

29



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**SUBSISTEMAS DE UN SATELITE DE
COMUNICACIONES**

**TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
JORGE FLORES GARCIA**

282188

ASESOR: ING. JUAN GONZALEZ VEGA

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AV. PARRIS DE
MEXICO

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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 "Subsistemas de un satélite de Comunicaciones"

que presenta el pasante: Jorge Flores García

con número de cuenta: 9022850-4 para obtener el título de :

Ingeniero Mecánico Electricista.

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 7 de Junio de 2000

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Ing. Juan González Vega</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Jorge Ramírez Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Vicente Magaña González</u>	<u>[Firma]</u>

A mi Mamá por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de mi vida, y por su esfuerzo día a día para que pueda lograr una de las metas más importantes que me he propuesto en la vida, terminar una carrera.

Ami Papá por guiarme por el buen camino, por la ayuda en la elaboración de éste y muchos otros trabajos y por el apoyo que siempre me ha brindado, éste logro es de ustedes.

A mis hermanas Elsa y Myriam por su apoyo incondicional.

A David por su ayuda y amistad.

GRACIAS

INDICE

INTRODUCCION.....	1
SATELITES GEOESTACIONARIOS.....	3
PATRONES ORBITALES.....	6
PUESTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA.....	7
INYECCION DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA.....	8
INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA.....	8
INYECCION INICIAL EN ORBITA CIRCULAR BAJA.....	9
SUBSISTEMAS DE LOS SATÉLITES.....	11
SUBSISTEMA DE ANTENAS.....	11
SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.....	13
AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.....	19
CONVERTIDOR DE FRECUENCIA.....	19
DEMULTIPLEXOR.....	20
ATENUADOR.....	20
AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA.....	20
SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA.....	21
FUENTE PRIMARIA.....	21
FUENTE SECUNDARIA.....	26
SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO.....	29
SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION.....	31
SIBSITEMA DE PRÓPULSION.....	34

SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO (TT Y C).....	37
SUBSISTEMA ESTRUCTURAL.....	38
ACELERACIONES, VIBRACIONES Y SACUDIDAS DURANTE EL LANZAMIENTO.	39
MATERIALES Y ELEMENTOS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE LOS SATÉLITES.....	42
GLOSARIOE LOS SATÉLITES	43
BIBLIOGRAFÍA.....	44

INTRODUCCION

Un satélite de comunicaciones es un repetidor de radio en el cielo (transponder). Un sistema de satélite consiste de un transponder, una estación basada en tierra, para controlar su funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite. Las transmisiones de satélite se catalogan como bus o carga útil. La de bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil. La de carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema. Aunque en los últimos años los nuevos servicios de datos y radioemisión de televisión son más y más demandados, la transmisión de las señales de teléfono de voz convencional (en forma analógica o digital), aún son el volumen de la carga útil por satélite.

El tipo más sencillo de satélite es el reflector positivo, un dispositivo que simplemente "rebota" una señal de un lugar a otro. La luna es un satélite natural de la tierra y, como consecuencia, a finales de la década de 1940 y principios de la década de 1950, se convirtió en el primer satélite pasivo. En 1954, la marina de Estados Unidos transmitió exitosamente los primeros mensajes sobre esta transmisión de Tierra a Luna a Tierra. En 1956, se estableció un servicio de transmisión, entre Washington D.C. y Hawaii y, hasta 1962, ofreció comunicaciones de larga distancia confiables. El servicio estaba limitado sólo por la disponibilidad de la Luna.

Los primeros satélites fueron del tipo pasivo y activo. Un satélite pasivo es el que simplemente refleja una señal de regreso a la Tierra; no hay dispositivos de ganancia a bordo, para amplificar o repetir la señal. Un satélite activo es el que de manera electrónica, repite una

señal a la Tierra (por ejemplo, recibe, amplifica, retransmite la señal). Una ventaja de los satélites pasivos es que no requieren de equipo electrónico sofisticado a bordo, aunque no necesariamente están sin potencia. Algunos satélites pasivos requieren de un transmisor de guía de radio para propósitos de rastreo y rangos. Una guía es una portadora no modulada transmitiendo continuamente a la cual una estación terrestre se puede unir y usar para alinear sus antenas o para determinar la ubicación exacta del satélite. Una desventaja de los satélites pasivos es el uso ineficiente de la potencia transmitida. Con Echo, por ejemplo, solo 1 parte de cada 10^{18} de la potencia transmitida de la estación de tierra fue regresada a la antena de recepción de la estación terrestre.

SATELITES GEOESTACIONARIOS

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la Tierra parecería que no se moviesen. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años más tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas. Además, casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial.

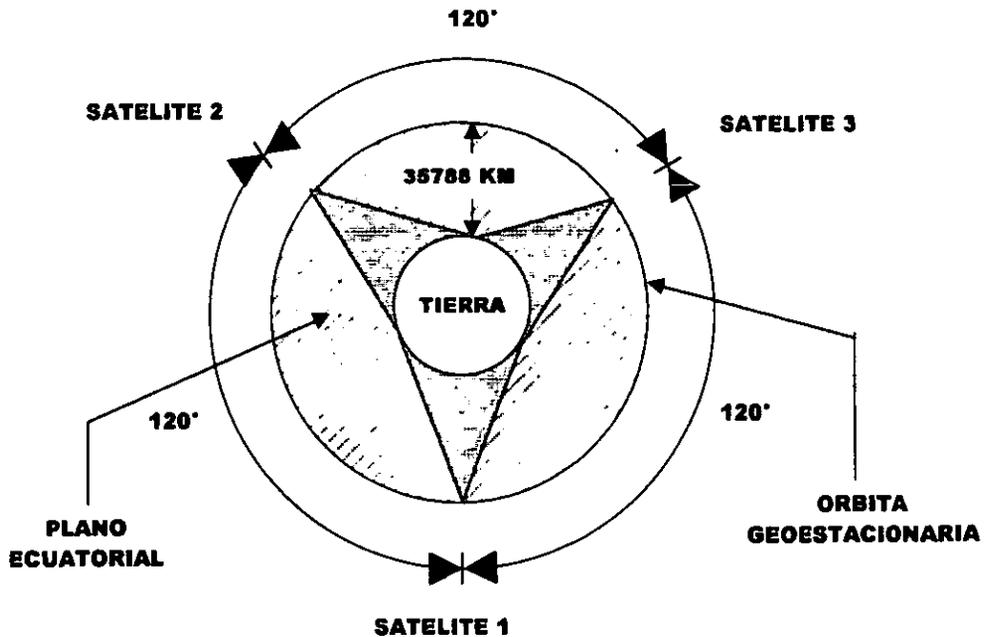


FIGURA 1 Configuración de Clarke

La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la Tierra, es decir, geoestacionario. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta de 24 horas, debía estar aproximadamente a 36,000 Km de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3,075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.

La era espacial se inició en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después de varias pruebas con algunos otros satélites en esos primeros años, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del Mundo, llamado SYNCOM. Poco más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Indico), Intercomunicado al mundo.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria o cinturón de Clarke pertenece a la familia de órbitas denominadas geosíncronas y estas por lo general se encuentran inclinadas respecto al plano ecuatorial.

Los satélites geoestacionarios o geosíncronos son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la Tierra. Consecuentemente, permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la Tierra. Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones de la Tierra, dentro de su sombra, 100% de la veces. La sombra de un satélite incluye a todas las estaciones de la Tierra que tienen un camino visible a él y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja obvia es que a bordo, requieren de dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantenerlos fijos en una órbita. El tiempo de órbita de un satélite geosíncrono es de 24 h, igual que la tierra.

