

37
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**COMUNICACIONES. ESTRUCTURA Y
FUNCIONAMIENTO DE UN SATELITE DE
COMUNICACIONES**

**TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA
P R E S E N T A I
LUIS RAUL FLORES CORONEL**

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



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-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario: Comunicaciones. Estructura y Funcionamiento de un Satélite de Comunicación.

que presenta el pasante: Flores Coronel Luis Raul
con número de cuenta: 8527977-9 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"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 27 de MARZO de 1986

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>II</u>	<u>Ing. JUAN González Vega</u>	
<u>III</u>	<u>Ing. Francisco Tallitua López</u>	
<u>IV</u>	<u>Ing. José López Sánchez Pérez</u>	

DEP/VBOSEN

Agradezco al todo poderoso el haberme permitido y dado la paciencia necesaria para realizar este trabajo así como a mis padres el haberme dado el apoyo necesario y haberme tenido la paciencia para poder terminar mis estudios de Ingeniería en la UNAM.

Así como a todos aquellos que han confiado en mí durante este recorrido, maestros, amigos y hermanos. y al puiide el haberme permitido utilizar sus instalaciones para realizar mi trabajo.

Dedico este trabajo a mis padres: Raúl y Martha principalmente y a mis hermanos por el apoyo y paciencia que me han tenido durante mis estudios. Así como a mis maestros por sus conocimientos que me dieron durante mi estancia como estudiante (Primaria, Secundaria, Preparatoria y Universidad. y a mis valientes compañeros que me han acompañado durante este recorrido cuyo lema es de intentar e intentar hasta alcanzar el objetivo señalado.

INTRODUCCION	1
1. SISTEMAS QUE FORMAN LOS SATELITES DE COMUNICACION	2
2. SISTEMAS DE ANTENAS	3
3. SISTEMA DE COMUNICACIONES	8
3.1 CONCEPTOS GENERALES	8
3.2 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIAS	22
3.3 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPOS	25
3.4 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGOS	27
3.5 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN TIEMPO CON CONMUTACION EN EL SATELITE	27
3.6 FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACION DE FRECUENCIA	28
4. SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA	29
5. SISTEMAS DE CONTROL TERMICO	34
6. SISTEMAS DE POSICION Y ORIENTACION	36
7. SISTEMAS DE PROPULSION	39
8. SISTEMAS DE RASTREO, TELEMETRIA, COMANDOS	40
9. SISTEMA DE ESTRUCTURA DEL SATELITE DE COMUNICACION	43
CONCLUSIONES	46
GLOSARIO	47
BIBLIOGRAFIA	48

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES DE COMUNICACION

INTRODUCCION

Los satélites de comunicación son un conjunto de sistemas que comprenden una gran variedad de dispositivos electrónicos y mecánicos los cuales se emplean en la comunicación de información entre dos o mas puntos sobre la superficie de la tierra, por esta razón, este tipo de sistemas es el más empleado en la transmisión de información de grandes volúmenes de datos a distintos puntos sobre la tierra. Por este medio, las grandes distancias entre cada punto de transmisión y recepción se consideran insignificantes en comparación con el gran potencial que ofrece este tipo de sistemas que forman en conjunto al satélite de comunicación.

Para que el satélite de comunicación este funcionando en forma adecuada durante la transmisión de información, debe estar siempre orientado hacia uno o mas puntos sobre la superficie de la tierra. Este tipo de sistemas deberá cumplir con las siguientes consideraciones, las cuales serán mencionadas a continuación:

1. que el satélite este siempre sobre el mismo punto o zona de servicio, para que el satélite este fijo con respecto a la tierra o que este geoestacionario;
2. deberá desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra, y que no pierda altura en forma progresiva;
3. que complete una vuelta cada 24 horas y deberá estar situado a una distancia cercana a los 36000 Km de altura sobre el nivel del mar para que el satélite tenga una velocidad de rotación constante de 3075 metros por segundo, el cual deberá seguir una órbita circular al rededor de la tierra (plano ecuatorial). Este tipo de órbita geoestacionaria también se le llama como cinturón de Clarke la cual se muestra en la figura 1. En la actualidad esta órbita es la más

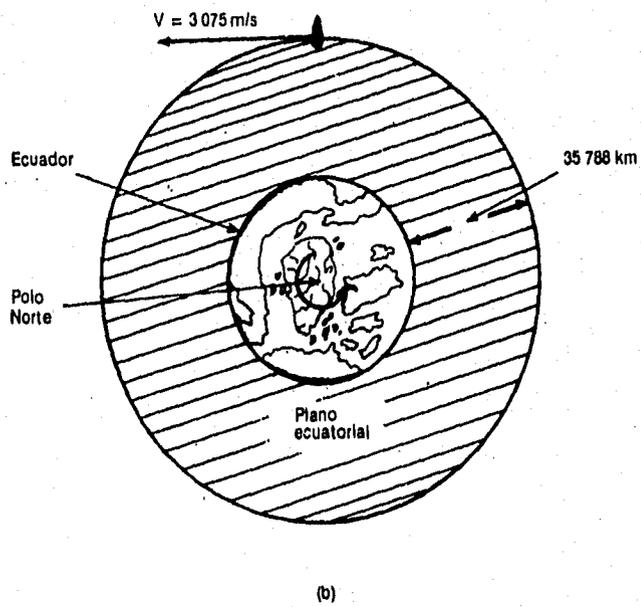
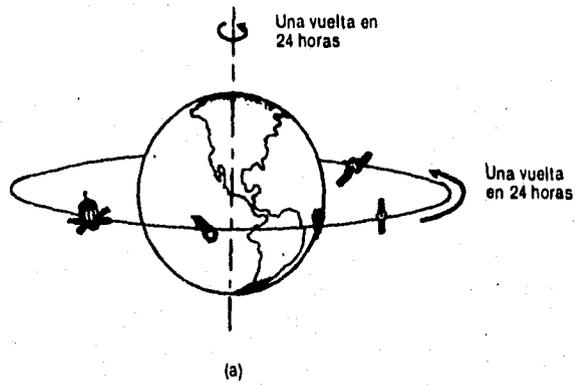


Figura 1. Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven. a) Vista lateral; b) vista superior.

congestionada alrededor de la tierra para los satélites por sus grandes ventajas, donde se encuentran todo tipo de satélites (de comunicación, meteorológicos, militares, etc.). En la figura 2 y 3 se muestra dos tipos de satélites de forma cilíndrica.

La vida de duración de un satélite de comunicaciones es aquella donde dicho satélite aun es operable (transmisión de comunicaciones) la cual varia; en un principio su vida útil de los satélites era de algunos meses a 1 año, pero con los alcances tecnológicos se incremento a 4 años pero en la actualidad se tienen satélites con una vida útil de 8 y 14 años de duración. En la mayoría de los casos esta vida útil también esta 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 calculado, por lo cual puede incrementar su vida útil de 1 a 2 años.

Los satélites de comunicaciones en su estructura estan contituidos por 2 plataformas principales: Modulo de antenas y estructura externa.

Modulo de antenas. Es el encargado de soportar todo el conjunto de antenas así como el despliegue del mismo hasta su posición final.

Estructura externa. Es el armazon principal que soporta todo el peso de los dispositivos electrónicos y mecánicos que componen a los diferentes sistemas que conforman al satélite.

1. SISTEMAS QUE FORMAN LOS SATELITES DE COMUNICACION

Los satélites de comunicación, como ya se menciona, son sistemas muy complejos y delicados los cuales deben cumplir su función en forma sincronizada para tener un buen funcionamiento. Los sistema de energia suministran la energia necesaria para su funcionamiento así como disipar el

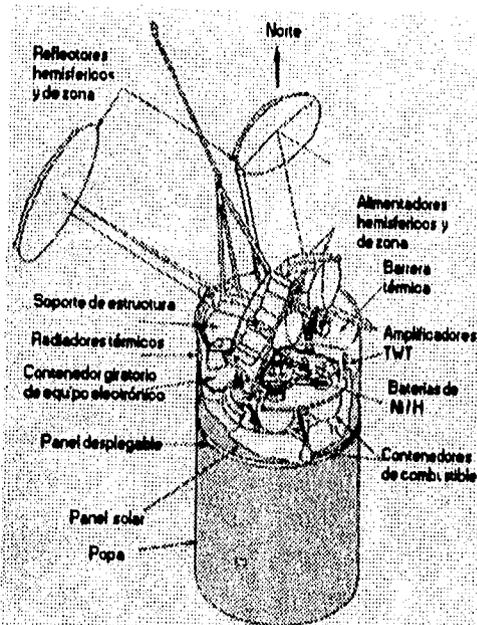


Figura 2. Satélite INTELSAT IV

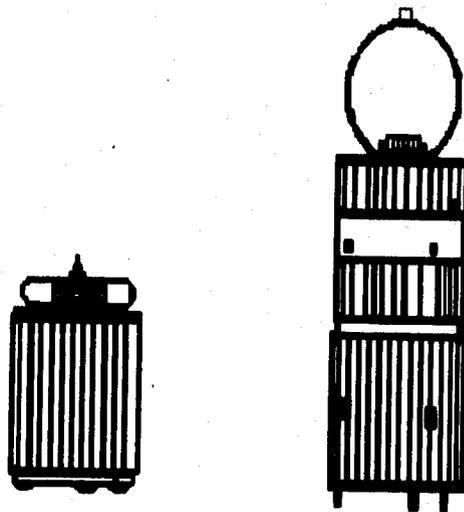


Figura 3. Satélite Morelos 1

calor (control térmico) tanto interior como exterior (radiación solar), corregir sus movimientos, así como mantener su equilibrio y poder regular su temperatura y tener una gran resistencia al medio ambiente donde éste (el espacio exterior) por estas razones los satélites están equipados con un gran número de sistemas los cuales se describen en la tabla 1.

2. SISTEMAS DE ANTENAS

Las antenas del satélite son las encargadas de recibir todas las señales de radiofrecuencias provenientes de las estaciones terrenas transmisoras siendo el medio por el cual la señal electromagnética penetra al sistema de comunicación para su procesamiento en el satélite de comunicación.

TABLA 1 SISTEMAS QUE CONFORMAN LOS SATELITES DE COMUNICACION

SISTEMAS	FUNCION
1.-Antenas	Reciben y transmiten señales de radiofrecuencia.
2.-Comunicaciones	Es el que se encarga de amplificar y cambiar de la frecuencia de la señal recibida.
3.-Energía Eléctrica	Es el encargado de suministrar la energía eléctrica en los niveles adecuados de corriente y voltaje.
4.-Control Térmico	Regula la temperatura del conjunto (temperatura interna y externa).
5.-Posición y Orientación	Determina la posición y orientación del satélite.
6.-Propulsión	Proporciona incrementos de velocidad y pares de impulso para corregir la posición y orientación.
7.-Rastreo, Telemetría y Comandos	Es el sistema que se encarga de intercambiar información con el centro de control en tierra para mantener en funcionamiento el satélite.
8.-Estructura	Es la parte más robusta donde se alojan todos los equipos que componen los sistemas del satélite.

Todas las señales que recibe el satélite por sus antenas son procesadas. Este proceso consiste en su gran mayoría de los casos en amplificar la señal recibida y cambiar se frecuencia para su retransmisión hacia la tierra , concentradas en un haz de muy alta potencia. En algunos casos las antenas que reciben son diferentes de las que transmiten, pero en otros casos la misma antena que recibe es la misma que transmite en forma simultánea (al mismo tiempo) utilizando para lograr esto frecuencias y elementos de alimentación diferentes . Los elementos de alimentación también son conocidos como alimentadores . los cuales son en la mayoría de los casos antenas de cometa conectados a guías de onda los cuales emiten energía hacia un reflector parabólico o en su defecto captan la energía proveniente de esta última para ser entregados a los equipos de receptores .

En el caso que el sistema de antenas falle o que no estuviera bien orientado hacia la superficie terrestre en cuestión no sería posible la transmisión de información en forma correcta desde el satélite ni recibir las señales provenientes de alguna estación terrena.

Las antenas del satélite de comunicación son el puerto de acceso o la etapa de transformación entre la señal electromagnética que viaja por el espacio libre y la señal o señales que circulan en el interior del satélite por varios de sus componentes del sistema de comunicación.

Las antenas del satélite son de distintos tamaños, configuraciones y acabados; según la frecuencia a la que estén trabajando y la cobertura que deberán tener sobre cierta zona geográfica de la superficie de tierra .

Debido a esto los satélites utilizan antenas de diferentes tamaños por ejemplo antenas parabólicas, la razón más importantes de utilizar antenas de distintos tamaños es que una antena de dimensiones pequeñas tiene la particularidad de poder recibir y transmitir dentro de una superficie territorial muy grande

mientras por el contrario una antena de mayor tamaño que este operando a la misma frecuencia solamente podrá realizarlo dentro de una zona geográfica mas pequeña, pero la ventaja para este tipo de antenas de mayor tamaño es que tienen la propiedad de una mayor capacidad para poder concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas pero que las irradia con un nivel muy alto de densidad de potencia, esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas.

