

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

RODRIGO RANGEL VAZQUEZ

CD. UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DE 1996

T
TK510
R354
C.1



1080072241

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

RODRIGO RANGEL VAZQUEZ

CD. UNIVERSITARIA

SEPTIEMBRE DE 1996

T
TKS104
R354



Quiero agradecer profundamente a mis Padres y hermanos, todo el apoyo que recibí de ellos durante todo este periodo, en el cual pude conseguir algo que era muy importante, tanto para ellos como para mí, gracias por ayudarme a lograr esa meta tan importante, el ser Ingeniero.

Es una satisfacción muy grande, el ser ingeniero, ya que se requieren de muchos sacrificios, tanto para ustedes como para mí, pero solo así uno da valor a las cosas y saber lo que los padres sufren y sienten por sus hijos, por esa razón quiero dedicarles esta tesis por ser como son y por ser una de las personas más importantes en mi vida, con mucho cariño para ustedes. de su hijo Ing. Rodrigo Rangel Vazquez.

INDICE

	Pagina.
Capitulo 1	
Generalidades.	
1.1 Definicion	1
1.2 Clasificacion de los satelites.	1
1.3 Ventajas de la comunicacion via satelite.	2
Capitulo 2	
Lanzamiento y colocacion en orbita.	
2.1 La orbita geoestacionaria	3
2.2 Como llegar a la orbita geoestacionaria.	5
Capitulo 3	
Medio ambiente.	
3 1 Medio ambiente en el que se desenvolvera el satelite	9
3.2 Fuerzas perturbadoras.	11
3.3 Temperatura.	11
Capitulo 4	
Estructura y funcionamiento del satelite.	
4.1 Introduccion	13
4.2 Subsistema de antenas	15
4.3 Subsistema de comunicaciones.	15
4.4 Subsistema de energia electrica.	22
4.5 Subsistema de control termico.	25
4.6 Subsistema de posicion y orientacion	26
4.7 Subsistema de propulsion.	26
4.8 Subsistema de rastreo, telemetria y comando.	27
4.9 Subsistema estructural.	28

4.10 Tecnicas de acceso multiple.	30
-----------------------------------	----

Capitulo 5

Estaciones Terrenas.

5.1 Introduccion.	32
5.2 La antena.	33
5.3 Rastreo del satelite.	40
5.4 El transmisor.	41
5.5 El receptor.	44
5.6 Alimentacion de energia.	46

I GENERALIDADES

1.1 Definición.

El satélite, del latín *satelles*, *satellit*(escolta), es en astronomía un cuerpo que gira alrededor de otro mas pesado.

El satélite artificial es un artefacto construido por el hombre, lanzado al espacio. Se mueve alrededor del planeta, bajo el efecto de la fuerza de atracción de las masas. Desde el punto de vista de las comunicaciones un satélite artificial no es mas que una simple repetidora en el rango de las microondas puesta en el espacio.

1.2 Clasificación de los satélites.

1.2.1 De acuerdo a su principio de operación.

Los satélites se clasifican en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Se considera a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite, este último se clasifica a su vez en "tontos" e inteligentes" Se considera un satélite activo tonto si funciona como repetidor de microondas situado en el espacio el cual no conmuta ni regenera las señales, y un satélite activo inteligente si ofrece la posibilidad de procesar las señales en el espacio antes de retransmitirlas a la tierra.

1.2.2 De acuerdo a su aplicación.

Podemos clasificar los satélites en dos grupos: civiles y militares. Dentro de los civiles podemos incluir los de comunicaciones, los de investigación, meteorológicos, etc.

1.2.3 De acuerdo a su órbita.

Podemos clasificar a los satélites de acuerdo a su órbita en geostacionarios y no geostacionarios. Un satélite geostacionario es aquel que permanece fijo con respecto a la Tierra, es decir, visto desde la tierra aparecería como en punto fijo en el cielo. Un satélite no geostacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la tierra, un ejemplo de esto es la luna.

En general podemos decir que los sistemas de comunicación vía satélite requieren de una órbita geostacionaria por las ventajas que esto implica

A) Al permanecer fijo el satélite con respecto a la tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se orienta la antena esta permanece fija.

B) Una vez orientada la antena se dispondrá del satélite todo el tiempo, ya que este permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

1.2.4 De acuerdo a su cobertura.

Clasificaremos los satélites de acuerdo a su cobertura en globales, regionales y domésticos. Un sistema será global cuando su transmisión cubra todo el espacio sobre la superficie de la tierra, de acuerdo a la línea de vista desde el satélite. En la práctica un 40% de la superficie de la tierra desde un satélite geostacionario. Un satélite será de cobertura regional cuando su transmisión cubra algunas áreas específicas según sean los requerimientos. Un satélite de cobertura doméstica su transmisión cubre solo un área específica que puede ser grande o pequeña según sean los requerimientos.

1.3 Ventajas de la comunicación via satélite.

1. Simplificación del sistema. Debido a su gran altura (aproximadamente 36000 km.) se tiene línea de vista entre el satélite y cualquier estación terrena que este dentro de su área de cobertura la cual puede llegar a ser tal que se cubriría prácticamente el 40% de la superficie de la tierra con un solo satélite. Esto simplifica enormemente el sistema ya que el satélite sustituye a las redes de microondas con las consiguientes ventajas tanto técnicas como económicas.

2. Mayor calidad. Debido a que cualquier proceso electrónico degrada la señal al agregar algo de ruido, debemos considerar la gran ventaja de manejar un enlace a través de un solo repetidor (el satélite), y por lo tanto una sola fuente de ruido, comparando contra un enlace utilizando una red de microondas de 20 o más repetidoras y por lo tanto 20 o más fuentes de ruido.

3. Mayor confiabilidad. Otra consecuencia del hecho de utilizar una sola repetidora, en vez de una red de ellas en los enlaces vía satélite es la reducción de la posibilidad de fallas a una sola (el satélite), lo cual da una gran confiabilidad al sistema. Además hay que considerar las normas más estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil.

4. Alta capacidad. Aquí podríamos hacer énfasis en la ventaja de utilizar las microondas como frecuencias portadoras, lo que permite disponer de un ancho de banda amplio y por lo tanto el tener una gran capacidad de manejo de información.

LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN EN ÓRBITA.

2.1 Órbita Geoestacionaria.

Las condiciones para que un satélite guarde una órbita geoestacionaria son las siguientes:

1. La órbita debe ser circular
2. La órbita debe ser ecuatorial.
3. La altura sobre el nivel del mar debe ser 35788 km.
4. El satélite debe de desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra.

Al cumplir con estas condiciones se logra un periodo de 24 horas lo cual aunado a la órbita ecuatorial alrededor del mismo eje de rotacion de la tierra permite la sincronización y por lo tanto la orbita geoestacionaria. Dicho periodo de 24 horas es deducido de la ecuación de Keppler que enuncia lo siguiente:

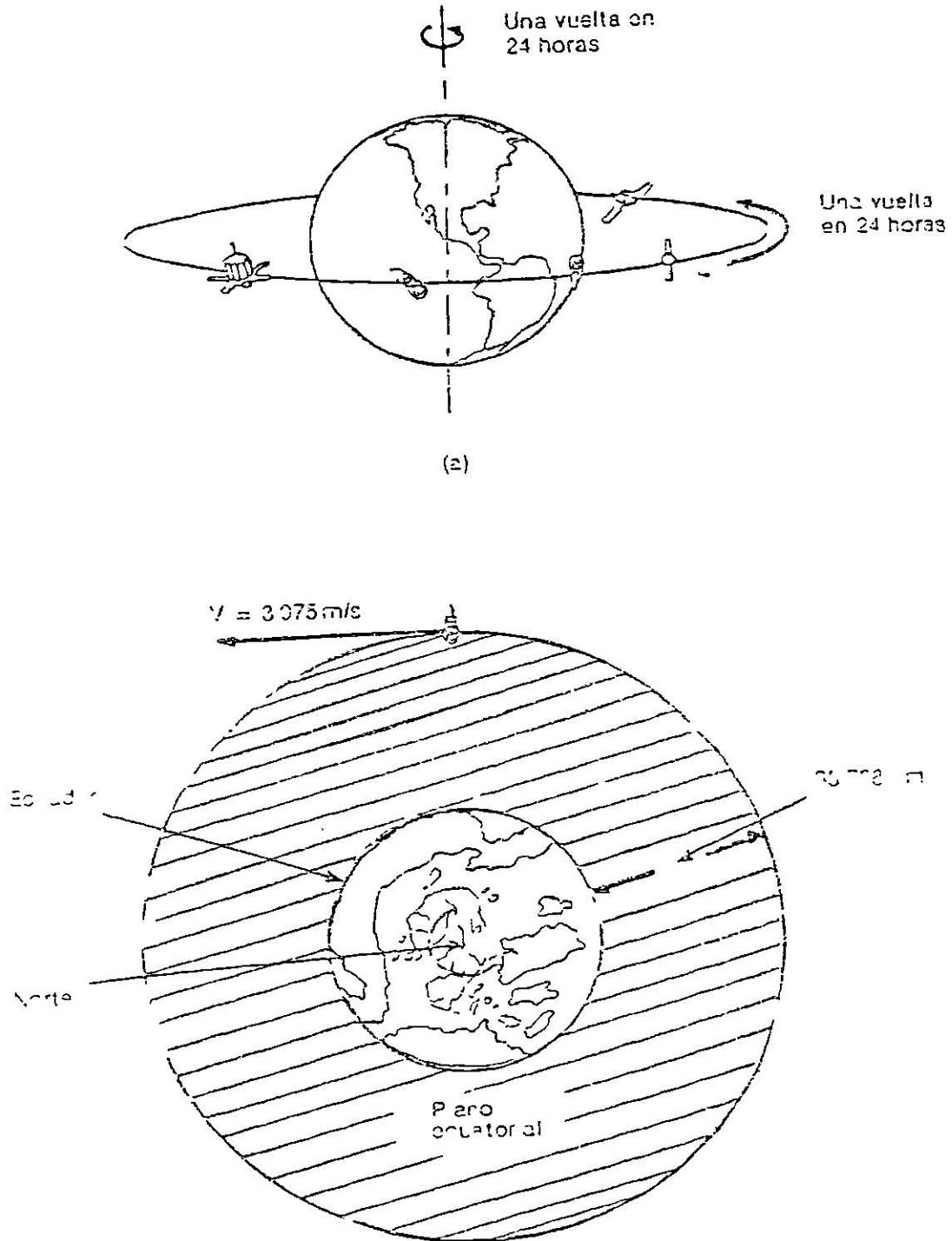
$$P_o = \frac{4(d)(R+h)}{u}$$

donde:

- P_o - Periodo orbital (seg).
- R - Radio de la tierra (m).
- h - Altura del satélite (m).
- u - Constante de Keppler
(3.99 exp14 m³ seg²).

Una vez que el satélite se fija en su posición, es necesario estabilizarlo y corregir su posición constantemente ya que existen fuerzas externas que se encargan de moverlo. Los subsistemas de propulsión son los encargados de realizar estas maniobras. Los motores de maniobra y los motores de orientacion son alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos; el mas utilizado es la Hidrazina monopropelente aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes, (con dos propelentes distintos: un combustible y un oxidante). De hecho, es este combustible el que determina la vida util del satélite el cual en promedio es de 10 a 15 años. Fig 1 (pag 4)

Figura 1



Los satelites geostacionarios giran alrededor de la tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 Horas.

2.2 Como llegar a la órbita Geoestacionaria.

Para llevar un satélite a la órbita geoestacionaria existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

2.2.1 Inyección directa en órbita geoestacionaria.

El satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios.

La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta.

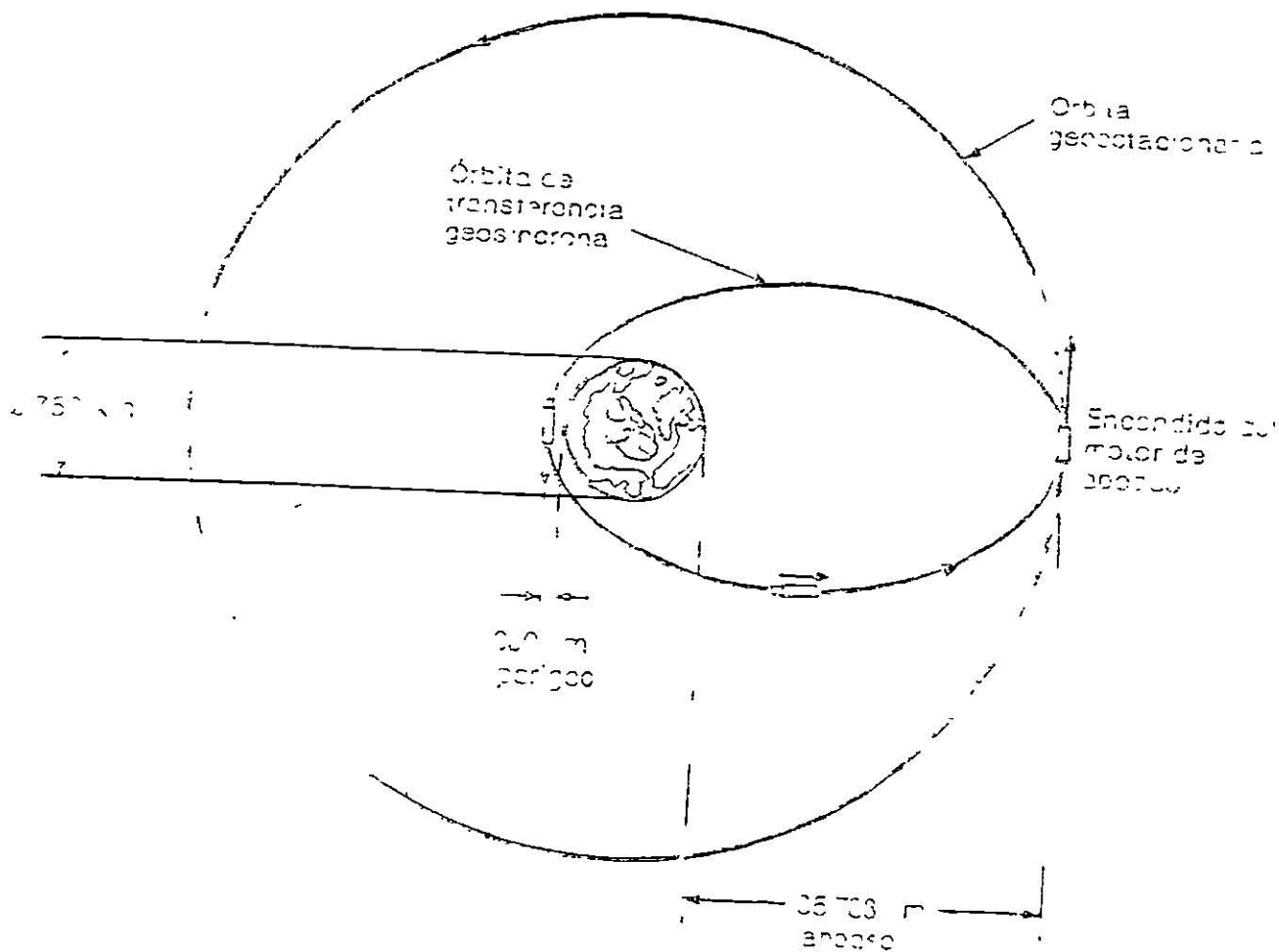
2.2.2 Inyección Inicial en Órbita Elíptica.

