



Universidad Autónoma de Nuevo León



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

PASANTE

Mario Alberto Castillo Campos

QUIEN PRESENTA EL TEMA:

Comunicación Via Satélite

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL COMO:

Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

ASESOR Y PRESIDENTE

Ing. Fernando Estrada Salazar

San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

Junio de 1997

T

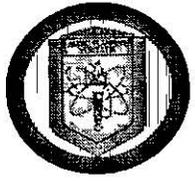
TK5104

C37

c.1



1080072238



Universidad Autónoma de Nuevo León



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Pasante:

Mario Alberto Castillo Campos

Quién presenta el tema:

Comunicación Vía Satélite

Para obtener el título profesional como:

Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

Asesor y Presidente:

Ing. Fernando Estrada Salazar

T
TK5104
E 37



A mis padres, mi agradecimiento, respeto y amor por todas las oportunidades que me han dado.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. GENERALIDADES	5
1.1 DEFINICIÓN.....	5
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SATÉLITES.....	5
1.3 VENTAJA DE LA COMUNICACIÓN VIA SATÉLITE.....	9
2. LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA.....	11
2.1 LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA.....	11
2.2 COMO LLEGAR A LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA.....	12
2.2.1 Inyección directa en órbita geoestacionaria.....	13
2.2.2 Inyección inicial en órbita elíptica.....	13
2.2.3 Inyección inicial en órbita circular baja.....	13
3. MEDIO AMBIENTE.....	15
3.1 EL SATÉLITE Y SU NUEVO HOGAR.....	15
3.2 LAS FUERZAS PERTURBADORAS.....	16
3.3 LA TEMPERATURA DEL SATÉLITE.....	19
3.4 OTROS FACTORES DE PERTURBACIÓN.....	20
4. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE.....	22
4.1 INTRODUCCIÓN.....	22
4.2 SUBSISTEMA DE ANTENAS.....	23
4.3 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.....	24
4.4 SUBSISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	26
4.5 SUBSISTEMA DE CONTROL TÉRMICO.....	28
4.6 SUBSISTEMA DE POSICIÓN Y ORIENTACIÓN.....	30
4.7 SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN.....	32
4.8 SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRÍA Y COMANDO.....	33
4.9 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL.....	35

5. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA GLOBAL DE TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITES DE GRAN ALTURA GEOESTACIONARIOS (SINCRÓNICOS).....	36
5.1 PERIODO ORBITAL.....	37
5.2 LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA.....	38
5.3 ÁREA DE COBERTURA.....	38
5.4 PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN Y ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS	38
5.5 CONCEPTOS GENERALES DE ESTE SISTEMA.....	40
6. DESCRIPCIÓN A CUADROS DE UN SATÉLITE TÍPICO.....	41
6.1 INTELSAT III.....	41
7. EL ENLACE: TIERRA - SATÉLITE - TIERRA.....	44
7.1 CIRCUITO HIPOTÉTICO DE REFERENCIA.....	44
8. ACCESO MÚLTIPLE.....	48
8.1 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.....	48
8.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO.....	49
8.3 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO.....	49
8.4 ACCESO MÚLTIPLE POR ASIGNACIÓN DE DEMANDA.....	50
8.5 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO CON CONMUTACIÓN EN EL SATÉLITE.....	50
9. ESTUDIO Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA ESPACIAL EN MÉXICO	52
9.1 INTRODUCCIÓN.....	52
9.2 SISTEMA DE SATÉLITES MORELOS.....	53
9.2.1 Estado operativo.....	53
9.2.2 Capacidad instalada y ocupada.....	54
9.2.3 Técnicas adoptadas y marcas seleccionadas.....	54
9.2.4 Desarrollo y utilización del sistema de satélites Morelos.....	55
9.2.5 Servicio fijo por satélites.....	55
9.3 SEGUNDA GENERACIÓN DE SATÉLITES MEXICANOS.....	56
9.3.1 Objetivos.....	56
9.3.2 Consideraciones operativas.....	58

9.3.3 Ventajas tecnológicas adicionales.....	59
9.3.4 Transferencia tecnológica.....	60
10. COHETES Y LANZADORES ESPACIALES.....	61
10.1 ESTUDIO DE LANZADORES EN MÉXICO.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64

INTRODUCCIÓN

Uno de los resultados más fascinantes y notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites artificiales. La llegada de estos aparatos electrónicos complejos a modificado visiblemente la forma de vida de la mayor parte de la población del mundo, y quizá de toda ella aunque sea en forma indirecta. Gracias a ellos conocemos con más precisión los recursos naturales de la Tierra y los fenómenos meteorológicos, las distancias entre las ciudades y los países se han acortado y ahora pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender mejor el universo.

En general, todos los satélites artificiales funcionan bajo el mismo principio y constan de varias partes comunes, independientemente de su objetivo en órbita alrededor de la Tierra. Desde luego que si hay algunas diferencias fundamentales entre ellos, pero de cualquier forma todos necesitan, por ejemplo, una buena cantidad de celdas solares para alimentarse de energía, antenas para transmitir su información a ciertos puntos del planeta y también para poder recibir instrucciones o cualquier otro tipo de señales desde ellos, así como medios de propulsión para corregir su órbita, posición u orientación con respecto a la Tierra.

Los satélites integran una gran familia, y parte de ella la constituyen los que están abocados específicamente a los servicios de comunicaciones; dentro de éstos últimos, existen algunas variantes, pero los **geoestacionarios** son los más importantes y los que más se utilizan en la actualidad. Con ellos es ahora posible comunicar lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que transmiten y reciben es sorprendente. Por ejemplo, se pueden ver en vivo programas de televisión que se estén transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo - aun en el caso de que uno se encuentre a bordo de una veloz embarcación en alta mar -, transmitir todas las páginas de un periódico - incluyendo fotografías - a un lugar remoto para que se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, transmitir cursos de actualización y de entrenamiento a zonas urbanas y rurales, efectuar diagnósticos médicos a cientos o miles de kilómetros de distancia, realizar transacciones bancarias, actualizar o consultar bancos de datos de computadoras, y muchas otras cosas más que contribuyen a la dinámica evolutiva de la sociedad moderna.

HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES POR SATÉLITE

Las reflexiones en la Luna aplicando las técnicas de radar fueron repetidamente demostradas en los finales de los 40's e inicio de los 50's. En Julio de 1954, el primer mensaje de voz fue transmitido por la marina de Estados Unidos, mediante el trayecto Tierra-Luna. En 1956 un servicio relevador lunar de la Marina de E. U., fue establecido entre Washington D. C. y Hawai. El circuito opero hasta 1962, ofreciendo una comunicación de larga distancia digna de confianza limitada solamente por la "disponibilidad" de la Luna en los sitios de transmisión y recepción. La potencia usada fue de 100 KW, con antenas de 26 mts. de diámetro a 430 MHz.

Un globo metalizado de dimensiones cortas y puesto en órbita por un cohete, puede ser usado como un reflector de ondas electromagnéticas generadas por un transmisor terrestre. Parte de energía puede ser recogida por estaciones receptoras en algún punto sobre la Tierra, desde el cual el globo es visible, obteniendo de este modo un sistema pasivo de comunicación por satélite.

A través de la sección conjunta de los laboratorios de telefonía Bell, la NASA y la JET Propulsión, el proyecto "ECHO" fue realizado.

El satélite cuya forma era un globo, tenia un diámetro de 30 mts. y estaba cubierto de nylon con lámina de aluminio. La órbita circular tenia la altura de cerca de 1600 Km. En 1960 se logro la transmisión de telefonía y T.V., gracias al sistema de FM en la banda de radiofrecuencias de 1 GHz y 205 GHz; mediante la cual se investigaron las propiedades.

Aunque los satélites activos tienen la capacidad infinita para comunicaciones de acceso múltiple, son gravemente obstaculizados por el uso ineficiente del transmisor de potencia. En el experimento "ECHO", por ejemplo solamente una parte en 10 de la potencia transmitida (10 Km.) es regresada a la antena receptora. Puesto que la señal se ve afectada por el ruido que llega desde varias fuentes, para compensar esto, se utiliza en el receptor un amplificador de bajo ruido.

La ventaja de los satélites pasivos, es que no requieren equipo electrónico sofisticado a bordo. Se usa para rastreo, un transmisor emisor de luz, pero que en general no es necesaria electrónica complicada. Tal simplicidad, mas la carencia de electrónica espacial en los fines de los 50's, hizo interesante el sistema pasivo en los primeros años de la comunicación por satélite. Ya que en corto tiempo la electrónica espacial llega a estar disponible los sistemas pasivos fueron reemplazados por sistemas activos.

El primer satélite activo de los E. U. fue el satélite transmisor "SCORE", lanzado el 18 de noviembre de 1958. El "SCORE" fue un satélite repetidor con retardo, recibiendo señales desde estaciones terrenas a 150 MHz, el mensaje era almacenado en una cinta y después retransmitido. Los 68 Kg. de carga útil fueron situados en una órbita baja con un perigeo de 182 Km. y un apogeo de 1048 Km.

El equipo de comunicaciones estuvo energizado con baterías. Después de 12 días de operación estaban completamente descargados y se detuvo la transmisión.

Después de indagar por primera vez en el espacio con los satélites "SPUTNIK, EXPLORER; VANGUARDIA", incluyendo los proyectos "SCORE Y COURIER" el mayor paso experimental en tecnología de satélites de comunicación activos, se realiza con los proyectos "TELSTAR, RELAY, y el SYNCOM".

El proyecto TELSTAR es el mas conocido probablemente porque fue el único capaz de retransmitir programas de T.V. a través del Atlántico. El primer "TELSTAR", fue lanzado desde Cabo Cañaveral el 10 de Julio de 1962. Era una esfera de aproximadamente 85 cm. de diámetro pesando 80 Kg. El vehículo utilizado de lanzamiento fue un cohete Thor-Delta el cual situó al satélite en una órbita elíptica con un apogeo de 5600 Km.; en un periodo de 2.5 Hrs. El "TELSTAR II" se construyo con una mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fue idéntico a su predecesor, fue lanzado en 1963.

La potencia de los "TELSTAR I Y II" fue de 2.25 Watts proporcionada por un tubo de ondas progresivas (TWT) con un ancho de banda de 50 MHz a 6 y 4 GHz. Ambos fueron de giro establecido. La capacidad de comunicación era de 600 canales telefónicos o un canal de T. V.