Por otra parte cuando mayor sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor será su capacidad de concentración de energía siendo esta una de las características importantes de este tipo de antenas .

Un factor importante para una antena de comunicación son sus dimensiones eléctricas la cual se mencionara en seguida.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda de la frecuencia a la cual esta operando , lo que se traduce como 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 trabaja o irradia a una frecuencia de 11 GHZ lo realiza dentro de un haz de iluminación más angosto que como lo haría si tuviera que trabajar a una frecuencia de 4 GHZ, simplemente por que cuando más alta es la frecuencia su longitud de onda electromagnética es más corta y el tamaño eléctrico de la antena se incrementa.

Un factor interesante sobre de las antenas es que sus propiedades son reciprocas , esto es que tienen las mismas impedancias y radiación, tanto para transmitir y recibir la misma frecuencia, las principales antenas de los satélites son las de reflector parabólico. La ganancia de la antena se expresa como:

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2$$

donde λ = longitud de onda

A_e = área efectiva de la antena

También la ganancia de la antena dependerá del modo en que la energía de alimentación se difunda sobre el reflector, esta distribución deberá ser uniforme. Como se a mencionado anteriormente los satélites de comunicación están constituidos por un conjunto de varios tipos de antenas y de diferentes tamaños. En la actualidad se tienen satélites con varios arreglos de antenas los cuales pueden contar 2, 4 y 8 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 comandos.

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

- 1.- Antenas de tipo de haz global (antenas de cometa)
- 2.- Antenas de tipo de haz hemisférico (antenas de plato o parabólicas)
- 3.- Antenas para cobertura de zona (tipo parabólico o de tipo planar)
- 4.- Antenas de cobertura puntual o haz puntual (tipo parabólico)
- 5.- Antena de telemetría y comando (de tipo monopolar o biconica)

Antenas de tipo de haz global. Son antenas de cometa, tienen la forma de un cono y están conectado a un tubo o guías de onda. Este tipo de antenas cubren 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 la zona de servicio y

también pueden transmitir hacia cualquier estación receptora que este dentro de la huella de iluminación del satélite sus frecuencias de operación están dentro de la banda Ku y C (Figura 4).

Antenas de haz hemisférico. Las cuales son de forma parabólica y son aquellas que 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 una zona característica sobre la superficie de la tierra para este caso su huella de iluminación es mucho más pequeña que las de tipo hemisférico su frecuencia de operación es la de la banda C.

Antenas de tipo puntual (haz pincel). Son antenas de tipo parabólico las cuales tienen la particularidad de poder concentrar su potencia en un punto sobre la superficie de la tierra en comparación con las dimensiones del planeta pueden y transmiten dentro de la banda de frecuencia (banda Ku). Su haz de contorno es mucho más angosto en comparación con el de las otras antenas del satélite.

Antena de telemetría y Comando. Hasta este momento solo se ha mencionado las antenas para la comunicación del satélite pero existe otro tipo de antena de gran importancia que no tiene que ver con la comunicación del satélite, sino se trata de la antena de telemetría y comando, la cual se encarga de recibir las señales que contienen las ordenes emitidas por el centro de control en tierra (utiliza la banda de frecuencias de VHF y UHF), para que se pueda efectuar alguna corrección a bordo del satélite y también es responsable de enviar al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todos los sistemas del satélite.

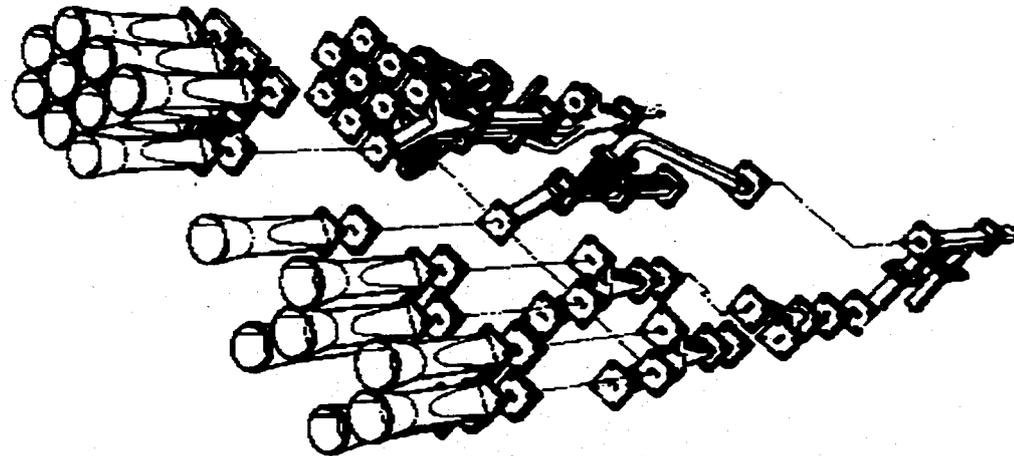


Figura 4. Muestra un arreglo de antenas de cometa las cuales esta conectadas a los alimentadores y a los tubos de guia de onda

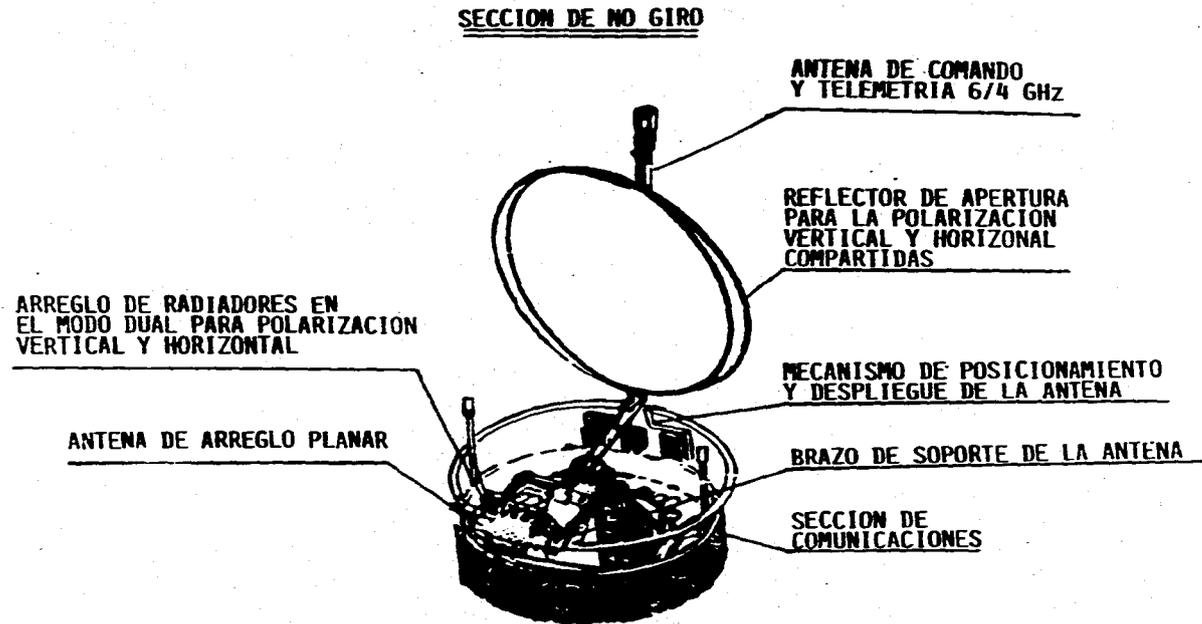


Figura 5. En la cual muestra los tipos mas caracteristicos de antenas (antena de arreglo planar, antena de reflector, antena de Telemetria y Comandos.

Esta antena (Telemetría y Comando) no es de tipo parabólico ni de cometa ya que estas son muy direccionables, sino es una antena biconica cuya radiación es casi omnidireccional, es decir, que emite más o menos con la misma intensidad en todas las direcciones, de esta forma cuando el satélite cambie en forma brusca su orientación, su comunicación con el centro de mando no se interrumpe y se sigue teniendo el control sobre el.

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 solo en casos extremos y durante el lanzamiento y colocación en órbita del satélite.

Como sea mencionado anteriormente las antenas del satélite cubren la tierra o la superficie terrestre con un huella de iluminación la cual esta limitada por un contorno irregular, la irregularidad de estos contornos esta hecha deliberadamente por los diseñadores de las antenas del satélite, pero es más fácil la construcción de antenas cuya huella de iluminación sea un círculo o elipse, ya que de esta forma no se desperdicia la potencia que se transmite a puntos geográficos en donde no exista alguna estación terrena transmisora o receptora por lo cual se aprovecha mejor la concentración de energía para que ilumine sólo los lugares geográficos con mayor demanda.

Por lo cual se deduce que la huella de iluminación es la intersección del haz radiado por la antena con la superficie de la Tierra (Figura 6).

3. SISTEMAS DE COMUNICACIONES

3.1 Conceptos Generales

Todas las señales de comunicación que provienen de la Tierra son recibidas por las antenas del satélite las cuales son procesadas en su interior para

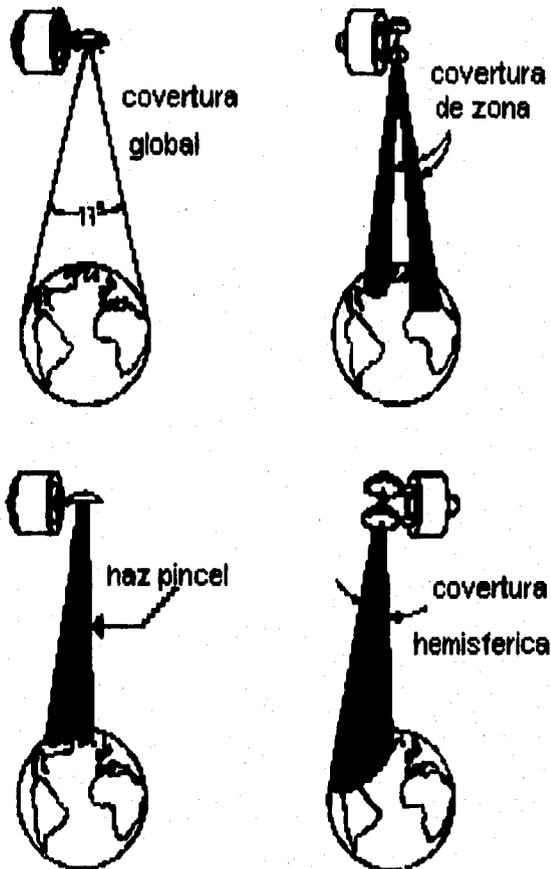


Figura 6 Diferentes coberturas para antenas

poder ser retransmitidas hacia la Tierra, estos procesos son realizados por el sistema de comunicación del satélite.

Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado para que pueda ser recibida a su regreso con la mejor calidad posible. Así como cambiar las frecuencias, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que este llegando en forma simultánea. El sistema de comunicación realiza este tipo de funciones con la utilización de dispositivos tales como filtros, amplificadores de potencia y de bajo ruido, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores los cuales se muestran en la siguiente figura 7.

En todos los satélites de comunicaciones estos sistemas o dispositivos empleados se instalan repetidos para que en el supuesto caso que uno de estos este fallando o falle, se tenga la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y las de transmisión, para realizar este tipo de maniobras se utiliza o se cuenta con conmutadores los cuales se encargan de poder realizar la conexión o desconexión de un elemento a otro.

Un **Transponder** es una ranura de frecuencia en la cual podemos accesar 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. El transponder esta formado por una gama de dispositivos electrónicos los cuales se mencionan a continuación . Amplificador de bajo ruido, Amplificador de potencia, Convertidor de frecuencias, Demultiplexor, Atenuador variable, amplificadores de potencia, Multiplexor y el grupo de antenas receptoras y retransmisoras.