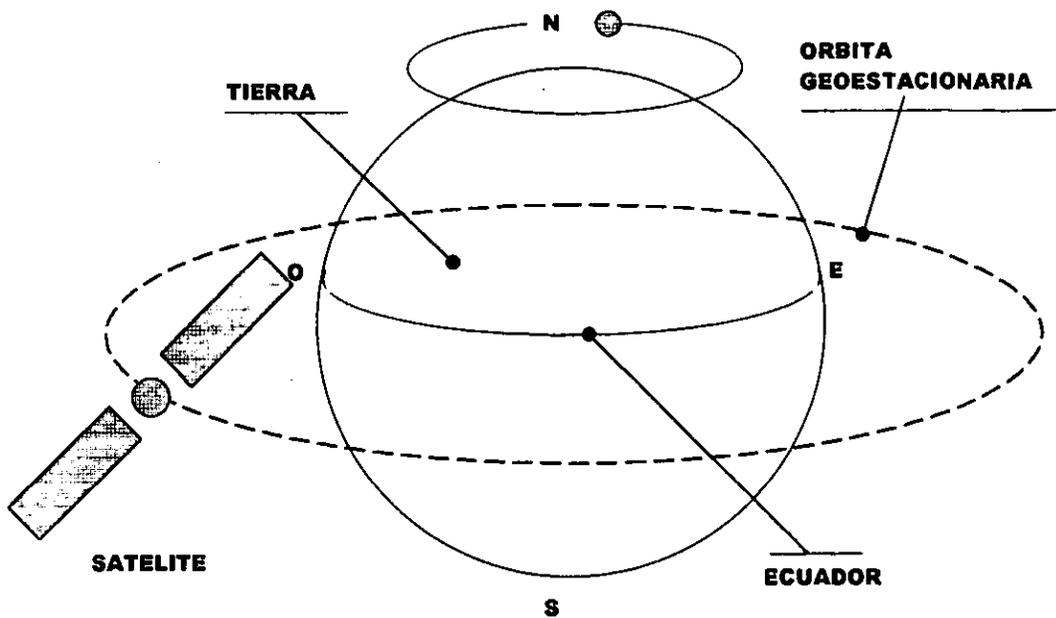


FIGURA 2 Orbits Geostacionaria

PATRONES ORBITALES

Una vez proyectado, un satélite permanece en órbita debido a que la fuerza centrífuga, causada por su rotación alrededor de la Tierra, es contrabalanceada por la atracción gravitacional de la Tierra. Entre más cerca gire de la Tierra el satélite, más grande es la atracción gravitacional y mayor será requerida la velocidad para mantenerlo alejado de la Tierra. Los satélites de baja altitud tienen órbitas cercanas a la Tierra (100 a 300 millas de altura), viajan aproximadamente a 17,500 millas por hora. A esta velocidad, se requiere aproximadamente de $1 \frac{1}{2}$ h para girar alrededor de toda la Tierra. Consecuentemente, el tiempo que el satélite está visible en una estación terrestre en particular, es solamente $\frac{1}{4}$ h o menos por órbita. Los satélites de altitud media (6,000 a 12,000 millas de altura) tienen un periodo de rotación de 5 a 12 h y permanecen a la vista en una estación terrestre específica de 2 a 4 h por órbita. Los satélites geosíncronos de alta altitud (19,000 a 25,000 millas de altura), viajan a aproximadamente 6,879 millas por hora y tienen un periodo de rotación de 24 h exactamente el mismo que la Tierra. Consecuentemente, permanecen en una posición fija, con respecto a una estación de la Tierra específica y tienen un tiempo de disponibilidad de 24 h. La figura muestra una órbita satelital de baja, mediana y alta altitud. Puede observarse que tres satélites geosíncronos con órbitas altas, igualmente espaciadas girando alrededor de la Tierra, amba del ecuador, podrán cubrir todo el trayecto excepto la áreas no pobladas de los polos norte y sur.

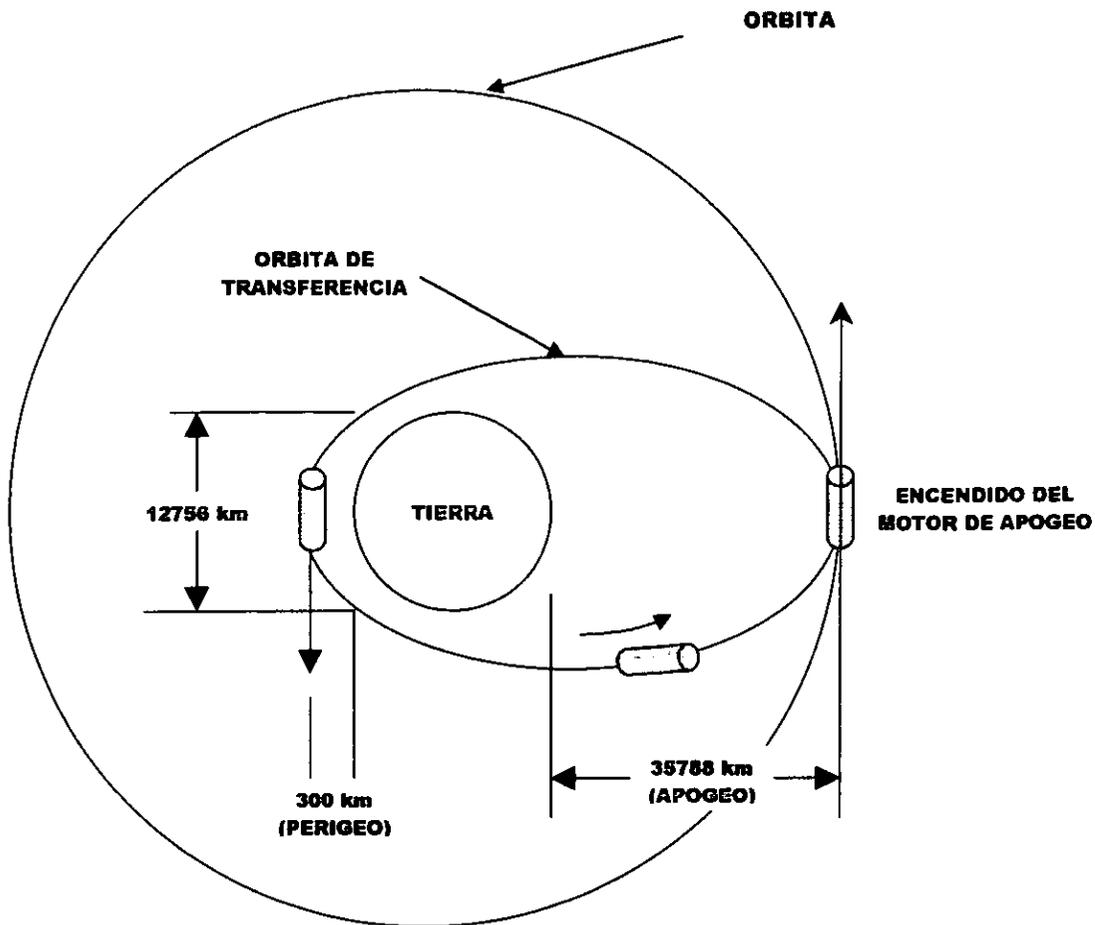


FIGURA 3 Órbitas satelitales Baja, Media y Alta
PUESTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA

Para llevar a un satélite a una órbita geoestacionaria existen tres procedimientos distintos, que son los siguientes:

INYECCION DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que se necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio sí es necesario en los otros procedimientos. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y sólo 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.

INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita 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 una órbita llamada de transferencia geosíncrona, 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 geosíncrona se encuentra normalmente a una altura aproximada de 200 Km sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35,788 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 al satélite a control remoto, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse éste, el satélite recibe un incremento sustancial de

velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geoestacionaria.

INYECCION INICIAL EN ORBITA 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 compartimento 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 de la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimento 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 compartimento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, similar a la del segundo caso explicado anteriormente. 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 enciende para circularizar la órbita con su altura final.

En realidad, el procedimiento para colocar un satélite en órbita geoestacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solamente hay que proporcionarle cambios o incrementos de velocidad al satélite para modificar la geometría de las órbitas que formen parte del procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo también hay que lograr pasar de un plano a otro, y todo ello haciendo el menor consumo posible de energía (combustible) para reducir los costos del lanzamiento.