El "TELSTAR" fue diseñado como un experimento y no fue destinado como operación comercial. Entre otras cosas la órbita usada hizo a este visible solamente por periodos breves. Un proyecto con objetivos similares, el proyecto RELAY fue desarrollado por Radio-Corporación de América, bajo el contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los E. U. han desempeñado un papel muy importante desde el principio en cuanto se refiere al campo de la comunicación por satélite, pero la URSS también lanzo en Mayo de 1965 su primer satélite de comunicación, "MOLNIYA" de órbita elíptica con un apogeo de 39152 Km. un periodo de 11 Hrs. con 38 minutos. Los datos principales de los experimentos espaciales se muestran en la siguiente tabla:

SATÉLITES EXPERIMENTALES Y COMERCIALES DE COMUNICACIONES

Nombre	Fecha de lanzamiento	Altitud de órbita inicial (Kilómetros)	de la Telecomunicaciones transmisiones
Score	Diciembre 19, 1958	185 a 1471	Voz y telégrafo, inclusive repetición de señales con demora y transmisión de mensajes grabados
Courier I-A	Agosto 18, 1960	No entro en órbita explotó el vehículo	
Courier I-B	Octubre 4, 1960	943 a 1234	Voz telégrafo y telefoto, inclusive la transmisión de voz a Puerto Rico
Telstar I	Julio 10, 1962	954 a 5638	Televisión, voz, telégrafo, cifras y telefoto, inclusive transmisiones entre los Estados Unidos y Europa Occidental y Sud América y entre los Estados Unidos y Japón
Relay I	Diciembre 3, 1962	1318 a 7422	
Syncom I	Febrero 13, 1963	34227 a 36973	
Telstar II	Mayo 7, 1963	972 a 10803	Similar al TELSTAR I
Syncom II	Julio 26, 1963	35792 a 35804	Voz, telégrafo, datos, y telefotos inclusive transmisiones entre los Estados Unidos, Europa Occidental y Africa
Relay II	Enero 21, 1964	2132 a 7403	Similar a RELAY I
Syncom III	Agosto 19, 1964	35781 a 35798	Voz, televisión
Early Bird	Abril 6, 1965	35787 a 35796	Similar a Sycom III (Comercial entre E. U. y Europa)
Molniya I	abril 23, 1965	497 a 39380	Televisión, voz, telegrafía

1 GENERALIDADES

1.1 DEFINICIÓN

Un satélite no es más que una repetidora (en el rango de las microondas) puesta en el espacio. Un satélite no crea transmisiones por sí mismo, solo retransmite o releva lo que recibe de la Tierra en la banda llamada *up-link* y la regresa en la banda *down-link* produciéndose un retardo de aproximadamente de 0.26 segundos.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SATÉLITES

1.- DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

Podemos clasificar a los satélites en **pasivos** y **activos**, de acuerdo a su principio de operación. Consideremos a un satélite como **pasivo** si actúa solamente como superficie reflectora y **activo** si se involucra un proceso electrónico en el satélite (grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc.).

2.- DE ACUERDO A SU APLICACIÓN.

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

3.- DE ACUERDO A SU ÓRBITA.

Por su órbita los podemos clasificar en **geoestacionarios** y **no geoestacionarios**. Un satélite **geoestacionario** es aquel que permanece fijo con respecto a la Tierra, es decir, visto desde la Tierra aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite **no geoestacionario** 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 geoestacionaria 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 a la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se orienta la antena ésta permanece fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena.
- b).- Una vez orientada la antena se dispondrá del satélite todo el tiempo, ya que éste permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

4.- DE ACUERDO A SU COBERTURA.

Clasificaremos los satélites de acuerdo a su cobertura en **globales y domésticos**. Un sistema será **global** cuando su transmisión cubra todo el espacio sobre la Tierra, de acuerdo a la línea de vista desde el satélite. En la práctica un 40% de la superficie de la Tierra es "vista" desde un satélite geoestacionario. Un satélite será de **cobertura doméstica** cuando su transmisión cubra solo un área específica que puede ser grande o pequeña según sean los requerimientos (por ejemplo un país). Aquí debemos incluir un tipo de satélite con cobertura intermedia entre la global y la doméstica es decir los "regionales" cuyo objetivo es cubrir varias zonas específicas, por ejemplo varios países o alguna región de ellos pero sin intentar cubrir toda el área que cubre un global, un ejemplo de estos son los Solidaridad I y II de México con cobertura en América Central y del Sur, así como Estados Unidos parcialmente.

Técnicamente la diferencia entre un satélite y otro es solamente la antena que es la que define el tipo de cobertura. En el caso de un satélite de cobertura global, por ejemplo: los de INTELSAT de uso internacional, la antena comúnmente utilizada es del tipo de corneta, mientras que en los de cobertura doméstica, los MORELOS por ejemplo, la antena es de tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones internacionales e intercontinentales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales (dentro del mismo país).

Sistemas global y doméstico.

El satélite es esencialmente una estación repetidora (en el rango de microondas). El satélite no crea transmisiones realmente por si mismo; simplemente revela (o repite) lo que recibe desde la Tierra. En ese sentido, es un dispositivo que recibe las señales up-link en su banda de frecuencias correspondiente, las convierte a la banda down-link y las retransmite a la Tierra.

Debido a la considerable distancia (36,000 Km. hacia arriba y luego hacia abajo) hay un ligero retraso en la señal de aproximadamente 0.26 segundos, pero es precisamente esta extraordinaria altitud lo que hace del satélite un dispositivo tan valioso. Veamos por que: algunas ondas de radio van hacia el espacio y se

reflejan en la capa de la atmósfera conocida como Ionosfera. Sin embargo ondas de radio viajan en línea recta; cuando dejan la antena transmisora pueden ser recibidas solo tan lejos como el alcance de la línea de vista. Un ejemplo de estas es la señal de televisión (Banda VHF).

Las estaciones regulares de TV localizan sus antenas sobre los edificios altos, o sobre torres altas o bien sobre las montañas para tener mayor alcance. Con estos antecedentes, imagínese que tan lejos una estación de televisión puede transmitir si la antena transmisora no está a 500 o 1000 pies de altura sino a 36000 Km. Este es el secreto básico de los satélites; está tan alto arriba de la Tierra que hay línea de vista desde una porción bastante grande de la Tierra, de hecho, un satélite a esas alturas es capaz de cubrir un 40% de la superficie de la Tierra al mismo instante.

Algunos satélites intentan alcanzar una gran parte de la Tierra simultáneamente (sistema global), mientras que los domésticos no. Hay un gran número de satélites de este tipo ahora en operación, espaciados alrededor de la Tierra arriba del ecuador.

Los satélites que cubren grandes áreas (por ejemplo la familia INTELSAT); son satélites operando para revelar o repetir comunicaciones internacionales y de hecho mediante tres grupos de estos satélites situados alrededor de la Tierra virtualmente se cubre toda la superficie del planeta con comunicaciones de TV, radio, datos, etc.

El satélite doméstico opera de una manera diferente. Aunque es posible cubrir hasta un 40% de la superficie desde la posición de un satélite arriba del ecuador, no todos los satélites requieren de cubrir tan amplia área. Aquellos que **no lo hacen** son los llamados satélites **domésticos** porque han sido diseñados principalmente para servir de transmisores y receptores localizados dentro de los confines de un área geográfica nacional; tal como Estados Unidos, Canadá, México, etc.

Un satélite doméstico es muy similar a un satélite internacional (es decir, operan con un equipo semejante) excepto que los satélites internacionales utilizan antenas transmisoras y receptoras que cubren toda la superficie de la Tierra que es posible desde sus 36000 Km. de altitud. Mientras que los satélites domésticos emplean antenas "direccionales" especialmente diseñadas que cubren solo aquella porción del mundo que incluye a la nación a la cual están sirviendo. Es decir; que los satélites de la serie ANIK canadienses están autorizados para cubrir ó servir a los espectadores canadienses, mientras que las series SARCOM, WESTAR; etc. están a su vez autorizados para servir a Estados Unidos de Norteamérica. Hay ventajas y desventajas en esto. La ventaja es por el hecho de dirigir toda potencia transmitida desde el satélite hacia un solo

segmento de la Tierra (digamos Canadá) en vez de distribuirla en un 40% de la superficie, la intensidad de las señales del satélite es más elevado.

De hecho, los satélites domésticos concentran su potencia transmitida disponible en una relativamente pequeña porción de la superficie de la Tierra de modo que sus señales son más intensas en el área servida que las que reciben desde los satélites INTELSAT. Esto significa que se pueden recibir las señales desde los satélites domésticos con equipo menos sofisticado que el requerido para INTELSAT.

La desventaja de este tipo de operación es obvia; si se intenta recibir la señal de un satélite doméstico de Canadá en Venezuela, por ejemplo, la intensidad de la señal en esa área será bastante pobre.

Un hecho importante es que las señales de los satélites no “se detienen” en las fronteras nacionales; los ANIK canadienses son recibidos con alta calidad muy al centro de los Estados Unidos aún con equipo relativamente sencillo y debido a que los satélites norteamericanos deben cubrir tanto Alaska como Puerto Rico e Islas Vírgenes, muchos lugares geográficos fuera de Estados Unidos son cubiertos también en este proceso.

Características de la señal de Satélite.

- a).- Hay línea de vista entre el satélite y la estación de la Tierra. Esto significa que el satélite esta en el cielo sin que haya nada entre él y la estación terrena sino unas cuantas millas de atmósfera y luego espacio.
- b).- Las señales del satélite son muy estables. Normalmente las señales terrestres de TV (señales normales de TV) viajan una cierta distancia (unos 50 kilómetros) antes de llegar al receptor. Se podrá observar que en algunos días la recepción es perfecta mientras que en otros existen interferencias o ruido. Esto sucede debido a los cambios en la atmósfera de la Tierra o los cambios en el tiempo (temperatura, humedad, etc.). Una señal de televisión “Terrestre” debe viajar a través de unas 10 millas de atmósfera un par de millas y es prácticamente ignorada ya que los cambios de temperatura, humedad, etc., o de las condiciones atmosféricas son virtualmente inmutables, aún con equipo altamente sofisticado.
- c).- La calidad de recepción desde el satélite es excelente. Una estación de televisión local, recibe sus programas vía una serie de estaciones repetidoras de microondas por tierra. Una estación de TV recibe su señal de la red después de que ha sido recibida y releva quizá hasta por 50 estaciones repetidoras diferentes. El satélite es exactamente igual a esas estaciones repetidoras de microondas; excepto que mientras se requiere

50 (o más) repetidoras a lo largo de un camino por Tierra, por vía satélite solo un repetidor es requerido (el mismo satélite). Debido a que cualquier estación repetidora degrada la calidad de la señal ligeramente, la recepción por vía satélite es lo más cercano a la red de TV perfecta.

d).- Los satélites son sistemas de canales múltiples. Los modernos satélites operan con 12 o 24 canales separados. Todos los satélites que nos interesan operan en la misma banda de frecuencias, sin embargo, no causan interferencias a otros satélites simplemente por las características direccionales de las antenas receptoras. Aclaremos esto brevemente: Cuando se apunta la antena receptora a un satélite particular se tiene acceso a todos los canales de dicho satélite. Girándola hacia la localización de otro satélite, entonces se tiene acceso a todos los canales del nuevo satélite. El número de canales que se pueden recibir es una función del número de satélites que se pueden captar y del número de canales disponibles en operación.

1.3 VENTAJA DE LA COMUNICACIÓN VÍA 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 esté dentro de un área de cobertura la cual puede llegar a ser tal, que cubrirá 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 (aunque sea en grado mínimo), debemos considerar la gran ventaja de manejar un enlace a través de una sola repetidora (el satélite), y por lo tanto una sola fuente de ruido, comparado contra un enlace utilizando una red de microondas de 20 o más repetidoras, por lo tanto 20 o más fuentes de ruido. Definitivamente la calidad de la señal en un enlace vía satélite es mucho más alta que un enlace a través de una red de microondas.

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. Pero aún debemos agregar a esto, el hecho de que los fabricantes de los satélites proveen a éste de equipo redundante para las partes más susceptibles de daño lo que definitivamente garantiza su funcionamiento.