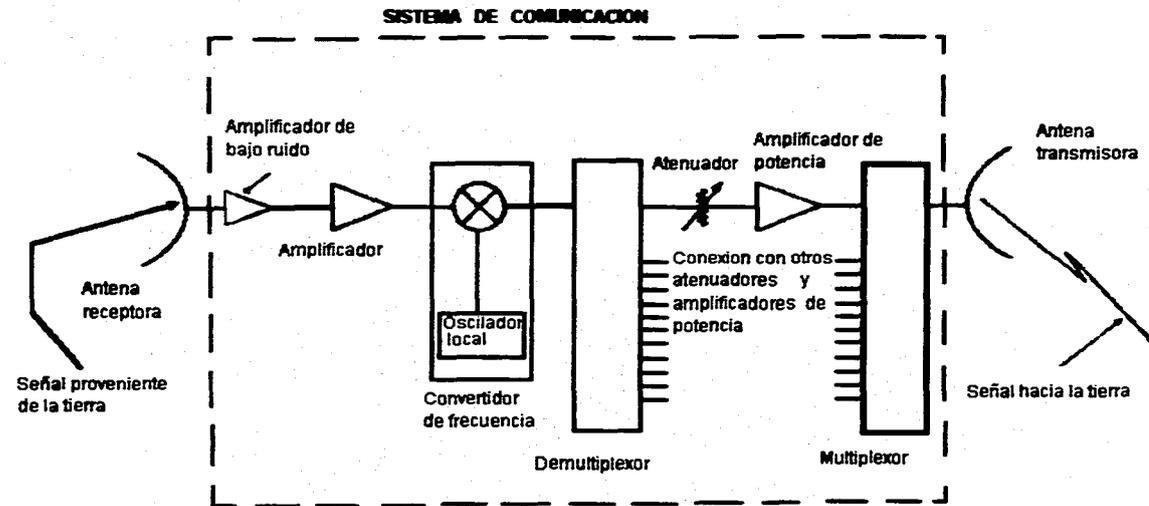


Figura 7. Diagrama a bloque de un transponder para un satélite de comunicaciones.

Por lo que es evidente que los sistemas de comunicación de los satélites cuentan con varios transpondedores cuyo número dependerá del tipo de satélite.

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 la función que realizan. Este tipo de sistemas son de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones los cuales se encargan de planear las trayectorias en las cuales deben ir los servicios (canales de televisión, canales telefónicos y de datos) así como su potencia correspondiente y el espacio ocupado en cada amplificador.

Las señales que son transmitidas desde tierra que entran por el conjunto de antenas (antenas receptoras) están compuestas por varios canales de televisión, de teléfono y de datos los cuales son enviados por frecuencias diferentes. El rango de frecuencias existentes entre la frecuencia más baja y la frecuencia más alta de las que se transmiten por el satélite de comunicación 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 poder trabajar de igual manera dentro de un mayor rango de frecuencias, podrá recibir mayor número de canales tanto telefónicos, televisión y de datos que con un ancho de banda menor.

Por este motivo los satélites de comunicación pueden recibir una gran gama de frecuencias las cuales son amplificadas por separado en distintos transpondedores. Por lo cual 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

funcionan en la actualidad dentro de la gama de frecuencias de la banda C y banda Ku, en cada una de estas bandas el ancho de banda de operación es de 500 MHz para la transmisión y recepción.

En la actualidad existen satélites denominados Híbridos los cuales están dotados con los equipos necesarios para poder trabajar en forma simultánea tanto en banda C como en banda Ku por lo cual su capacidad se duplica en el manejo de canales en forma simultánea.

En la banda C las frecuencias utilizadas 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 el rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda pero cuyo límite inferior y superior se encuentran dentro de los límites de 3.70 y 4.20 GHz con una frecuencia central de 3.95 GHz y por último todas estas señales contenidas en esta última gama de frecuencias son entregadas a la antena transmisora, 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 igual que el de la banda C solo que las frecuencias tierra-satélite están en el rango de frecuencias de 14.0 y 14.5 GHz con una frecuencia central de 14.25 GHz y las frecuencias de 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. La razón es la siguiente: cada

uno esta diseñado para trabajar en banda C y el otro en banda Ku. Por este motivo es fácil suponer que al duplicar su capacidad de trabajo es necesario que este tipo de satélite requiera más energía eléctrica, y por consiguiente es necesario de disponer de más metros cuadrados de celdas solares para poder realizar la conversión suficiente de energía solar en energía eléctrica.

Cuando un canal de televisión es transmitido por el satélite, dicho canal es modulado en frecuencia y solo ocupara 36 MHz de los 500 MHz del ancho de banda disponible y técnicamente esta ocupación es realizada o puede hacerse en cualquier parte de este rango de frecuencia. Por esta razón el ancho de banda del 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 de un ancho de banda de un satélite en 12 ranuras o espacios iguales de 36 MHz de ancho de banda 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, de telefonía y datos). Cada ranura tiene la capacidad 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 es posible que en cada ranura se tengan 2 o más canales presentes en ella pero este es un caso especial.

Debido a que las antenas del satélite pueden captar en forma simultánea una gran gama de frecuencias en forma simultánea, para el grupo de antenas esto no es un problema; pero no es muy sencillo la construcción de dispositivos electrónicos de alta potencia que realicen las funciones de amplificación en forma correcta con todas esas señales en forma simultánea. Por lo cual es necesario aislar cada señal para poder procesarlas y amplificarlas por separado, y esta es una de las razones importantes por las cuales se divide el

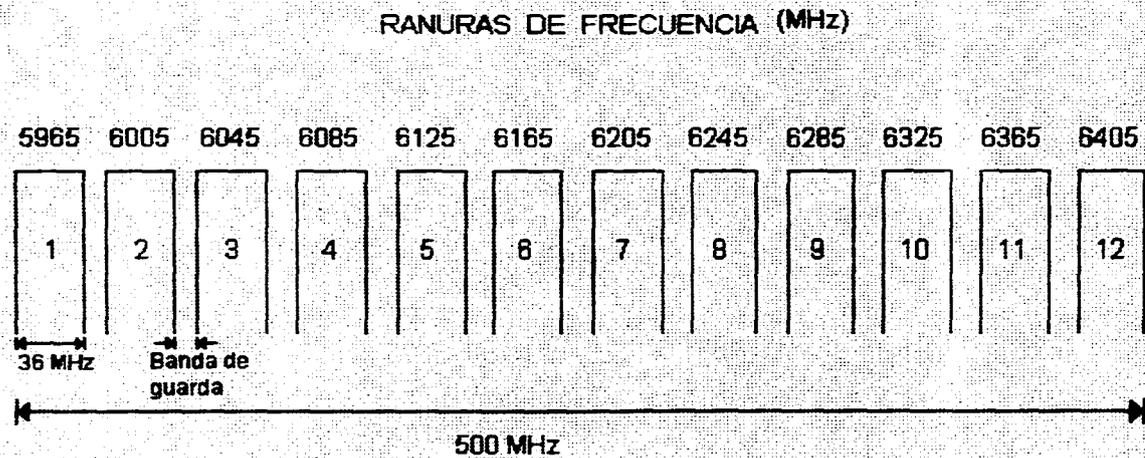


Figura 8. Ancho de banda de un satélite de comunicaciones el cual opera dentro de la banda de C, el cual esta dividido de 12 transponder de 36MHz con su banda central de operación.

ancho de banda del satélite en transpondedores. Al final 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 pasa la señal 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 poder generar poco ruido interno, que es sumado a la señal original que entra por el amplificador. Todos los dispositivos electrónicos generan ruido internamente provocado por su calentamiento, este término es empleado para identificar las señales nuevas de diversas frecuencias que son generadas indeseablemente por el aparato. En el caso que estas nuevas señales que son ajenas a la información original sean muy grandes o intensas al ser sumadas con la señal de información, se puede alterar su contenido. Esta etapa de amplificación es una de las más importantes por que la señal que recibe el conjunto de antenas es muy débil debido al largo recorrido desde la superficie del planeta hasta el satélite cuya distancia es de aproximadamente 36000 Km, por esta razón su nivel de potencia es muy bajo y también es muy importante que el ruido generado por este 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 muy grande de 500 MHz por lo cual es capaz de poder amplificar en forma simultánea todas las señales que reciba 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 realizan en el sistema de comunicación. 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) esto es para evitar que exista una posible falla.

Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente pero con muy poca potencia de ruido continuará su recorrido a lo largo de la trayectoria del transpondedor, en las etapas siguientes de amplificación se le estará introduciendo un poco más de ruido pero su efecto ya no será tan dañino como hubiera sido en la primera etapa de amplificación porque ahora estará vigorizada con un nivel más alto de potencia la cual la hará menos vulnerable al ruido generado. Después de que ya alcanzó un nivel adecuado de potencia, la señal en cuestión es tomada a otro nuevo dispositivo el cual se denomina convertidor de frecuencia.

Convertidor de frecuencia, el cual esta constituido por un oscilador local el cual resta la señal que entra por otra que se genera internamente. Las señales resultantes son similares a las que entraron provenientes del conjunto de antenas del satélite, donde la información contenida es la misma pero su frecuencia fue desplazada a un rango mas bajo de frecuencia del 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 bloques, los cuales pueden contener canales de televisión, de telefonía y algún paquete de datos de alta velocidad, esta separación es realizada por el demultiplexor.

El **demultiplexor** es un dispositivo electrónico el cual esta dotado por una entrada y varias salidas; por su entrada entran todas las señales completas a una frecuencia de por ejemplo de 4 GHz con un ancho de banda de 500 MHz y en el interior del mismo son separadas.

Los canales son separados en bloques de 36 MHz cada uno los cuales salen por las diferentes salidas del demultiplexor, después de este proceso todos los

bloques serán de nueva cuenta amplificados por un grupo de amplificadores de alta potencia. En donde la potencia de entrada para cada amplificador es regulada por un atenuador variable que esta a la entrada del amplificador de potencia.

Atenuador variable, el cual es en su forma más simple una resistencia variable la cual es empleada para disminuir a control remoto y en distinto grado la intensidad de la señal del bloque 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. Dicha regulación permite al amplificador poder trabajar en distintos puntos de operación (controla la cantidad de potencia que salga de él). Pero si se considera que la potencia de la señal llega muy baja al satélite y que este tiene una capacidad limitada de potencia, aparentemente no será 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 señal que entra deberá tener un valor determinado; este tipo de puntos de operación se muestra en la figura 9.

El amplificador de potencia (alta potencia) es el encargado de darle 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 para que luego sean retransmitidos. Unos de los amplificadores de potencia más empleados son los tubos de propagación de ondas (T.W.T) y los de estado sólido.

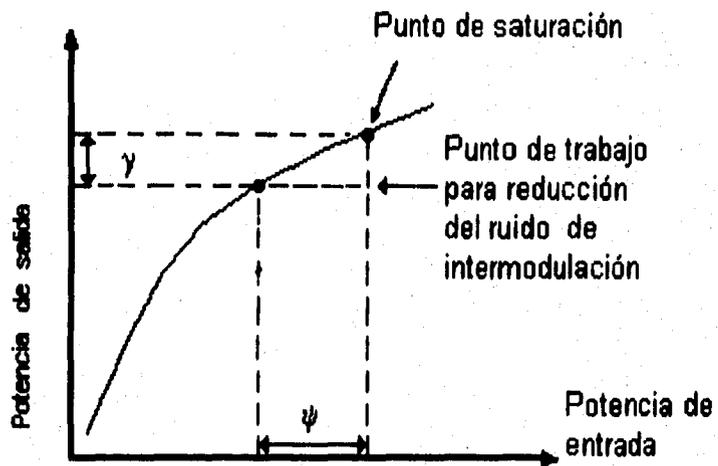


Figura 9. Curva característica de un amplificador de potencia de entrada y salida, ψ reducción de potencia de entrada al valor de saturación, γ reducción de potencia de salida.

Los tubos de ondas viajeras 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 ó alambre de alta conductividad devanado en forma helicoidal, donde la onda electromagnética se propaga en dirección 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. Cuyo valor de fase axial V_p de la onda es:

$$V_p = C (d / 2\pi r)$$

V_p = fase axial

C = velocidad de la luz

d = distancia del recorrido

$2\pi r$ = Circunferencia de la hélice

La velocidad de fase axial es relativamente constante en un amplio intervalo de frecuencias, por esta característica los T. W. T son utilizados para anchos de banda de gran tamaño. La acción amplificadora del tubo de ondas viajeras se efectúa por medio de una interacción continua onda 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 desplazado en el interior del devanado en dirección paralela al eje del devanado donde 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 esto dará lugar a un campo de c-d de valor cero.

En realidad 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 desaceleración y producirá un trabajo negativo durante su desaceleración 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 centrados al 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 del crecimiento de la energía electromagnética, asociada con el tamaño de la bobina, por tanto, los electrones pierden velocidad a una distancia suficiente lo que produce 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 esta limitada por la disminución en la magnitud de la velocidad del haz, conforme los electrones se desaceleran 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 señal portadora y 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 el dispositivo el cual esta formado por varias entradas pero solo tiene una sola salida por la cual 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 retransmitidas por el conjunto de antenas de retransmisión en dirección a la superficie de la Tierra.

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, la calidad con la que la señal es bajada a tierra dependerá de estos parámetros por lo que 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. La cual 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 para poder ubicar cada bloque de información dentro del espacio de radiofrecuencias, de tal forma que no se traslape entre si.