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir, muy alargada, en la que el centro de la tierra es uno de los dos focos. Una vez ahí, el satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en esa órbita, llamada de transferencia geosincronica, hasta que se lleva a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios de él mismo.

El perigeo de la órbita de transferencia geosincronica esta normalmente a una altura aproximada de 200 Km., que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado: obviamente, el encendido se efectúa después de haber orientado el satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse este, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica a la circular geoestacionaria.

Fig 2 (pag 6)

Figura 2



Algunos ejemplos, como el Ariane de la Agencia Espacial Europea, colocan los satélites geostacionarios en órbitas. El satélite se pone primero en una órbita de transferencia geosincrona y después de varias vueltas, cuando los motores se encienden que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

2.2.3 Inyección Inicial en Órbita Circular Baja.

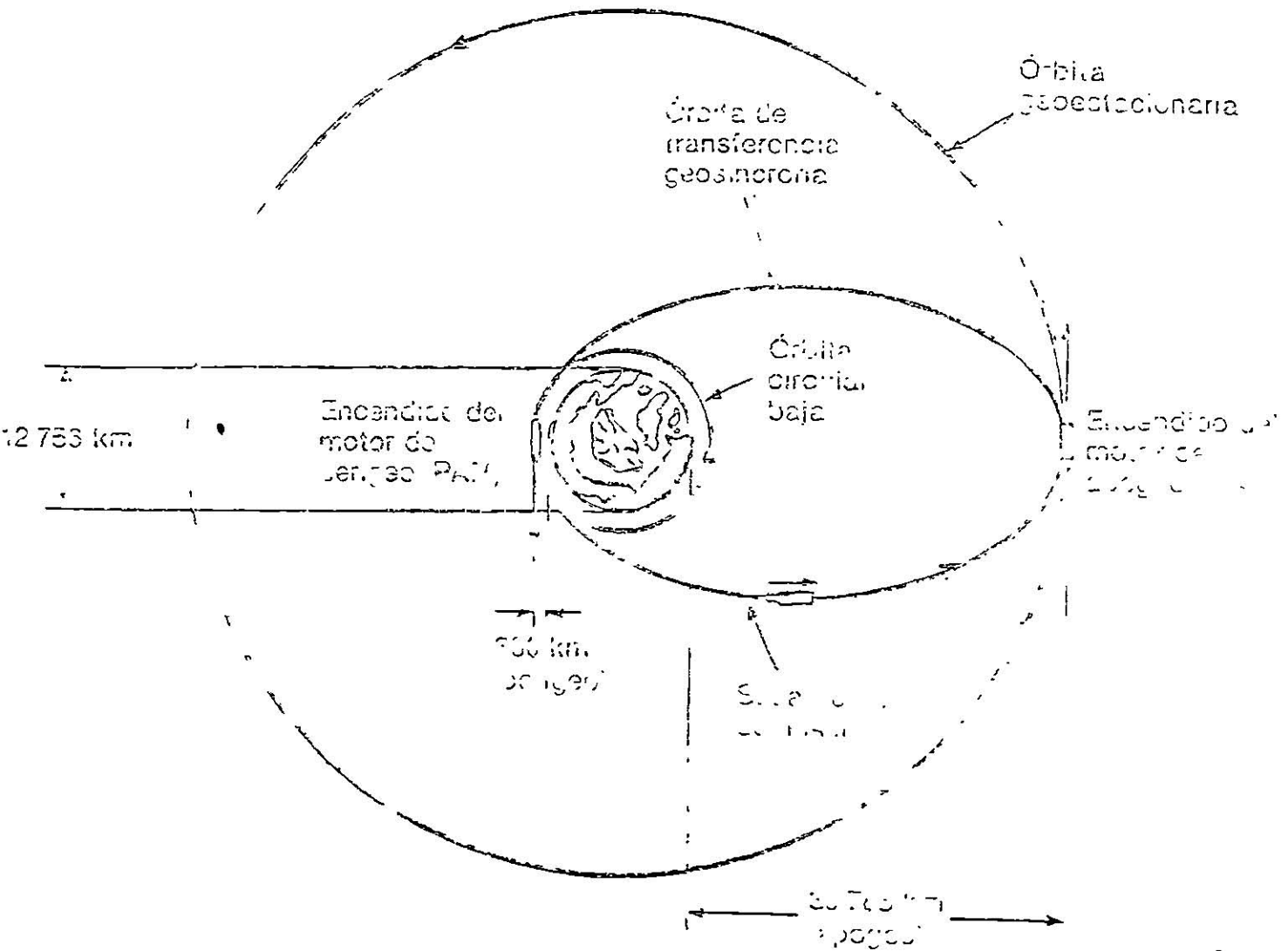
Esta es la técnica empleada por el sistema de transportación espacial de la NASA de EE.UU., mejor conocido como orbitador, y consiste en tres pasos, los últimos son idénticos al caso anterior de inyección inicial en órbita elíptica, y el primer paso se describe a continuación.

El orbitador despega llevando al satélite en su compartimiento de carga y entra en órbita alrededor de la tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km. Sobre el nivel del mar.

En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de la carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende, esto le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica. Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que más adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

Fig 3 (pag 8)

Figura 3



Los orbitadores de la NASA colocan el satélite en la órbita circular baja. Para que este lleve a su posición geoestacionaria final deben seguirse otros dos pasos, mediante el encendido de un motor de perigeo y después el de un motor de apogeo.

3.1 Medio Ambiente en el que se Desarrollará el Satélite.

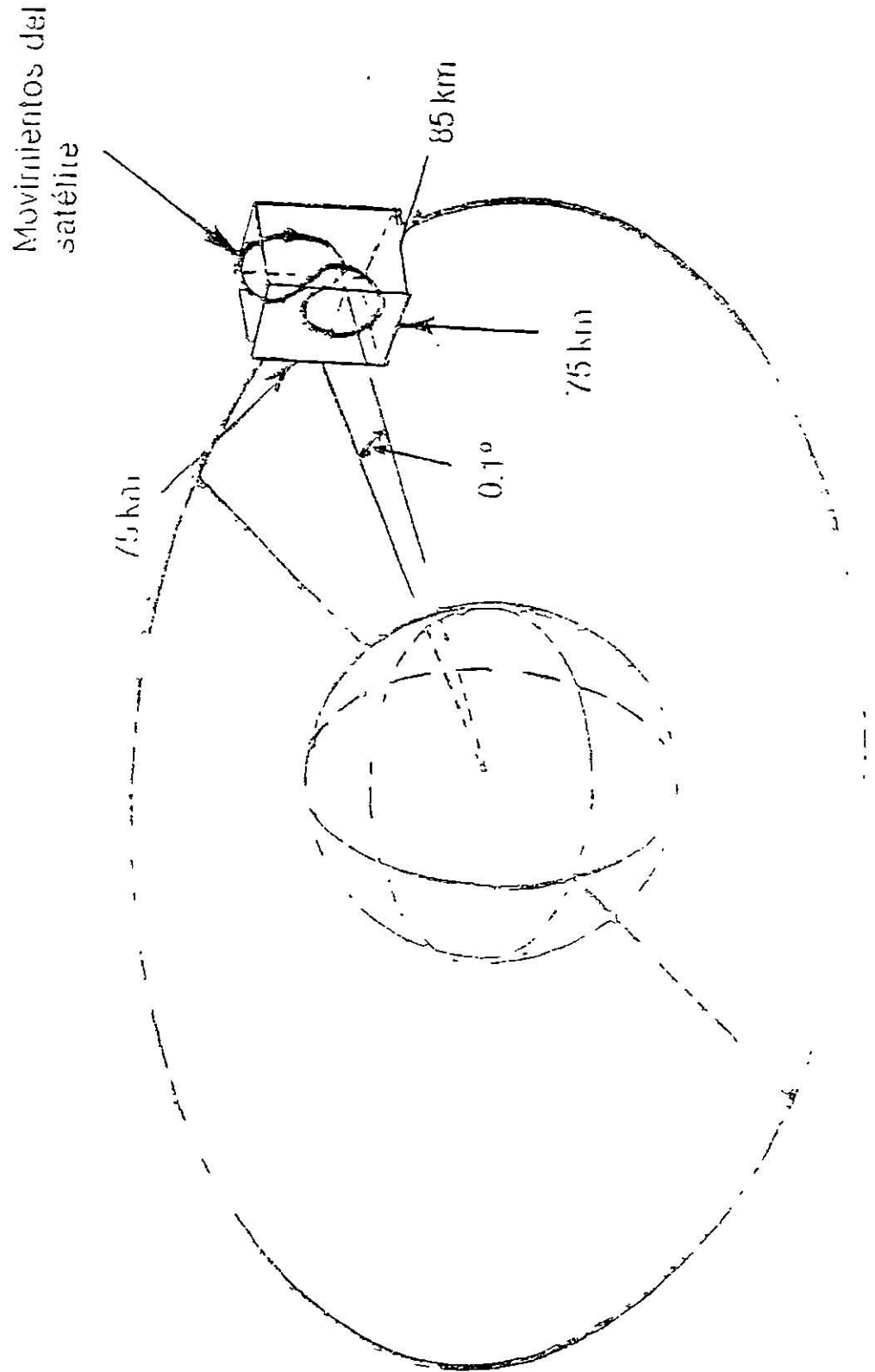
El satélite ha llegado a su posición final en la órbita geoestacionaria autorizada a su propietario con años de anticipación por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Sin embargo, no es el primero en llegar ahí; hay muchos otros satélites en la misma órbita, algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones, tamaños y aplicaciones distintas; muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado también usará durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente, aunque todos son vecinos, no se encuentran colocados en el mismo punto, de hecho, están separados entre sí por dos o tres grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 Km. respectivamente, con lo cual se garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además, la posición en longitud de cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de intercomunicar.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que a sus lados se encuentran los países industrializados de América del Norte y Europa.

El satélite recién llegado no debe causar problemas de interferencia ni degradaciones en la calidad de las señales recibidas o transmitidas por él, y por lo tanto debe permanecer ahí lo más fijo que se pueda. Es decir, aun cuando se este moviendo a gran velocidad alrededor de la tierra para mantener su posición geoestacionaria no debe desviarse de su trayectoria y tampoco debe cambiar la orientación de su cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

En la siguiente figura se muestran dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio. Mientras el satélite se mueva dentro de ella, no habrá ningún problema, pero hay que rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión a control remoto antes de que se salga, para así regresarlo hacia el otro lado de la caja. Se necesita contar en tierra con un centro de control especial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información, que le permite a los operadores y a las computadoras hacer cálculos y tomar las decisiones correctas. Fig 4 (pag 10)

Figura 4



com rev cu na l atelite no se s?ra de es a
c j i a in r- no hay incun probl ma.

3.2 Fuerzas Perturbadoras.

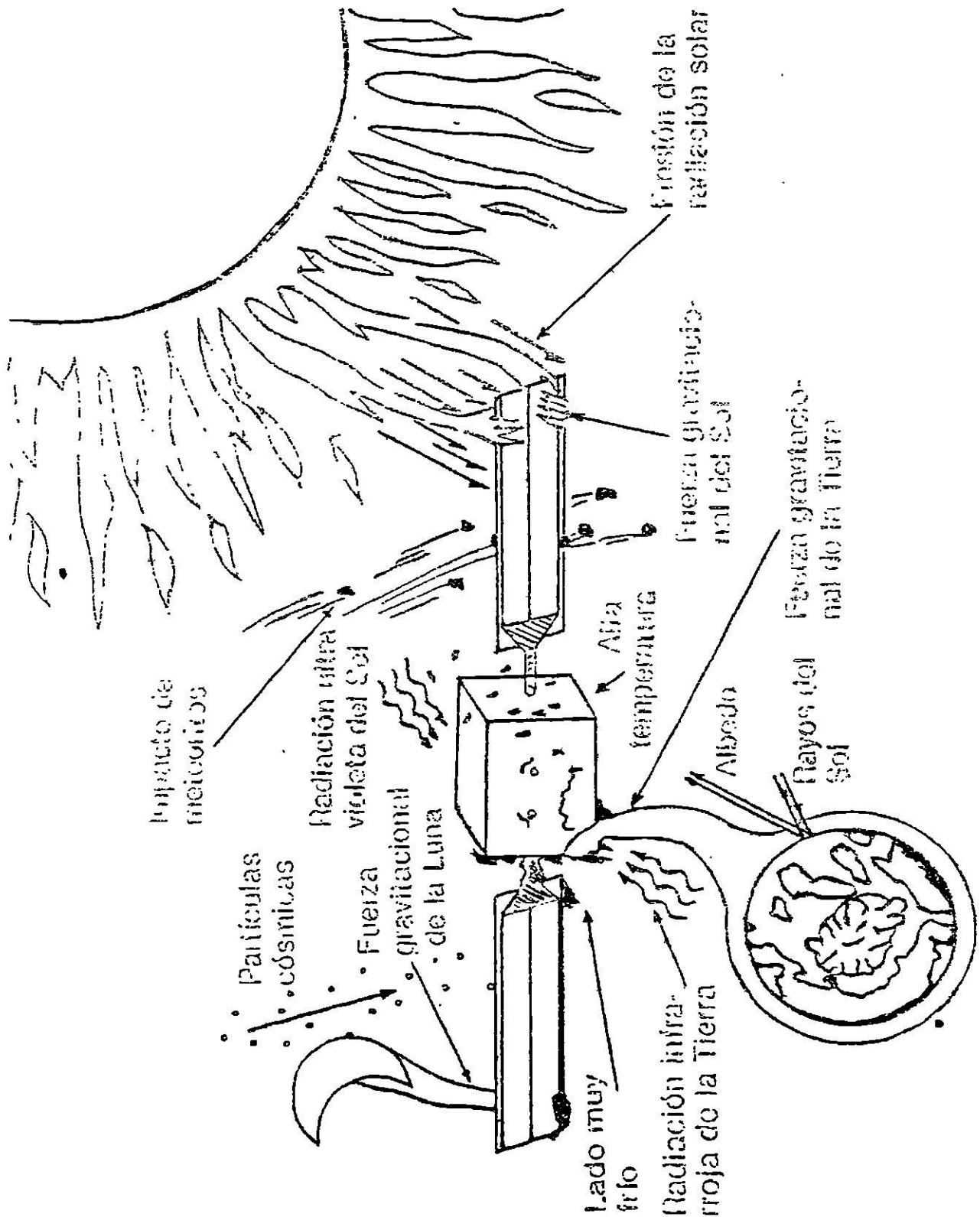
Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite:

- a) Fuerza Gravitacional de la Tierra.
- b) Fuerza Gravitacional de la Luna.
- c) Radiacion Infrarroja de la Tierra.
- d) Presión de la Radiación del Sol.
- e) Impacto de meteoritos.
- f) Partículas Cómicas.
- g) Radiación Ultravioleta del Sol.
- h) Altas Temperaturas.
- i) Muy Bajas Temperaturas.

3.2 Temperatura.

El satélite esta ntegrado por un gran numero de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo, las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre los -100 C y +50 C, las baterías solamente entre 0 C y + 20 C, los tanques de combustible deben estar entre +10 C y +50 C; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos, entre otros componentes, tambien requieren rangos especificos de temperatura para uncionar bien. Por lo tanto, es preciso garantizar un control térmico eficaz en la estructura del satélite y en cada uno de sus equipos para que no falle. El mecanismo para hacerlo es muy complejo, pues se necesita mantener un balance termico entre la energia que el satélite recibe por la radiacion de fuerzas externas y la energía que el mismo disipa internamente. El problema se complica aun mas si se considera que la energía de las fuerzas externas cambian constantemente conforme el satélite gira alrededor de la tierra, ya que según la hora del día y época del ano la magnitud de la radiación que recibe del sol y de la tierra es variable. Fig 5 (pag 12).