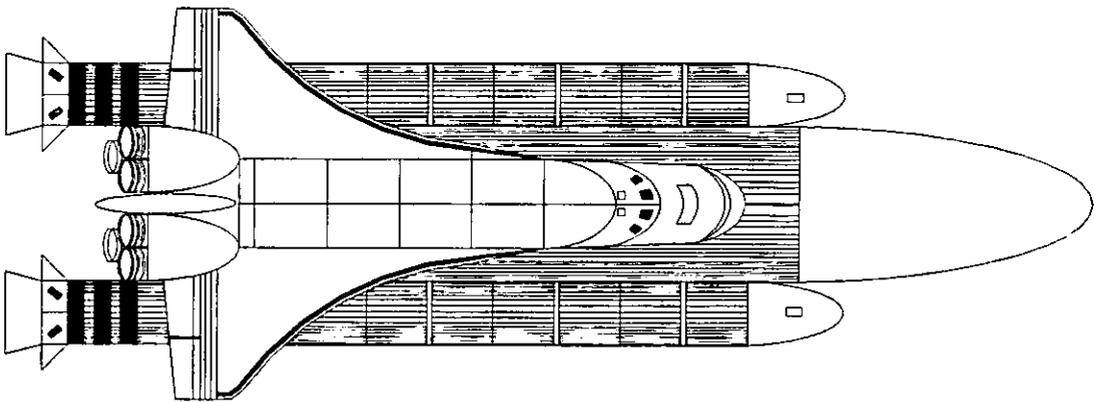


FIGURA 4 Transbordador

Subsistemas de los satélites.

SUBSISTEMA DE ANTENAS

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas, esta se utiliza como la interface entre un transmisor y el espacio libre o el espacio libre y el receptor, acopla energía de la salida de un transmisor a la atmósfera de la Tierra o de la atmósfera de la Tierra a un receptor.

Una antena es un dispositivo recíproco pasivo ya que no puede amplificar una señal y en cuanto a las características de transmisión y recepción de una antena son idénticas.

Al ser recibidas estas señales son sometidas a un proceso de amplificación y conversión de frecuencia, para posteriormente ser transmitidas hasta la tierra.

Un satélite posee diferentes tipos de antenas según la frecuencia a la que trabaje, y la cobertura que deba tener sobre determinadas zonas geográficas de la Tierra.

Actualmente existen satélites que pueden contar con arreglos de 2,4 y 8 tipos de antenas las cuales son utilizadas para distintos servicios o coberturas como son:

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

1. Las antenas de cobertura global son antenas de cometa, tienen la forma de un cono y están conectadas a un tubo o guías de onda. Este tipo de antenas cubre la mayor parte de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite. Sus frecuencias de operación están dentro de la banda Ku y C
2. Las antenas de cobertura hemisférica, son de forma parabólica y 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 trabajan dentro de las bandas Ku y C.
3. Las antenas de cobertura de zona son de forma parabólica las cuales solo pueden irradiar energía hacia zonas más pequeñas o a una zona característica sobre la superficie de la Tierra su frecuencia de operación es en la banda C.
4. Las antenas de cobertura de punto, son de tipo parabólico y tienen la particularidad de poder concentrar su potencia casi en un punto de la superficie, su frecuencia de operación se encuentra entre la banda Ku y los haces de iluminación de estas antenas, por lo angostos, reciben el nombre de haces pincel o puntuales.
5. Las antenas de telemetría y comando son de una gran importancia ya que son las que se encargan de recibir las señales que contienen las órdenes emitidas por el centro de control en la Tierra, para que se efectúen alguna corrección a bordo; también es responsable de enviar al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todos los subsistemas del satélite, esta antena no es parabólica ni de cometa, es una antena bicónica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir que emite más o menos con la

misma intensidad en todas direcciones; esto evita que se pierda comunicación con el satélite aunque este cambie de orientación bruscamente, estas antenas se utilizan solo en casos extremos y durante el lanzamiento y colocación en órbita del satélite, utilizando la banda de frecuencias VHF y UHF.

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.

Al ser recibidas las señales del en el satélite tiene un proceso en el cual se amplifica la señal a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas y de regreso con la mejor calidad posible, así como cambiarlas de frecuencia, para que salga por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando en forma simultánea. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante la utilización de dispositivos tales como filtros, amplificadores de potencia y de bajo ruido, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

Todos estos equipos deben ser redundantes 100% ya que es un equipo de misión crítica y si algún dispositivo fallara el otro debe entrar casi de inmediato.

En el satélite se encuentra un sistema llamado transponder que consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido (LNA), un convertidor de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa bandas de salida.

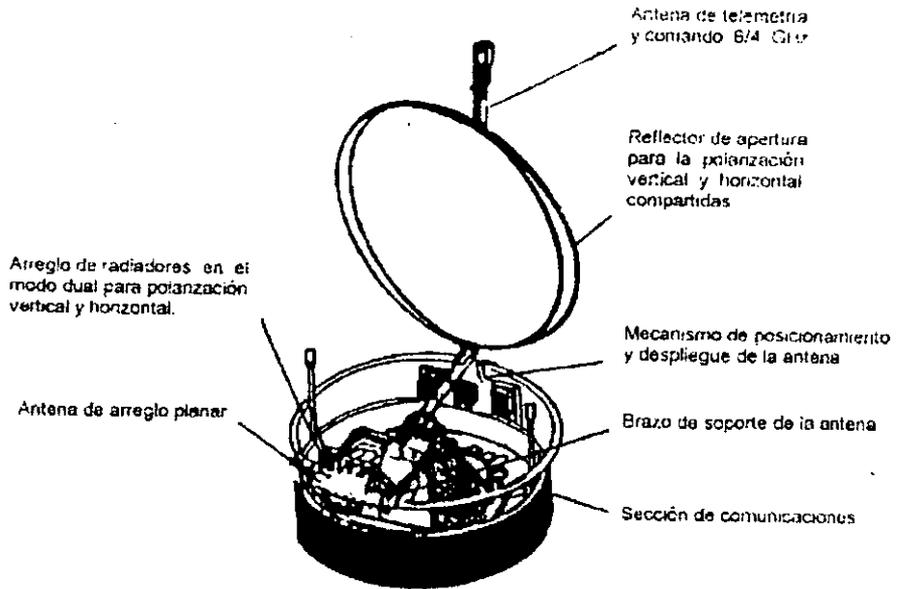
En la figura el BPF de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del LNA ,la salida del LNA alimenta a un convertidor de frecuencia, que convierte la frecuencia de subida de banda alta a una

frecuencia de bajada e banda baja. El amplificador de potencia de bajo nivel, que es comúnmente un tubo de ondas progresivas, amplifica la señal de RF para su transmisión por medio de la bajada a los receptores de la estación terrena. Cada canal de RF del satélite requiere de un transponder por separado.

Este subsistema incluyendo el de las antenas es el de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es la de asignar la trayectoria o transpondedores en los que debe ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos con sus correspondientes niveles de potencia.

Al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la mas alta que se transmite se le da el nombre de ancho de banda. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo que compone al satélite, esté será capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencia y recibir con la misma calidad mayor número de canales de televisión, telefonía y datos que con un ancho de banda menor.

Un satélite puede tener una o varias antenas receptoras, y cada una de ellas debe ser capaz de recibir varios canales con información, que posteriormente serán amplificados por separado en distintos transpondedores. 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 siendo las más comunes C y Ku siendo el ancho de banda de operación de cada una de ellas de 500 Mhz para la transmisión y 500 MHz para la recepción, en la banda C las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están dentro del rango de 5.925 y 6.425 Ghz con frecuencia intermedia de 6.175 Ghz.