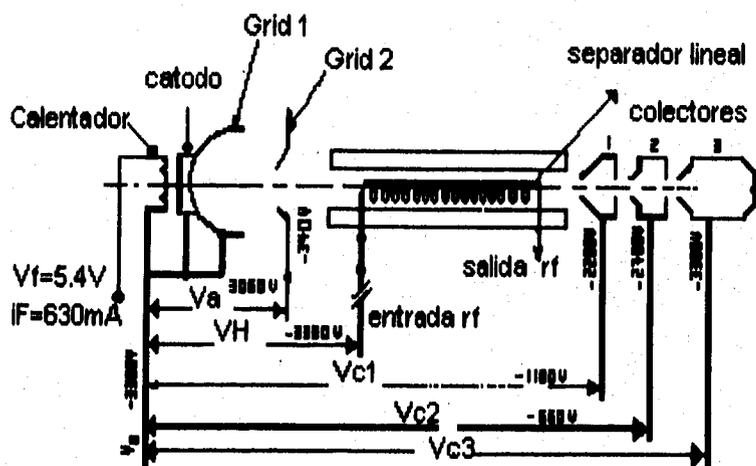


Figura 10. Esquema de un amplificador TWT.

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

Ruido de Intermodulación es producido cuando en el transpondedor se encuentra compartido por dos o más señales portadoras en él, por lo cual la característica de entrada y salida del amplificador de potencia es lineal lo que genera un número de señales adicionales e indeseables que a la salida se suman a la información original lo que provocará 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. 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, para no alterar la información original por lo que se sacrificará potencia. Esta disminución de potencia realizada por el atenuador variable, el cual regula la intensidad de la portadora, entregara menos o más potencia a la entrada del amplificador lo que se traduce como un nivel aceptable de ruido de intermodulación. Cuando exista más de una señal portadora en el mismo momento se producirá este fenómeno y cuanto mayor sea el número, mayor es el ruido de intermodulación original, mientras más portadoras se requieran amplificar con el mismo dispositivo en el mismo tiempo será necesario operar en un punto menor al de saturación.

El diagrama de bloque de la figura 7 es muy elemental, pero en la realidad existen distintas versiones como el de la figura 11 y 12. En el cual 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 un demultiplexor por medio

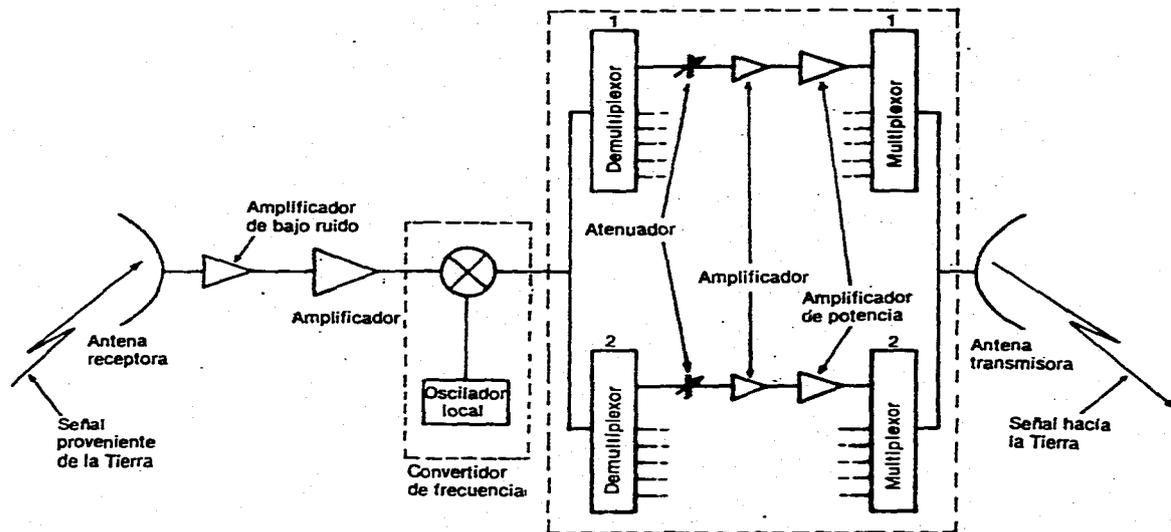


Figura 11. Versión modificada del diagrama y equipo del sistema de comunicaciones. A diferencia del modelo de la figura 7, se utilizan dos demultiplexores y dos multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la interferencia.

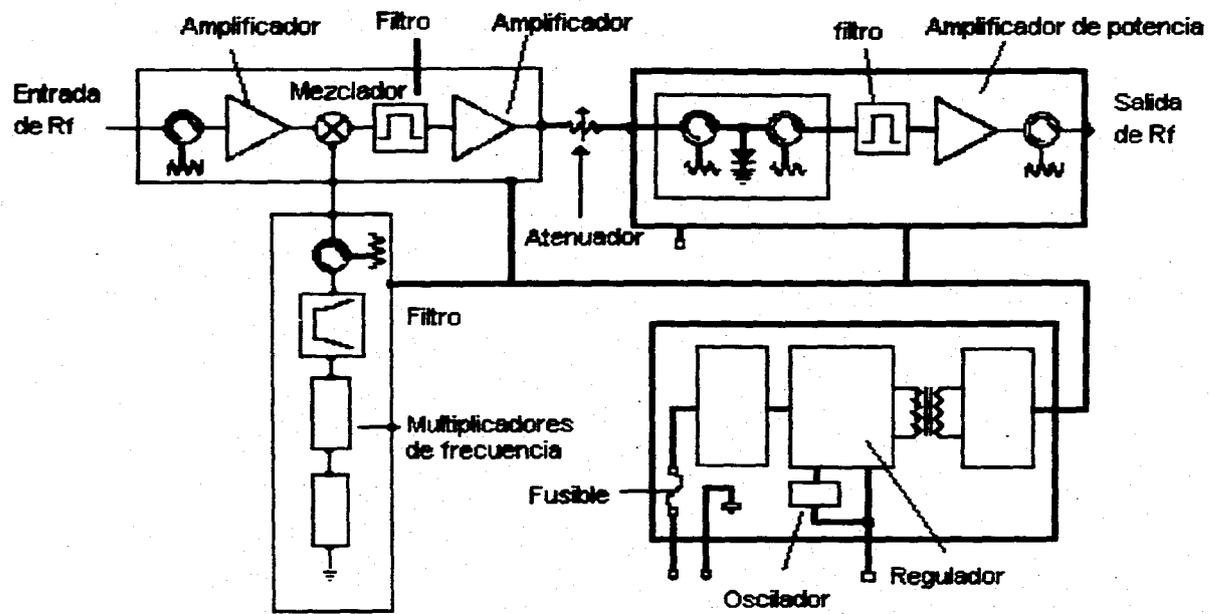


Figura 12 Diagrama a bloques de un receptor de 6 GHz

de filtros, el multiplexor uno solo permite 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 pueden existir otras variantes, dependiendo del tipo y uso del satélite que se trate.

Este tipo de separación de canales ofrece una gran ventaja con respecto al uso de un solo demultiplexor ya que la banda de guarda entre cada canal adyacente 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 han sido amplificados 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 potencia los cuales en conjunto tendrán un ancho de banda total de 500 MHz entre las antenas parabólicas transmisoras.

Por otro lado los niveles de interferencia se reducen aún más si se cambian la polaridad de la 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 Spacenet, este tipo de satélite es híbrido; 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 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

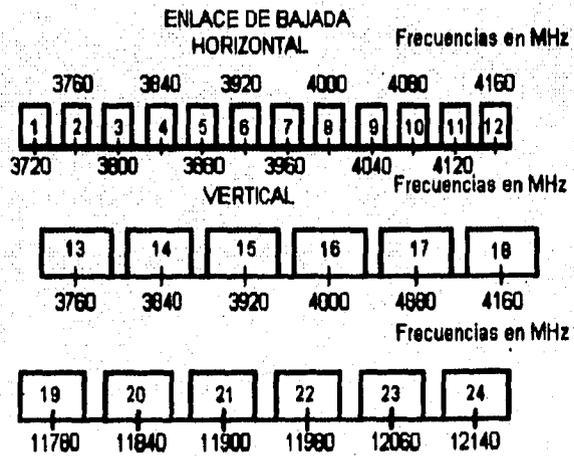
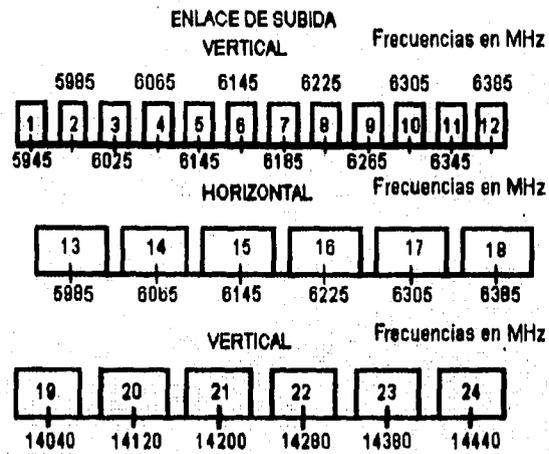


Figura 13. Esquema de polarización de frecuencias para un satélite de comunicaciones

transpondedores de ancho de banda C se usa polarización horizontal en el enlace de subida y vertical en el enlace de regreso (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 satélite Spacenet. La señal que llega de la Tierra es recibida en el satélite por los reflectores parabólicos de contorno y las cometas de los alimentadores, dicha señal pasa a través de los diplexores que separan las trayectorias de recepción y de transmisión, puesto que cada antena se usa 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 los cuales están ubicados en la parte izquierda de los diagramas, los acopladores híbridos de 3 db alimentan a los demultiplexores, en donde los canales son separados en pares e impares, más tarde cada canal pasa por una sección de atenuación correspondiente y después entran a un conmutador de entrada el cual está conectado a otro atenuador y a un amplificador de potencia y entra a un conmutador de salida y de ahí pasara a un multiplexor el cual es una guía de onda múltiple a los que entran los canales por varios puertos y que están terminadas en cortocircuito en un extremo y conectadas 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 están conectadas a las cometas de alimentador de la antena parabólica y a las cuales entran las señales a través de los mismo diplexores que las dirigieron anteriormente hacia el combinador de potencia y los receptores.

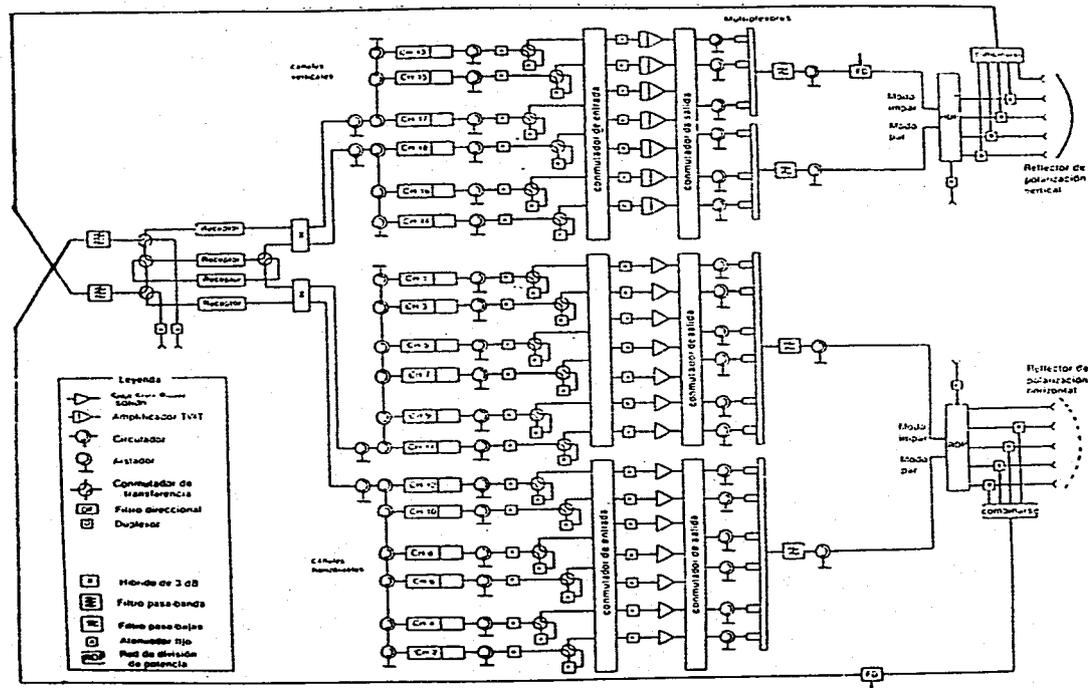


Figura 14. Sistema de comunicaciones (banda C) de un satélite Spacenet.