Figura 5



Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite.

ESTRUCTURA DEL SATÉLITE Y SU FUNCIONAMIENTO.

4.1 Introducción

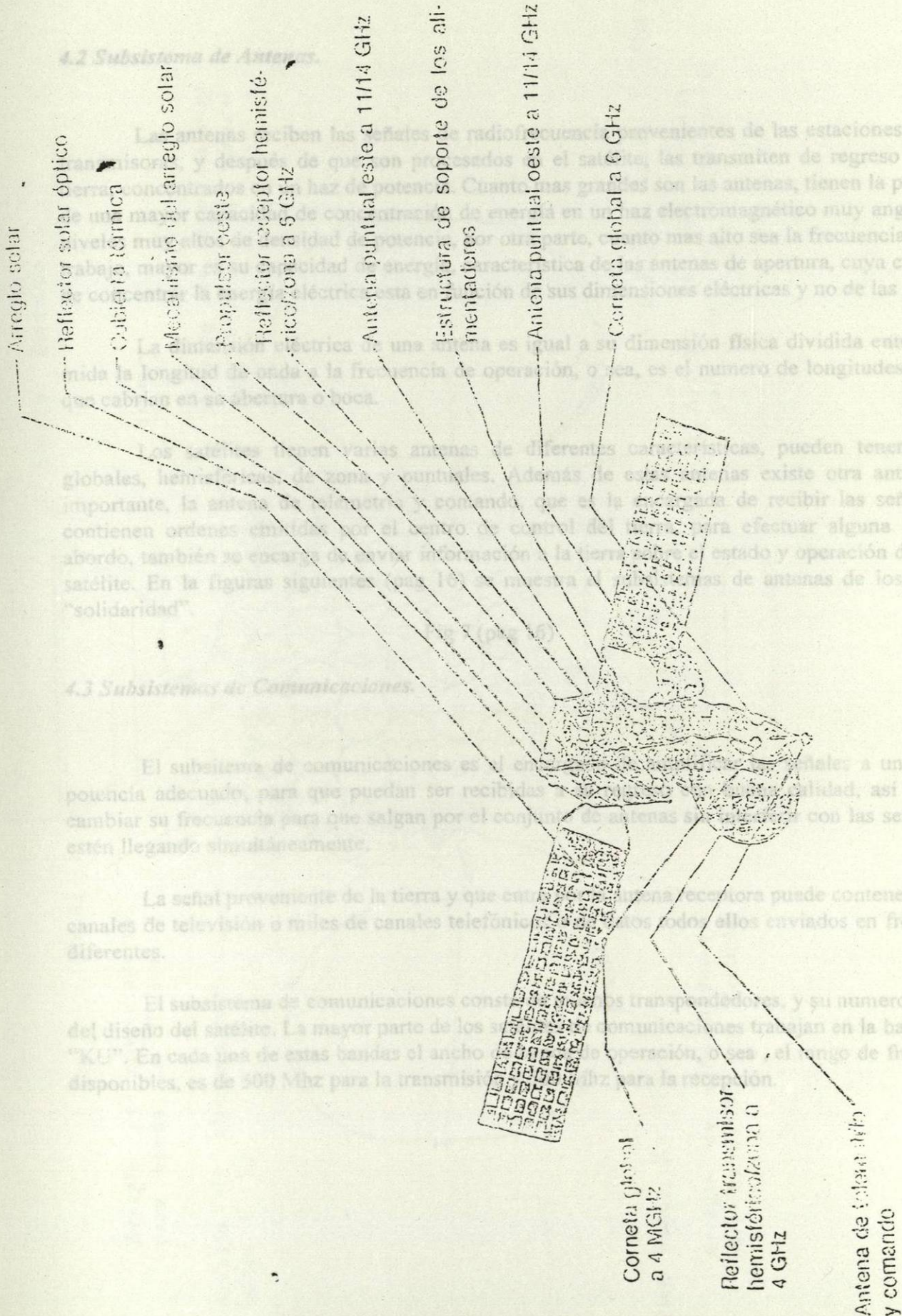
Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la tierra; sus subsistemas mas importantes se indican en la tabla Y en la figura de la pagina siguiente se muestra parte de su distribución en el satélite Intelsat V.

TABLA I Subsistemas de un satélite y sus funciones.

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

Fig 6 (pag 14)

Figura 6



4.2 Subsistema de Antenas.

Las antenas reciben las señales radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas y después de que son procesadas el satélite, las transmiten de regreso hacia la estación que las envió. Cuando las grandes son las antenas, tienen la propiedad de concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto con el fin de mejorar la capacidad de comunicación. Cuanto más alto sea la frecuencia a la que se opera, la capacidad eléctrica de las antenas de apertura, cuya capacidad depende de la longitud eléctrica de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

Los satélites tienen varias antenas de diferentes capacidades, pueden tener antenas globales, hemisféricas, zonales, puntuales. Además de estas antenas existe otra antena muy importante, la antena de comando, que es la encargada de recibir las señales que contienen ordenes emitidos desde el centro de control del satélite para efectuar alguna conexión de abordo, también se encarga de enviar información sobre el estado y operación de todo el satélite. En la figura siguiente se muestran algunas de las antenas de los satélites "solidaridad".

4.3 Subsistemas de Comunicaciones.

El subsistema de comunicaciones es el encargado de transmitir y recibir señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas con claridad, así como de cambiar su frecuencia para que salgan por el canal que se desea, con las señales que estén llegando simultáneamente.

La señal proveniente de la tierra y que en su camino hacia el satélite puede contener muchos canales de televisión o miles de canales telefónicos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes.

El subsistema de comunicaciones consiste en los transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. La mayor parte de los sistemas de comunicaciones trabajan en la banda "C" y "KU". En cada una de estas bandas el ancho de banda de operación, o sea, el rango de frecuencias disponibles, es de 500 MHz para la transmisión y 400 MHz para la recepción.

posición de algunas componentes en un satélite Intelsat.

4.2 Subsistema de Antenas.

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesados en el satélite, las transmiten de regreso hacia la tierra, concentrados en un haz de potencia. Cuanto mas grandes son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad de concentración de energía en un haz electromagnético muy angosto con niveles muy altos de densidad de potencia, por otra parte, cuanto mas alto sea la frecuencia a la que trabaje, mayor es su capacidad de energía, característica de las antenas de apertura, cuya capacidad de concentrar la energía eléctrica esta en función de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, o sea, es el número de longitudes de onda que cabrían en su abertura o boca.

Los satélites tienen varias antenas de diferentes características, pueden tener antenas globales, hemisféricas, de zona y puntuales. Además de estas antenas existe otra antena muy importante, la antena de telemetría y comando, que es la encargada de recibir las señales que contienen ordenes emitidas por el centro de control del tierra, para efectuar alguna conexión abordo, también se encarga de enviar información a la tierra sobre el estado y operación de todo el satélite. En la figuras siguientes (pag 16) se muestra el subsistemas de antenas de los satélites "solidaridad".

Fig 7 (pag 16)

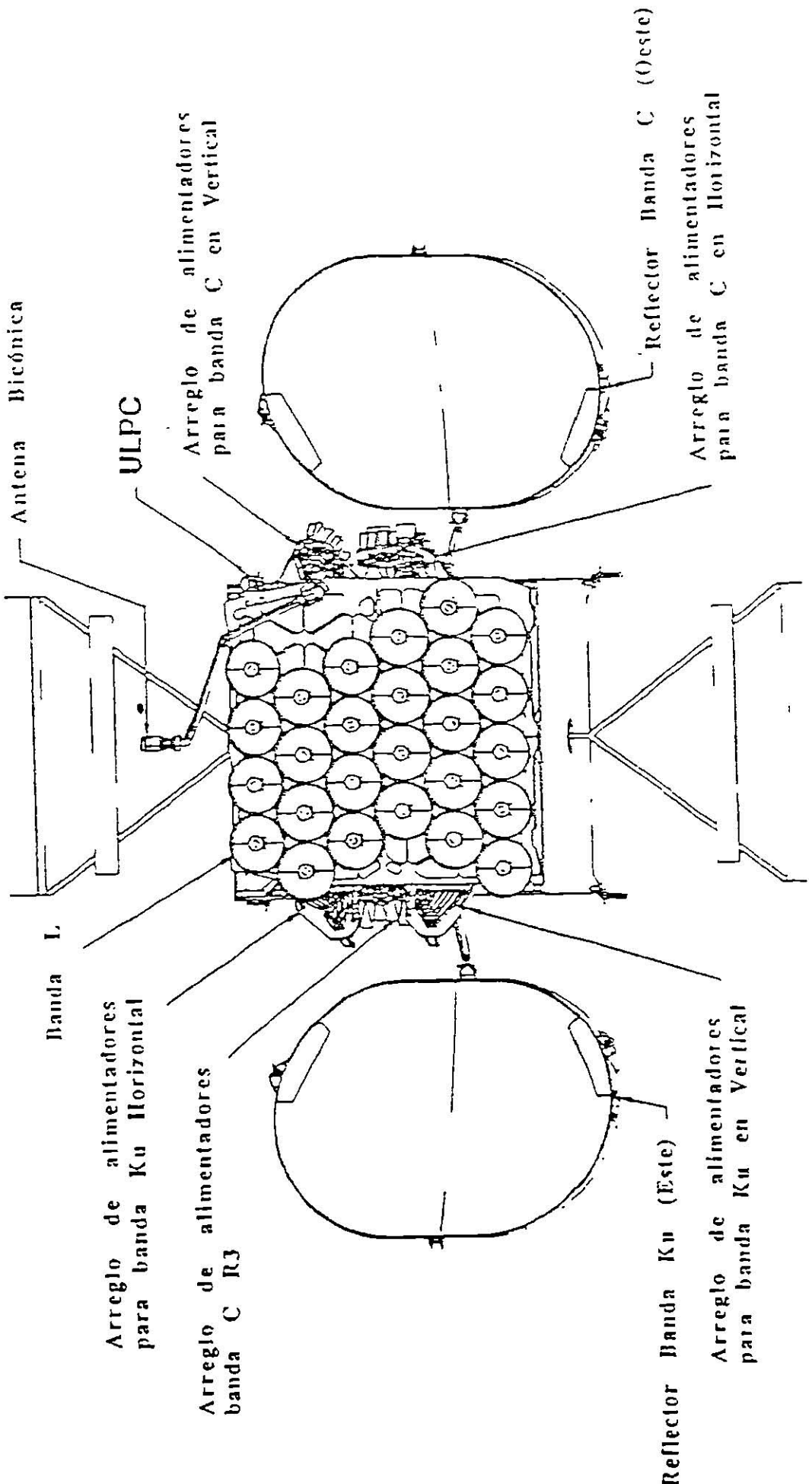
4.3 Subsistemas de Comunicaciones.

El subsistema de comunicaciones es el encargado de amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como de cambiar su frecuencia para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que esten llegando simultaneamente

La señal proveniente de la tierra y que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de television o miles de canales telefónicos o de datos todos ellos enviados en frecuencias diferentes.

El subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. La mayor parte de los satélites de comunicaciones trabajan en la banda "C" y "KU". En cada una de estas bandas el ancho de banda de operación, o sea, el rango de frecuencias disponibles, es de 500 Mhz para la transmisión y 500 Mhz para la recepción.

ANTENAS DESPLEGADAS



Existen satelites denominados Híbridos, que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda "C" como en la "KU". Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en un ancho de banda, bajándolas a otro ancho de banda igual, pero cuyos límites inferior y superior son menores que los límites inferior y superior del ancho de banda recibida

Una división usual del ancho de banda de un satélite consiste en 12 ranuras o espacios iguales de 36 Mhz de ancho de banda cada uno. Se dejan espacios libres entre ranuras adyacentes para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada uno contiene. Es posible que en cada ranura cupiesen 2 canales de televisión o cientos de canales de telefonía y datos.

La antena receptora del satélite no copia solamente las frecuencias que corresponden a un solo transpondedor o ranura, si no a todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Por lo tanto es necesario aislar las señales, para procesarlos y amplificarlas por separado, esta es una de las razones por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores. después del proceso todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la antena la tierra.

En la figura (pag 20) se muestra el plan de frecuencias y polarización de un satélite Spacenet. El satélite es Híbrido: tiene 12 transpondedores angostos de 36 Mhz y 6 anchos de 72 Mhz en la banda C, así como 6 transpondedores de 72 Mhz en la banda Ku. Las señales de los transpondedores angostos de banda C son transmitidas hacia la tierra con polarización horizontal en el enlace de subida y vertical en el de bajada; y en cuanto a los transpondedores en la banda KU, las señales con polarización vertical y bajan con polarización horizontal.

