así como muchos conceptos geométricos que se derivan de la experiencia aeronáutica. Los materiales para este fin son: Aluminio, Magnesio, Titanio, Berilio, Acero y plásticos reforzados con fibra de carbono. Dependiendo del diseño, es decir, el número de antenas utilizadas, el tipo de estabilizador y la potencia de los amplificadores, la masa de la estructura varía entre 10 y 20% de la masa total del satélite; gran parte de esa estructura, como son los cilindros o

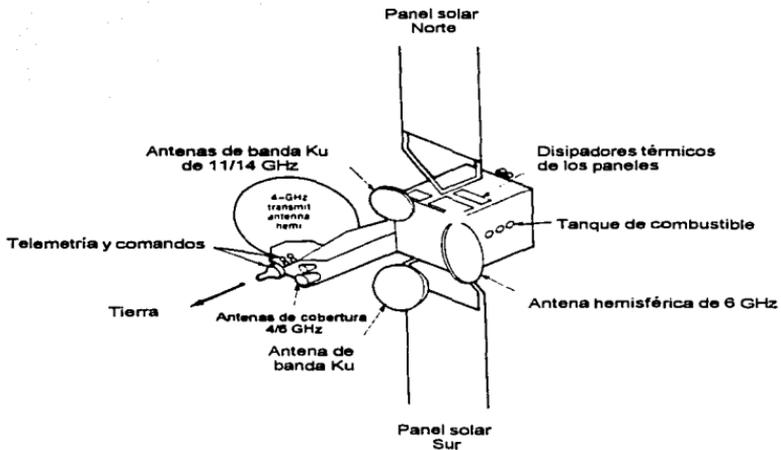


Figura 33 Estructura de un satélite de estabilización triaxial.

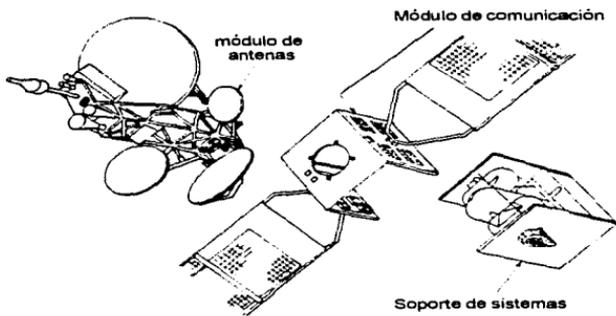


Figura 34 Principales estructuras de un satélite.

las cajas para cada tipo de satélite fueron fabricadas con honeycomb de aluminio dada su rigidez y ligereza.

Tabla 5 Aceleraciones, vibraciones y sacudidas durante el lanzamiento.

- 1.- Sonido acústico.
- 2.- Interface de aceleración senoidal y vibraciones aleatorias.
- 3.- Encendido del motor de apogeo.
- 4.- Sacudidas por la separación de los módulos del cohete.
- 5.- Encendido del motor de perigeo.

La Figura 3-4 muestra la estructura de un satélite de forma cuadrangular, el cual muestra la superficie que soporta el equipo de comunicaciones, tanque de combustible, baterías, así como la estructura en donde están montadas el conjunto de antenas (módulo de antenas); esta estructura de soporte de antenas incluye posición estacionaria para los alimentadores de Rf y despliegue de los reflectores o antenas, así como los arreglos solares, los cuales están plegados durante el lanzamiento. En la tabla 6 se muestra una lista de elementos y materiales que forman la estructura de un satélite de comunicaciones.

Tabla 6 Materiales y elementos que forman la estructura de los satélites

<i>Elementos</i>	<i>Criterio de diseño</i>	<i>Características útiles</i>	<i>Ejemplos de materiales</i>
Estructura	Prevención de vibraciones	Altura de módulo	Mezclas y Berilio
Armazón	Prevención de vibraciones	Altura de módulo	Mezclas y aleaciones especiales (Berilio)
Paneles	Incremento de oscilaciones	Alta conductividad térmica, rigidez	Materiales honeycomb, grafito, resinas, Boro y metal insertado
Abrazaderas	Esfuerzo y concentración de calor	Alta tensión al esfuerzo, alta conductividad térmica	Aluminio y Magnesio para aleaciones; Berilio, grafito y resina (recubrimiento de titanio)

CONCLUSIONES

Los satélites de comunicación se ubican en la intersección de la tecnología del espacio y la tecnología de las telecomunicaciones. La combinación de estos dos elementos ha hecho que la comunicación por satélites sea ya uno de los factores claves en la evolución de las comunicaciones que experimentamos en estos días.