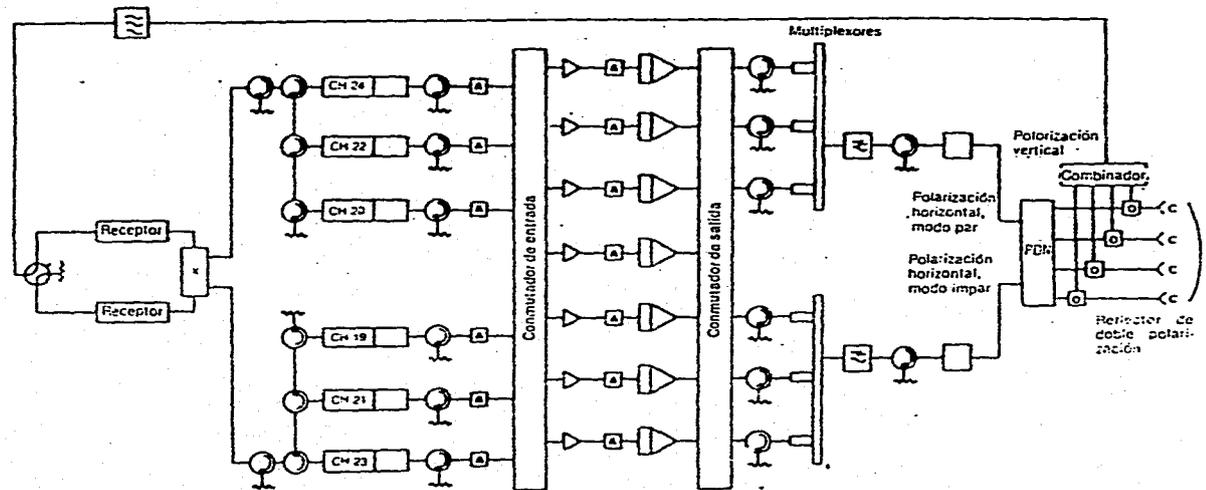


Figura 15. Diagrama a bloques de un sistema de comunicación para banda Ku

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

Enlace punto punto, es aquel que une dos puntos geográficos de la superficie de la tierra por ejemplo una conversación telefónica.

Enlace punto multipunto, el cual corresponde a un sistema de distribución de información la cual es generada en un solo punto ejemplo un centro de cómputo o estudio de televisión.

Enlace multipunto punto es el inverso del 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 frecuencias

Como ya se sabe que el ancho de banda de los satélites de comunicación es de 500 MHz el cual esta dividido en ranuras de 36 MHz por lo cual el transpondedor tiene la capacidad de poder albergar en su interior un gran número de señales que ocupen este ancho de banda. Pero 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, por lo cual en un ancho de banda pueden tener una, dos y tres señales portadoras que estén llegando al mismo transpondedor de distintas partes de la superficie terrestre por ejemplo una ciudad, población de tipo medio, o zona rural, las tres señales de estos tres tipos de población transmiten al mismo tiempo, por lo que deberán hacerlo con 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 por lo cual estarán en un solo transponder en forma simultánea y 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 estén situadas en la misma ciudad se le conoce como acceso múltiple por división de frecuencias o FDMA, ya que el espectro de radioeléctrico del transpondedor se divide en ranuras de frecuencia las cuales se asignan a cada una de estas señales.

Este tipo de configuración es rígida y nunca varía, por lo que cada estación deberá transmitir siempre en la misma frecuencia central portadora y es válido 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 los cuales 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 otras técnicas de acceso múltiple que sean más flexibles para estos casos la cual se le conoce como **Acceso múltiple por división de frecuencias con asignación por demanda o DAMA.**

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

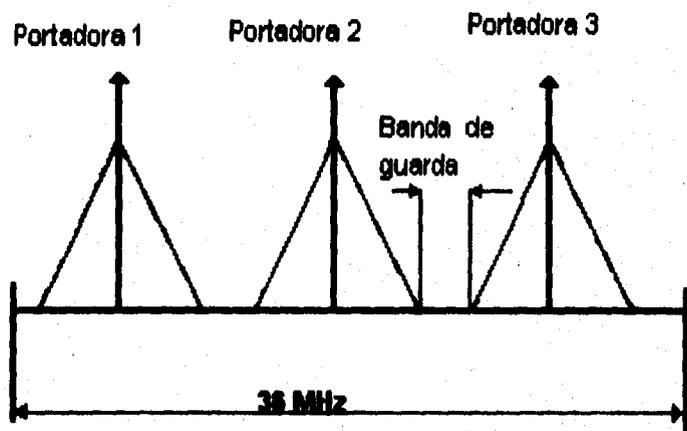


Figura 16. Muestra un transponder el cual contiene 3 diferentes portadoras las cuales son accedidas con la técnica acceso multiple por división de frecuencia.

Esta 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 la solicite antes al banco de frecuencias que le asigne una de ellas para su portadora, este mismo banco de frecuencias se comunica con la estación solicitante a la cual le informa que se le va a transmitir y en que frecuencia debiera 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 el cual brinda comunicaciones telefónicas de países que tienen poco tráfico entre sí pero que necesitan comunicarse en forma ocasional. Precisamente este último caso es mucho más eficiente y económico entlazarse a través del 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 genera tráfico fijo se emplea una asignación fija la cual puede ser SCPC, para tráfico constante pero poco se emplea la **portadora multicanal** o **MCPC**, la cual engloba varios canales de teléfono que fueron modulados en frecuencia o en tiempo combinados en forma adecuada ubicándolos en ranuras de frecuencia muy angostas o muy anchas

dependiendo del número de canales que contengan los cuales pueden ser tanto analógicos como digitales, dichas portadoras pueden contener 12, 24, 36, 48 canales telefónicos.

Existen otro tipo de accesos el cual tiene 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 son accesadas a 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 asignado un tiempo T para transmitir lo que guste dentro de la ranura y cuando el tiempo se agote deberá dejar de transmitir para que lo ocupe otra estación.

El tiempo asignado no es igual para cada estación porque algunas estaciones conducen más tráfico que otras por lo cual la ranura de tiempo que se le asigne debe de ser mayor a diferencia de las otras estaciones, estos tiempos pueden ser fijos para cada estación por lo que se tendrá un acceso múltiple por división de tiempo pero de asignación fija la cual se muestra en las figuras 17 y 18; o puede variar en 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 asignando ranuras de tiempo más largas a la estación con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico, esta estructura de marco se repite secuencialmente hasta que se realice otro ajuste. En cualquiera de los casos mostrados dicha duración del marco o ciclo es de milisegundos, por lo que es necesario contar con un mecanismo confiable de sincronización para que no exista algún traslape de señal entre cada transmisión de diversos puntos o estaciones. Un sistema TDMA deberá

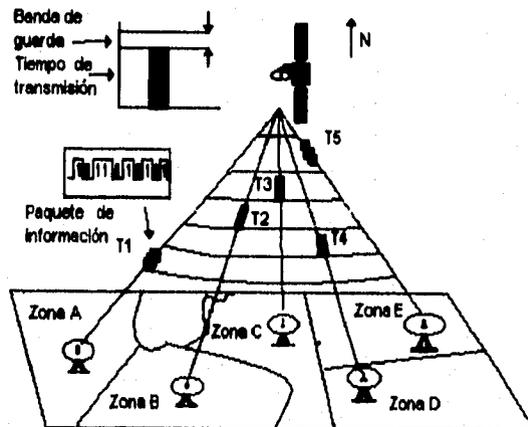


Figura 17. Muestra 5 estaciones terrenas las cuales comparten un mismo transponder con la técnica de acceso múltiple por división de tiempo.

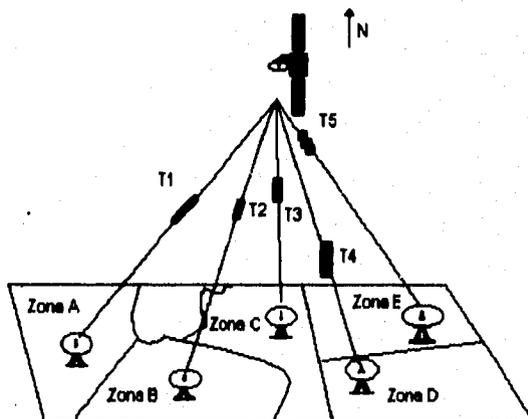


Figura 18. Red de 5 estaciones las cuales comparten a un mismo transponder con la técnica de acceso múltiple con división de tiempo con asignación fije.

contar con módulos de almacenamiento de información digital. Estos sistemas funcionan como memorias de amortiguamiento las que liberan la información en forma de paquetes en cada ráfaga; una de las grandes ventajas es que durante cada ranura de tiempo se puede transmitir en forma multiplexada digitalmente y por paquetes, fragmentos de canales telefónicos y de datos por una misma portadora de ráfaga, esta técnica es la más utilizada en la ocupación de transponder en forma completa por portadora modulada, como sólo aparece una sola portadora en ese instante en el amplificador de potencia, no presentara ruido de intermodulación y se aprovechará al máximo la potencia de salida beneficiando a todas las estaciones terrenas que la utilizan.

La técnica de TDMA y FDMA es una forma en las que las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él sin importar el tipo de acceso utilizado como se ilustra en la figura 19, por lo cual los canales de video, voz y datos que se están transmitiendo deberán pasar por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base (como son en su forma original), etapas de multiplexaje y modulación, por ejemplo un enlace FDM/FM/FDMA, en donde la señal es multiplexada por diferencia de frecuencias y más tarde es modulada en frecuencia a una portadora y posteriormente es accesada al satélite por acceso múltiple por división de frecuencias o tiempos. Otro ejemplo típico es el enlace TDM/QPSK/TDMA, para el primer paso son multiplexados varios canales en el tiempo en forma digital, y más tarde son modulados digitalmente con desplazamiento de fase en cuadratura con la portadora y por último son accesadas al satélite mediante el acceso múltiple por división de tiempo.

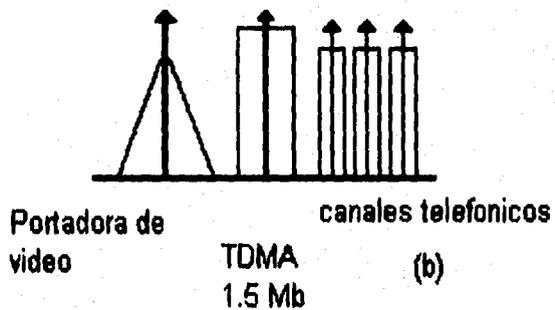
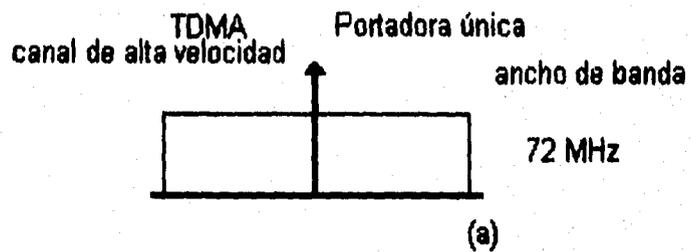


Figura 19. Transponder de 72 MHz el cual utiliza la técnica de TDMA. a) ocupación total canal de alta velocidad, b) ocupación multiple FDMA

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 completa por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y mismo tiempo, esta técnica se llama **CDMA** o **acceso múltiple por división de códigos**, la cual es muy útil en la transmisión confidencial o altamente sensible a la interferencia al igual que TDMA. Es totalmente digital y presenta la ventaja de que las estaciones terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy grandes, pero ocupan mucho ancho de banda (transponder completo), puesto que cada bit de información que es transmitido en modalidad TDMA es transformado en un tren de bit muy largo con el código empleado.

En la figura 20 se muestra una red de este tipo la cual muestra un número de estaciones terrenas que utilizan esta técnica, donde cada una de ellas utiliza una secuencia diferente de bit para la codificación de sus bit 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 a uno que llegue sobrepuesto con todos los demás mensajes transmitidos en forma simultánea.

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 utilizadas en los satélites de comunicación, en cualquiera de estos casos el satélite sólo cambia la señal para su retransmisión sin considerar su contenido (analógicas y digitales) y la técnica de multiplexaje o modulación, por lo cual el satélite funciona sólo como un repetidor donde sus transponder

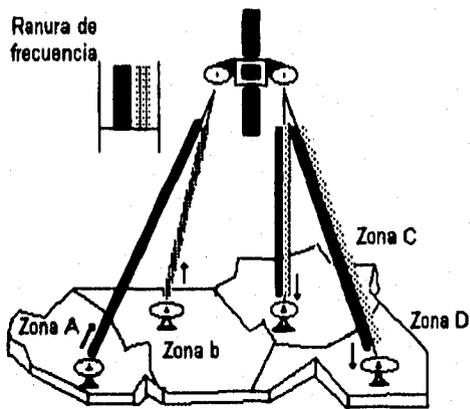


Figura 20. Red de 4 estaciones terrenas que utilizan la técnica de acceso múltiple CDMA.