fig 8 Pag 18

fig 9 pag 19

fig 10 pag 20

fig 11 pag 21

Figura 7

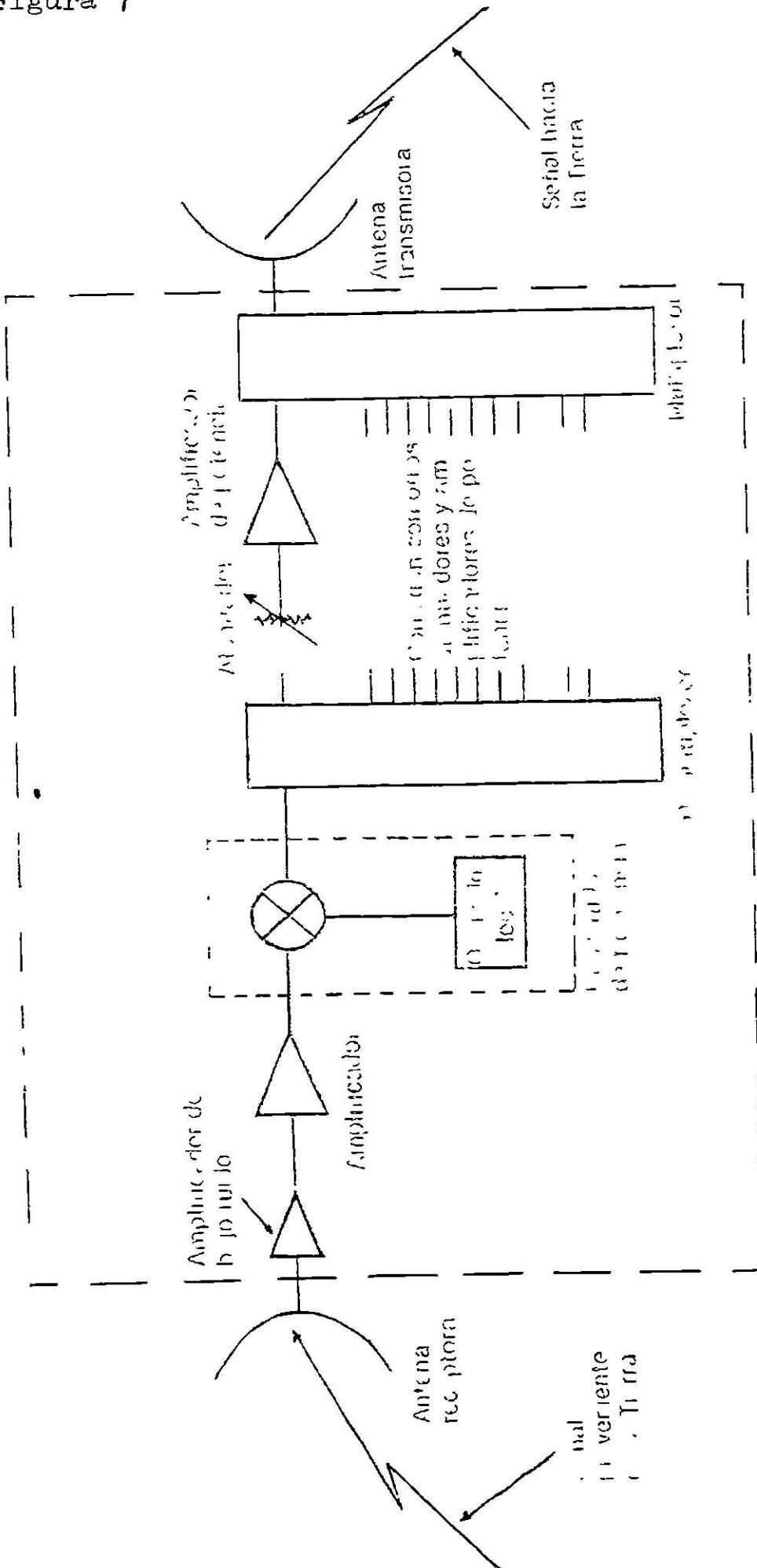
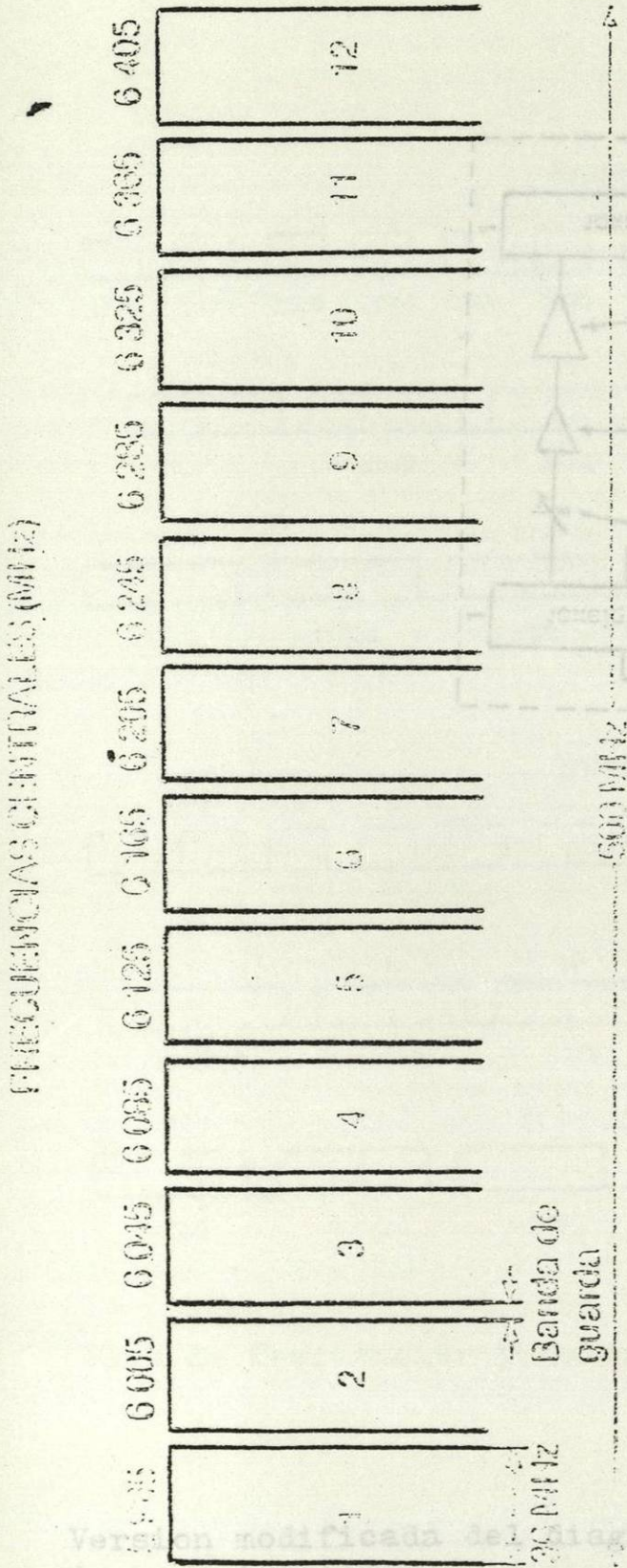


Figura 9



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

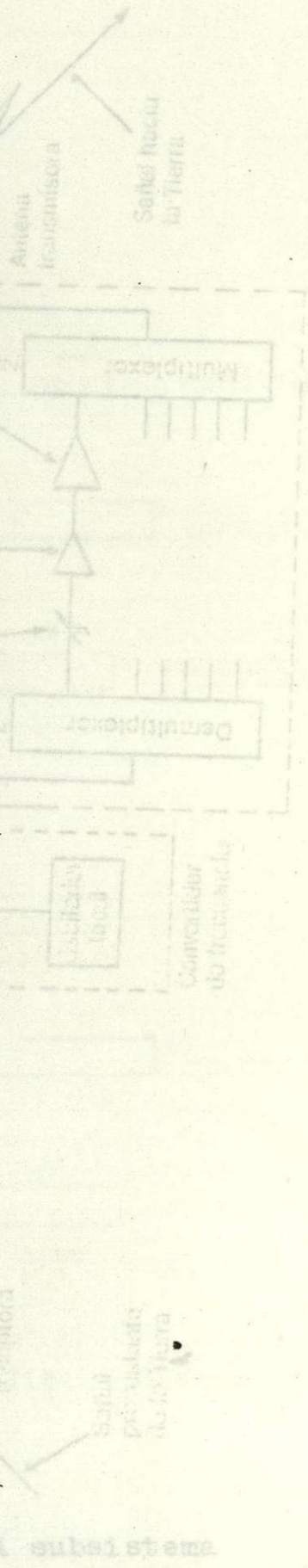
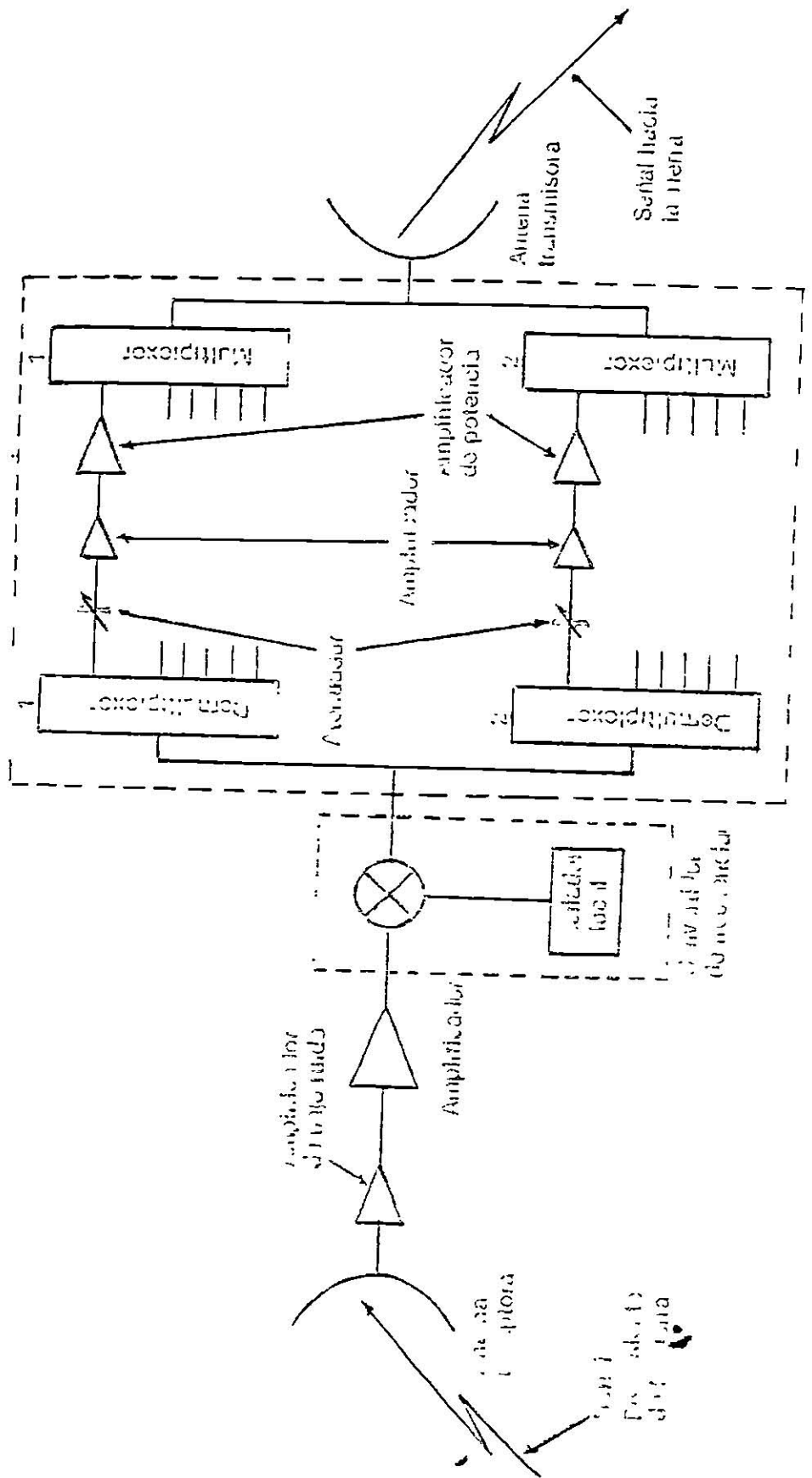


Figura 10

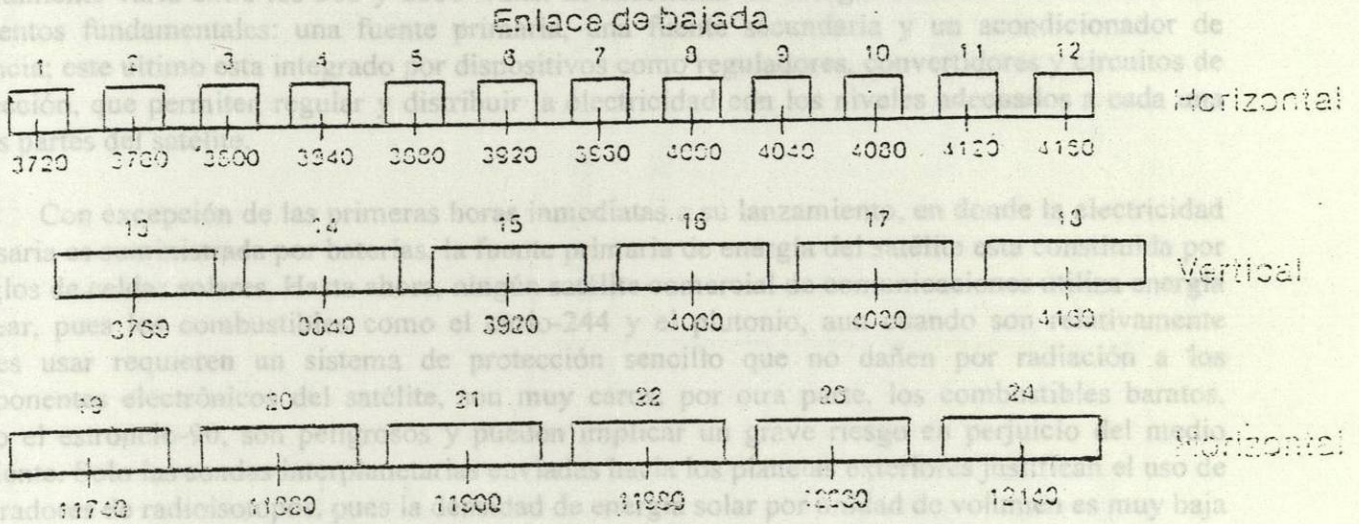


Versión modificada del diagrama y equipos del subsistema de comunicaciones.

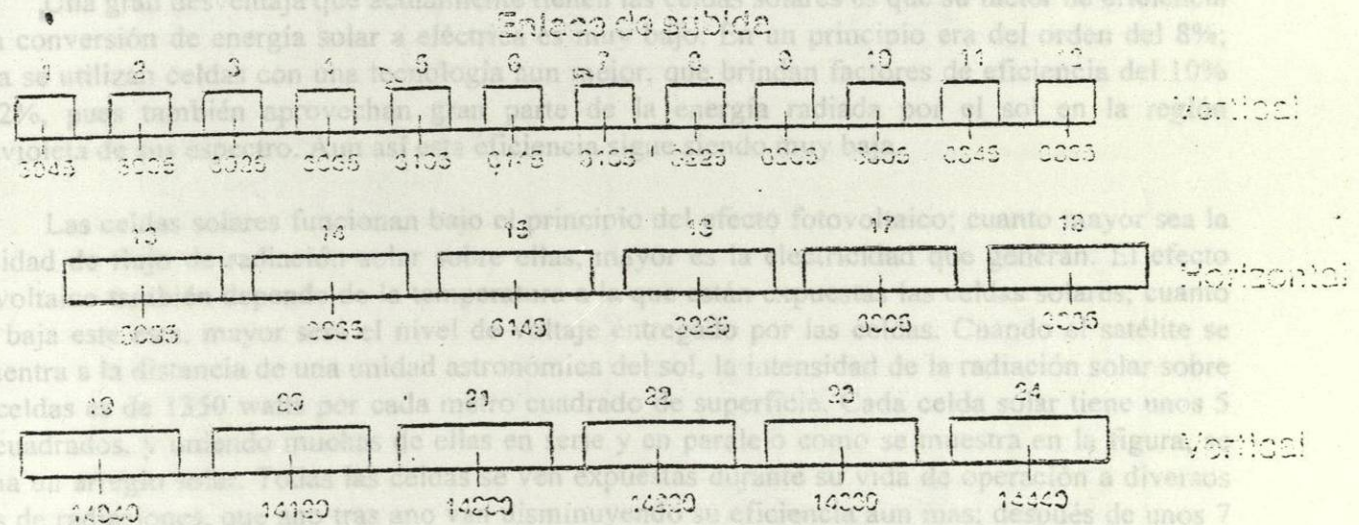
Figura 11;

4.4 Subsistema de Energía Eléctrica.

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación, y normalmente varía entre los 500 y 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria de energía, un convertidor de potencia y un acondicionador de potencia. Este sistema está integrado por dispositivos que protegen a cada uno de los elementos de las variaciones de voltaje y corriente.



Una gran desventaja que actualmente tienen los celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. Inicialmente era del orden del 8%, ahora se utilizan celdas con un factor de eficiencia del 10% al 12%.



Plan de frecuencias y polarización de un satélite Spacenet.

4.4 Subsistema de Energía Eléctrica.

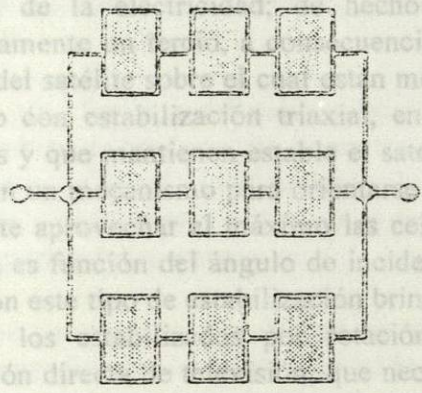
Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación, y normalmente varía entre los 500 y 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares. Hasta ahora, ningún satélite comercial de comunicaciones utiliza energía nuclear, pues los combustibles como el curio-244 y el plutonio, aun cuando son relativamente fáciles de usar requieren un sistema de protección sencillo que no dañen por radiación a los componentes electrónicos del satélite, son muy caros; por otra parte, los combustibles baratos, como el estroncio-90, son peligrosos y pueden implicar un grave riesgo en perjuicio del medio ambiente. Solo las sondas interplanetarias enviadas hacia los planetas exteriores justifican el uso de generadores de radioisótopos, pues la densidad de energía solar por unidad de volumen es muy baja en aquellas regiones.

Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. En un principio era del orden del 8%; ahora se utilizan celdas con una tecnología aun mejor, que brindan factores de eficiencia del 10% al 12%, pues también aprovechan gran parte de la energía radiada por el sol en la región ultravioleta de su espectro. Aun así esta eficiencia sigue siendo muy baja.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que están expuestas las celdas solares; cuanto más baja esta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas. Cuando el satélite se encuentra a la distancia de una unidad astronómica del sol, la intensidad de la radiación solar sobre sus celdas es de 1350 watts por cada metro cuadrado de superficie. Cada celda solar tiene unos 5 cm² cuadrados, y uniendo muchas de ellas en serie y en paralelo como se muestra en la figura, se forma un arreglo solar. Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aun más; después de unos 7 años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original, aun cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido. Fig 12 (pag. 23)

Ejemplo de una conexión de celdas solares en serie y paralelo.



CONFIGURACION BASICA DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE UN SATELITE

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

CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UN SATÉLITE

Arreglos de celdas solares	Reguladores, convertidores, Conmutadores, etc.	Baterías recargables Carga.
----------------------------------	--	---------------------------------------

Los satélites estabilizados por giro son cilíndricos y llevan las celdas solares montadas sobre la mayor parte de su superficie, envolviendo casi totalmente su perímetro. En cambio, los satélites con cuerpo fijo y estabilización triaxial no tienen una geometría cilíndrica sino que se asemejan a un cubo o caja, normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas.

El caso de los satélites estabilizados por giro o rotación, no todas las celdas solares están expuestas al sol en todo momento, y solamente se aprovecha una parte de ellas para efectuar la conversión de la electricidad; de hecho el porcentaje aprovechado en cada instante es de aproximadamente un tercio, a consecuencia de la parte oculta al sol y la pared curva del cuerpo cilíndrico del satélite sobre el cual están montadas las celdas. Por lo que respecta a los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial, en su interior hay volantes inerciales que actúan como giroscopios y que mantienen estable el satélite sin necesidad de que este gire. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constantemente y óptimamente hacia los rayos del sol; esto permite aprovechar al máximo las celdas, y todas al mismo tiempo, ya que la eficiencia de conversión es función del ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre ellas. Por tal razón, los satélites con este tipo de estabilización brindan mayor capacidad de generación de energía eléctrica que la de los estabilizados por rotación, e invariablemente es el caso de los satélites de radiodifusión directa de televisión, que necesitan varios kilowatts de potencia para operar eficaz y económicamente.

Durante toda su vida de operación, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos se necesita obtener su energía eléctrica de alguna otra fuente que no sea el sol para poder seguir funcionando: esta fuente secundaria o de respaldo la constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se hayan expuestas al sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. En el momento en que ocurre un eclipse, ya sea de tierra o de luna, unos relevadores eléctricos detectan la disminución en el nivel de energía suministrada por las celdas a los equipos y conectan la batería automáticamente. De esta forma, las baterías comienzan a descargarse poco a poco, mientras alimentan al satélite, y su operación se puede requerir durante muchos minutos, a veces más de una hora, dependiendo de la duración del eclipse.

Las baterías que más se utilizan en los satélites geoestacionarios son de níquel-cadmio; su eficiencia de potencia/peso es baja, pero se prefieren porque son más confiables y de larga duración. Sin embargo, algunos satélites ya utilizan baterías níquel-hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y que quizá poco a poco las irán

reemplazando desde la fecha hasta el año 2000. hay otros tipos de baterías que aun se encuentran en la etapa de investigación, por ejemplo, de plata-hidrogeno, litio y sodio.

4.5 Subsistema de Control Térmico.

Varias partes del satélite requieren distintos rangos de temperatura para operar eficientemente, ya que es necesario mantener un balance o equilibrio térmico del conjunto para que dichos rangos se conserven. Uno de los factores que intervienen en el equilibrio en cuestión es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del sol y de la tierra son otros factores que deben considerarse también.

La energía proveniente de la tierra la integran dos tipos de radiación; la propia de ella y la del sol reflejada por su superficie. La suma del calor generado internamente por el satélite más el producido por la absorción de energía del sol y de la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones, de tal manera que el satélite funcione íntegra y correctamente. El control de este balance térmico es también muy importante cuando ocurre un eclipse, pues el satélite se enfría bruscamente al quedar en la oscuridad y cuando esta de nuevo expuesto a los rayos del sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia del calor sobrante del satélite al vacío se efectúa por radiación; en su interior también se produce una ligera transferencia de calor entre sus partes, pero por conducción en la estructura. Con el fin de mantener lo mejor posible el equilibrio térmico, los especialistas en el diseño del satélite tienen a su alcance gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato.

Los colores también juegan un papel muy importante en el acabado de las partes del satélite, dependiendo del lugar que cada una de ellas ocupe en la estructura, al igual que las propiedades de absorción y emisión de los materiales. Así, por ejemplo, la pintura blanca absorbe la radiación infrarroja de la tierra, pero rechaza el flujo solar; su emitancia es muy alta y su absorbencia muy baja, de manera que se comporta como un elemento frío frente al sol. Por otra parte, la pintura negra también tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo posee una absorbencia muy alta, y cuando esta expuesta al sol su temperatura es superior a los 0 C, a diferencia de la pintura blanca cuya temperatura puede ser inferior a los -50 C.

Entre otros acabados, también se utiliza en algunas secciones la pintura de aluminio por tener una emitancia más baja que la pintura negra, así como una absorbencia también baja, las zonas cubiertas con pintura de aluminio son más calientes en la oscuridad, o sea, donde no inciden los rayos del sol, de lo que sería si tuviesen un terminado con pintura negra. Es así como, mediante la combinación de materiales y colores, y con el auxilio de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperaturas durante la mayor parte del tiempo.

4.6 Subsistema de Posición y Orientación.

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la tierra y retransmitirlas hacia otra a través de su subsistema de antenas direccionales, que por supuesto deben estar permanentemente orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para que tal situación se logre, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de estabilización por giro o estacionabilización triaxial.

Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite- o en algunos casos toda su estructura- gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la tierra. En los primeros satélites que utilizaron antenas de haces direccionales, estas se hacen girar en sentido contrario al del cuerpo cilíndrico del satélite, de tal forma que en realidad no se movían con relación a la superficie terrestre. Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir evolucionando las generaciones de satélites, y hoy solo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de la estructura -que incluye a las antenas- se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción. El satélite, al girar sobre su eje se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras descritas.

Los satélites con estabilización triaxial ni giran, y aparentemente permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la tierra. En estos casos, la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios que van colocados en su interior, sobre cada uno de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie terrestre. Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la tierra. Por lo tanto, es preciso poder determinar de alguna manera y en todo momento, donde está el satélite y cuál es la orientación exacta de su cuerpo.

4.7 Subsistema de Propulsión.

El subsistema de propulsión o de control a reacción opera según el principio de la tercera ley de Newton: mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje cientos o miles de veces más grandes que los eléctricos.

El principio básico mediante el cual operan los propulsores químicos, es la generación de gases a muy alta temperatura en el interior de una cámara mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su área transversal y después se ensancha. Los primeros sistemas de control a reacción utilizaban gases fríos como el nitrógeno y el peróxido de hidrógeno; sin embargo su impulso específico era muy bajo -del orden de 70 segundos- y muy pronto fueron sustituidos por hidrazina monopropelente que en la actualidad goza de mucha popularidad. En este último tipo

de propulsión, la hidrazina (N_2H_4) es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador; como resultado, la primera se evapora y se descompone exotéricamente en una mezcla de hidrogeno, nitrógeno y amoniaco, a temperaturas del orden de 300 C y con un impulso específico de unos 255 segundos. El impulso específico se puede mejorar incrementando la temperatura de los gases mediante algún sistema de calentamiento resistivo, después de la descomposición catalítica, hasta unos 1900 C, y antes de que escapen por la tobera; de esta forma, el impulso específico aumenta hasta unos 300 segundos. Este importante incremento permite reducir la masa de propelente en el satélite antes de lanzarlo y colocarlo en orbita, pero a costa de un consumo mayor de energía eléctrica, pues hay que calentar la cámara de catalización.

4.8 Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando.

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite hacia la tierra con una velocidad baja, entre 200 y 1000 bits por segundo, y esta información permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyada por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de 6 a 7 tonos distintos, cuya frecuencia es de unos cuantos kilohertz, y que modulan sucesivamente en fase con la señal portadora de la estación terrena de control; el satélite recupera los tonos y remodula con ellos a su propia portadora, para retransmitirlos hacia la tierra, en donde son detectados por el centro de control. Las señales recibidas en tierra se comparan en fase con las transmitidas originalmente, y las diferencias permiten calcular la distancia a la que se encuentra el satélite, con precisión de unas cuantas decenas de metros.

La transmisión de las señales de telemetría y la retransmisión de los tonos de rastreo hacia la tierra se realiza a través de un mismo amplificador a bordo del satélite, al igual que con las señales de comando que se hayan recibido, para que se verifiquen antes de que sean ejecutadas. Durante los varios años de vida operacionales del satélite, este amplificador es el mismo de alguno de los transpondedores empleados para las comunicaciones en general, ya que las señales transmitidas y recibidas por el subsistema de telemetría, rastreo y comando ocupan muy poco ancho de banda y pueden compartir el mismo amplificador de banda C o Ku con otro tipo de señales de comunicaciones. Solamente durante las maniobras de colocación en orbita es común utilizar un amplificador que funcione a frecuencias más bajas que las de la banda C o Ku; en esta etapa importante de su lanzamiento se emplean las bandas de VHF y S, cuyas frecuencias son, respectivamente, de aproximadamente 140 Mhz y 2 Ghz, las transmisiones y recepciones se efectúan a través de la antena de rastreo, comando y telemetría.

4.9 Subsistema Estructural.

La estructura del satélite es la armazón que sostiene a todos los equipos que lo forman y que le da la rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto desde el momento en que abandona la superficie de la tierra; este importante subsistema debe ser durable y resistente y lo mas ligero posible.

Para ello, el diseñador tiene a su alcance una diversidad de materiales para fabricar la estructura, así como muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica a través de los años. Los materiales mas comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de estos el berilio es el mas caro, y por lo tanto su utilización es limitada. Dependiendo del diseño, la masa de la estructura puede variar entre 10 v 20 % del total de la masa del satellite; una buena parte de esa estructura se fabrica con panal de abeja de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

4.10 Tipos de Accesos Múltiples.

Existen tres métodos para la transmisión UPLINK, estos son:

- 1) Acceso múltiple por división de frecuencia. (FDMA).
- 2) Acceso múltiple por división de tiempo. (TDMA).
- 3) Acceso múltiple por división de código. (CDMA).

1) Acceso Múltiple por División de Frecuencia. (FDMA)

Este tipo de acceso múltiple recibirá al mismo tiempo señales diferentes, utilizando para ello distintas frecuencias portadoras para que no haya interferencias. Si la suma de los anchos de banda de estas señales dan un total cercano a los 36 Mhz, entonces dichas señales pueden ocupar el mismo transponder del satélite. Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas estén no situadas en la misma ciudad, recibe el nombre de FDMA, ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se dividen en secciones o ranuras de frecuencia asignadas a cada una de ellas.

Los transpondedores no deben de sobreexcitarse y de esta forma se evita la distorsión por intermodulación y la forma de prevenir es mediante la alimentación de la potencia. Si el satélite no opera a su máxima potencia entonces no ocurrirá la distorsión. Las estaciones terrenas extraen estas señales multiplexadas mediante la sintonización de su frecuencia correspondiente la cual es pasada al receptor y procesada para obtener la información correspondiente. Las estaciones terrestres deben siempre de transmitir con la misma frecuencia central o portadora, también se le llama acceso múltiple por división en frecuencia con asignación fija.

a) Acceso múltiple con asignación por demanda.

Esta técnica permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite con el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer su comunicación. En el momento en la que alguna deja de transmitir esa ranura se libera y queda disponible para cualquier otra de las estaciones del sistema que sea solicitada temporalmente; cuando minutos u horas después la estación terrena que libera una ranura y quiera transmitir más información, podría darse el caso de que la ranura de frecuencia que uso previamente dentro del amplificador este ocupada en ese instante por la señal de otra estación, pero puede haber atrás ranuras desocupadas en ese momento, y de ser este el caso la estación terrena en cuestión podría utilizar cualquiera de ellas.

Un transpondedor de 36 Mhz puede ser ranurado en 800 secciones capaz de conducir simultáneamente 400 conversiones telefónicas; cada una de las ranuras tiene su frecuencia portadora y puede ser utilizada temporal e indistintamente por cualquiera de los países que integren el sistema, sincronizándose para ello en un banco central de frecuencias mediante un canal digital de solicitudes.

b) Canal único por portadora. (SCPC)

Este caso de asignación, es por demanda y cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un solo canal telefónico modulado.

c) Portadora multicanal (MCPC)

Una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinadas en forma adecuada, con multiplexaje en frecuencia o en tiempo.

2) Acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA).

Es una técnica totalmente digital mediante el cual varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de el. Todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura con un ancho de banda fijo, y se comparte 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 su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno. No hay división de potencia ni productos de intermodulación en las estaciones transmisoras o receptoras por lo tanto el transponder puede operar a su potencia completa sin distorsión. La forma en que este sistema trabaja es que cada estación tiene un circuito que almacena su información de salida y mediante un control desde una estación maestra, los circuitos de almacenamiento individuales (buffers) de cada transmisor en el sistema libera todas sus señales almacenadas a muy alta velocidad hacia el satélite.

3) Acceso múltiple por división de código.(CDMA)

No es usada tan extensamente a nivel comercial pero si en los campos de seguridad y militares. En este sistemas todas las estaciones terrenas transmiten a la misma frecuencia y al mismo instante. Presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda (Transpondedor completo), pues cada bit de información como los que se transmiten en la modulación TDMA se transforman en nuevo tren de bits y muy largo, de acuerdo a un código determinado previamente. Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información. de las estaciones terrenas receptoras, solo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original, las señales codificadas llegan superpuestas por otras señales que son tomadas, como ruido tolerable. También se le denomina acceso múltiple con espectro esporádico (SSMA).