4.- ALTA CAPACIDAD (VENTAJA PROPIA DE LAS MICROONDAS).

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 tener una gran capacidad de manejo de información. De hecho, los satélites actuales tienen capacidad para manejar 24 canales de T. V. simultáneamente o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos por cada canal de T. V.) por cada banda que disponga (C y/o Ku).

5.- VENTAJA DEL TIPO SOCIAL.

Por medio de los satélites se tiene acceso a lugares que por medio de otros sistemas de comunicación no se podría, éste es el caso de regiones pantanosas, bosques, islas, etc.

2

LANZAMIENTO Y COLOCACIÓN EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA

2.1 LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA

EL CINTURÓN DE CLARKE.

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, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años más tardes, 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 comunicar por radio con solo tres satélites colocados en esa órbita tan especial (Fig. 2.1). ¿Cómo sería posible lograrlo, si los satélites deben moverse a gran velocidad, para no perder altura y caer hacia la Tierra, atraídos por ella? La Tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas; si se coloca a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

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 cada 24 horas, debía estar a aproximadamente 36000 Km. de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra (Fig. 2.2).

Sin duda fueron muchos los científicos e ingenieros que leyeron con interés las ideas de Arthur C. Clarke y de otros autores contemporáneos. Cabe mencionar

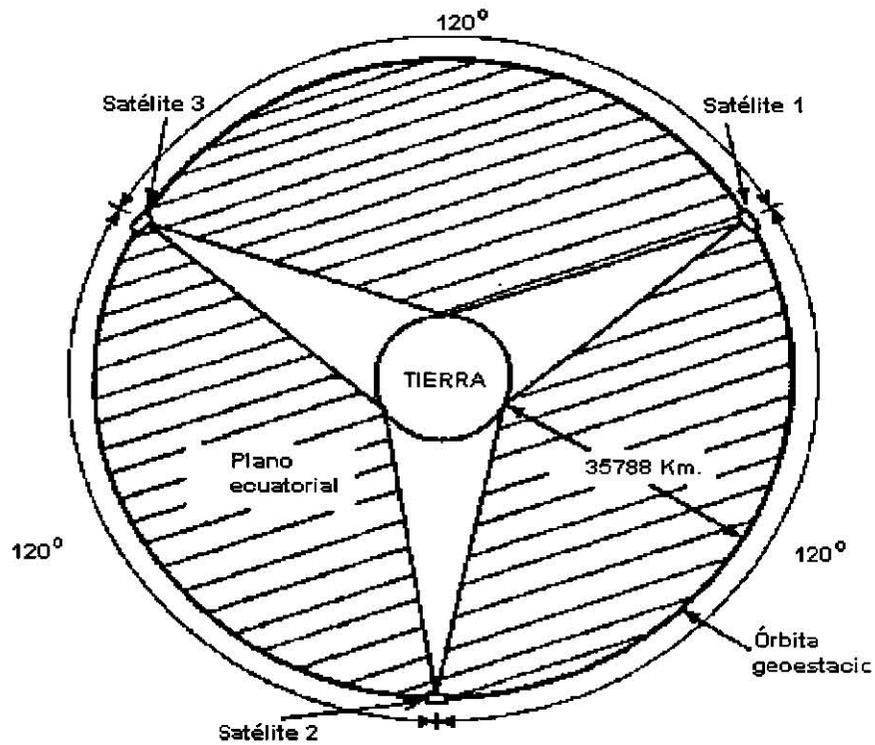


Fig. 2.1 Clarke indicó que con solamente tres satélites en órbita geoestacionaria se posible intercomunicar por radio a casi la totalidad del mundo habitado, desde luego con una limitación en la cantidad de tráfico si multáneo.

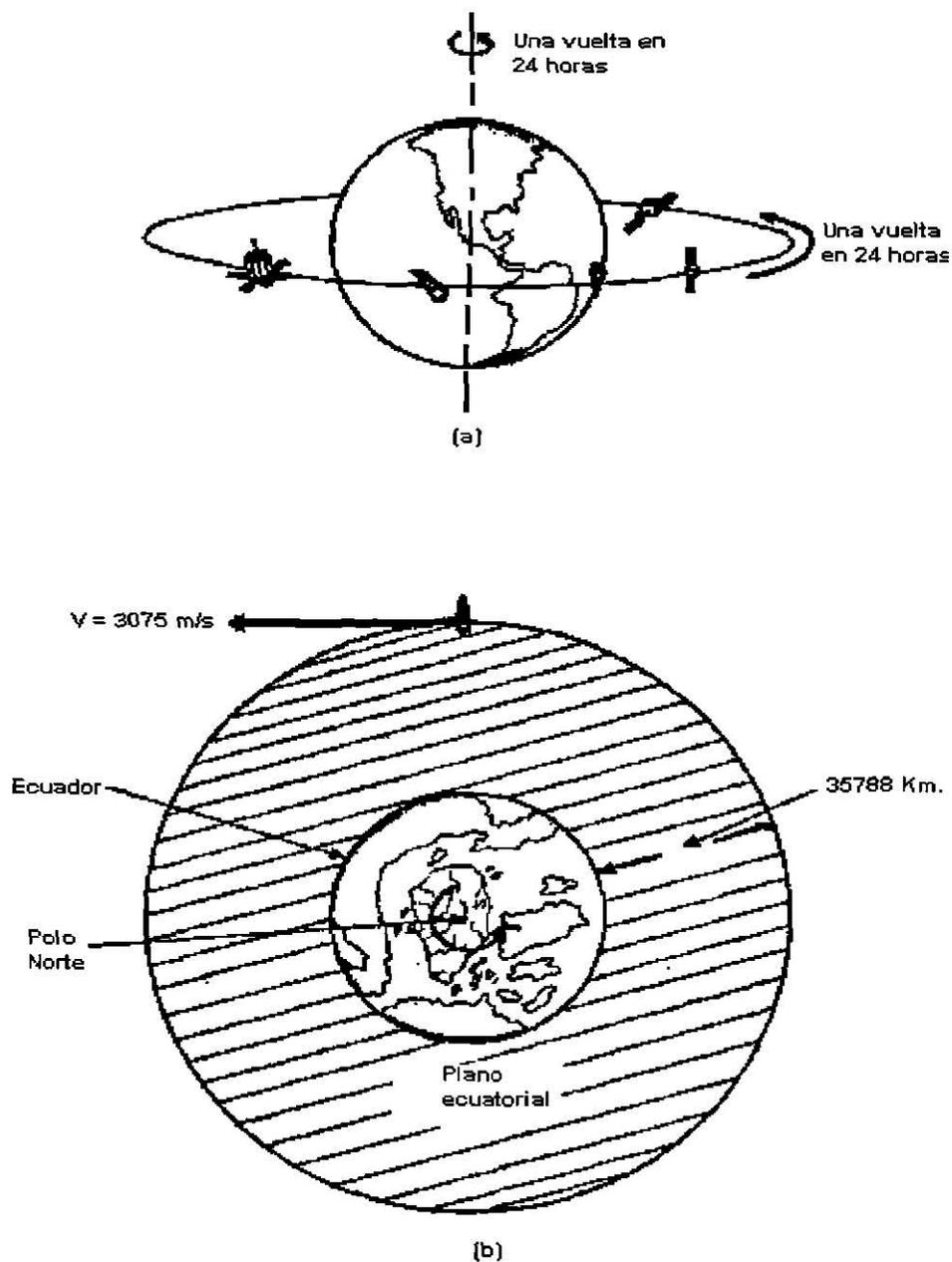


Fig. 2.2 Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo en la Tierra; los satélites no se mueven: a) vista lateral; b) vista superior.

que en aquel entonces todavía no se lanzaba ni siquiera el primer satélite artificial de la Tierra, ya no se diga en órbita geoestacionaria a 36000 Km. de altura sobre el nivel del mar, sino aunque fuese a unos cuantos cientos de kilómetros de distancia. Pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después de algunas 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 Índico), intercomunicando al mundo; era el año de 1968 y los sueños de Clarke se habían convertido en una realidad, 23 años después de haber publicado sus ideas.

La órbita en cuestión recibe el nombre de **órbita geoestacionaria**, pero con frecuencia muchos autores o investigadores también se refieren a ella como el **Cinturón de Clarke**, en justo reconocimiento a su promotor. En la actualidad ésta es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra; muchos propietarios de satélites, si no todos, quieren estar ahí por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones.

2.2 COMO LLEGAR A LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA

Sin las leyes de Isaac Newton que rigen la mecánica clásica, seguramente los científicos de siglo XX no hubieran podido colocar satélites alrededor de la Tierra. Gracias a él se sabe que la fuerza de atracción entre un cuerpo y la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre ambos y directamente proporcional al producto de sus masas; así mismo, que si a un cuerpo se le aplica una acción (p. ej. una fuerza), entonces este responde con una reacción igual y en sentido contrario, oponiéndose a la acción original. Estas deducciones de Newton que datan del siglo XVII hacen posible que el hombre actual lance al espacio vehículos de carga (cohetes o lanzadores) con satélites artificiales en su interior, y que éstos últimos conserven su posición orbital en el espacio una vez que han llegado ahí.

Todos los sistemas satelitales hacen uso de los principios anteriores y de muchos otros, como por ejemplo las leyes de Kepler, que explican el movimiento de los planetas alrededor del Sol, pues los satélites se pueden interpretar en sentido figurado como si fuesen planetas y la Tierra como un Sol, aunque todo a escala mucho menor. En teoría, el número de tipos de órbita en los que un satélite se puede colocar alrededor de la Tierra es infinito, pero como ya se indicó anteriormente, la más codiciada y utilizada de las órbitas posibles es la geoestacionaria. Para llevar a un satélite a esa órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

2.2.1 Inyección directa en órbita geoestacionaria

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos que se explican más adelante. 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. El cohete Titanic III C de los EE. UU. es un ejemplo del lanzador que puede emplearse con este fin.

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 **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 está a una altura aproximada de 200 Km. sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35788 Km., que es la altura final en la que el satélite debe de quedar para funcionar. El paso siguiente es circular 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 éste, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geoestacionaria (Fig. 2.3).

2.2.3 Inyección circular en órbita circular baja

Ésta es la técnica más empleada por el sistema de Transportación Espacial de la NASA de EE. UU. Mejor conocido como **orbitador**, que consiste en tres pasos, los dos últimos son idénticos al caso anterior de inyección inicial en órbita elíptica, y el primer paso se describe a continuación.