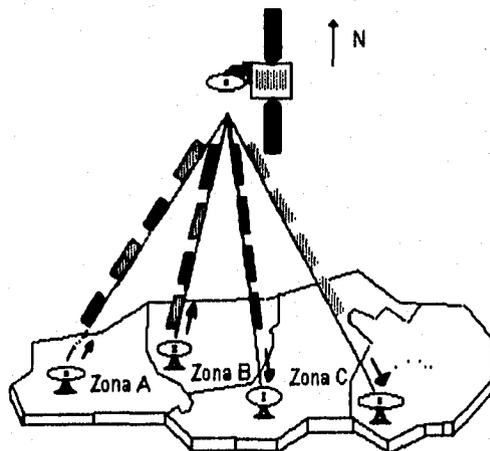


Figura 21. Red de estaciones terrenas accedidas al satélite con la técnica SS/TDMA.

estarán funcionando en accesos múltiples FDMA, TDMA o en combinaciones simultáneas con CDMA.

Actualmente, los satélites más modernos se están construyendo con varias antenas de haz pincel las cuales están destinadas para cubrir diferentes zonas de la superficie de la Tierra con una 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 sistema que es digital con acceso múltiple TDMA se denomina **acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite o SS/TDMA** (figura 21). Los satélites INTELSAT VI utilizan estas técnicas, las cuales incrementan la eficiencia del sistema, por lo que se logra una cobertura total en un territorio dividido en zonas con haces de alta concentración de potencia a la vez de usar sólo un haz de baja densidad de potencia.

3.6 Frecuencias asignadas y reutilización de frecuencias

La capacidad de tráfico de un satélite es limitado por dos factores que son: el ancho de banda y la potencia del amplificador; si nos referimos al ancho de banda, la Unión Internacional (UIT) asignó para servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku, Ka con sus frecuencias centrales asignadas para los enlaces de subida y regreso los cuales se muestran en la tabla 2. Hay variación entre los límites inferiores y superiores para cada banda. Las bandas C y Ku son las de uso comercial con un ancho de banda de 500 MHz, por lo cual los satélites operan en este rango de frecuencias, pero 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 empleada sólo por satélites militares y gubernamentales. La banda Ka se encuentra en experimentación pero en poco

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)
14/12 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, Se muestra un resumen de frecuencias asignadas a las bandas C, X, Ku, ka.

tiempo se lanzaran los primeros satélites comerciales con esta banda, la cual tiene un ancho de banda de 3500 MHz pero sus niveles de atenuación para estas frecuencias serán mayores que en la banda C y Ku.

El espectro de radiofrecuencias para este tipo de sistemas es infinito y para incrementar su capacidad se han desarrollado dos técnicas para la reutilización de frecuencias por duplicado las cuales se mencionan a continuación:

La reutilización de frecuencias con aislamiento espacial; el cual es realizado por un sistema de antenas que produzcan muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si un haz esta lo suficientemente separado entre si entonces puede reutilizar la misma frecuencia.

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

4. SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA

Todos los satélites necesitan un suministro de energía eléctrica (sistema de potencia) sin interrupción y sin variación 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, las cuales varían entre 500 y 2000 watts. El sistema de energía eléctrica esta encargado de almacenar potencia para operar las cargas, especialmente los amplificadores de potencia que consumen el 70 o 80 % de la potencia total útil, los cuales estan formados por tres elementos fundamentales: fuente primaria, fuente secundaria y un acondicionador de potencia el cual esta formado por dispositivos como

reguladores, convertidores y circuitos de protección, los cuales 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 baterías.

La fuente primaria del satélite de comunicaciones esta formada por el arreglo de un gran número de celdas solares conectadas en serie paralelo, las cuales son de silicio. 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 pequeño, en un principio era de 8% pero en la actualidad se tienen factores de eficiencia de 10 y 12 % (con tecnología avanzada), ya que aprovechan gran parte del espectro ultravioleta del sol. En la actualidad se esta experimentando con celdas de arseniuro de galio las cuales tienen una eficiencia de 18%, lo que reduce el número de celdas empleadas pero son muy caras y pesadas y dependen mucho de las condiciones de temperatura.

Se requieren de controles electrónicos para conectar el arreglo solar y las baterías a diversas cargas. Una función de este control es regular la potencia y la carga apropiada de las baterías. En la 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 ella, mayor será la cantidad de energía generada por ellas; dicho efecto también dependerá de la temperatura a la cual este expuesta la fotocelda; para menores temperaturas de operación de la celda, mayor será el voltaje generado.

Cuando el satélite se encuentre a una unidad astronómica (150 000 000 Km) de distancia del sol, la intensidad de radiación del sol sobre la celda 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 las cuales forman el arreglo solar el cual se muestra en la figura 22. Estas celdas disminuyen su eficiencia conforme va transcurriendo su vida espacial hasta un 30% (7 años) con respecto a su valor original, considerando que la potencia obtenida por las celdas es la décima parte de la energía recibida del sol entonces, dicho factor esta en el rango de 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 al satélite inmóvil en su órbita (geoestacionaria) con respecto a su orientación con la tierra a pesar de los efectos de perturbación que pueda sufrir.

Estos dos métodos son: estabilización por giro y estabilización triaxial con cuerpo fijo.

Los satélites de estabilización por giro son de forma cilíndrica 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 oscura del sol y la pared curva del satélite por lo que se tendrá solo un aprovechamiento de un tercio de toda la energía recolectada por las mismas para la conversión de energía solar a energía eléctrica. Los satélites de cuerpo fijo y estabilización triaxial tienen una forma cuadrangular los cuales se asemejan a un cubo y en cuyas caras laterales se encuentran sus paneles solares los cuales están extendidos en forma de alas. Este tipo de satélites cuentan en su interior con volantes inerciales que mantienen estables su posición si necesidad de girar, sus paneles solares cuentan con un mecanismo

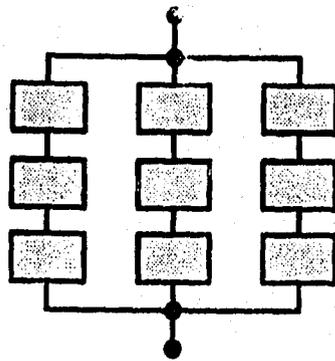


Figura 22. Arreglo típico en serie paralelo de un conjunto de celdas solares las cuales se alojan en los paneles solares.

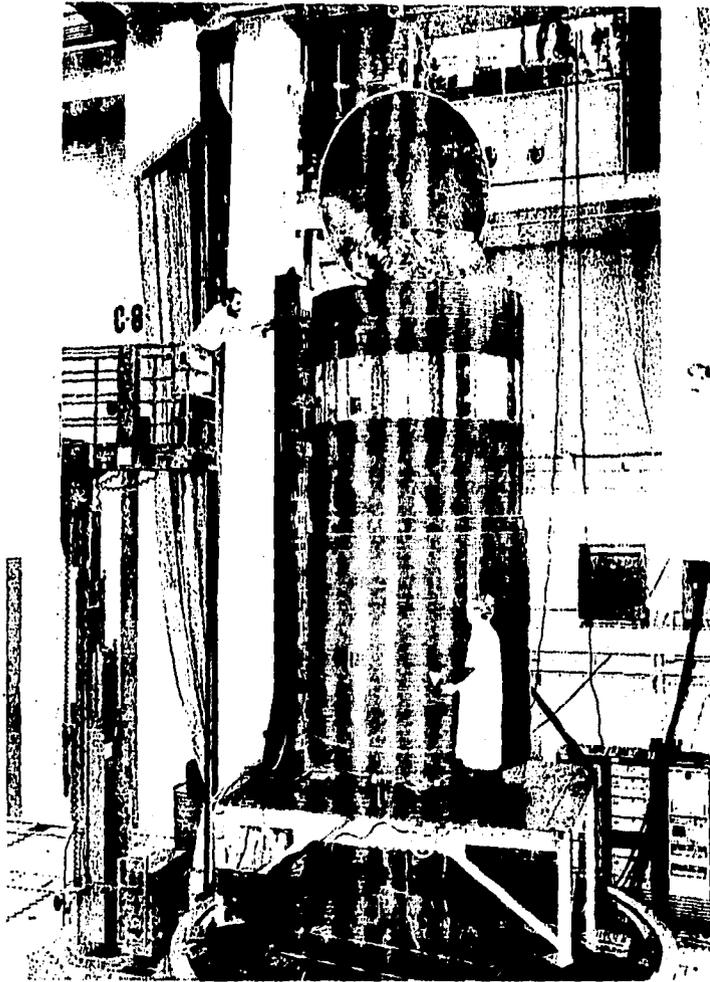


Figura 23. La cual muestra un satélite de forma cilíndrica el cual tiene colocadas sus celdas la rededor de su cuerpo giratorio el cual se extiende en forma telescopicamente.

de orientación constante hacia los rayos del sol lo cual permite una mayor generación de energía, por lo que se aprovecha al máximo todas las celdas y 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 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, lo que provocará 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. La cual esta formada por un conjunto de baterías, las cuales 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 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 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

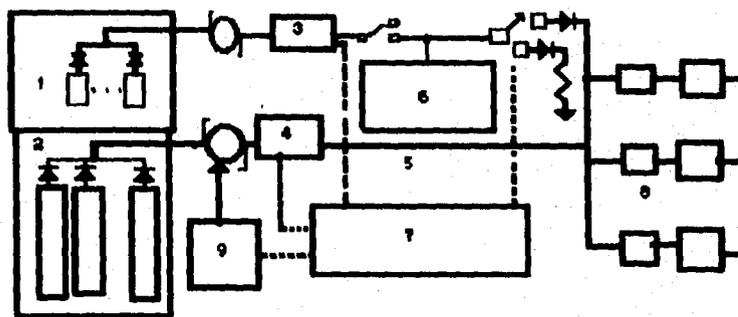


Figura 24. Sistema eléctrico de potencia para satélites de estabilización triaxial

1 Arreglo de armadura
 2 Arreglo principal
 3 Control de carga de batería
 4 Bus de regulación
 5 Bus de distribución

6 Baterías
 7 Control de potencia de telemetría y Comandos
 8 Sistema de distribución y protección de energía
 9 Arreglo de conectores

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 am 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 comunicaciones son las de níquel cadmio las cuales tienen una eficiencia de potencia y peso bastante bajo pero son muy confiables y de larga duración, pero algunos satélites como Intelsat y Spacenet ya han utilizado baterías de otros materiales como son las de níquel hidrogenado las cuales 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	769	769	68
Telemetría, comandos, rastreo	39	39	39
Control térmico	136	86	30
Perdidas de potencia	10	10	9
Baterías de descarga	100	30	---
Control de actitud	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

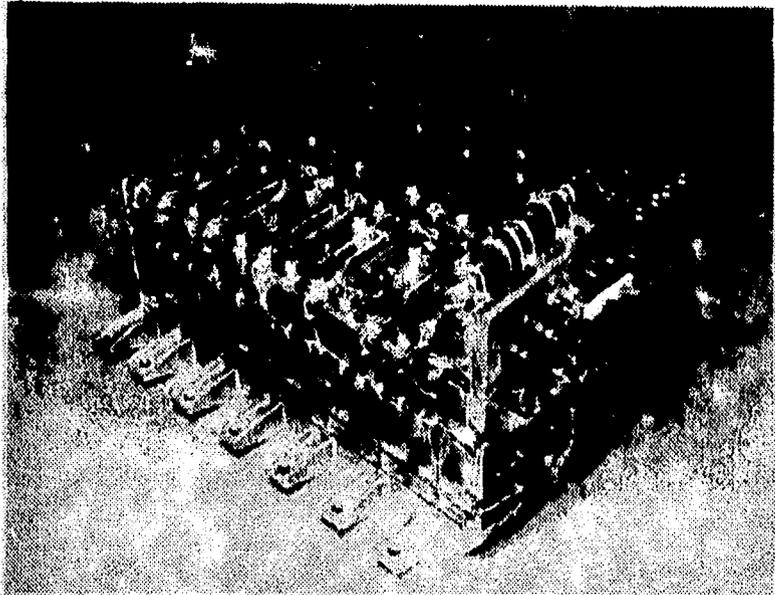


Figura 25. Fuente secundaria de energía eléctrica de un satélite de comunicaciones (baterías de níquel - cadmio)

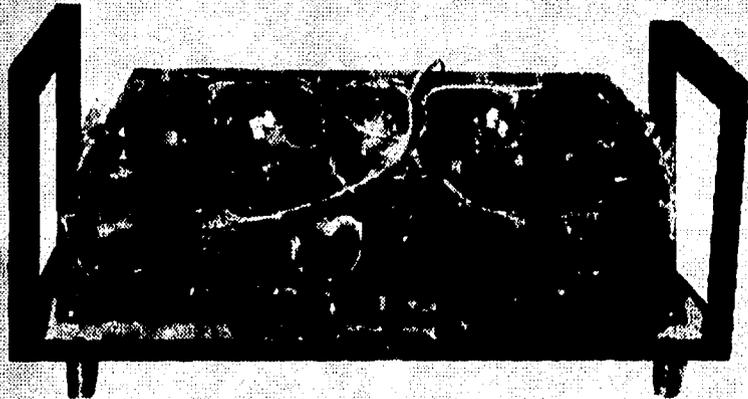


Figura 26. Conjunto de baterías conectadas en serie para satélites de comunicación (níquel - hidrógeno)

6. SISTEMA DE CONTROL TERMICO

Los satélites de comunicación como ya se indicó están formados por varios sistemas los cuales 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 de la Tierra proviene esta compuesta por dos tipos: una es la radiación propia de ella y otra es la del Sol la cual se refleja en su 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 en forma rápida 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 esta cubierta con un gran reflector óptico de cuarzo el cual cumple la función de un gran espejo el cual rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere al exterior, por esta propiedad los amplificadores de potencia están colocados junto a él (Figura 23). Por esta razón la antena esta cubierta con un material plástico aislante para su protección (kapton y mylan aluminizado).