5
ESTACIONES TERRENAS

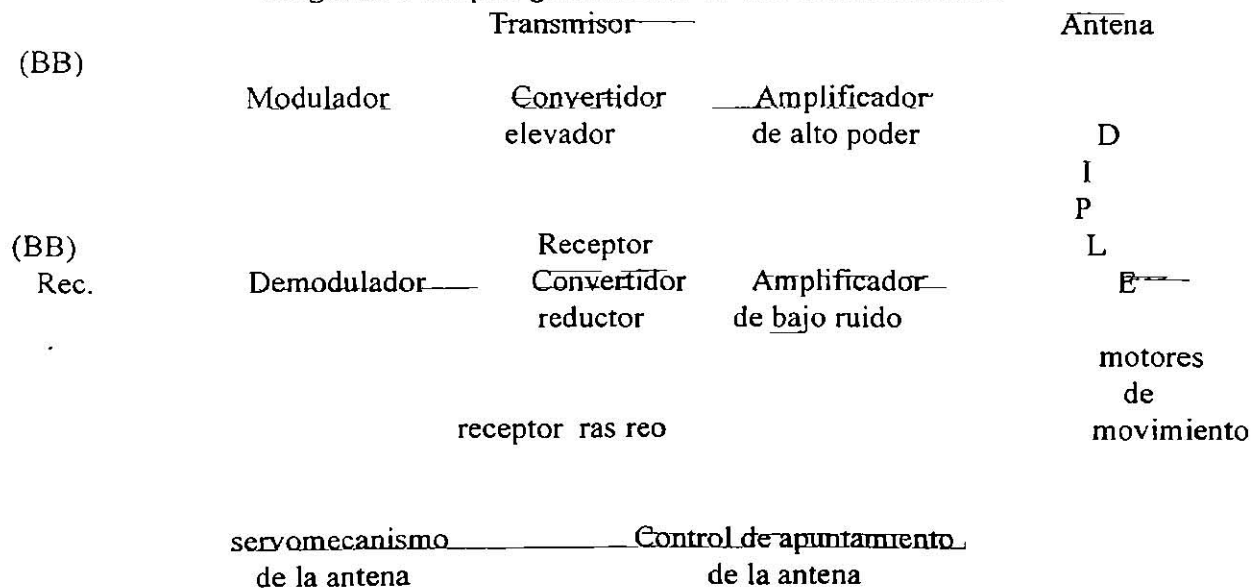
5.1 Introducción.

Todo satélite es un nodo o punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte, que se complementan con las estaciones terrenas que se comunican a través de él. Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o plato parabólico. El término estación terrena se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la tierra con un satélite, sin importar si está fijo en algún punto, si es una unidad móvil, o si está instalado en un barco, avión, o cualquier otro vehículo. En la figura se ilustra el diagrama de bloques generalizado de una estación terrena, pero dependiendo de su aplicación particular algunas estaciones son mucho más sencillas y carecen de uno o varios de los bloques indicados.

En el diagrama o parte de él se indica redundante o repetido, pero en la práctica si se acostumbra tener redundancia, dependiendo nuevamente de la aplicación de la estación terrena y de la importancia o vitalidad de la información que maneje.

por lo general, la misma antena se utiliza para transmitir y recibir, si es que en su aplicación así lo requiere; para esto se conecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado Diplexor. Si la estación cuenta con un sistema de rastreo, la antena tiene comúnmente, además de su propio alimentador, un sistema separado de alimentación que permite realizar el rastreo automático del satélite en combinación con varios mecanismos acoplados a ella. FIG 15

Diagrama a bloques generalizado de una estación terrena.



5.2 La Antena.

5.2.1 Funcionamiento y Configuraciones.

Las características mas importantes de la antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibeles en relación con la potencia radiada o recibida por una antena isotropica. Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas direcciones que no sea de interés; de ahí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo mas pequeños que sea posible, para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas o innecesarias.

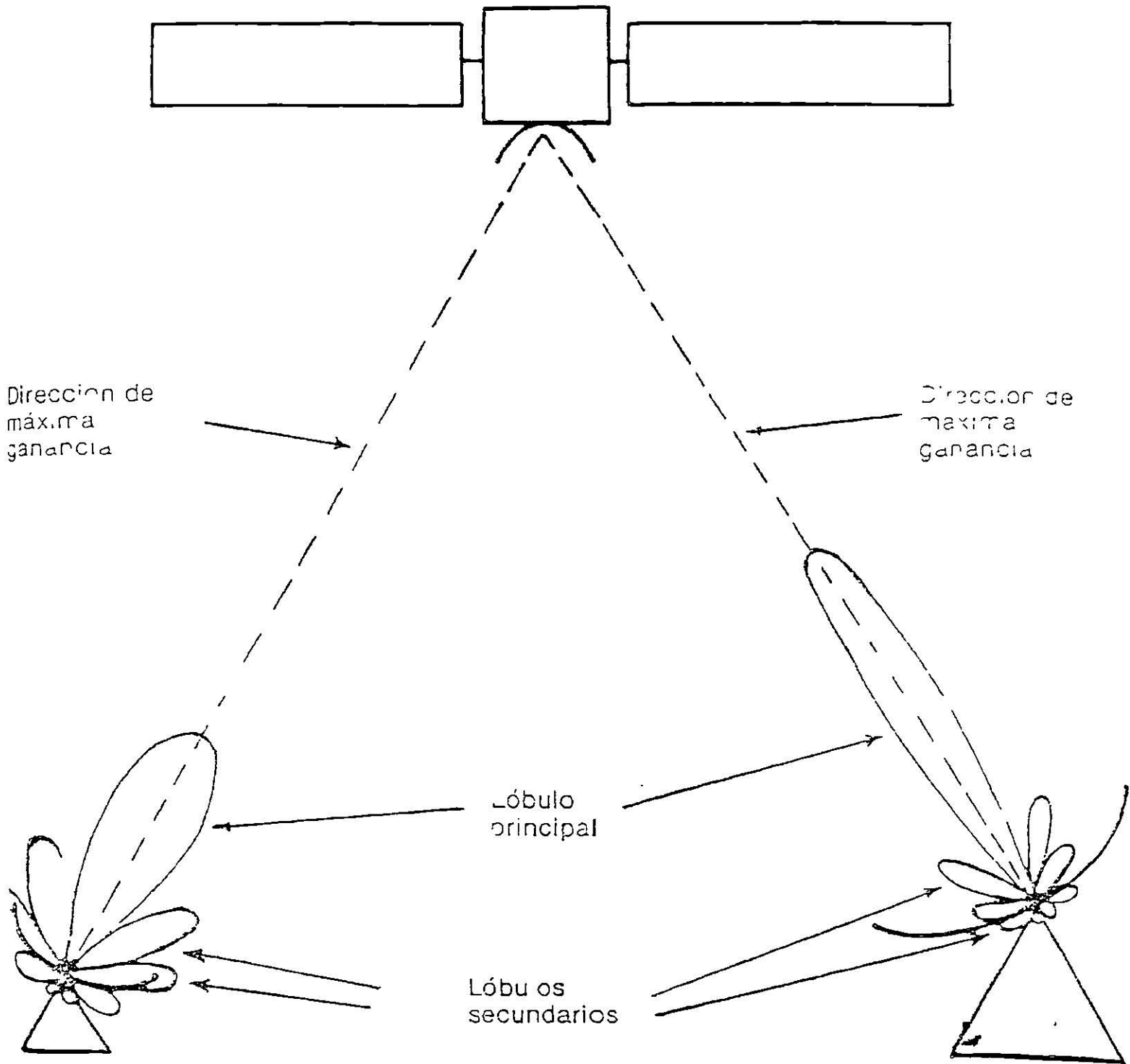
Una antena parabolica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan con ella y concentrarlas, como si fuera una lente, en un punto comun llamado foco; así mismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación. Este foco coincide con el foco geometrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en el se coloca el alimentador, por lo general es una antena de corneta; el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lobulos. hay varios tipos de alimentación de una antena parabolica, pero los tres mas utilizados son los de alimentacion frontal, descentrada y cassegain.

En una antena parabólica con alimentación frontal (pag. 33 y 34) el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia esta orientada hacia el suelo: esto ultimo presenta el inconveniente de que la energia radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. Así mismo, si la antena esta recibiendo del satélite, los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador, y puedan causar una degradación en la calidad de la señal recibida al sumarse fuera de fase con los rayos directos que son reflejados por el plato parabólico.

El desborde de la radiacion del alimentador de mayor directividad, mas complicado de fabricar y normalmente de mayores dimensiones, pero esto puede convertir a la antena en demasiado voluminosa, o bien el alimentador y su estructura de soporte bloquean mas el paso libre de las señales con la consecuente degradación de las mismas.

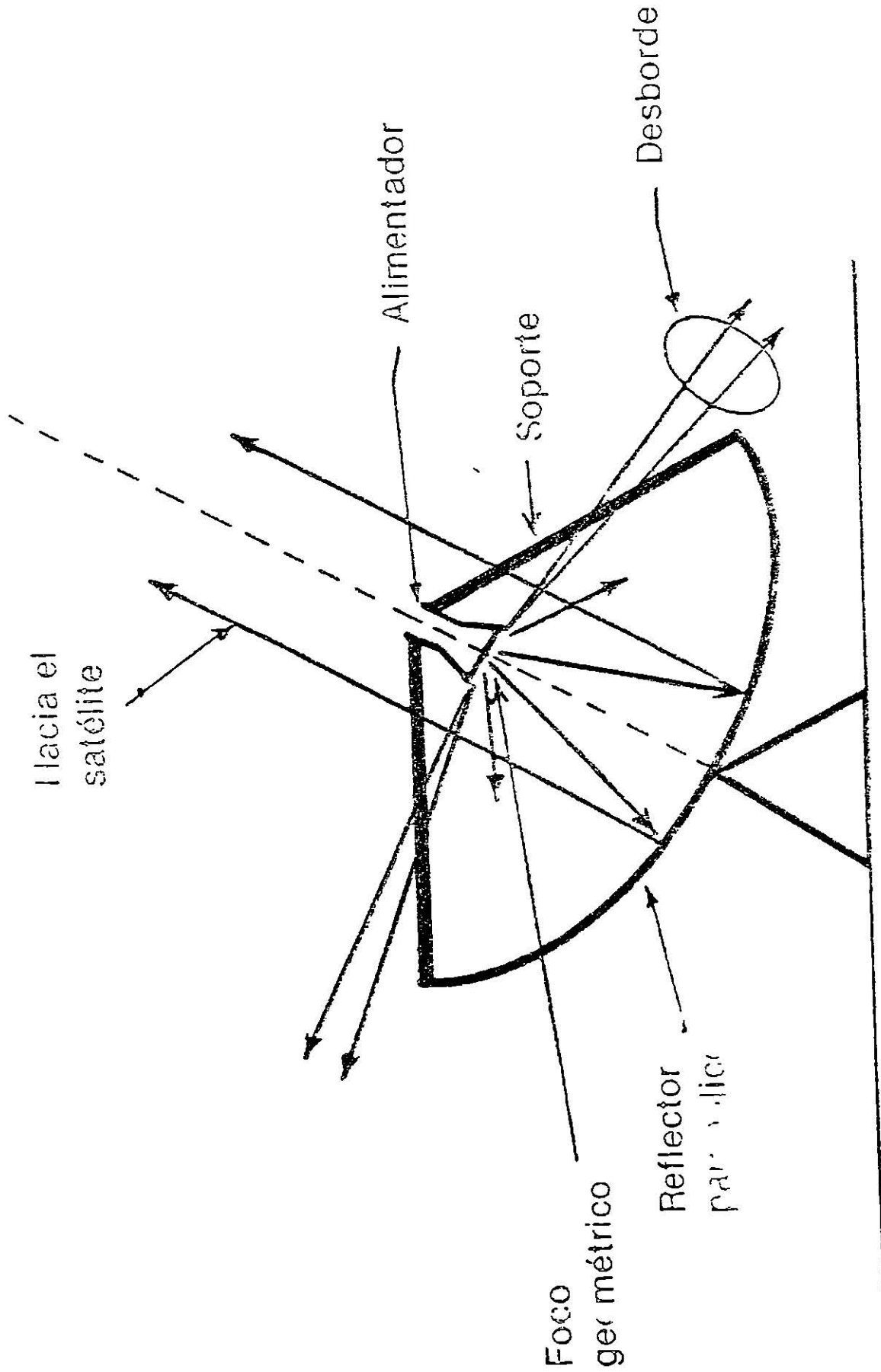
El bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se pueden eliminar si se utiliza una antena parabólica con alimentador descentrada(pag. 35). En este caso, solo se emplea una seccion del plato parabolico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir los ejes de la corneta (alimentador) y del paraboloide no coinciden, de ahí el nombre de alimentacion descentralizada. sin embargo, la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es mas costosa que la de alimentacion frontal, ademas de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica. De cualquier forma, este tipo de

Figura 16



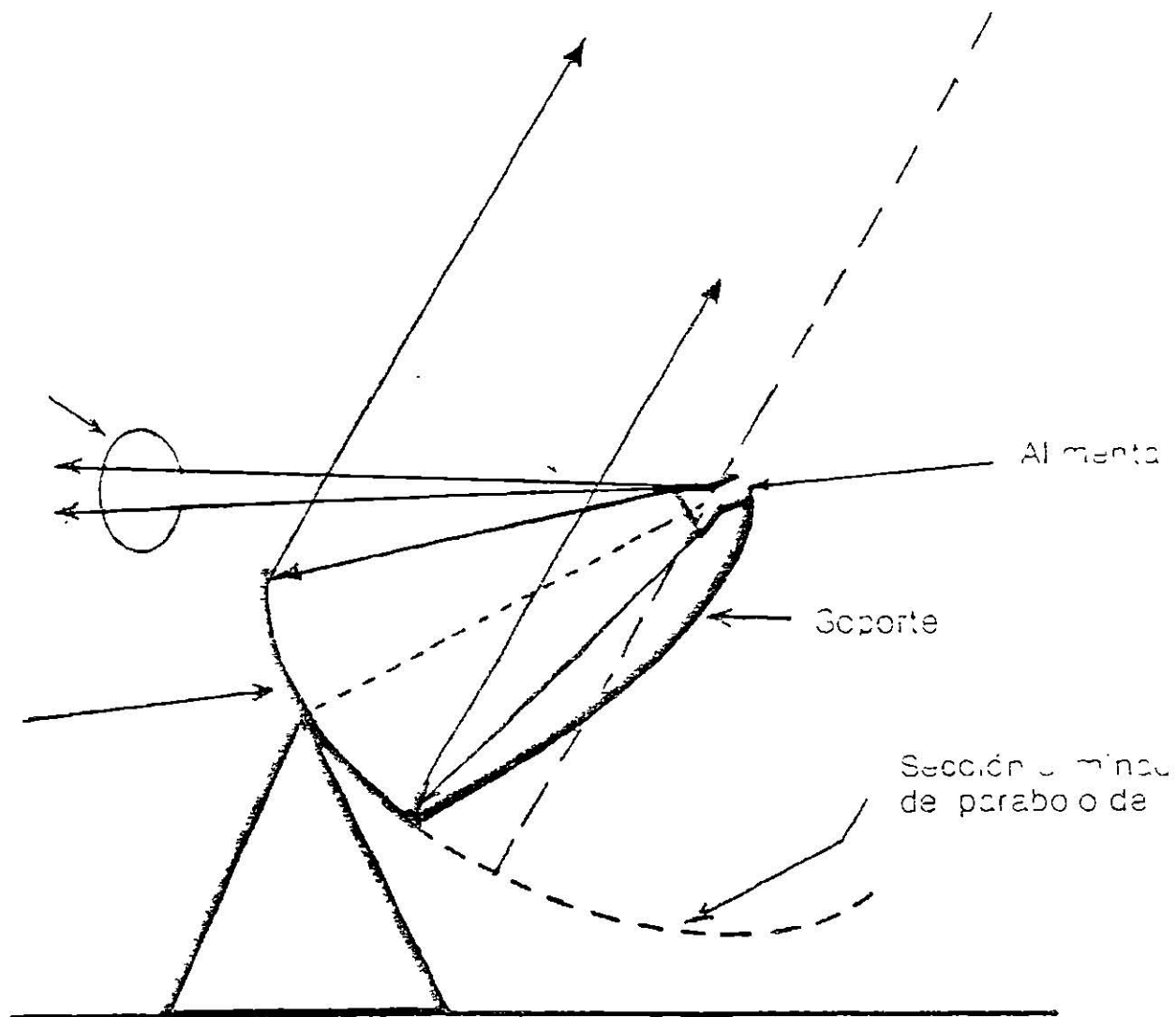
Patrón de radiación de la antena ruboica e los e taci nes
+err n e, una de u na y uno grande.