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

FIGURA 5 Tipos característicos de antenas

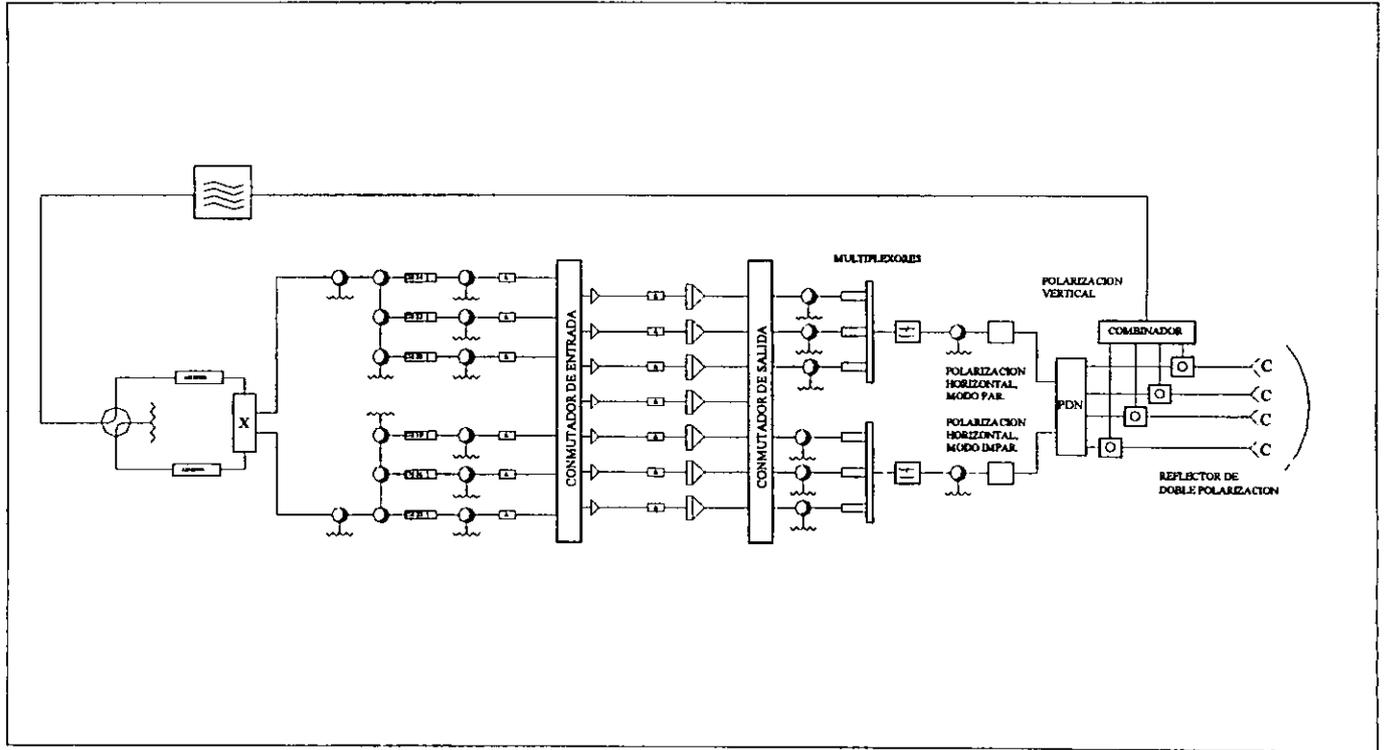


Figura 6 Subsistema de comunicaciones (banda Ku) de un satélite Spacenet

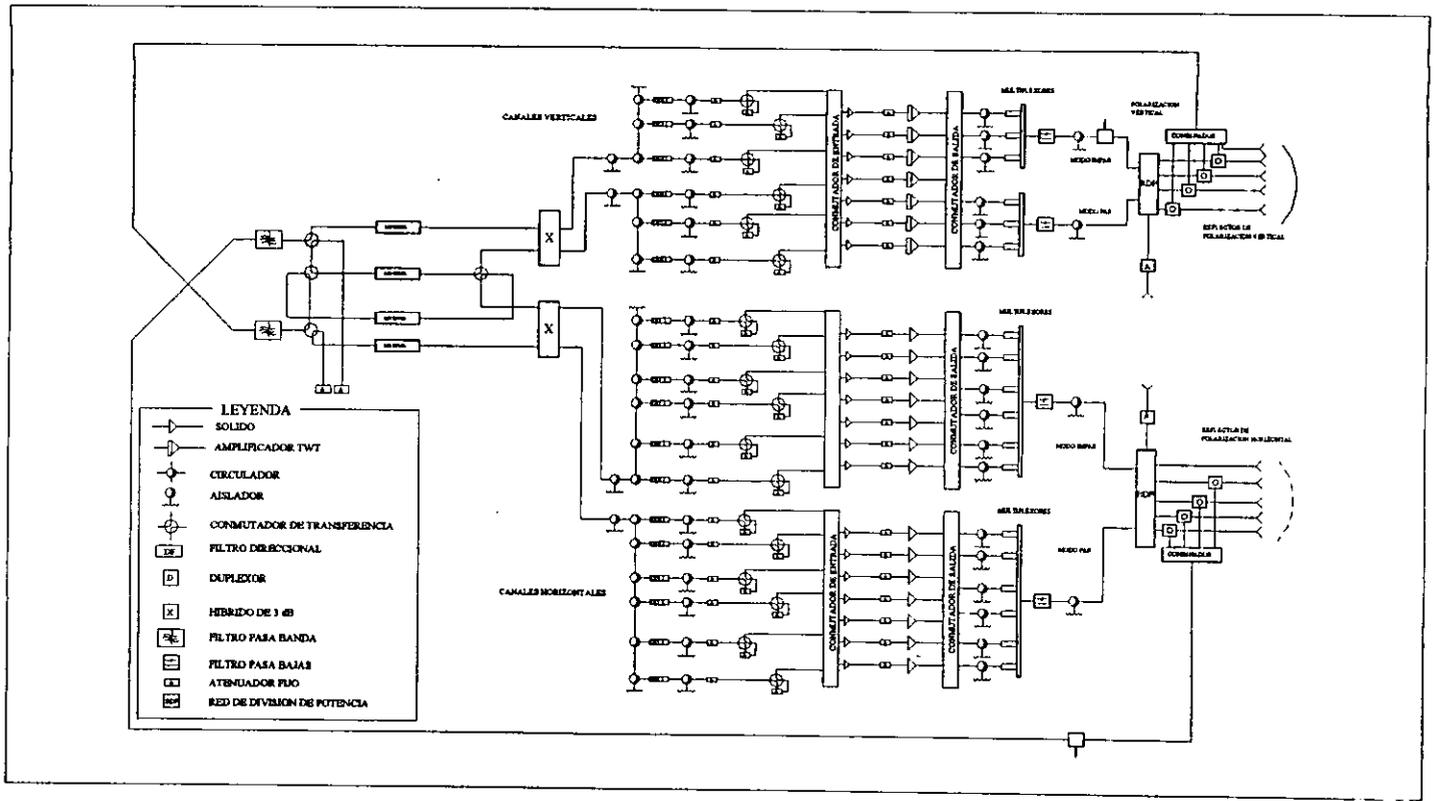


Figura 7 Subsistema de comunicaciones (banda C) de un satélite Spacenet

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

En la banda Ku el proceso es similar que el de banda C solo que las frecuencias de Tierra-satélite están dentro del rango de 1.40 y 14.5 Ghz con una frecuencia central de 14.25 Ghz y las frecuencias satélite-Tierra están dentro del rango de 11.7 y 12.2 Ghz con una frecuencia central de 11.95 Ghz; en este caso el enlace se representa con la nomenclatura de 14/12 Ghz.

Las señales no son procesadas todas juntas sino que se separan para poder tratarlas por separado y para transmitir las hacia la tierra se vuelven a juntar, las señales pasan por un proceso en el cual participan diferentes dispositivos como son los siguientes:

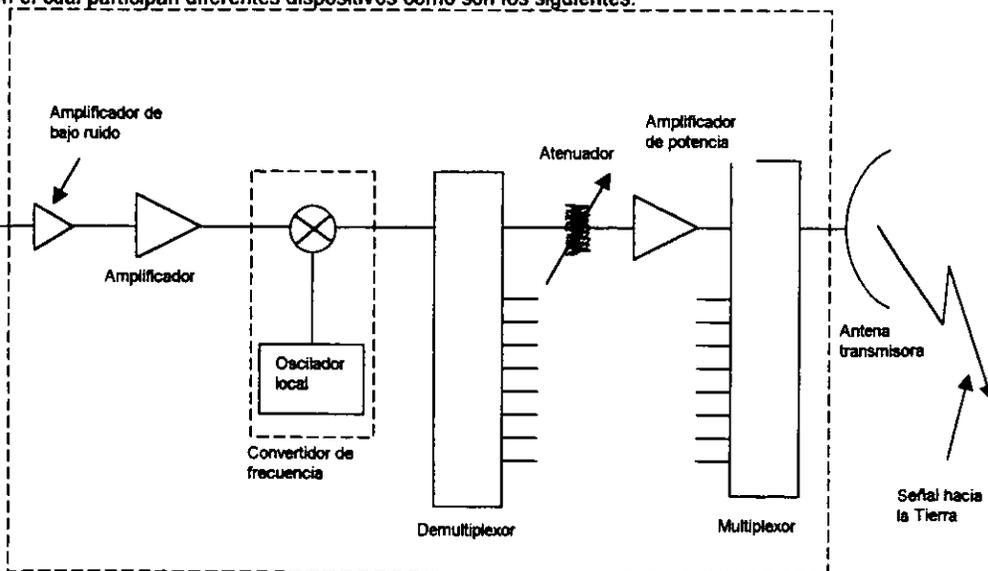


FIGURA 8 Subsistema de comunicaciones

AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.