El orbitador despegando llevando al satélite en su compartimiento de carga (Fig. 2.4) y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km. sobre el nivel del mar (Fig. 2.5). En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de ésta forma también en órbita circular baja

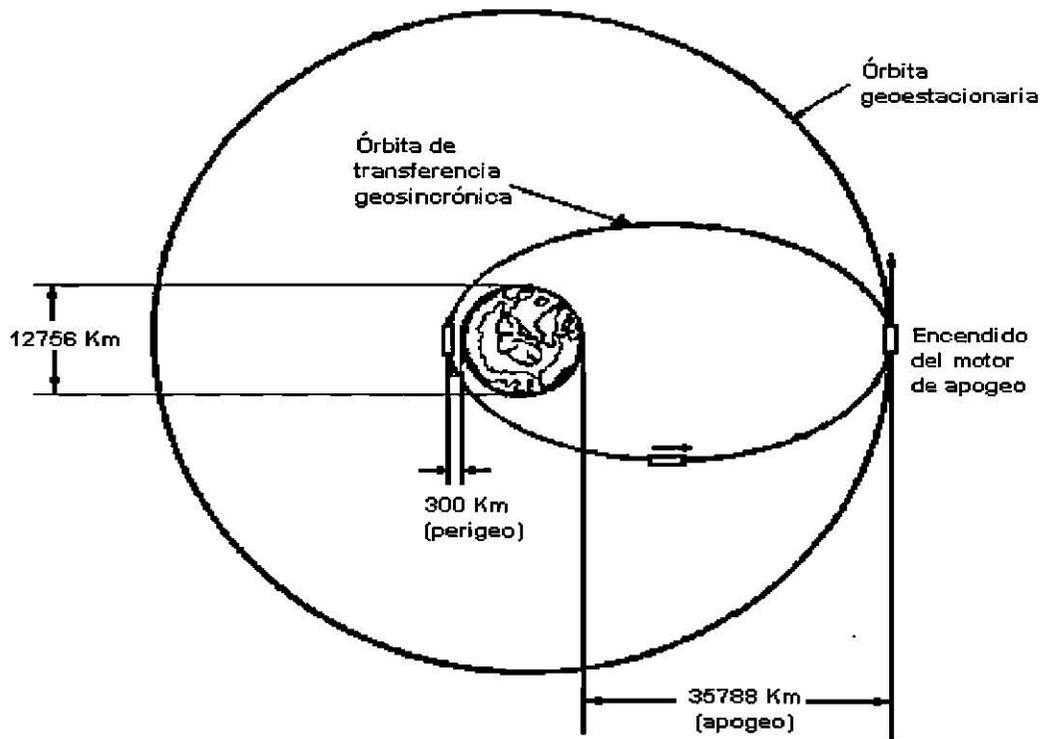


Fig. 2.3 Algunos cohetes, como los Ariane de la Agencia Espacial Europea, colocan los satélites geostacionarios en dos pasos. El satélite se pone primero en una órbita elíptica de transferencia geosincrónica y después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende un motor que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

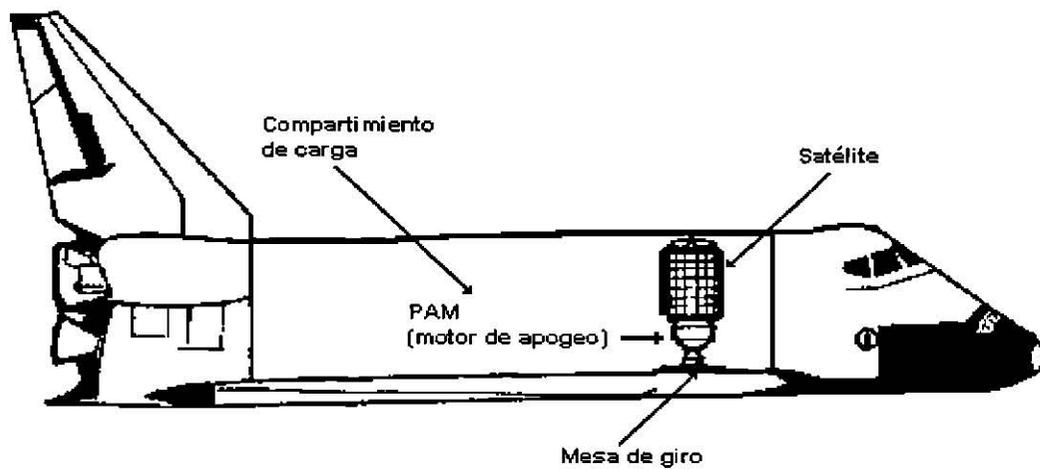


Fig. 2.4 Configuración de un satélite almacenado en el compartimiento de carga de un orbitador. Un satélite de mayores dimensiones iría en posición horizontal.

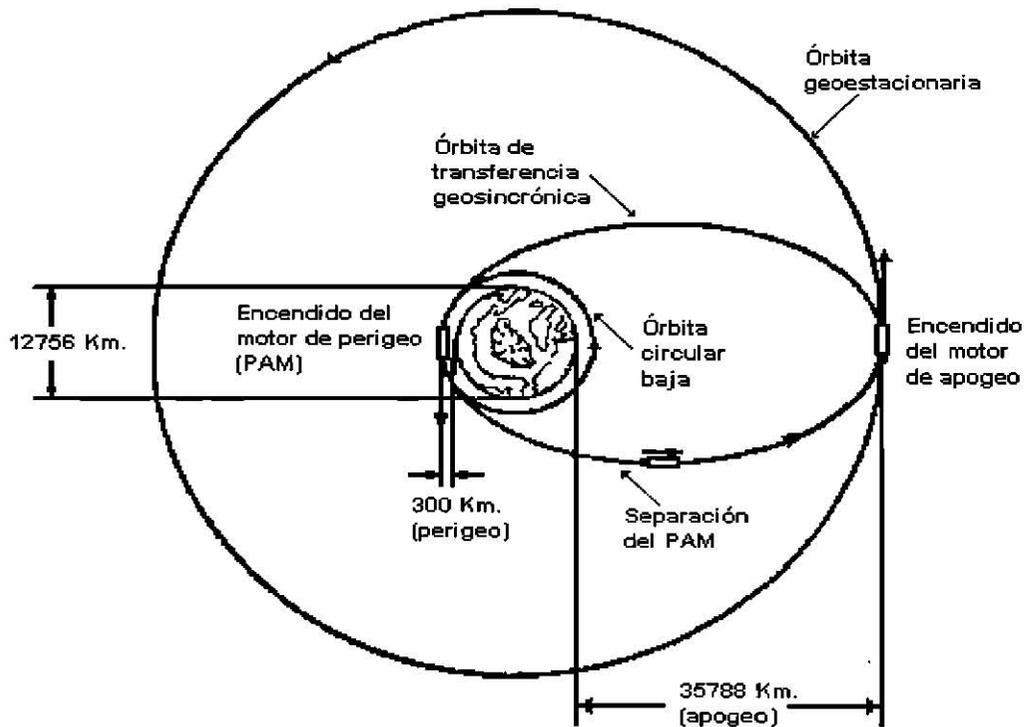


Fig. 2.5 Los orbitadores de la NASA colocan al satélite en una órbita circular baja. Para que éste llegue a su posición geoestacionaria final deben seguirse otros dos pasos, mediante el encendido de un motor de perigeo y después el de un motor de apogeo. Como consecuencia del accidente del Challenger, pocos son los satélites comerciales que la NASA lanzará con sus orbitadores en los próximos años.

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 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. Éste le da una 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 encienda 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 lo 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.

3.1 EL SATÉLITE Y SU NUEVO HOGAR

El satélite ha llegado a su posición final en el Cinturón de Clarke, 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 el mismo cinturón, 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 dos a tres grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 kilómetros 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. Por ejemplo, un satélite diseñado para prestar servicios de telecomunicaciones a la India se colocará en órbita geoestacionaria sobre el océano Índico y no al otro lado de la Tierra, sobre el océano Pacífico, al sur de México; allí de nada le serviría al sistema de la India, a menos que la energía radiada por el satélite pudiese atravesar el planeta y ser capturada por antenas hindúes que estuvieran apuntando hacia el centro de la Tierra y no hacia el cielo.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke 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. Por lo que se refiere a tráfico interno o doméstico de señales, se intuye que una de las zonas más congestionadas, por la gran demanda de servicios que allí hay, tanto en variedad como en cantidad, es la sección del arco ecuatorial comprendida por las longitudes geográficas de México, EE. UU. Y Canadá, así como las longitudes más cercanas a sus territorios.

Regresando al satélite recién llegado, éste no debe de 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, aún cuando se esté 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.

Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirando de él de un lado a otro, de tal forma que se le puede imaginar, aunque sea en forma muy exagerada, como una botella que flota sobre las olas del mar cambiando su orientación y posición constantemente. Necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos, y tener asimismo cierta flexibilidad de movimiento limitado; nunca se le puede decir “no te muevas ya”, como por arte de magia, pues las fuerzas externas se encargarán de volver a moverlo. A través del subsistema de propulsión del satélite, es posible ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

En la figura 3.1 se muestran las dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio; nótese que cada lado de la caja mide muchos kilómetros. 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. Claro está que para realizar todas estas maniobras con precisión, se necesita contar en Tierra con un centro de control espacial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información, que le permite a los operadores, y a las computadoras, hacer sus cálculos y tomar las decisiones correctas.

Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la posición y orientación del satélite se consume combustible, y poco a poco los tanques de almacenamiento se van vaciando. ¿Qué ocurre cuando ya no hay combustible en los tanques de almacenamiento, después de haber realizado un gran número de maniobras correctivas? Simplemente, ya no es posible mantener al satélite dentro de la caja imaginaria, y tampoco orientarlo correctamente hacia la superficie de la Tierra a la que le debe de dar servicio; se corre el grave riesgo de causarle interferencia a otros sistemas, además de otros problemas operativos en Tierra, y la única solución es apagar el satélite, concediéndole su jubilación. El número de años que pueda trabajar sin problemas, es decir su vida útil, depende en gran medida de la eficiencia con la que los operadores en Tierra administren el combustible contenido en los tanques de almacenamiento.

3.2 LAS FUERZAS PERTURBADORAS

¿Cuáles son las fuerzas perturbadoras que causan tantos problemas para conservar al satélite fijo en su posición geoestacionaria? La fuerza que más le

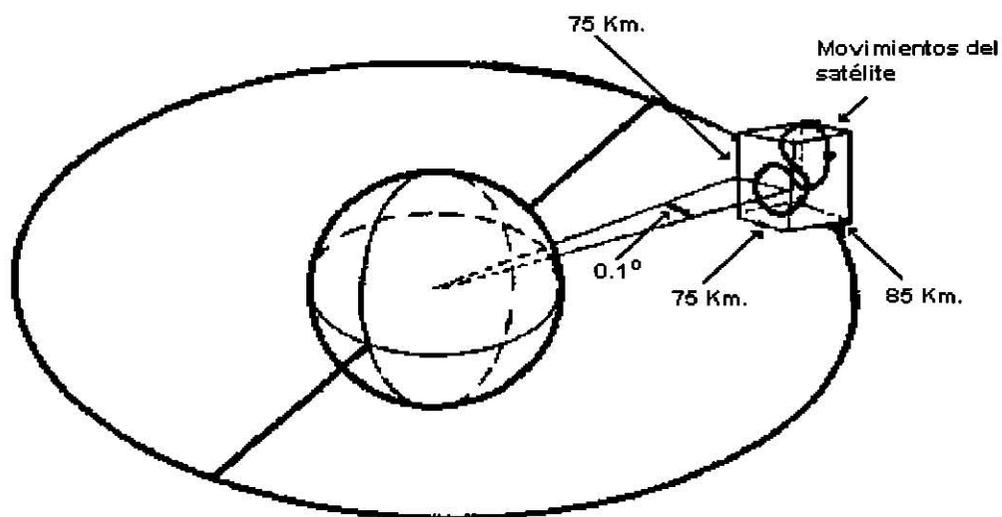


Fig. 3.1 Siempre y cuando el satélite no se salga de esta gran caja imaginaria no hay ningún problema.

afecta es el campo gravitacional de la Tierra. Este campo no es esféricamente uniforme, pues la distribución de la masa del planeta no es homogénea. Es decir, si se imaginase a una gran esfera en cuyo centro esté el centro de la Tierra, y si pudiese medirse de alguna forma la intensidad del campo gravitacional en todos los puntos de la superficie de esa gran esfera se imaginaria envolvente, no se obtendría el mismo valor en todos los puntos, o sea, que la intensidad del campo gravitacional no es exactamente igual sobre un punto en el sur del océano Pacífico que sobre un punto en el continente africano, aun cuando ambos puntos de medición estén a la misma altura sobre el nivel del mar. Más aún, la Tierra no es una esfera perfecta, sino que está achatada en sus polos, y el círculo ecuatorial no es en realidad un círculo, sino una elipse, aunque de muy poca excentricidad; el eje mayor de ésta es 150 metros más largo que el eje menor. Para que tuviese una uniformidad esférica del campo gravitacional de la Tierra, en primer lugar ésta debería de ser una esfera perfecta, y además su masa tendría que estar mezclada homogéneamente; ambas cosas son, por supuesto, imposibles, dada la manera en que se formó y a que gira sobre su propio eje.