Figura 17



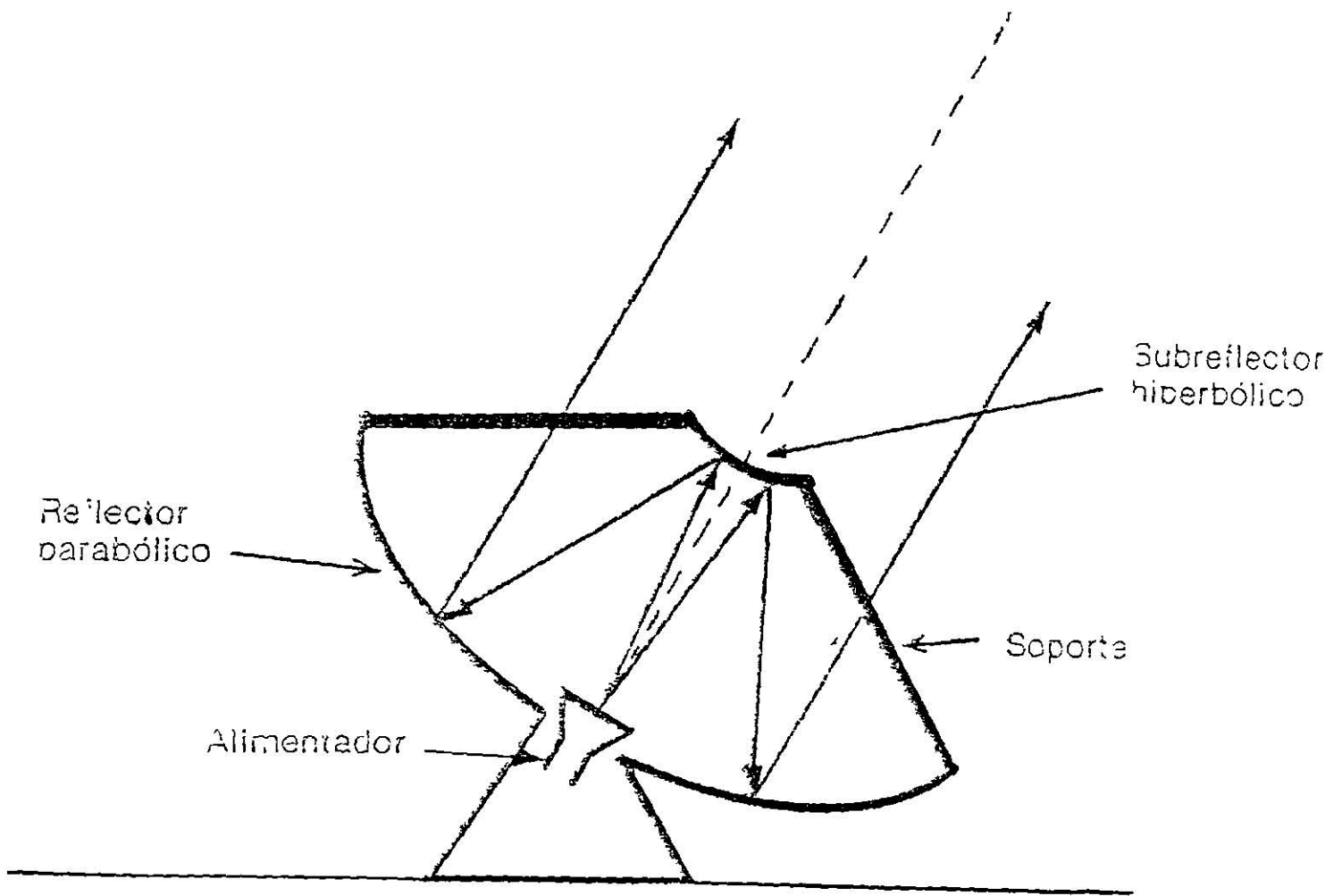
Antena parabólica con alimentación focal (modo de transmisión).

Figura 18



Antena parabólica con alimentación descentrada (modo de transmisión). Con esta configuración se elimina el bloque del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte.

Figura 19



Antena Cassegrain con alimentación frontal (modo de transmisión)

antena se utilizan en varias estaciones receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos, aunque la cassegrain es mucho mas popular. Fig 16 y 17 (pag 33 y 34) fig 18 pag 35

Comunicacion Via Satelite 36

La antena cassegrain (pag. 37) es mucho mas eficiente que cualquiera de los dos tipos ya escritos y su ganancia es mayor, pero su precio es mas alto. Se Utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, asi como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos, incluyéndose en ellas desde las pequeñas antenas de las empresas hasta las medianas y grandes usadas en el servicio domestico e internacional. su configuracion geometrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado subreflector, y el alimentador corneta ya no tiene apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por o que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la tierra sino principalmente por emisiones de la atmosfera. Los ejes de la parabolica, el alimentador y la hipérbola coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos concava y con un alimentador mas alejado de su vértice; de esta forma, la parabola equivalente captura mejor la energia radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente.

Ademas, de los tipos de antena ya mencionados, existen varios otros que también son en ciertas aplicaciones, aunque en realidad son muy pocas. Por ejemplo, la antena toroidal es un reflector que en su plano vertical tiene una cobertura parabólica, mientras que en el plano horizontal; la curvatura es circular; presenta la ventaja de que puede recibir simultaneamente las señales provenientes de varios satélites situados en una sección de largo geoestacionario sin necesidad de moverla, y sus diámetros son relativamente pequeñas del orden de 10 metros de diámetro. Asi mismo, se puede usar una antena cassegrain con alimentador descentrado para eliminar el bloqueo del subreflector hiperbolico, o bien las nuevas antenas planas con control de fase que pronto tendran su aplicacion principal en las estaciones de vehiculos terrestres, De cualquier forma. las antenas parabolicas de alimentación frontal y cassegrain son las mas aceptadas en la actualidad, tanto en la banda C como la Ku, y tal parece que asi seguira siendo por muchos anos.

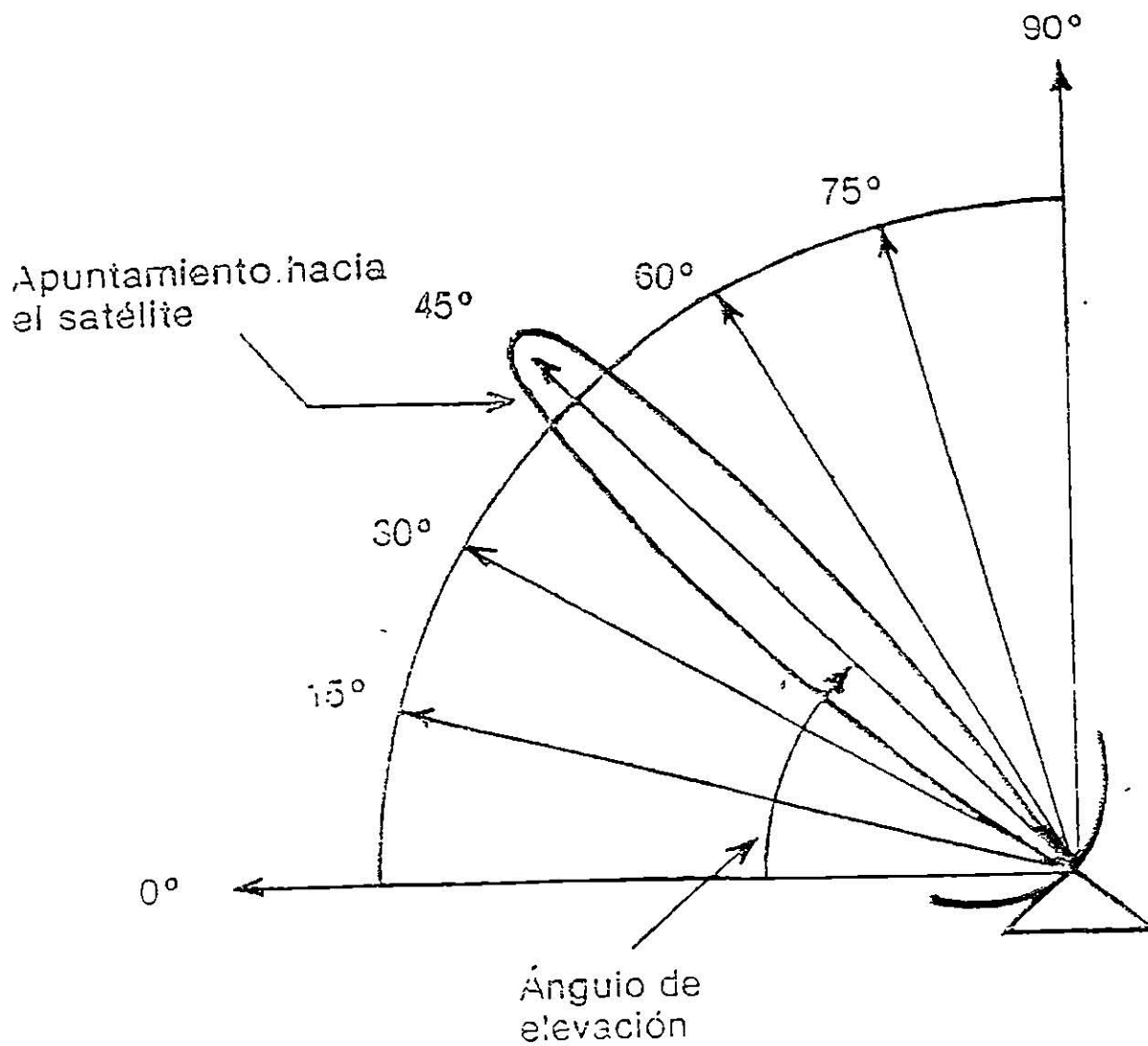
fig 19 pag 37

5.2.2 Orientación en Elevación y Azimut.

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geoestacionario se realiza ajustando dos angulos, en elevacion y Azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geografica de la estación, en latitud y longitud, y de la ubicación en longitud del satelite. Tomando como referencia el eje de simetria del plato parabólico, que coincide con su eje de maxima radiación, el angulo de elevación es aquel formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satelite; por su parte, el ángulo de Azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj, con relación al norte geografico de la tierra, para que ese mismo eje de simetria, prolongado imaginariamente, pase por la posicion en longitud del satelite. pag 38 y 39).

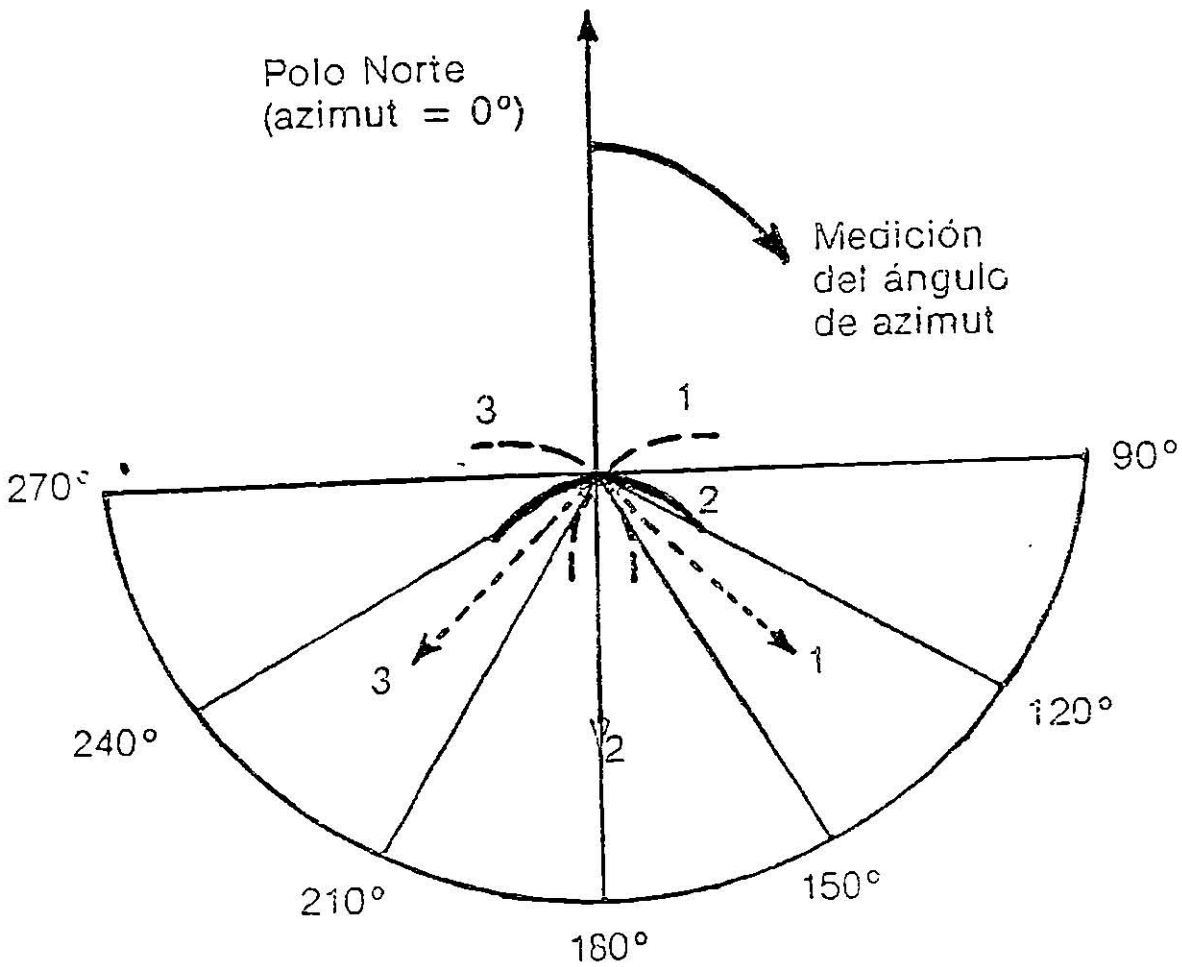
Cuando se requiere cambiar a orientacion de la antena de un satelite a otro, es necesario variar sus angulos de elevacion y e Azimut. El nuevo ajuste de los angulos de elevacion y Azimut pueden hacerse de forma automatica o manualmente.

Figura 20



Definición El ángulo de elevación es el ángulo que forma la antena de una estación terrena.

Figura 21



Definición del ángulo de azimut de la antena de una estación terrena. Como ejemplo se muestran tres orientaciones distintas en el plano horizontal; las flechas indican la dirección de máxima radiación para cada caso.

5.3 Rastreo del Satélite.

Dependiendo de cuanto se mueva el satélite geostacionario en relación con su posición designada y el ancho del haz de la antena terrestre que desee comunicarse con el, se puede requerir o no un sistema de rastreo. Cuanto mas angosto sea el ancho del haz de la antena esta este mas cerca del ecuador, el apuntamiento se vuelve mas importante, especialmente si el satélite esta directamente encima de la estación. En cambio, si la estación esta en una latitud alejada del ecuador, la amplitud de los movimientos del satélite, tienen un impacto mayor en los ajustes necesarios de la orientación de la antena para rastrearlo. Si el ancho del haz de las antenas es mucho mas grande que la ventana del satélite, entonces no se necesita un sistema de rastreo, pero la aplicación de la antena es la que dicta finalmente esta necesidad. Existen fundamentalmente dos sistemas de rastreo, el programado y el automático; en el caso del segundo, el seguimiento del satélite se puede hacer por pasos o en forma continua (con monoimpulso).