Este es la primera etapa de la sección de RF el cual proporciona poca potencia de salida y tiene la propiedad de generar muy poco ruido interno es muy importante que no se genere ruido interno, ya que al recorrer las señales 36000 Km desde la superficie de la Tierra hacia el satélite llega con un nivel de potencia muy bajo y el amplificador debe amplificar solo la señal con el menor ruido posible.

El amplificador de bajo ruido tienen un ancho de banda de 500 Mhz, pues debe ser capaz de poder amplificar en forma simultánea todas las señales recibidas por la antena o conjunto de antenas, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros, par realizar las siguientes etapas del proceso que se lleva acabo en el subsistema de comunicaciones.

Después de que todas las señales han sido amplificadas con muy poca potencia de ruido, continuaran su recorrido a lo largo de la trayectoria del transpondedor, en las etapas siguientes de amplificación se le introducirá ruido pero este ya no será tan dañino como si el de un principio porque ahora estarán con un nivel más alto de potencia. Después de haber alcanzado un alto nivel de potencia las señales son tumadas hacia otro dispositivo llamado convertidor de frecuencia.

CONVERTIDOR DE FRECUENCIA.

Es un dispositivo que está constituido por un oscilador local que resta las señales que entran por otra que se genera internamente. Las señales resultantes son similares a las que entraron donde la información contenida es la misma, pero han sido desplazadas a un rango más bajo de frecuencias en el espectro radioeléctrico, después de haber sufrido una amplificación de

baja potencia y una preamplificación para poder efectuar el desplazamiento de frecuencias, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques, para después ser separada por el demultiplexor.

DEMULTIPLEXOR.

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

ATENUADOR

Es una resistencia variable, empleada para disminuir a control remoto, y en distinto grado, la de señales que entra a cada amplificador de potencia 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.

AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA

Es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para que todos los bloques de canales puedan ser transmitidos y recibidos en la superficie de la Tierra por las estaciones terrenas.

SUBSISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA.

El subsistema de energía eléctrica proporciona tanto la potencia primaria como la secundaria a dos sistemas de alimentación eléctrica independientes entre sí.

La potencia primaria se obtiene mediante celdas solares montadas en los paneles superiores e inferior y la secundaria, durante le lanzamiento y eclipses a través, de dos baterías níquel cadmio.

La cantidad de potencia que se requiera para cada tipo de satélite dependerá de las características de operación del mismo, y normalmente varía entre 500 y 2000 wats. Este subsistema está encargado de almacenar potencia para operar las cargas, especialmente los amplificadores de potencia se consumen el 70 u 80 % de la potencia útil; además dicho subsistema esta formado por tres elementos fundamentales: una fuente primaria del satélite, una secundaria y un acondicionador de potencia, el cual está formado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con niveles adecuados a cada parte del satélite.

FUENTE PRIMARIA

La fuente primaria del satélite de comunicaciones está formada por un gran número de arreglos de celdas solares de silicio, conectadas en serie paralelo. La gran desventaja que tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía eléctrica es muy pequeña hoy en día se utilizan factores de eficiencia del 10 al 12 %, ya que aprovechan gran parte del espectro ultravioleta del Sol.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuando mayor sea la densidad de flujo de radiación proveniente del Sol que incida sobre ellas, mayor será la cantidad de energía eléctrica que generen. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuando más baja sea ésta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas. Cuando el satélite se encuentra a una unidad astronómica del sol (150'000,000 de kilómetros), la radiación solar sobre sus celdas es de 1,350 watts por cada metro cuadrado de superficie. Si se toma en cuenta que la eficiencia promedio de conversión es del 10% y que un satélite estándar requiere alrededor de un kilowatt de potencia, es evidente que se necesita contar con muchos metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tiene un área de unos 5 centímetros cuadrados, y uniendo muchas de ellas en serie y en paralelo se forma un arreglo solar.



FIGURA 9 Celdas solares

Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones que año tras año van disminuyendo su eficiencia aún más; después de unos siete años de operación, la reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a su eficiencia original, aún cuando lleva una cubierta de protección, hecha de silicio fundido.

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

Existen dos formas de mantener a los satélites geoestacionarios relativamente estables en lo que concierne a su orientación con respecto a la Tierra, a pesar de los efectos mecánicos producidos por las fuerzas perturbadoras. Estas dos formas son la estabilización por giro y la estabilización triaxial con cuerpo fijo. 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, y normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas.

En 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 a 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.

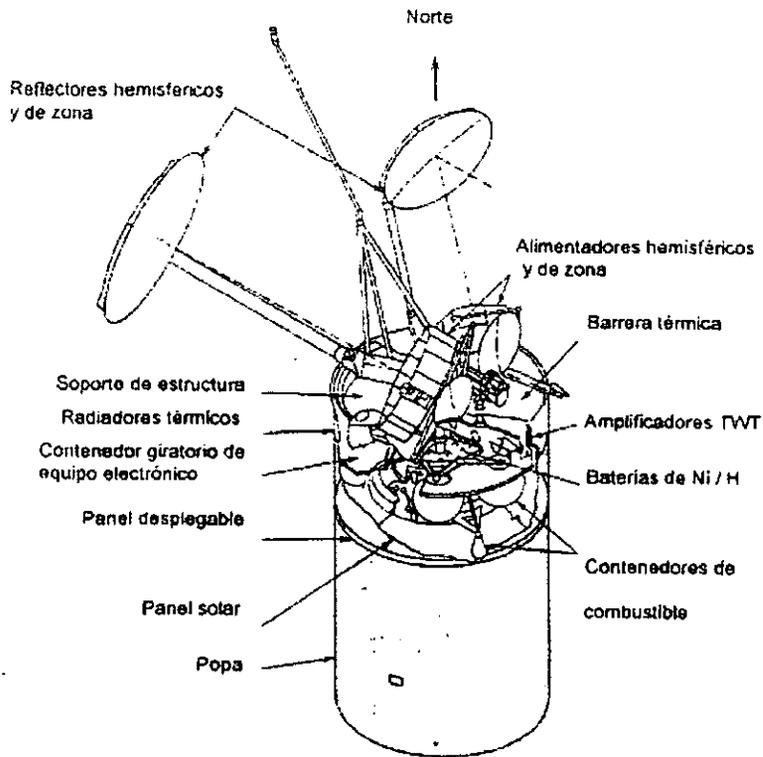


FIGURA 10 Satélite cilíndrico IntelSAT IV

Por lo que respecta a los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial en su interior hay volantes inerciales que actúan como giróscopos y que mantienen estable al satélite sin necesidad de que este gire. Sus paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constante y óptimamente hacia 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 se opta por ellos cuando los requerimientos de potencia lo exigen.

La disponibilidad de contar con más energía eléctrica en un satélite de estabilización triaxial es desde luego muy atractiva, pero hay ciertas desventajas que deben considerarse antes de tomar una decisión. Por un lado, existe el grave riesgo de que un poco después de colocar al satélite en órbita, sus paneles solares que van replegados en el momento del lanzamiento no se extiendan o que no puedan ser reorientados por falla de algún mecanismo. Aunado a esto los sistemas de control térmico y la parte de inyección de combustible, del subsistema de propulsión son más sencillos en un satélite estabilizado por giro que en un satélite de estabilización triaxial. De ahí que no se pueda concluir que un tipo de satélite sea mejor que otro; sin embargo la necesidad de tener disponibles muchos Kilowatts de potencia si conduce invariablemente a la elección de satélites con estabilización triaxial.