Es obvio que las telecomunicaciones satelitales implican no sólo un alto grado de desarrollo científico y tecnológico, sino una gran habilidad para poder hacer uso de ellas con mayor eficiencia.

El satélite es un canal de comunicación, pero también es una nueva perspectiva desde nos vemos y vemos a los demás. Esto significa indudablemente, un cambio en la mentalidad de nuestros tiempos, cuyos alcances no podemos medir aún con certeza.

La próxima generación de satélites de comunicación podrán realizar enlaces entre ellos mismos, sin necesidad de retransmitir las señales hacia la Tierra, utilizando a bordo microcomputadoras para hacer más eficiente y rápidas las técnicas de conmutación. Serán sistemas muy flexibles que potenciarán la conexión de cualquier punto a otro dentro del área cubierta, ofreciendo la posibilidad de asignar dinámicamente la capacidad del satélite de acuerdo con la demanda del tráfico.

Este tipo de satélites, con una mayor potencia, antenas de haces múltiples y equipos de conmutación más avanzados, harán posible la introducción de nuevos servicios, excluyendo así los costos de las conexiones terrestres y la posibilidad de dar un servicio directo en forma económica a comunidades pequeñas e inaccesibles.

El presente trabajo tuvo como principal objetivo dar una explicación en forma general, dada la extensión y complejidad que representan los satélites de comunicación y sus funciones. Debido a esto, todos los puntos que abarcan este trabajo fueron expuestos de una manera breve y sencilla, mencionándose así las características más relevantes de cada uno de los subsistemas que conforman a un satélite de comunicaciones.

Glosario

<i>CD</i>	Corriente Directa
<i>CDMA</i>	Acceso Múltiple por División de Códigos
<i>Cinturón de Clarke</i>	Orbita geostacionaria localizada a una distancia de 35788 Km sobre el nivel del mar (órbita situada en el plano ecuatorial)
<i>DAMA</i>	Acceso Múltiple de Asignación por Demanda
<i>Espectro de frecuencia</i>	Gama de frecuencias que puede transmitir una señal característica
<i>Fuentes primarias</i>	Fuentes principales de suministro de energía (paneles solares)
<i>FDM</i>	Multiplexaje por División de Frecuencias
<i>FDMA</i>	Acceso Múltiple por División de Frecuencias
<i>FM</i>	Modulación por Frecuencia
<i>INTELSAT</i>	Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite
<i>LNA</i>	Amplificador de bajo ruido
<i>MCPC</i>	Portadora Multicanal (o múltiple)
<i>QPSK</i>	Desplazamiento de Fase en Cuadratura a la Portadora
<i>RF</i>	Radio Frecuencia
<i>SCPC</i>	Canal Único por Portadora
<i>SS / TDMA</i>	Acceso Múltiple por División en el Tiempo con Conmutación Satelital
<i>TDMA</i>	Acceso Múltiple por División en el Tiempo
<i>TDM</i>	Multiplexaje por División de Tiempo
<i>TWT</i>	Tubo de Propagación de Onda (Amplificador de potencia)
<i>TT y C</i>	Telemetría, Rastreo y Comando
<i>UIT</i>	Unión Internacional de Telecomunicaciones.

BIBLIOGRAFIA

Comunications Satellite Handbook
Walter L. Morgan & Gary D Gordon
Jhon Wiley & Son

Satellite Communications
Timothy Pratt and Charles W. Bostian
Department of Electrical
Jhon Wiley & Son

The Communications Satellite
Mark Williamson
Adam Hilger

Satélites de Comunicaciones
Rodolfo Neri Vela
Mc Graw Hill

Satélites de Comunicación
Edward W. Ploman
G. Gili, S.A.

El Universo
Robin Kerrod
Circulo de Lectores, S.A.