La no uniformidad del campo gravitacional de la Tierra, combinada con el hecho de que la estructura del satélite tampoco tiene una masa homogénea, puesto que sus componentes están fabricadas con una diversidad de materiales, produce un par gravitacional. Este par o fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita; dicho cambio de velocidad o aceleración provoca a su vez que el satélite cambie de posición en longitud, es decir, que se mueva a la derecha o a la izquierda (oeste o este) sobre el arco geoestacionario, dentro de la caja imaginaria de la figura 3.1.

El campo gravitacional de la Tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el planeta y a la relativa cercanía del satélite al mismo, pero la Luna también ejerce una ligera fuerza gravitacional perturbadora. Sin embargo, como esta última es mucho más pequeña que la Tierra y además se encuentra diez veces más lejos del satélite que éste de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que en caso de la fuerza gravitacional perturbadora del Sol. De cualquier manera, la combinación de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir, hacia arriba o hacia abajo (norte o sur) dentro de la caja imaginaria de la figura 3.1; esto origina una inclinación de su plano orbital de operación con respecto al plano ecuatorial en el que idóneamente debería permanecer. Tal inclinación indeseable entre ambos planos es del orden de 1° por año, medido hacia el plano de la elíptica - que es el círculo de la esfera celeste que señala el curso aparente del Sol durante un año, y que corta al ecuador de la Tierra con un ángulo de 23.5° ; un 30% de esta inclinación se debe al efecto del Sol y un 70% al de la Luna. Dicha atracción combinada de la Luna y del Sol produce además una pequeña variación en la posición longitudinal del satélite,

aunque no es tan importante como la causada por el campo gravitacional de la Tierra.

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura. Esta fuerza acelera al satélite, y su efecto es mayor en satélites que tienen sus arreglos solares montados sobre paneles desplegados o extensibles que sobre satélites de configuración cilíndrica, puesto que en primer caso la superficie total expuesta a la presión de la radiación solar es mucho mayor; el principal efecto de esta fuerza es cambiar la excentricidad de la órbita del satélite, y como la resultante no incide precisamente sobre su centro de masa, al mismo tiempo se produce un giro, que cambia su orientación con respecto a la superficie del planeta.

El campo magnético de la Tierra también produce un par o fuerza perturbadora sobre el satélite, pero en realidad su efecto es despreciable en comparación con los de las fuerzas comentadas anteriormente. Existen, además, otras cuya aparición y efecto son impredecibles, producidas por el impacto de meteoritos. Cuando hay una colisión de un meteorito con el satélite, el primero le transmite un momento al segundo, que modifica ligeramente su posición y orientación.

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite también genera otras fuerzas perturbadoras. El simple hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite. Conviene apuntar que conforme los tanques de combustible se van vaciando, el centro de masa del satélite cambia; por lo tanto, cuando se activa el subsistema de propulsión para corregir los errores en orientación y posición, el empuje resultante no se aplica precisamente sobre el centro de masa; esto produce pares o fuerzas igualmente perturbadoras durante la realización de las correcciones.

Por último, la misma radiación radioeléctrica de las antenas del satélite producen una presión, cuyo efecto es importante cuando la potencia de transmisión del satélite es alta y está concentrada en un haz de iluminación muy angosto. Esta fuerza origina un giro del satélite, y para reducir al máximo su efecto sobre él, se debe diseñar con antenas colocadas simétricamente con respecto a su centro de masa, o bien, el eje de radiación principal de la antena debe contener dicho centro de masa.

Como puede verse, el nuevo hogar del satélite es muy inestable, y por ello su subsistema de propulsión es sumamente importante para poder mantenerlo dentro de la habitación que le corresponde en el espacio, es decir, dentro de su caja imaginaria. Sin embargo hasta ahora sólo se ha hablado de los efectos

perturbadores mecánicos o de movimiento sobre el satélite; a continuación se mencionan otros, que también pueden alterar su funcionamiento correcto, como son la radiación solar, las partículas cósmicas y los eclipses.

3.3 LA TEMPERATURA DEL SATÉLITE

El satélite está integrado por un gran número de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo, las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre -100°C y $+50^{\circ}\text{C}$, las baterías solamente entre 0°C y $+20^{\circ}\text{C}$, y los tanques de combustible deben estar entre $+10^{\circ}\text{C}$ y $+50^{\circ}\text{C}$; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos, entre otros componentes, también requieren rangos específicos de temperatura para funcionar 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 térmico entre la energía que el satélite recibe por la radiación de fuentes externas y la energía que el mismo disipa internamente. El problema se complica aún más si se considera que la energía de las fuentes externas cambian constantemente conforme el satélite gira alrededor de la Tierra, ya que según la hora del día y época del año la magnitud de la radiación que recibe del Sol y de la Tierra es variable.

La principal fuente de radiación externa es el Sol, y aun cuando causa algunos problemas para conservar el balance térmico en el satélite, es obvio que sin él no sería posible generar electricidad a través de las celdas solares; por supuesto, sin el tampoco habría vida sobre la superficie de la Tierra y mucho menos satélites artificiales girando alrededor de ella. Por un lado, el Sol permite generar electricidad para que el satélite funcione, pero por otro complica el diseño del mismo. En todo momento el satélite tiene varias de sus partes expuestas a distintas temperaturas; mientras que la cara que está orientada al Sol se calienta mucho, las partes no iluminadas se enfrían (fig. 3.2). En el interior del satélite, la transferencia del calor se lleva a cabo por conducción, y en el espacio por radiación, puesto que el medio ambiente de casi vacío excluye la posibilidad de que en este último se pueda transferir por convección. En cuanto a la contribución térmica de la Tierra, esta consiste en radiación térmica infrarroja emitida por ella misma y de la reflexión de los rayos solares sobre su superficie, denominada albedo; sin embargo, el efecto térmico de su radiación total es despreciable en comparación con el producido por la radiación solar directa.

Por otra parte, cuando ocurre un eclipse, el satélite no solamente se enfría muchísimo al interponerse al Tierra entre él y el Sol, sino que además no puede transformar energía solar en electricidad; en estas condiciones, necesita obtener su energía de alguna otra fuente para seguir funcionando. Esta fuente de respaldo

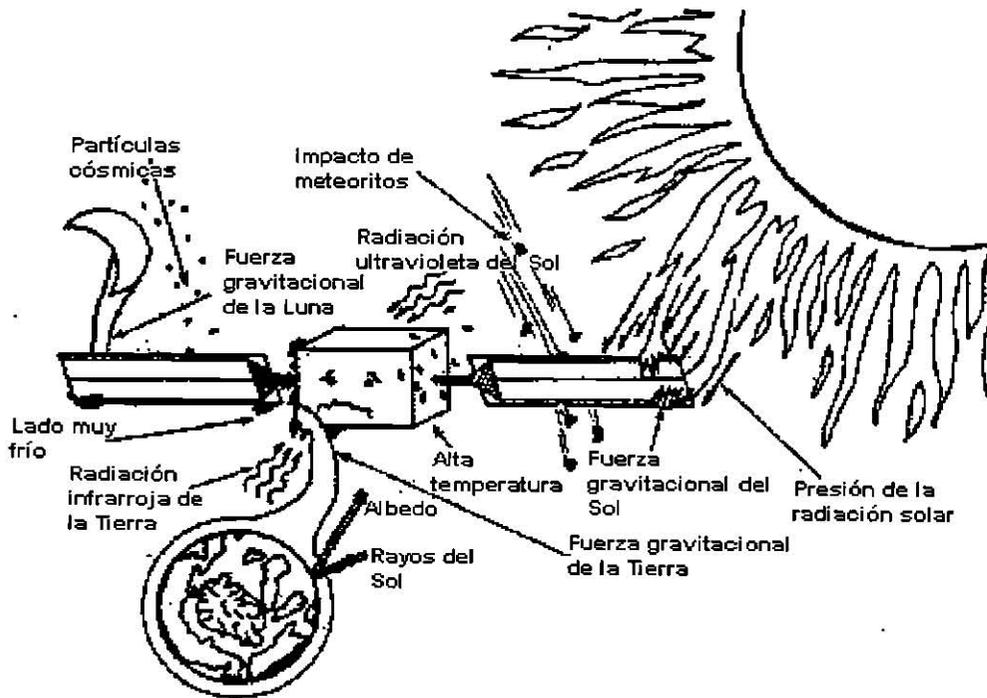


Fig. 3.2 Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite.

está constituida por varias baterías que forman parte del satélite, y gracias a ellas el servicio no se interrumpe durante un eclipse o la noche terrestre.

3.4 OTROS FACTORES DE PERTURBACIÓN

Hasta ahora se han visto ya la mayor parte de los factores que alteran el funcionamiento correcto de un satélite geoestacionario y que, por consiguiente, exigen en él un buen diseño y una supervisión y control permanentes. A continuación se mencionan algunos otros factores importantes que complican aún más la vida operativa del satélite (fig. 3.2).

La radiación ultravioleta del Sol causa que los materiales del satélite se ionicen; esto produce un aumento en la conductividad de los aisladores y cambios en las características de emisión y absorción de calor de los materiales protectores. Además, la misma radiación degrada poco a poco la eficiencia de las celdas solares, que después de varios años de trabajo y de estar expuestas al Sol reducen su eficiencia en un 20% a 30%.

El medio ambiente de casi vacío ocasiona, por su parte, que los metales y los semiconductores se sublimen y tiendan a evaporarse. La cantidad de masa que pierden depende mucho de la temperatura estas pérdidas son despreciables siempre y cuando los materiales utilizados para proteger el satélite no sean muy delgados. Hay otros efectos que pueden resultar muy dañinos, como es la posibilidad de que se condensen gases en superficies frías y produzcan un corto circuito en materiales aislantes. Como punto a su favor, el medio ambiente de casi vacío tiene la ventaja de que elimina la posibilidad de que haya problemas por corrosión.