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

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 absorbencia muy baja comportandose como un elemento frío frente al Sol; por otra parte la pintura negra tiene una emisión alta pero también una absorbencia 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 absorbencia baja, las zonas cubiertas con pintura aluminizada son más calientes en la oscuridad 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 mayor tiempo.

El equilibrio térmico se altera cuando ocurre un eclipse porque en este 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 demasiado brusco, enfriándose de tal manera que los componentes que son sensibles a las bajas temperaturas empezaran a funcionar mal (baterías) las cuales están encargadas de suministrar la energía necesaria para la operación del satélite durante la fase oscura del eclipse y por lo cual es necesario contar con un sistema de calefacción el cual se enciende 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 del ducto en el extremo donde esta 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 lo cual 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. SISTEMAS DE POSICION Y ORIENTACION

La principal función de un satélite de comunicación es 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 ocurre a través de sus conjuntos de antenas receptoras y retransmisoras, esto no podría suceder si el satélite de comunicación no es bien orientado hacia su zona de servicio. Para que esto sea posible es necesario tener un control del satélite tanto en su posición y 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 por triaxial (satélite de paneles extendidos). Con la técnica de estabilización por giro una parte de el satélite (parte de su estructura) se encuentra girando para conservar el equilibrio del conjunto, manteniendo en forma estática (sin movimiento) el arreglo de antenas para la comunicación y orientadas hacia superficie de la tierra. El satélite al



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

girar sobre su eje que es paralelo al de la rotación terrestre se vuelve menos vulnerable 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 en dirección de la Tierra, para estos casos la estabilización de la estructura de dicho satélite es conservada con volantes giratorios los cuales están contenidos en su interior y cuya colocación se realiza en cada eje (x, y, z), estos se toman como referencia para definir la orientación del satélite con respecto a la superficie terrestre.

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

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 el cual retransmitirá después hacia el centro de control de tierra donde la diferencia que se detecte en el centro de control entre las fase de la señal transmitida y recibida nos indicara que tan lejos está el satélite, la medición del ángulo se puede realizar por Interferometría empleando dos estaciones terrenas separadas a cierta distancia y en las cuales se compara la señal piloto por cada estación. La técnica de la máxima recepción es otro tipo de técnica empleada para la medición del ángulo la cual solo emplea una sola estación. La cual consiste en ir moviendo la antena receptora hasta encontrar el punto de la máxima radiación.

Cuando obtiene la posición de la máxima recepción, se dice que la antena de la estación está orientada en forma adecuada en dirección del satélite por lo que se podrá obtener el ángulo y dirección en donde está situado.

Para conocer la orientación del cuerpo del satélite con respecto a la tierra se

utilizan sensores de sol y de tierra. Los sensores son dispositivos fotovoltaicos en los cuales se produce una corriente eléctrica cuyo valor depende de la dirección de la radiación solar. Los sensores de tierra son los encargados de medir la cantidad de radiación infrarroja producida por la tierra utilizando dispositivos sensibles al calor (termopila) la cantidad de calor recibido esta 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 orientación y su posición son muy aceptables, pero en la actualidad ya se cuenta con sensores de radiofrecuencia. Los cuales detectan y miden las características de señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena los cuales determinan el ángulo que existe entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la trayectoria de la onda de radio del haz piloto.

El procesamiento de corrección de posición y orientación para el satélite se basa en la comparación de los resultados de las mediciones de los sensores con un cierto valor de referencia considerado como correcto. Calculando en forma inmediata las correcciones requeridas para corregir la diferencia y realizarla con la ayuda de un actuador montados en el satélite, el flujo de información correspondiente es mandado por el sistema de telemetría y comandos. 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 produciendo un par correctivo, los cuales se muestran en la figura 29.

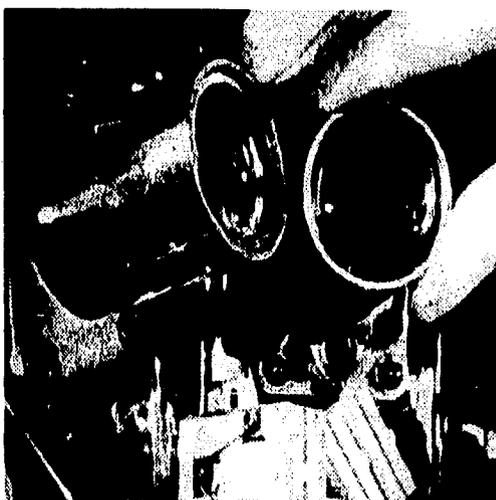


Figura 28. Conjunto de sensores de orientación tierra y sol para un satélite de comunicación

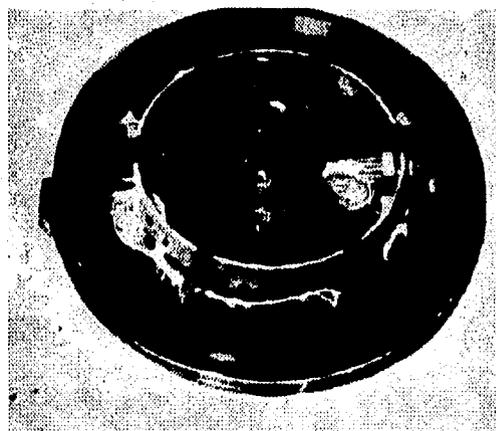


Figura 29 Componente Inercial de un sistema de orientación para un satélite de estabilización triaxial (giroscopio)

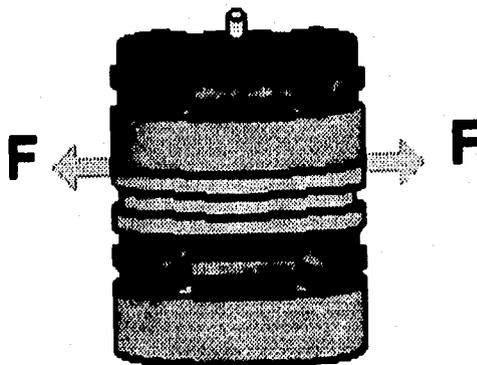
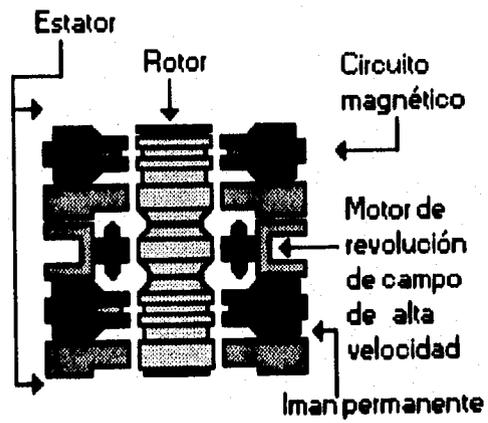


Figura 29a. Corrector de rumbo magnético (giroscopio)

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

7. SISTEMA DE PROPULSION

El sistema de reacción funciona bajo el principio de la tercera ley de Newton, mediante la expulsión de materia a una gran velocidad y alta temperatura a través de una tobera, la cual produce un empuje en sentido contrario. Existen propulsores químicos y eléctricos pero los de tipo químico son los más empleados por proporcionar un nivel de empuje mayor que el de tipo eléctrico. La eficiencia de un propulsor esta basada en su empuje e impulso específico del combustible utilizado. Cada tipo de combustible proporciona un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de combustible consumido. Cuando es menor 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 unidad de peso del combustible (propelente) que se consume por segundo en cada empuje característico. Este tipo de propulsores de combustible de impulso específico son los más utilizados por reducir el peso del combustible y los gastos de lanzamiento del satélite realizando empujes más prolongados para dar la velocidad necesaria en la dirección indicada.

El principio de operación de este tipo de impulsor esta basado en la generación de gases a una gran temperatura en el interior de la cámara de combustión los cuales son acelerados al pasar por la tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo en forma progresiva en su área transversal y ensanchándose al final. Los primeros sistemas utilizaron gases fríos pero tenían muy bajo impulso por esto no fueron tan utilizados (nitrógeno y peróxido de nitrógeno), este tipo de gases fueron sustituidos por Hidrazina monopropeleante. La hidrazina es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador; por este medio la hidrazina es evaporada y se descompone en un proceso exotérmico la cual es separada en hidrógeno, nitrógeno y amoníaco a una temperatura de 300 grados centígrados con un impulso de 225 segundos de

duración pero este impulso es mejorado con solo incrementar la temperatura a un valor de 1900 grados centígrados con la ayuda de calentadores resistivos después de la combustión catalítica obteniendo un impulso de 300 segundos de duración, por lo cual reduce la masa del satélite en el lanzamiento. Pero en la actualidad se están empleando sistemas bipropelentes, en los cuales no se emplea catalizador sino un combustible y un oxidante el cual entra en contacto al unir estas dos sustancias lo cual produce una combustión instantánea sin el empleo de un sistema de ignición (impulso de 300 segundos).

La ventaja que ofrece este tipo de sistemas es el diseño de sistemas de propulsión único que es empleado para la colocación del satélite en su órbita y maniobras de corrección de orientación y posición utilizando para esto los mismos tanques de almacenamiento de combustible, lo que hace al satélite más ligero, al no utilizar un sistema de control a reacción independiente en combinación con un motor de apogeo de combustible sólido, este tipo de impulsores fueron instalados en los satélites de comunicación Intelsat -1.

En cuando a los propulsores eléctricos estos funcionan bajo el principio general de empuje la cual acelera una masa ionizada dentro un campo magnético, pero en la actualidad se encuentra en etapa de prueba 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. SISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDOS (T T y C)

El sistema 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 comandos cuenta con una gran variedad



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

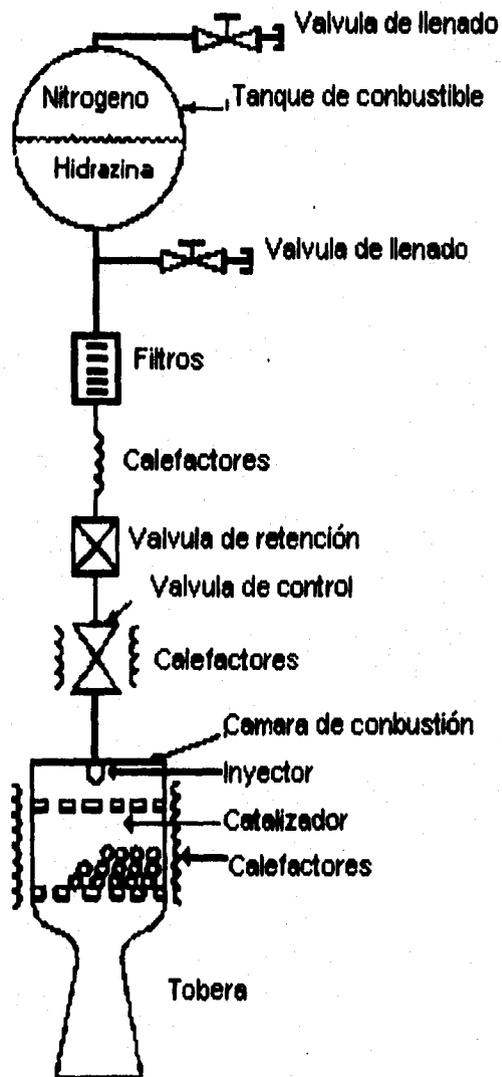


Figura 31. Sistema de propulsión

de sensores instalados en varios puntos de prueba los cuales miden: voltaje, corriente, presiones, posiciones de interruptores y temperatura, todas las lecturas tomadas por los sensores del satélite son convertidas en una señal digital que el satélite transmite a la Tierra con velocidad de 200 y 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 los cuales se les conoce como tonos, los cuales son transmitidos por la estación terrena de control en dirección del satélite, para el rastreo se utilizan 6 o 7 tonos diferentes, cuya frecuencia es de unos kilohertz y que son modulados y montados en una señal portadora la cual es transmitida por el control de tierra, el satélite recibe los tonos y los demodula con su propia portadora para la transmisión de regreso a la Tierra los cuales son detectados por el centro de control, la señal recibida en tierra es comparada en fase con la transmitida al satélite donde la diferencia entre fase nos indica que tan cerca o lejos esta una exactitud de unos cuantos metros, todos los tonos que el satélite transmite hacia la tierra y los comandos se realiza a través de un amplificador el cual esta en el satélite.