FIGURA 11 Satélite de estabilización triaxial

FUENTE SECUNDARIA

Durante toda su vida, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos 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 constituyen 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 la energía suministrada por las celdas a los equipos y conectan las baterías 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. Cuando esto concluye y el satélite queda otra vez expuesto a los rayos del Sol, las celdas solares vuelven a hacerse cargo como fuente primaria de energía al mismo tiempo que recargan las baterías para que estén listas cuando se les requiera nuevamente.

Las batería más utilizadas en los satélites geoestacionarios de comunicaciones son de níquel - cadmio; su eficiencia de potencia/peso es baja, pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración. Sin embargo, algunos satélites ya utilizan baterías de níquel - hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y que quizá poco a poco las irán reemplazando. Hay otros tipos de baterías que aún se encuentran en la etapa de investigación, por ejemplo, de plata - hidrógeno, litio y sodio.

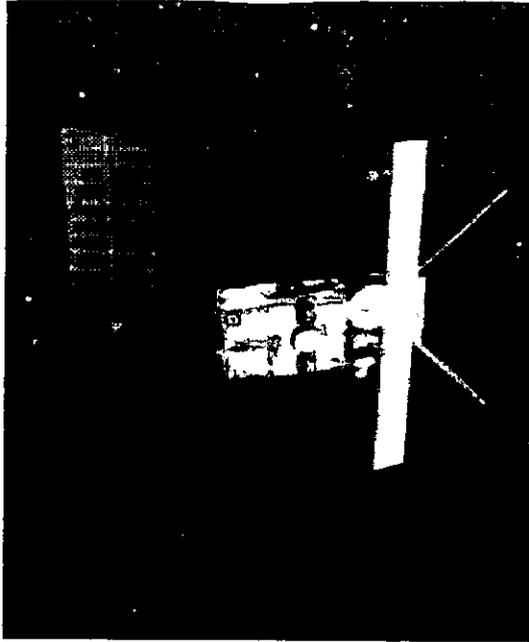
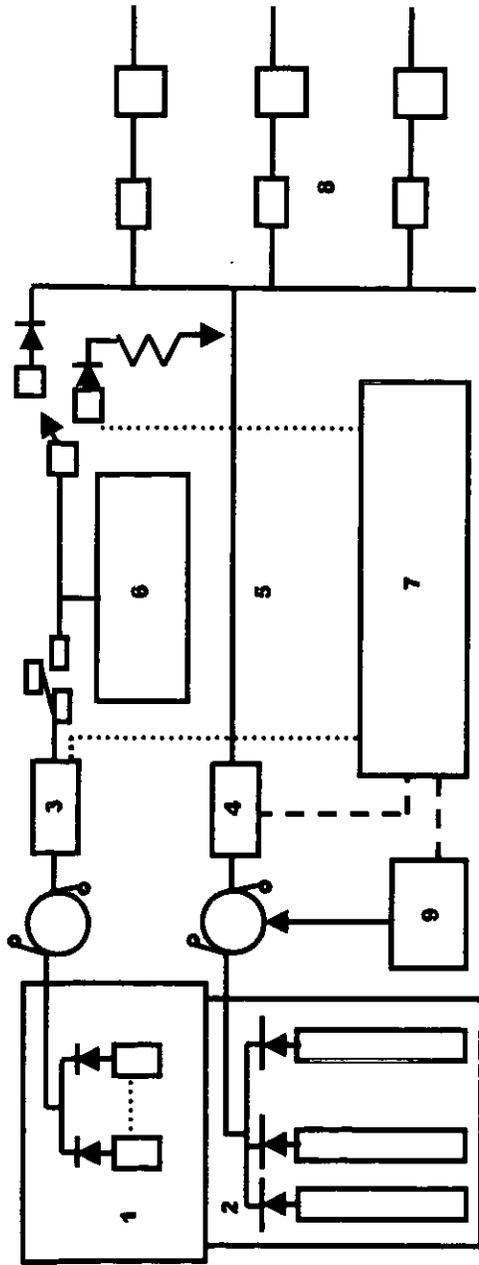


Figura 12 Celdas solares



- 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

FIGURA 13 Sistema eléctrico de potencia para satélites de estabilización triaxial

SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO

En los satélites de comunicaciones es necesario mantener un balance o equilibrio térmico para que dichos rasgos se conserven. Uno de los factores que intervienen en el equilibrio es el calor internamente generado por el satélite cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia y la energía que es irradiada por el Sol y la Tierra. La radiación que proviene de la Tierra está compuesta por dos tipos. Una es la radiación propia de ella y la otra es la del Sol, la cual se refleja en la superficie. La suma del calor generado internamente por el satélite más el producido por la absorción de la 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 modo 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 obscuridad, y cuando está 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 de satélites tienen a su alcance gran variedad de materiales que utilizan para proteger cada una de las partes del aparato. Una sección del satélite va cubierta con un reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo que refleja el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío; los dispositivos electrónicos que generan más calor como los amplificadores de potencia se colocan junto a él. Los módulos del interior, así como el subsistema de antenas que va en el exterior, van cubiertos con algún tipo de material plástico aislante que los protege del calor o de los cambios bruscos de temperatura; las antenas parabólicas van cubiertas por un

material llamado kapton, las antenas de cometa con mylar y kapton, aluminizados, y algunos equipos internos con kapton, mylar y kevlar.

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. 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. La pintura negra tiene una emitancia alta, pero al mismo tiempo posee una absorbencia muy alta, y cuando está expuesta al Sol su temperatura es superior a los 0 grados centígrados a diferencia de la pintura blanca cuya temperatura puede ser inferior a los -50 grados centígrados. Entre otros acabados también se emplean secciones de pintura aluminizada para tener una gran emisión y una absorbencia baja; las ondas cubiertas con pintura aluminizada son más calientes en la obscuridad donde no inciden los rayos solares. Con la combinación de materiales y colores, y con la ayuda de reflectores ópticos, el equilibrio térmico del satélite se conserva en un nivel adecuado durante la mayor parte del tiempo.

El equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse pues en ese momento desaparece la contribución del calor proveniente del Sol. Si no se tomase alguna medida de protección para estas condiciones especiales, el satélite sufriría un cambio térmico muy fuerte, enfriándose a tal grado que los componentes más sensibles dejarían de funcionar correctamente en los momentos de más bajas temperaturas; uno de los elementos más sensibles al frío son las baterías, que son las responsables de suministrar energía eléctrica al satélite durante el eclipse, y por lo tanto es preciso contar con algún sistema de calefacción que encienda cuando la temperatura comience a bajar significativamente. Para tal efecto 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 operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un ducto; en el extremo donde está la fuente de calor el fluido se evapora y en el otro se encuentra un radiador que transmite el calor al exterior del ducto, hacia las partes frías; esto ocasiona que el fluido se condense, pero al recircular en el interior del caloducto pasa nuevamente a la condición de evaporación, y así en forma sucesiva.

SUBSISTEMA DE POSICION Y ORIENTACION

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 se utilizaron antenas de haces direccionales, estas se hacían girar en sentido contrario al giro 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 las antenas se mantiene fijo; la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción. El satélite al girar sobre su eje que es paralelo al de rotación de la Tierra se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras (fuerzas gravitacionales, viento solar, etc.).

Los satélites con estabilización triaxial no giran, y permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntado hacia la Tierra. En estos casos, la

estabilización de dicho satélite se conserva mediante volantes giratorios que van colocados en su interior, y cuya colocación se realiza sobre cada uno de los tres ejes (x, y, z) tomándose como referencia para definir la orientación del satélite con respecto a 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 esta el satélite y cual es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer su posición, se requiere medir la distancia en la cual se encuentran transmitiendo y en que dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra (Centro de Control). La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que este retransmite después, la diferencia que se detecte en el Centro de Control entre las fases de la señal transmitida y la recibida es un indicador de lo lejos que se encuentra. La medición del ángulo o la dirección en la que se halla se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas. La técnica de máxima recepción es otra alternativa para medir el ángulo, y tiene la ventaja de que solo requiere una estación terrena y no dos; opera bajo el principio de orientar la antena hacia el satélite e ir la moviendo poco a poco hasta que se detecte el máximo nivel de radiación. Cuando se obtiene la posición de máxima recepción, se considera que la antena de la estación terrena está perfectamente orientada hacia el satélite, por lo que se podrá obtener el ángulo y dirección en donde este situado.