Adicionalmente las partículas cósmicas que inciden sobre el satélite ocasionan que sus plásticos se ionicen y que la eficiencia de sus celdas solares se degraden aún más; por si fuera poco, también pueden modificar el acabado de las superficies diseñadas para controlar su balance térmico. Anteriormente se mencionó que los meteoritos podían modificar la orientación y posición del satélite, pero además de esto, algunos también pueden perforar partes de su exterior, por la enorme energía que traen consigo a la velocidad que viajan. Este efecto podría resultar desastroso para la supervivencia del satélite, y por ello su estructura debe tener la rigidez suficiente y capacidad de amortiguamiento para resistir impactos de poca intensidad.

Con todo esto se ha descrito someramente el medio ambiente hostil en el que un satélite geoestacionario debe sobrevivir durante varios años. No sería extraño que en son de broma, y si los satélite pudiesen hablar entre sí, uno de ellos le dijera al recién llegado: "Bienvenido a casa". Lo que sí es cierto es que diseñar un sistema de comunicaciones por satélite es una verdadera obra de arte

tecnológica, en la que intervienen cuando menos las ramas de la astronomía, mecánica, electricidad y electrónica, computación, comunicaciones, ciencia de materiales, química e ingeniería civil.

4

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE

4.1 INTRODUCCIÓN

Un satélite de comunicaciones es 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 más importante se indican en la tabla 4.1, y en la fig. 4.1 se muestra parte de su distribución en un satélite Intelsat V.

Tabla 4.1 PRINCIPALES 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 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.

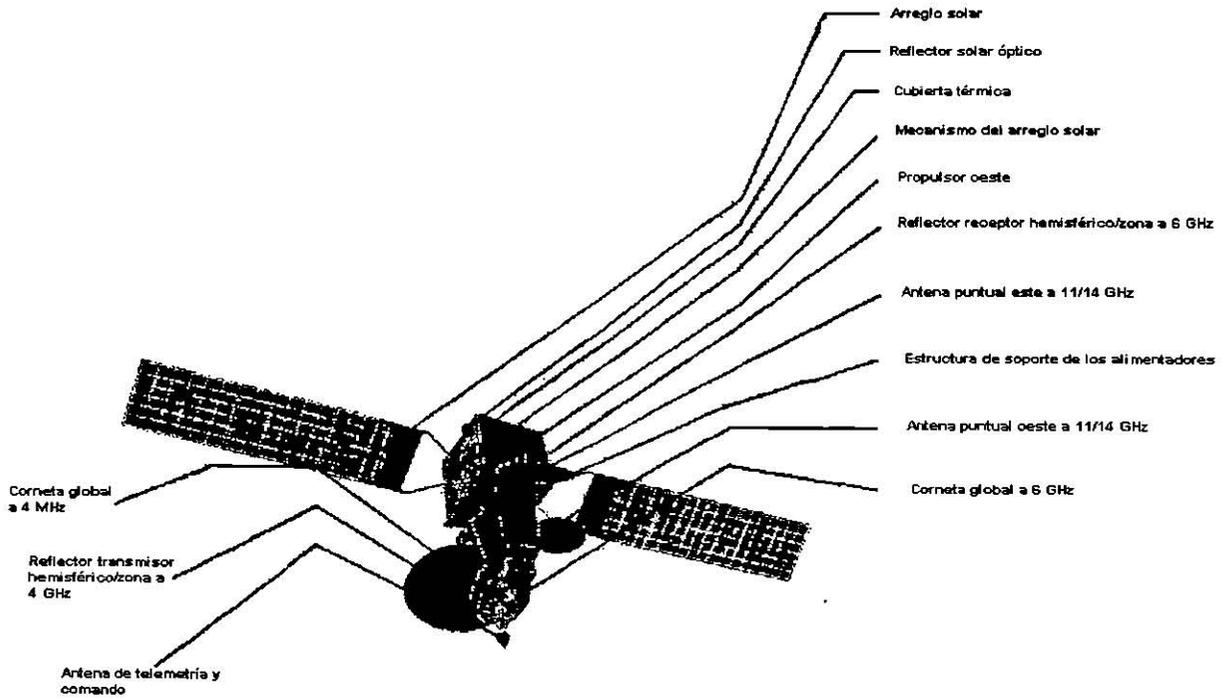


Fig. 4.1 Posición de algunas componentes en un satélite Intelsat V.

4.2 SUBSISTEMA DE ANTENAS

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, las transmiten de regreso a la Tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas de las que transmiten, pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferentes. Los elementos de alimentación, denominados alimentadores, son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de ondas, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de éste último para entregársela a los equipos receptores. Es fácil comprender que si el subsistema de antenas tuviese alguna falla, por ejemplo, si no estuviese bien orientado hacia la superficie de la Tierra debido a algún desperfecto en sus mecanismo, entonces no sería factible transmitir correctamente desde el satélite ni recibir las señales provenientes de las estaciones terrenas.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y de salida de ese mundo electrónico que es el interior del satélite, son la interfase o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas. Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tenga que trabajar y la cobertura que deban de tener de ciertas zonas geográficas de la Tierra.

Paradójicamente, una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, que opere a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña. Algo debe obtenerse de una antena grande a cambio de cubrir menos metros cuadrados sobre la superficie terrestre; ¿para qué gastar en tanto material y tener que vencer complicaciones de volumen y peso en el sistema de lanzamiento que lleve al satélite al espacio? La razón es sencilla: cuanto más grandes son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas y, en general, de todas las antenas llamadas "de apertura", cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

La **dimensión eléctrica** de una antena es igual a su dimensión física dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación, o sea, es el

número de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca.

Hasta ahora solo se ha hecho referencia a las antenas del satélite cuya función es intercomunicar distintos puntos geográficos, es decir, recibir y transmitir las señales de conversaciones telefónicas, programas de televisión o información digital de empresas, bancos, etc.; pero existe otro tipo de antena muy importante, que no tiene que ver nada con la recepción y la transmisión de las señales anteriores. Se trata de la antena de telemetría y comando, encargada de recibir las señales que contienen órdenes emitidas por el centro de control en Tierra, para que se efectúe alguna corrección a bordo; también es responsable de enviarle al centro de control señales que contienen información vital sobre el estado de operación de todo el satélite, con el fin de que en la Tierra se pueda saber que ocurre en su interior, donde está y como está funcionando en general; de esta manera, sus propietarios u operadores pueden realizar las modificaciones necesarias enviando las señales de comando que, como ya se dijo, son recibidas por la misma antena.

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

4.3 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

Conceptos generales

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por el satélite entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la Tierra, después de procesarla debidamente. Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de **transpondedor**, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el de mayor

interés para los ingenieros de comunicaciones cuya responsabilidad es el de planificar el uso del satélite, es decir, designar las trayectorias o transpondedores en los que deben de ir los diferentes servicios, como los canales de televisión, telefonía y datos, con sus correspondientes niveles de potencia, así como el espacio que deban ocupar dentro de cada amplificador.

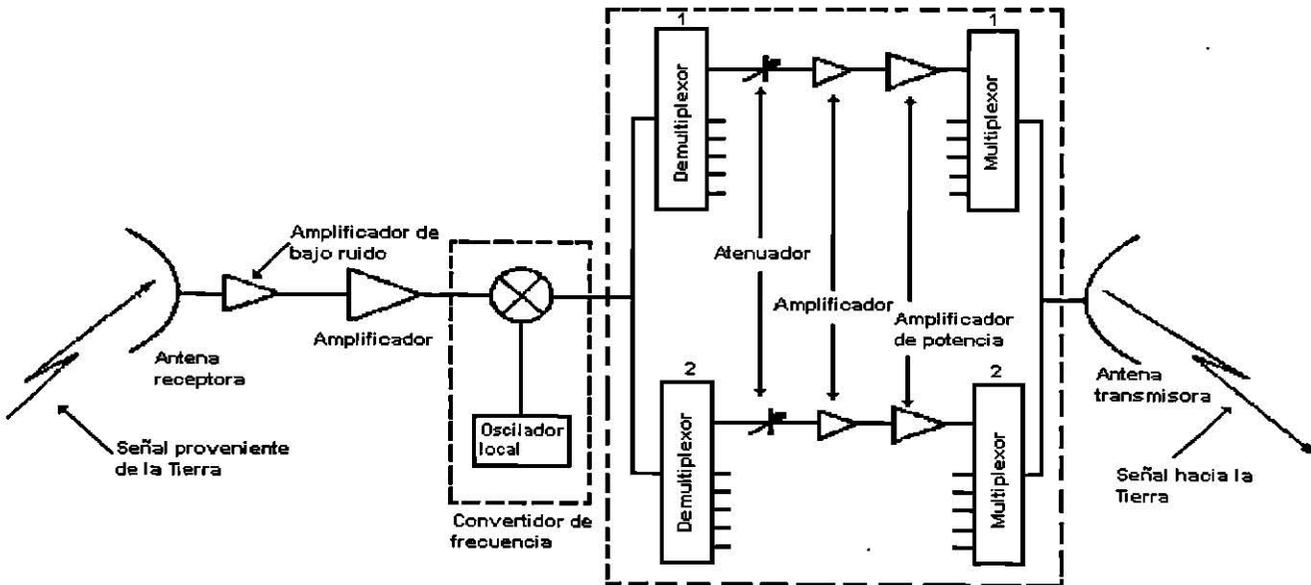
La señal proveniente de la Tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes; al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la más alta de las que se transmiten se le da el nombre de **ancho de banda**. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo, éste será más capaz de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias; por ejemplo, si se trata de un equipo de recepción, puede recibir con la misma calidad más canales de televisión o datos que otro cuyo ancho de banda de operación sea menor.

Existen satélites denominados **híbridos**, que tienen los equipos necesarios para trabajar simultáneamente tanto en la banda C como en la Ku, con lo cual se duplica la capacidad en el número de canales que puede manejar el sistema al mismo tiempo.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están entre 5.925 y 6.425 GHz. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor a 500 MHz, con una frecuencia central de 6.175 GHz. Los transpondedores, entre otras funciones cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, bajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 GHz; posteriormente, todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra.

En los satélites híbridos, los procesos para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente, a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes; estos equipos están contenidos en secciones separadas del subsistema de comunicaciones, puesto que unos están diseñados para trabajar en la banda C y otros para hacerlo en la banda Ku. Es fácil intuir que estos satélites, por el hecho de duplicar su capacidad de trabajo, requieren más energía eléctrica, y en consecuencia necesitan más metros cuadrados de celdas solares para efectuar la conversión suficiente de energía solar en electricidad.

El primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena es un **amplificador de bajo ruido**, con poca potencia de salida; este aparato genera internamente poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a él para amplificación. Todos los dispositivos electrónicos



Versión modificada del diagrama y equipos del subsistema de comunicaciones. En éste se utilizan dos demultiplexores y 2 multiplexores para procesar por separado los canales pares e impares y reducir la diferencia.

generan **ruido**, principalmente por su calentamiento; este término se emplea para identificar a las señales nuevas, de diversas frecuencias, que son generadas interna e indeseablemente por el aparato.

El amplificador de bajo ruido tiene un ancho de banda muy grande, de 500 MHz, pues debe ser capaz de amplificar al mismo tiempo todas las señales recibidas por la antena, antes de que se proceda a separarlas entre sí, por medio de filtros, para realizar las siguientes etapas de proceso que se lleva a cabo en el subsistema de comunicaciones. Es un dispositivo clave, de cuyo correcto funcionamiento depende que la información siga fluyendo o no dentro del satélite, y por lo tanto se debe contar con un duplicado; es decir, el amplificador de bajo ruido es un equipo redundante, de tal forma que si uno de los amplificadores se descompone, mediante un conmutador se transfiere el enlace a otro que sí esté en buenas condiciones.