Durante la vida de operación del satélite se encuentra amplificando comunicaciones la mayor parte del tiempo, las señales de telemetría, rastreo y comandos ocupan muy poco ancho de banda las cuales pueden compartir los mismos amplificadores de banda C y Ku, durante la delicada operación del lanzamiento del satélite las instrucciones son enviadas por la banda VHF Y S las cuales están situadas en 140 MHz y 2 GHz y cuya transmisión y recepción es realizada por la antena de telemetría y comandos.

Las señales de comandos son las encargadas de permitir la corrección en la operación y funcionamiento del satélite tales como: cambia la ganancia de los amplificadores, cerrar algunos interruptores, conmutar el transpondedor,

modificar la orientación de la estructura o la colocación en órbita, extender los paneles solares y orientar las antenas, y encender el motor de apogeo. La mayoría de estas tareas son hechas automáticamente (control remoto), todas estas señales de comandos son codificadas por cuestiones de seguridad, la mayor parte de los satélites en operación utilizan una secuencia, primero retransmiten los comandos al centro de control que recibió los cuales son verificados en tierra y se comprueban que las ordenes fueron recibidas en forma correcta, por lo que 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 conclusión:

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

El rastreo es realizando 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).

En la tabla 4 se muestra un diagrama de operación de un sistema de T T y C (telemetría rastreo y comandos), un comando originado en el control central del satélite el cual 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 descodifica un comando, verifica la señal la cual es pasada a la telemetría la cual retorna al control central del satélite, después de ser verificada es ejecutada desde el control central, el sistema de telemetría

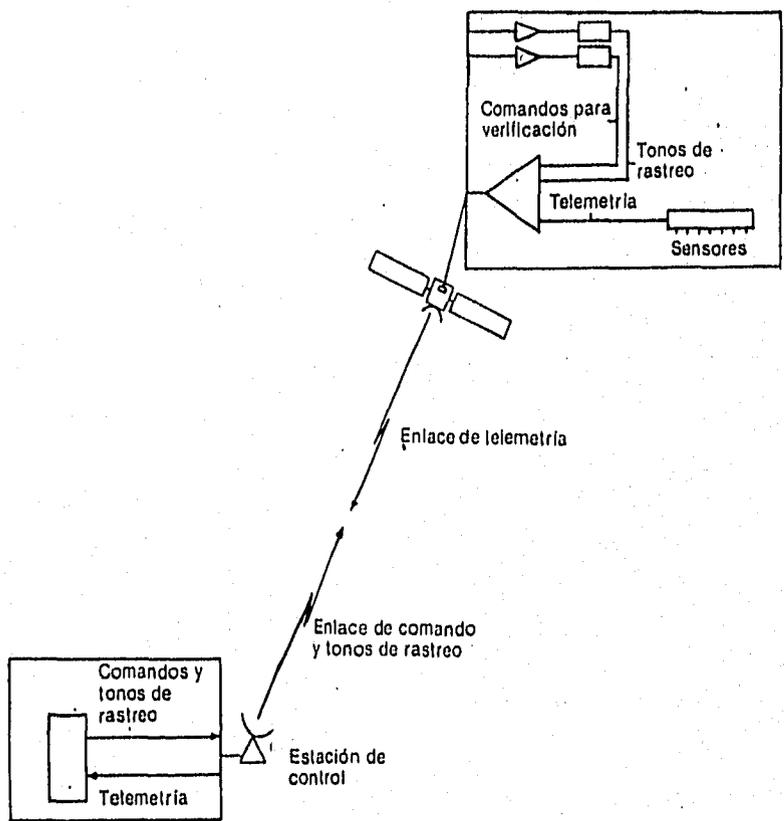


Figura 32. El subsistema de rastreo, telemetría y comandos permite conocer y controlar la operación, posición y orientación del satélite .

acumula datos de varios sistemas los cuales son procesados a una forma deseada, modulando en radiofrecuencia.

9. SISTEMA DE ESTRUCTURA

La estructura del satélite es un armazón la cual se encarga de soportar todos los sistemas 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 esta diseñada para proporcionar un soporte mecánico para todos los componentes y sistemas empleados, para proporcionar una alineación precisa en donde sea necesario (antenas) y para ayudar al control térmico con las propiedades de superficie deseadas como lo muestra la figura 33 y 34; la estructura es la encargada de soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se vera 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 su 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. Del diseñador dependerá el numero de antenas utilizadas, el tipo de estabilizador y la potencia de los amplificadores, el peso de la estructura varia entre 10 o 20% de la masa total del satélite, los cilindros o las cajas para cada tipo de satélite fueron fabricados con honeycomb de aluminio para rigidez y ligereza.

La Figura 34 muestra una 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

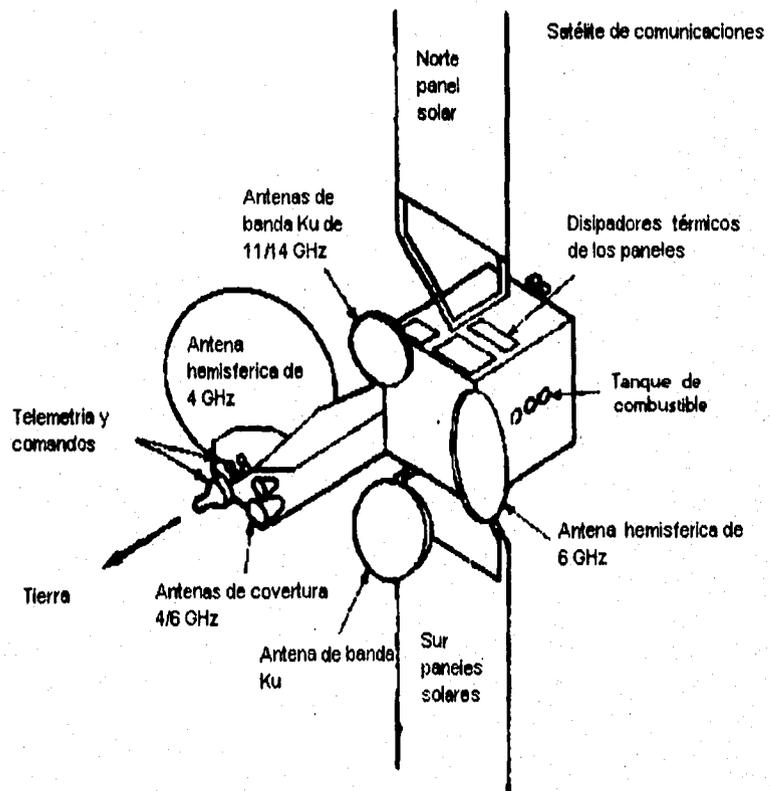


Figura 33. Muestra la estructura de un satélite de estabilización triaxial

Tabla 4 Diagrama funcional de un sistema de T T 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
Comandos a distribuir
Procesamiento de telemetría
Condiciones de datos y multiplexación
Formato de generación de telemetría
Mediciones llevadas a cabo en el momento de una posición
Verificación de comandos
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
Verificación de datos
Datos de telemetría
Rango

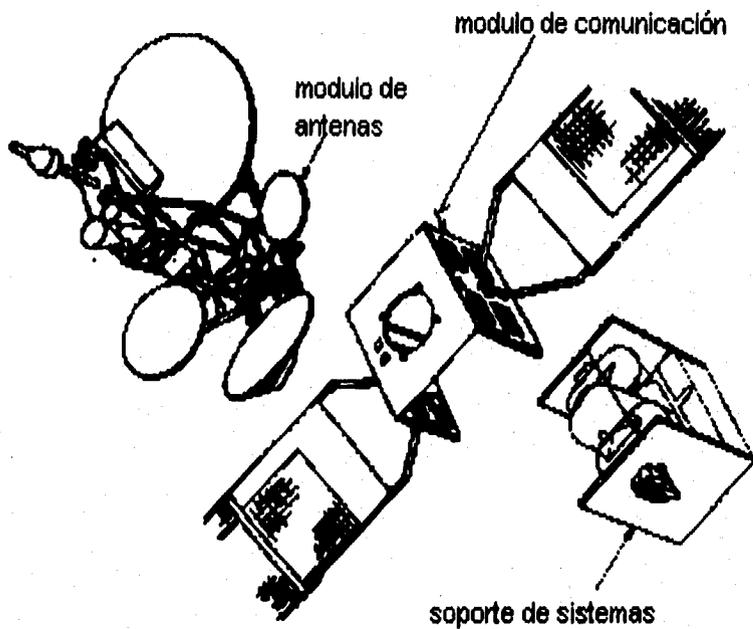


Figura 34. Principales estructuras de un satélite

Tabla 5 Aceleraciones, Vibraciones y sacudidas durante el lanzamiento

1. Sonido acústico
2. Interfase 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

conjunto de antenas (modulo 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 siguiente tabla se muestra una lista de materiales para la estructura del satélite de comunicaciones. En la tabla 6 se muestra los 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 modulo	Mezclas y Berilio
Armazón	Prevención de vibraciones	Altura de modulo	Mezclas y aleaciones especiales (Berilio)
Paneles	Incremento de oscilaciones	Rigidéz, alta conductividad térmica	Materiales honeycomb grafito, resinas, Boro metal insertado
Abrazaderas	Esfuerzo y concentración de calor	Alta tensión al esfuerzo, Alta conductividad térmica	Aluminio, Magnesio, para aleaciones tales como Berilio, grafito y resina(recubrimiento de aluminio)

Conclusiones

Este tipo de satélites en la actualidad solo son usados como repetidores de radiofrecuencia por lo cual se denominan como satélites convencionales (repetidores de frecuencia). Pero los nuevos prototipos contarán con la ventaja de poder realizar enlaces entre satélites sin la necesidad de retransmitir la señal a la estación terrena y retransmitirla de nueva cuenta a otro satélite para realizar el enlace, a este tipo de satélites se les conoce como satélites inteligentes (satélites de la nueva generación), los cuales contarán con una mayor vida útil que los satélites actuales.

Este trabajo sólo se abocó a una explicación en forma general, ya que este tipo de temas son muy complejos y extensos, por estas razones todos los puntos que abarca este trabajo fueron expuestos de una manera sencilla y breve, por lo cual sólo se mencionan las características más relevantes para este tipo de sistemas (satélites de comunicación); tales como sistema de comunicación, sistema de Telemetría, rastreo y comandos, sistema de control térmico, sistema de antenas, sistema de posición y orientación, etc.

Debido a la importancia que han tenido este tipo de temas, en la actualidad es uno de los de mayor estudio para poder explotar al máximo sus grandes ventajas que ofrece para las telecomunicaciones en todo el planeta.

Glosario

CD	Corriente Directa
CDMA	Acceso Múltiple por División de Códigos
Cinturon de Clarke	Orbita geoestacionaria localizada a una distancia de 35788 Km sobre el nivel del mar (orbita situada en el plano ecuatorial)
DAMA	Acceso Múltiple por Asignación por Demanda
Espectro de frecuencia	Gama de frecuencias por la cual se puede transmitir una señal característica
Fuentes primarias	Fuentes principales de suministro de energía (paneles solares)
Fuentes secundarias	Fuentes de energía de emergencia (Baterías)
FDM	Multiplexaje por división de frecuencia
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FM	Modulación por Frecuencia
INTELSAT	Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite
LNA	Amplificador de bajo ruido
MCP	Portadora Multicanal (o múltiple)
QPSK	Desplazamiento de fase en cuadratura a la portadora
RF	Radio Frecuencia
SCPC	Canal Único por Portadora
SS/TDMA	Acceso Múltiple por División en el Tiempo con Conmutación en el Satélite
TDMA	Acceso Múltiple por División en el Tiempo
TDM	Multiplexaje por División de Tiempo
TWT	Tubo de Propagación de Onda (Amplificador de potencia)
TTTC	Telemetría Rastreo y Comandos
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UA	Unidad Astronómica (150 000 000 Km)
UHF	Ultra Alta Frecuencia
VHF	Alta frecuencia

Bibliografía

Handbook Satellite Communications
Walter L. Morgan & Gary D. Gordon
A Wiley Interscience Publication
John Wiley & Sons

Satellite Communications
Timothy Pratt
Charles W. Bostian
Department of Electrical
John Wiley & Sons

Satélites de Comunicaciones
Rodolfo Neri Vela
McGraw Hill

Física Electrónica
Hemenway, Henry y Caulton
Limusa

La Conquista del Espacio
Facículos 13, 23, 26
Ediciones Nueva Lente