Para conocer la orientación de cuerpo del satélite con respecto a la superficie terrestre se utilizan sensores de Sol y de Tierra. Los sensores solares son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuyo valor depende de la dirección de la radiación solar en

ellos. Los sensores de Tierra son los encargados de medir la cantidad de radiación infrarroja emitida por el Planeta, utilizando dispositivos sensibles al calor (termopilas). La cantidad de calor recibida por estos dispositivos está en función de la orientación con respecto a la Tierra.

La precisión ofrecida por los sensores de Tierra y Sol para conocer la orientación de un satélite son muy aceptables, pero en la actualidad ya se cuenta con sensores de radiofrecuencia que detectan y miden las características de señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena, además determinan el ángulo que existe entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la trayectoria de las ondas de radio o haz piloto.

El procedimiento de corrección de posición y orientación para el satélite se basa en la comparación de resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calculando en forma inmediata las correcciones requeridas para reducir las diferencias, y finalmente efectuarlas con la ayuda de un actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite; el flujo de información correspondiente se realiza por el subsistema de telemetría y comando. Los actuadores mecánicos son volantes giratorios o giroscopios, cuya velocidad de rotación se cambia para producir un par correctivo; también se pueden utilizar bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando ésta interactúa con el campo magnético de la Tierra, produciéndose así el par deseado de corrección; en ambos casos, sin embargo, la magnitud que se puede obtener en los pares generados de corrección es poca, y por consiguiente estos dispositivos son poco empleados como actuadores. Los más comunes y que proporcionan niveles importantes en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores.

SUBSISTEMA DE PROPULSION

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

La eficiencia de un propulsor está basada en su empuje e impulso específico del combustible utilizado. Cada tipo de combustible proporciona un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida, cuanto menor sea la masa necesaria para crear un incremento de velocidad mayor será el impulso específico. El impulso específico se puede definir como el empuje producido por cada unidad de peso del combustible (propelente) que se consume por segundo en cada empuje característico. Los propulsores de combustible de impulso específico son los más utilizados para reducir el peso del propelente y los gastos de lanzamiento del satélite, realizando empujes más prolongados para dar la velocidad necesaria en la dirección indicada.

El principio básico de operación de los propulsores químicos está basado en la generación de gases a una gran temperatura en el interior de una cámara de combustión, los cuales son acelerados al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo en forma progresiva en su área transversal y ensanchándose al final. Los primeros satélites utilizaron gases fríos

(nitrógeno y peróxido de hidrógeno), pero su impulso específico era muy bajo (70 segundos), siendo sustituidos este tipo de gases por hidrazina monopropelente. La hidrazina es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador, por este medio la hidrazina se evapora y se descompone en un proceso exotérmico separándose en hidrógeno,

nitrógeno y amoníaco a una temperatura de 300 grados centígrados con un impulso de 225 segundos de duración; este impulso es mejorado con solo incrementar la temperatura a un valor de 1900 grados centígrados con la ayuda de calentadores resistivos después de la descomposición catalítica, obteniendo un impulso de 300 segundos de duración, reduciéndose la masa del combustible en el satélite durante el lanzamiento. En la actualidad se están empleando sistemas bipropelentes, con los cuales no se emplea un catalizador sino un combustible y un oxidante; al entrar en contacto estas dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin el empleo de un sistema de ignición dando como resultado un impulso del orden de 300 segundos.

La ventaja que ofrece este tipo de propulsores es el diseño de un sistema de propulsión único, que es empleado tanto para la colocación del satélite en su órbita como para maniobras de corrección de orientación y posición, utilizando para esto los mismos tanques de almacenamiento de combustible, haciendo al satélite más ligero, al no utilizar un subsistema de control a reacción independiente en combinación con un motor de apogeo de combustible sólido. Algunos satélites como INSAT-1 de la India utilizan esta configuración bipropelente.

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

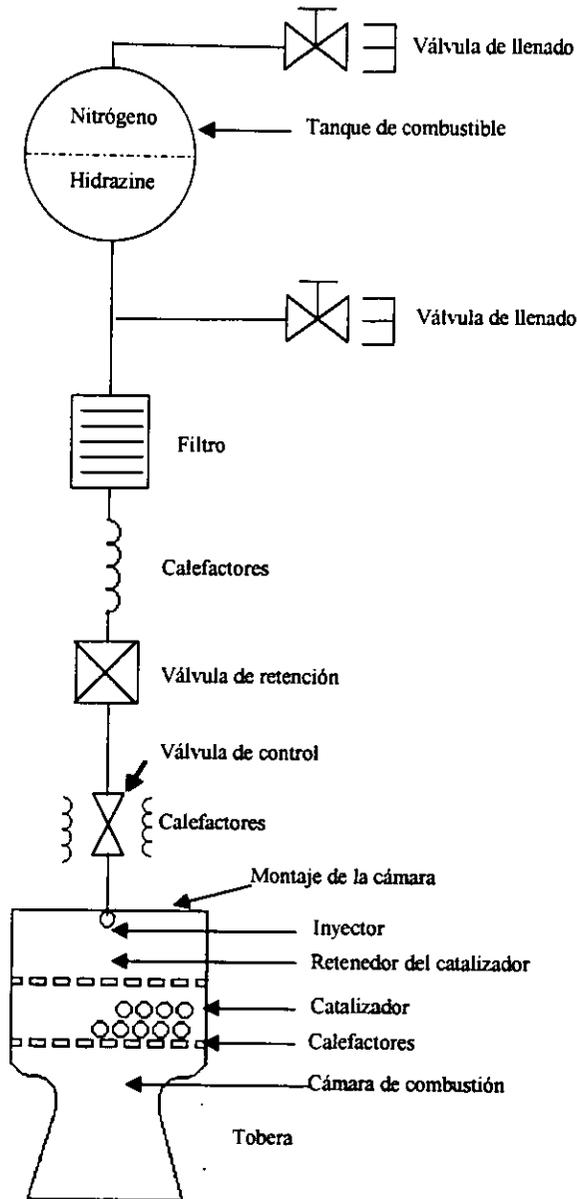


Figura 13 Sistema de propulsión

SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRIA Y COMANDO (TT Y C)

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

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

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

Durante la vida de operación del satélite, este amplificador es el mismo de alguno de los transpondedores utilizados para las comunicaciones, ya que las señales transmitidas y recibidas por el subsistema de telemetría, rastreo y comando ocupan muy poco ancho de banda y pueden compartir el mismo amplificador de banda C o Ku con otro tipo de señales. Durante la delicada

operación del lanzamiento del satélite, las instrucciones son enviadas por la banda VHF y S, situadas entre los 140 Mhz y 2 Ghz, y cuya transmisión y recepción es realizada por la antena de rastreo, telemetría y comando.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite tales como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algunos interruptores, conmutar de transpondedor, modificar la orientación

SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

La estructura del satélite es el armazón encargado de soportar todos los subsistemas que forman al satélite de comunicación, dándole la rigidez necesaria tanto en la órbita geostacionaria como en el momento del lanzamiento. La estructura del satélite está diseñada para proporcionar un soporte mecánico a todos los componentes y sistemas empleados, así como proporcionar una alineación precisa en donde sea necesario (antenas) y ayudar al control térmico con las propiedades de superficie deseadas como lo muestran la figura.

La estructura es la encargada de soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se verá sujeto el satélite en el momento que abandone la Tierra, las cuales se muestran en la tabla siguiente. Tanto la estructura como cada una de las partes que lo integran deberán resistir durante la puesta en órbita y tiempo de vida útil, por lo que el diseñador cuenta con una gran variedad de materiales para la construcción de la estructura así como muchos conceptos geométricos que se derivan de la experiencia aeronáutica. Los materiales para este fin son: Aluminio, Magnesio, Titanio, Berilio, Acero y plásticos reforzados con fibra de carbono. Dependiendo del diseño, es

operación del lanzamiento del satélite, las instrucciones son enviadas por la banda VHF y S, situadas entre los 140 Mhz y 2 Ghz, y cuya transmisión y recepción es realizada por la antena de rastreo, telemetría y comando.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite tales como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algunos interruptores, conmutar de transponedor, modificar la orientación

SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

La estructura del satélite es el armazón encargado de soportar todos los subsistemas que forman al satélite de comunicación, dándole la rigidez necesaria tanto en la órbita geostacionaria como en el momento del lanzamiento. La estructura del satélite está diseñada para proporcionar un soporte mecánico a todos los componentes y sistemas empleados, así como proporcionar una alineación precisa en donde sea necesario (antenas) y ayudar al control térmico con las propiedades de superficie deseadas como lo muestran la figura.