Hasta el momento, lo único que se ha hecho es aumentar ligeramente el nivel de potencia de las señales. Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como **convertidor de frecuencia**, que no es más que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico. Después de amplificar y cambiar la frecuencia de las señales, el siguiente paso es separarlas en grupos o bloques; cada grupo puede contener un solo canal de televisión o dos, cientos de canales telefónicos, un paquete de información digital de alta velocidad, o alguna otra variante. La separación se realiza con un **demultiplexor** o resistencia variable; ésta sirve para disminuir a control remoto, y en distinto grado la intensidad del bloque de señales que entra a cada amplificador de potencia, o a la primera etapa de amplificación si es que hay más de una. La regulación de la intensidad de entrada permite operar al amplificador de potencia en distintas condiciones o puntos de trabajo, es decir, se puede controlar la cantidad de potencia que salga de él, como sucede con un aparato de radio casero al que se le sube o baja el volumen girando una perilla. Sin embargo, si se toma en cuenta que la potencia de las señales transmitidas llega muy baja al satélite, y que éste tiene una capacidad limitada de amplificación, aparentemente no es lógico atenuarlas antes de amplificarlas.

4.4 SUBSISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un 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, 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 y requieren un sistema de protección sencillo para que no dañen por radiación a las componentes electrónicas 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 solo se utilizan celdas con una tecnología menor, 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, y es probable que en los próximos años el silicio con el que están hechas las celdas de hoy sea sustituido por arseniuro de galio, ya que experimentalmente se ha demostrado que éste último material ofrece una eficiencia de aproximadamente 18%. Con arseniuro de galio se pueden obtener un determinado voltaje usando menos celdas conectadas en serie que el número que se requiere cuando se emplean celdas de silicio; además de esto, las primeras tienen la ventaja de que son menos dependientes de la temperatura, pero todavía son muy caras y densas, y pasarán varios años antes de que comiencen a utilizarse en gran escala.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan. El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuanto más baja sea ésta, 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. Si se toma en cuenta que la eficiencia promedio de conversión de electricidad es del 10%, y que un satélite estándar requiere alrededor de un kilowatt de potencia, es evidente que necesita contar con muchos metros cuadrados de celdas solares. Cada celda solar tiene un área de unos 5 cm², y

uniendo muchas de ellas en serie y en paralelo 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.

Durante toda su vida de operación, 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 constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se hallan expuestas al Sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. En el momento en el 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 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 éste 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 baterías que más se utilizan 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 (p. ej., Intelsat V y Spacenet) ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen importante 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-hidrógeno, litio y sodio.

4.5 SUBSISTEMA DE CONTROL TÉRMICO

Anteriormente se mencionó que varias partes del satélite requieren distintos rangos de temperatura para operar eficientemente, y 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 (albedo). 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 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 oscuridad, y cuando está de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

La transferencia de 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. Por ejemplo, una sección del satélite va cubierta con reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza 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. Por otra parte, 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 los cambios bruscos de temperatura; así por ejemplo, las antenas parabólicas van cubiertas con kapton, las antenas corneta 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. 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 está 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 recubiertas con pintura de aluminio son más calientes en la oscuridad - o sea, donde no inciden los rayos del Sol - de lo que serían 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.

Sin embargo, el equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse, pues en ese momento desaparece la contribución del calor proveniente del Sol, así como el albedo cuya influencia es mucho menor, modificándose la temperatura resultante total. 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 las componentes más sensibles a las bajas temperaturas dejarían de funcionar correctamente, uno de los elementos más sensibles al frío son, por cierto, las baterías, que irónicamente 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 se encienda cuando la temperatura comience a bajar en forma significativa. 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 - los amplificadores 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.

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 de 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 de **estabilización 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, éstas se hacían girar en sentido contrario 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 sólo 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 en un mecanismo de rodamiento y 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.

Los satélites con estabilización triaxial no 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 cual es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en que dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra (el centro de control). La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite, que éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y 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 de 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 nivel máximo 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, y por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo en que éste se encuentra.

Por lo que se refiere a la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los del Sol y los de Tierra. Los sensores solares son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la dirección de la radiación solar sobre ellos. Por lo tanto, si de alguna forma se conoce la cantidad de corriente generada, es posible relacionarla con la dirección en la que se encuentra el Sol; es decir, se mide un ángulo entre la dirección en que se halla el Sol y uno de los ejes del cuerpo del satélite. Por su parte los sensores de Tierra miden la radiación infrarroja emitida por el planeta, utilizando para ello un dispositivo sensible al calor, como un bolómetro o termopila. La cantidad de calor que reciben estos dispositivos depende de su orientación con relación a la superficie de la Tierra, y si el satélite cambia su orientación, los sensores van detectando esas variaciones; cuando los sensores están "viendo" sobre los bordes del horizonte terrestre, es decir sobre el contorno del planeta, ocurre un cambio muy brusco, pues el espacio que lo rodea se comporta como un medio sumamente frío en el infrarrojo, y el nivel del calor detectado tiende a cero. Es razonable suponer que todas las mediciones anteriores se deben hacer con la mayor precisión posible y que el diseño y fabricación de los sensores implica una tecnología muy avanzada.

Un nuevo método utiliza sensores de radiofrecuencia, que detectan y miden las características de los radiofaros o señales radioeléctricas transmitidas desde una estación terrena; los sensores determinan con gran precisión la diferencia angular que hay entre el eje principal de radiación de la antena del satélite y la línea o trayectoria de las ondas de radio del radiofaro o haz piloto.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir esos errores o diferencias, y finalmente llevarlas a cabo mediante la operación de algún actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite; el flujo de la información correspondiente se realiza por el subsistema de rastreo, telemetría y comando. Entre otros tipos de actuadores, se cuenta con los volantes o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; asimismo, hay 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.

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 de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje cientos o miles de veces más grandes que los eléctricos. La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para producir un incremento de velocidad determinado mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado o producido por cada unidad de peso del propelente que se consuma cada segundo; en consecuencia, tiene dimensiones de tiempo y se expresa en segundos. Es de esperarse que si se desea reducir al mínimo posible el peso total del combustible almacenado en el satélite, para economizar en los costos del lanzamiento, es deseable utilizar propulsores que funcionen con combustible de impulso específico muy alto; para efectuar las correcciones de posición y orientación del satélite se requiere aplicar empujes de duración determinada hasta obtener el incremento de velocidad necesario en la dirección deseada.

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 la **hidrazina monopropelente**, que en la actualidad goza de mucha popularidad. En éste último tipo de propulsión, la hidrazina ($N_2 H_4$) es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador; como resultado, la primera se evapora y se descompone exotérmicamente en una mezcla de nitrógeno, hidrógeno y amoníaco, a temperaturas del orden de $300^\circ C$ y con un impulso específico de unos 225 segundos.

En la actualidad existe cada vez más la tendencia a utilizar sistemas **bipropelentes**, con los que no se emplea un catalizador, sino con dos propelentes distintos - un combustible y un oxidante - se ponen en contacto. Al unirse las dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin necesidad de algún sistema de ignición; de estas sustancias, las más populares son la hidrazina monometilica (combustible) y el tetróxido de nitrógeno (oxidante), que al combinarse producen un impulso específico del orden de 300 segundos. La ventaja o atractivo que ofrecen los propulsores bipropelentes es que permiten diseñar un sistema unificado de propulsión que a la vez sirva para colocar al satélite en su órbita definitiva tanto como para realizar las maniobras de corrección de orientación y posición durante todos sus años de vida, utilizando para ello los mismos tanques de almacenamiento de combustible.

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, éstos funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero aún se encuentra en su etapa de prueba y desarrollo, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

4.8 SUBSISTEMA DE RASTREO TELEMETRÍA Y COMANDO

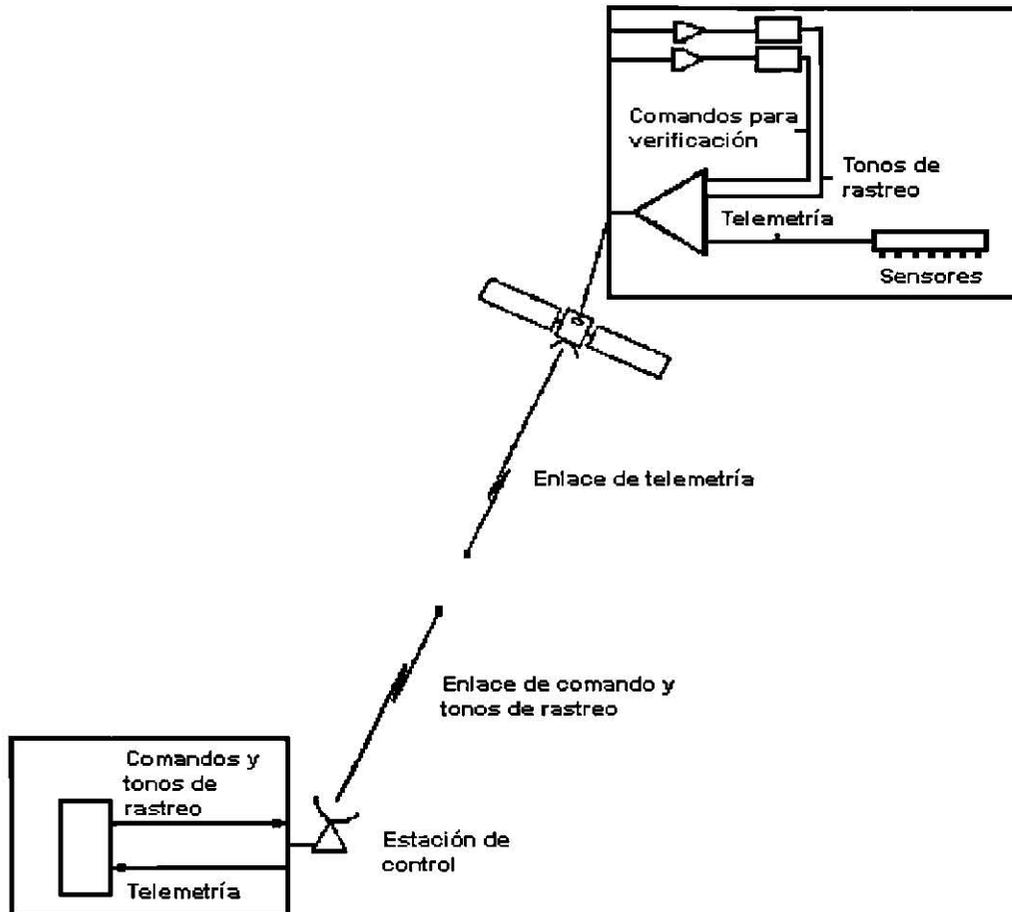
Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle ordenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltaje, 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 obtenidas 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 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 recibidas y transmitidas 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 órbita es común utilizar un amplificador que funcione a frecuencias más bajas que la C o la 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, y las transmisiones y recepciones se efectúan a través de la antena de rastreo, comando y telemetría.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto, como cambiar la ganancia de los amplificadores, cerrar algún interruptor, conmutar de transpondedor, modificar la orientación de la estructura, o bien - durante la colocación en órbita - extender todos los paneles solares, mover las antenas y encender el motor de apogeo. Todas estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad, y la mayor parte de los sistemas que operan actualmente utilizan una secuencia en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, éstos son verificados en la Tierra, y se comprueba que las órdenes fueron recibidas correctamente, entonces el centro de control transmite una señal de ejecución. Al recibirla, el satélite procede entonces a efectuar los cambios ordenados.