El rastreo programado consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar acordemente el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena para que los siga, El satélite no se mueve arbitraria o aleatoriamente, sino de acuerdo a la incidencia de las fuerzas perturbadoras, por lo tanto con programas de computadoras se pueden predecir los movimientos y las efemérides de su órbita. las instrucciones necesarias se almacenan y se la van proporcionando al mecanismo de seguimiento para que realice los ajustes de orientación, con lo cual se garantiza siempre una buena comunicación. Esta técnica se utiliza en algunas estaciones de tamaño medio en sistemas nacionales.

El método de seguimiento automático de rastreo por pasos, también conocido como de ascenso, es empleado por todas las estaciones de tamaño medio del estándar B de Intelsat y por la mayor parte de las estaciones grandes del estándar A, y el mas economico que el automático de monoimpulso. A intervalos regulares, la antena detecta la intensidad de una señal guía emitida por el satélite; a continuación gira un poco, es decir da un paso, alrededor de uno de sus ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con lo anterior; si el nivel de señal baja, entonces se mueve ahora en la dirección opuesta, y si aumenta en este sentido, continua dando pasos hasta encontrar el nivel máximo. Todos estos movimientos por pasos, tanto en elevación como en Azimut, son controlados por un procesador, y su precisión de apuntamiento de la señal guía y de las condiciones de propagación.

El sistema de rastreo monoimpulso es el mas preciso y confiable para las antenas grandes, especialmente si funcionan en la banda Ku. Lo utilizan, por ejemplo, varias antenas de los estandares A y C, así como las antenas de los satélites europeos ECS. Su forma de operación se origina de la tecnología del radar, pues ahora la búsqueda es por un nivel mínimo de recepción de la señal guía, y para esto la antena parabólica necesita un alimentador especial. Los primeros diseños de sistemas monoimpulso utilizan cuatro antenas de corneta colocadas simétricamente alrededor del foco geométrico de la parabólica; estas reciben simultáneamente la señal guía o radiobaliza emitida por el apuntamiento y efectuar las correcciones necesarias. Su inconveniente es que conducen al uso de alimentadores aparatosos y complicados, y ahora los sistemas modernos, llamados de monoimpulso multimodo, solamente utilizan un acoplador especial de microondas que va insertado en el mismo alimentador primario de la antena parabólica; cuando hay una desviación en la orientación de la antena en relación con la señal guía del satélite, el acoplador extrae del

alimentador señales de propagación de modo superior que permiten determinar el error en el apuntamiento y efectuara en consecuencia las correcciones que se requieran.

5.4 El Transmisor.

Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un solo bloque de transmisión, y las que conducen gran cantidad o diversidad de señales tienen varios bloques en paralelo. El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida, y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje en frecuencia o en el tiempo, se requieren acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire, hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera en otras señales; este acondicionamiento permite que también se le pueda recuperar fielmente. el proceso electrónico que se efectua con este fin, es la modulación de una portadora por la señal, y existen varios tipos del mismo; los mas comunes son el analógico de modulación en frecuencia o FM y el digital de desplazamiento de fase o PSK.

El modulador de la estación combina la forma de señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioelectrico, la cual es transferida a frecuencias mas altas (ver pag 42); este paso de la señal modulada a frecuencia intermedia es el primero en su ascenso de conversión a microondas.

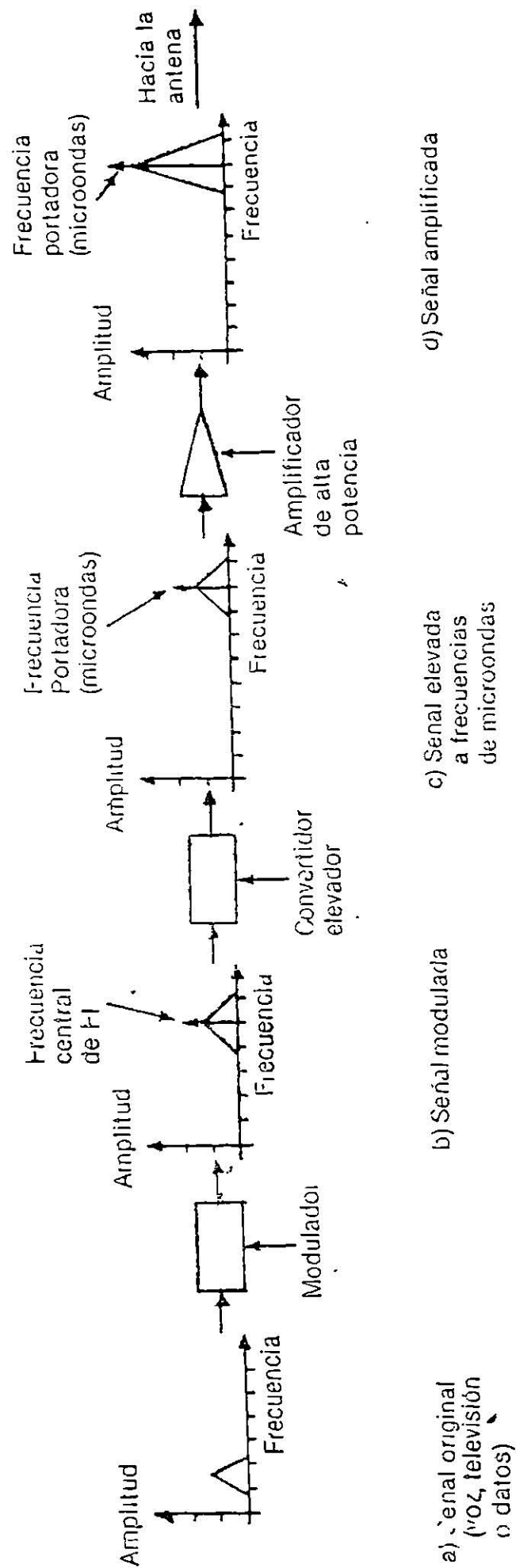
Aunque el modulador coloca a la señal modulada en una región mas alta del espectro radioelectrico, la frecuencia intermedia no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla mas en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor elevador de frecuencia.

El convertidor elevador transfiere a la señal de la frecuencia intermedia a una posición dentro del espectro radioelectrico en donde las nuevas las nuevas frecuencias que la integran son mucho mas altas que cuando salieron del modulador, por ejemplo, la señal nueva señal puede estar centrada aproximadamente a 6 Ghz o 14 Ghz. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiadas hacia el satélite, pero el nivel de potencia es aun muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena: para esto se utiliza un amplificador de alta potencia o HPA, del cual existen fundamentalmente dos tipos: el tubo de ondas progresivas (TOP) o TWT y el Klistron.

El Tubo de Ondas Progresivas es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande; que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 Mhz o mas en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo.

El Klistron es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. cuando una estacion terrena tiene varios Klistrones y desea transmitir toda la información procedente de ellos a través de una misma antena, se necesita usar un combinador de señales, que introduce perdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por back-off en los tubos de ondas progresivas. Fig 22 pag 42

Figura 22



Etapas del sistema de transmisión y transformación de una señal.

De cualquier forma, varios usuarios aun eligen Klistrones para sus instalaciones, porque su eficiencia (40%) de aprovechamiento de energia electrica es mayor que la de los TOP, son muy confiables y robustos, duran mucho tiempo en servicio, y además son mas económicos que un tubo de ondas progresivas.

En general, un canal telefónico consume aproximadamente 1 watt de potencia, mientras que uno de televisión emplea 1 Kilowatt; por lo tanto las estaciones terrenas pequeñas, que solo tienen la necesidad de transmitir algunos canales telefónicos, a veces nada mas uno, o de datos de velocidad de uno cuantos kilobits por segundo, no requieren contar con amplificadores tan potentes como los tubos de ondas progresivas o los Klistrones. Gracias a la ganancia de su antena parabólica y debido a que el trafico que transmiten es bajo y ocupa muy poco ancho de banda estas estaciones pequeñas que operan en SCPC usan amplificadores de baja potencia o LPA hechos con tecnología de estado sólido. Su potencia de salida es de unos cuantos watts, y la mayor parte funciona con transistores de efecto de campo FET.(FIG *).

Principales características usuales de los amplificadores de potencia disponibles en el mercado.

	Banda C (5.925 - 6.245 Ghz)		Banda Ku (14 - 14.5 Ghz).	
	Ancho de banda (Mhz)	Potencia de salida (watts)	Ancho de banda (Mhz)	Potencia de salida (watts)
Tubo de ondas progresivas (TOP)	500	50-10000	500	50-30000
Klistron	40 80	400-5000	100	1500-2000
Estado sólido (FET)	500	5-50	500	1-6

Generalmente, el nivel de potencia a la salida del convertidor elevador es bajo en comparación con el que debe aplicarse a la entrada del amplificador de potencia para que este funcione adecuadamente. Por lo tanto, es común añadir un amplificador excitador, driver, entre el convertidor de frecuencia y el amplificador de potencia, como una etapa de amplificación a niveles de potencia intermedia este amplificador excitador también recibe el nombre de preamplificador, por razones obvias.

5.5 El Receptor.

5.5.1 Generalidades.

Un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo directivo en el espacio; la señal retransmitida por el es idéntica a la que recibe desde la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias mas bajas en el espectro radioelectrico y, por supuesto, es amplificada. En su trayectoria de regreso hacia la tierra, la señal viaja en promedio de 36000 Km. y, por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo. La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite en la polarización y bandas de frecuencias con las que ella funciona, o sea, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 Mhz; sin embargo, lo común es que en cada estación en particular solamente sea de interés recibir una pequeña porción de toda esa información concentrada en un ancho de banda de tan solo 5 Mhz o aun menos, es decir, que la estación después de capturar y amplificar toda esta información, debe separar solo aquella parte que le corresponde para procesarla. hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrenas transmisoras que funcionen con transpondedores distintos en el satélite; por lo tanto, esas señales ocupan posiciones diferentes dentro de los 500 Mhz del ancho de banda del paquete de información que el satélite retransmite y, en consecuencia, la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen, y que no necesariamente son adyacentes en frecuencia.

5.5.2 El Amplificador de Bajo Ruido.

La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del Diplexor se las entrega a un amplificador de bajo ruido, este funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones por las que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y de que es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos mas importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación. Por su parte, el amplificador de bajo ruido tiene una temperatura de ruido como su principal parametro indicativo, mientras esta sea mas baja, tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta. Sin embargo, no solamente se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido por la antena, y su magnitud se calcula en función de una temperatura de ruido de la antena; la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total T de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas.

De acuerdo con lo anterior, y como el nivel de potencia de la señal a su llegada a una estación terrena es muy bajo, el amplificador de bajo ruido debe ser altamente sensible, es decir, que el ruido interno generado por el, sea lo mas bajo posible. La temperatura de ruido del amplificador es función de varios de sus parámetros, como su ganancia, la característica de sus componentes, y la temperatura física de ellas. Si la temperatura física se logra reducir, entonces la temperatura de ruido también baja; por lo tanto, es deseable enfriar al amplificador lo mas que se pueda, muchas veces hasta temperaturas cercanas al cero absoluto, además de colocarlo lo mas cerca posible del Diplexor de la antena para reducir las pérdidas.

La mayor parte de los amplificadores de bajo ruido son paramétricos (su circuito de microondas emplea un diodo varactor) pero en los últimos años se ha logrado un progreso importante en la fabricación de amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) de arseniuro de galio (Ga-As). Estos últimos son más estables y menos complicados para alimentarlos de energía, aunque su temperatura de ruido es ligeramente mayor que la de los amplificadores paramétricos. Por norma general, las estaciones grandes usan amplificadores paramétricos y las pequeñas amplificadores FET.

La temperatura de ruido usual con la que operan los amplificadores actuales es del orden de unas cuantas decenas de grados Kelvin, y cuando mucho unos 250 K. La tecnología desarrollada hasta ahora en la banda C ha permitido fabricar fácilmente amplificadores con temperaturas inferiores a los 100 K pero en la banda Ku es más comunes encontrarlos con temperaturas entre los 100 y 200 K.

Con el sistema de refrigeración termoeléctrica se logra reducir la temperatura de las componentes sensibles del amplificador hasta unos -50 C ; tiene la ventaja de que no se requiere ninguna parte móvil, además de que se instala directamente dentro del dispositivo, en una caja sellada herméticamente, lo cual le da mucha robustez y facilidad de mantenimiento.

En cuanto a la refrigeración por compensación de la temperatura se refiere, esta se utiliza cuando no es necesario que la temperatura de ruido sea muy baja; emplea sistemas de control más sencillos que los de la refrigeración termoeléctrica, es muy confiable, y también puede usarse a la temperatura ambiente.

5.5.3 Conversión de Frecuencia, Demodulación y Calidad de Recepción.

Haciendo referencia una vez más al diagrama de bloques generalizado de una estación terrena de la fig 15 se observa que después del amplificador de bajo ruido van conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador, sin contar con algunos filtro intermedios. La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación con ancho de 500 Mhz, situada aun en la misma región del espectro radioeléctrico; el convertidor reductor tiene como función transferir toda esa información de 500 Mhz a una región más baja del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la estación transmisora.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, bajando de la frecuencia de llegada a la antena, que es la misma frecuencia con la que opera el amplificador de bajo ruido, hasta la frecuencia intermedia FI que se le debe entregar al demodulador. El proceso también se puede realizar en dos pasos si se prefiere así cada vez más en las estaciones terrenas modernas porque es más fácil sintonizar los equipos de recepción en cualquier región del ancho de banda de transmisión del satélite; esto es importante, porque el plan original del uso de las frecuencias de transmisión del satélite puede variar con el tiempo, en uno o en todos sus transpondedores, y la frecuencia de rabajo del convertidor se puede ajustar más fácilmente si se usa doble conversión.

La señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor reductor aun esta modulada, ya sea en FM, PSK o alguna otra forma original es precisamente demodularla. En realidad, la señal nunca se recupera exactamente como era en su forma original, ya que diversos factores, como el ruido térmico y el de intermodulacion se encargan de distorcionarla.

5.6 Alimentación de Energía.

El tipo de servicio que una estación terrena presta determina la complejidad y confiabilidad necesarias de su sistema de alimentación de energía. En el de una estación casera de recepción de televisión (TVRO), no tendría mayor trascendencia que se fuese la luz durante 5 minutos o una hora en la zona residencial donde se encuentre; cuando mucho, el propietario perdería el buen humor, y además, quizá ni siquiera tendría encendido su televisor en el momento en que se iniciara el apagón. En cambio no sería bien visto que por falta de luz durante varios minutos o media hora, no fuese posible transmitir importantes paquetes de información digital entre centros de computo u oficinas administrativas, que no se pudiesen hacer llamadas telefónicas de larga distancia a ciertas poblaciones, o que no se pudiesen difundir programas de televisión, además, si los cortes de energía eléctrica ocurriesen con frecuencia durante todo el año, la situación no sería nada atractiva para el responsable de brindar estos servicios. Por tal razón, muchas estaciones transmisoras y receptoras necesitan contar con sus propias instalaciones con un sistema de alimentación de energía ininterrumpida; es decir que si la luz comercial o primaria se va, la conmutación o cambio al sistema de energía de respaldo debe ser suave y rápida, sin ninguna interrupción del servicio.