La estructura es la encargada de soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se verá sujeto el satélite en el momento que abandone la Tierra, las cuales se muestran en la tabla siguiente. Tanto la estructura como cada una de las partes que lo integran deberán resistir durante la puesta en órbita y tiempo de vida útil, por lo que el diseñador cuenta con una gran variedad de materiales para la construcción de la estructura así como muchos conceptos geométricos que se derivan de la experiencia aeronáutica. Los materiales para este fin son: Aluminio, Magnesio, Titanio, Berilio, Acero y plásticos reforzados con fibra de carbono. Dependiendo del diseño, es

decir, el número de antenas utilizadas, el tipo de estabilizador y la potencia de los amplificadores, la masa de la estructura varía entre 10 y 20% de la masa total del satélite, gran parte de esa estructura, como son los cilindros o las cajas para cada tipo de satélite fueron fabricadas con honeycomb de aluminio dada su rigidez y ligereza.

ACELERACIONES, VIBRACIONES Y SACUDIDAS DURANTE EL LANZAMIENTO.

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

La figura muestra la estructura de un satélite de forma cuadrangular, el cual muestra la superficie que soporta el equipo de comunicaciones, tanque de combustible, baterías, así como la estructura en donde están montadas el conjunto de antenas (módulo de antenas); esta estructura de soporte de antenas incluye posición estacionaria para los alimentadores de Rf y despliegue de los reflectores o antenas, así como los arreglos solares, los cuales están plegados durante el lanzamiento.

decir, el número de antenas utilizadas, el tipo de estabilizador y la potencia de los amplificadores, la masa de la estructura varía entre 10 y 20% de la masa total del satélite, gran parte de esa estructura, como son los cilindros o las cajas para cada tipo de satélite fueron fabricadas con honeycomb de aluminio dada su rigidez y ligereza.

ACELERACIONES, VIBRACIONES Y SACUDIDAS DURANTE EL LANZAMIENTO.

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

La figura muestra la estructura de un satélite de forma cuadrangular, el cual muestra la superficie que soporta el equipo de comunicaciones, tanque de combustible, baterías, así como la estructura en donde están montadas el conjunto de antenas (módulo de antenas); esta estructura de soporte de antenas incluye posición estacionaria para los alimentadores de Rf y despliegue de los reflectores o antenas, así como los arreglos solares, los cuales están plegados durante el lanzamiento.

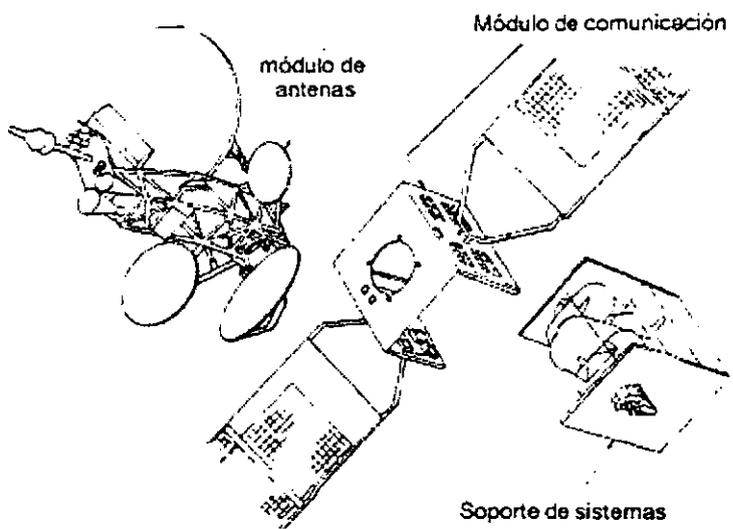


FIGURA 15 Principales estructuras de un satélite

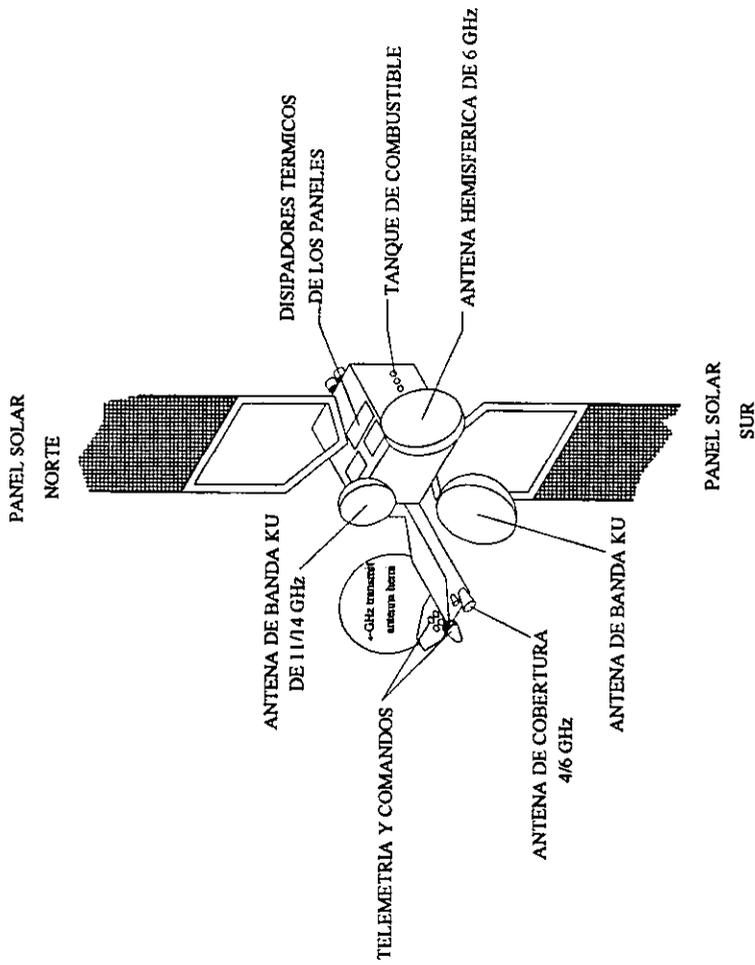


FIGURA 16 Estructura de un satélite de estabilización triaxial

En la siguiente tabla se muestra una lista de elementos y materiales que forman la estructura de un satélite

MATERIALES Y ELEMENTOS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE LOS SATÉLITES

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

Glosario de Términos

Antena	Dispositivo y conductor metálico que permite recibir y emitir las ondas electromagnéticas.
Ancho de banda	Capacidad de transporte de datos de un canal de comunicaciones; medida en Hertz como la diferencia entre frecuencias más altas y más bajas del canal.
Apogeo	Punto en la órbita de un satélite con la distancia más lejana de la tierra.
Amplificador	Dispositivo que incrementa la amplitud de una señal.
Banda C	Se encuentra entre las frecuencias 6 – 4 Ghz.
Banda Ku	Se encuentra entre las frecuencias 14 – 11 Ghz.
Frecuencia	Número de ciclos por segundo, la unidad de la frecuencia es el Hertzio (Hz) 1Hz es igual a 1 ciclo por segundo.
Motor de Apogeo	Motor que se activa en la transferencia del satélite de transferencia geoestacionaria a una órbita geoestacionaria.
Motor de Perigeo	Motor que se activa al entrar el satélite a la órbita de transferencia geoestacionaria.
Satélite	Estación en el espacio
Satélite Geoestacionario	Satélite en una órbita que le permite estar en sincronía con la tierra.

Bibliografía

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

Wayne Tomasi
Prentice Hall.

Enciclopedia Ilustrada de los Satélites Espaciales

Giovanni Caprara

Los Satélites Morelos

S.C.T.
México

Satellite Communication Technology

K. Miya
Lattice books.

Comunication Satellite Handbook

Walter L. Morgan & Gary D. Gordon

Satélites de Comunicaciones

Rodolfo Neri Vela
Mc. Graw Hill

The Comunication Satellte

Mark Williamson
Adam Hilger