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, resistente y lo más ligero posible.

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos, fuerzas centrífugas, empujes de los propulsores y esfuerzos mecánicos - cada vez que se desprende alguna etapa del cohete que lo transporta o de él mismo. Cuando llega a su posición orbital final, tal y como ya se ha indicado, el satélite se ve afectado por impacto de micrometeoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la Tierra, la Luna y el Sol, y empujes generados por su propio subsistema de propulsión. En consecuencia, tanto la estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen deben diseñarse para que soporten esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida. Para ello, el diseñador tiene a su alcance una variedad 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 más comunes son para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de éstos, el berilio es el más caro, y por lo tanto su utilización es limitada. Dependiendo del diseño (número y forma de las antenas, tipo de estabilización, número y potencia de amplificadores, etc.), la masa de la estructura puede variar entre 10 y 20% del total de la masa del satélite; una buena parte de esa estructura (los cilindros o las paredes de la caja, según sea el caso) se fabrica con panal de abeja (honeycomb) de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

5

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA GLOBAL DE TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITES DE GRAN ALTURA GEOESTACIONARIOS (SINCRÓNICOS)

De acuerdo con las definiciones, sistemas de gran altura son aquellos en que los satélites están colocados en órbitas cuyas distancias desde la superficie de la Tierra superan los 20000 Km.

Como un caso particular tomaremos el proyecto "Syncom" por ser este sistema un caso típico. Además de pertenecer a los llamados satélites de gran altura (36000 Km. aproximadamente) se le llama "SYNCOM" porque tiene una velocidad angular de rotación igual a la de la Tierra, en consecuencia se mantiene casi estacionario en un determinado punto del espacio elegido convenientemente a fin de satisfacer los objetivos planteados. Las dos ventajas fundamentales que ofrece este sistema, son:

- a).- Permite el uso de antenas terrestres estacionarias, factor que gravita en forma preponderante en el costo de la estación.
- b).- El satélite es visible desde la mitad de la superficie terrestre. Así como por ejemplo el "SYNCOM II" que estuvo colocado a 22° de longitud Oeste, pudo verse desde más de 100 países correspondientes a los continentes de América del Norte y América Central.

El experimento SYNCOM colocó un satélite aproximadamente a 36000 Km. arriba del ecuador de la Tierra y apuntó la dirección de avance del satélite a lo largo de una línea idéntica a la rotación de la Tierra sobre su eje. Controlando cuidadosamente (desde la Tierra a través de sistemas de mando por radio) la

velocidad de avance del satélite y sincronizándola a la velocidad de rotación de la Tierra sobre su eje, el satélite alcanzó lo que se conoce como **órbita geoestacionaria**. Esto es, el satélite se mueve al frente con la misma velocidad que la Tierra sobre su eje, y esto significa que para una estación transmitiendo o recibiendo localizada en la Tierra, el satélite siempre estará situado en el mismo punto relativo en el cielo. Se requiere de un sistema muy cuidadosamente diseñado para el lanzamiento y puesta en órbita del satélite.

5.1 PERÍODO ÓRBITAL

En este sistema el satélite conserva una órbita ecuatorial de aproximadamente 24 horas, de período orbital. Este período orbital, para el caso de una órbita circular, se encuentra definido por la ley de Kepler, que enuncia lo siguiente:

$$P_0^2 = \frac{4\pi^2(R+h)^3}{\mu}$$

Donde:

P_0 = Período Orbital (seg.)

R = Radio de la Tierra (6378 Km.)

h = Altura del satélite (Km.)

μ = Constante de Kepler = $(399 \times 10^3 \frac{Km^3}{seg^2})$

Ecuación derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional. Para un período orbital aproximadamente de 24 horas, el satélite se encuentra en una altura aproximada de 35860 Km., tomando automáticamente la condición estacionaria, para un observador desde la Tierra. Este período relativo se determina por la relación siguiente:

$$P = \frac{24P_0}{24 - P_0}$$

Donde P esta definido como período relativo. Se observa en esta ecuación que el período relativo de un satélite de período orbital de 24 horas es infinito. El científico inglés A. C. Clarke enunció, en 1945, una idea de lanzamiento de un satélite fijo y su uso para comunicaciones internacionales.

5.2 LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA

En resumen, las condiciones para que el 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 de 35890 Km.
- 4.- El satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra.

Al cumplir con éstas condiciones se logra un período orbital de 24 horas lo cual aunado a la órbita ecuatorial alrededor del mismo eje de rotación de la Tierra permite la sincronización y por lo tanto la órbita geoestacionaria lo cual es derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de la atracción mecánica espacial la cual rige el movimiento de los planetas y de nuestros satélites artificiales.

5.3 ÁREA DE COBERTURA

Son tres de los satélites requeridos para establecer un sistema de comunicación global con este tipo de satélites, con un ángulo de cobertura sobre el ecuador de la Tierra de 162.6°.

El mayor problema de un sistema de comunicación que opera con satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de la voz, alrededor de 0.26 segundos, para una comunicación de un solo salto, es decir, estación terrena - satélite - estación terrena. Sin embargo, por experimentos e investigaciones realizados con el satélite Early Bird, se sabe que el retardo de voz no es un problema serio de los servicios de comunicación. En comunicaciones telefónicas para grandes distancias será preferible combinar estos sistemas con otros (por ejemplo, cables submarinos o enlaces de microondas), a utilizar dos saltos (estación terrena - satélite - estación terrena - satélite - estación terrena), que por causas inherentes del sistema supera el de un segundo, del tiempo de retardo degradándose la señal.

5.4 PÉRDIDAS DE TRANSMISIÓN Y ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

Los satélites en general, como parte de un sistema global de comunicación, tiene como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la Tierra. Para este caso de los satélites geoestacionarios, por la distancia que conservan respecto a la Tierra, requieren de dispositivos adicionales que permitan compensar las pérdidas ocasionadas en el espacio libre.

Se puede observar en la ecuación siguiente que la potencia recibida desde una estación espacial (satélite), es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia o inversamente proporcional a las pérdidas en el espacio libre.

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

donde:

P_t = Potencia de Transmisión

G_t = Ganancia de antena de Transmisión

G_r = Ganancia de antena de recepción

λ = Longitud de onda

d = distancia entre satélite y estación terrena

donde:

$$\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

determina las pérdidas en el espacio libre.

Estos dispositivos activos, como amplificadores a diodo túnel y tubos de onda progresiva de alto y bajo nivel, permite compensar las pérdidas en el espacio libre mencionado. Se incluyen, además de este tipo de satélites, osciladores y mezcladores para transponder o abatir las frecuencias recibidas de las transmitidas, con objeto de evitar interferencias sufridas en el satélite por el uso de una misma frecuencia para transmisión o recepción. De esta forma un satélite geoestacionario, como parte integral de un sistema global de comunicación, tiene la siguiente característica:

$$F_t \neq F_r$$

donde:

F_t = Frecuencia de transmisión

F_r = Frecuencia de recepción

La designación de estas frecuencias, dadas a conocer en la Conferencia Extraordinaria Radioadministrativa, celebrada en Génova, en 1963, después de considerar que en frecuencias menores de 1 GHz el ruido estático y cósmico aumenta y que a frecuencias mayores de 10 GHz las ondas son absorbidas por el oxígeno o el vapor existente en el aire cuando pasan a través de la zona atmosférica; considerando que este ruido es un coeficiente que depende de la

elevación sobre un plano horizontal, acordó finalmente apta la gama de frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz (referidas como radioventana); para ser utilizadas en comunicaciones vía satélite, quedando designadas para usarse en el sistema global de comunicación las frecuencias de 5925 - 6425 MHz para la transmisión de Tierra a satélite y de 3700-4200 MHz para la transmisión de satélite a Tierra.

5.5 CONCEPTOS GENERALES DE ESTE SISTEMA

El sistema en sí mismo es un sistema complejo que debe crear su propia potencia y fijarse o ajustarse por sí mismo cuando las fuerzas gravitacionales de la Luna, la Tierra y el Sol cambian. Los satélites modernos pesan entre 1800 y 4000 libras. Contienen una serie de receptores de radio/televisión los cuales recogen las transmisiones enviadas desde la Tierra (señales ascendentes o up-link) una serie de convertidores de frecuencia que cambian las señales up-link a una nueva banda de frecuencias para su viaje de regreso a la tierra (señales descendentes o down-link), una serie de transmisores (llamados transponder) los que amplifican la potencia de las señales down-link y una serie de complejas antenas transmisoras y receptoras. Todo esto va colocado en forma rectangular de 4 a 6 pies por lado. A bordo hay también bancos de celdas solares las que deben estar dirigidas hacia el sol para recibir los rayos solares los que serán convertidos a potencia eléctrica para operar el equipo electrónico que se encuentra a bordo, además, baterías para almacenar dicha potencia para los períodos ocasionales cuando la Tierra se "atraviesa" entre el Sol y el satélite. Cuando el satélite tiende a salirse de su punto en la órbita asignada, una serie de cohetes miniatura de empuje (normalmente 12) son construidos en la superficie del satélite y mediante controles de mando son encendidos y suavemente desvían al satélite a su posición correcta en la órbita.

El satélite continuamente envía una serie de mensajes hacia la Tierra a un controlador de vuelo y una serie de computadoras constantemente analizan todo lo que está sucediendo a bordo desde las condiciones de los cohetes de empuje hasta la temperatura en la superficie del satélite y las condiciones de operación de los transmisores y receptores del satélite. Cuando algo se sale de los límites establecidos, el controlador transmite órdenes desde la Tierra al satélite para hacer los ajustes correspondientes en la operación del satélite.

6

DESCRIPCIÓN A CUADROS DE UN SATÉLITE TÍPICO

6.1 INTELSAT III

La figura 6.1 muestra el diagrama de cuadros de un satélite de la serie INTELSAT III donde la ruta de transmisión-recepción se conoce con el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radiofrecuencia (RF) en el orden de los 6 GHz y las convierte en 4 GHz amplificadas antes de ser retransmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignación a cada transponder de una fracción de la banda total.

La evaluación general de funcionamiento del equipo montado en el satélite, así como el control del mismo, son factores importantes para predecir su tiempo de vida útil. Estos datos son conocidos desde la Tierra a través de una estación monitorea denominada de telecomando y control cuya función es interpretar las señales de telecomando y control recibidas desde el satélite y transferir codificadas las instrucciones necesarias para corregir un desarrollo previsto.

Haciendo referencia a la figura 6.1, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite, el amplificador al diodo túnel y tubo de ondas progresivas de baja potencia, e insertadas al decodificador de telecomando, a través de un filtro acoplador, donde son procesadas antes de aplicarse al circuito de control que puede ser el encendido del motor de apogeo para corregir la órbita, encender el amplificador a tubo de ondas progresivas, etc.

Haciendo referencia a la misma figura a continuación se delinea el funcionamiento básico de los componentes utilizados en la trayectoria de la señal de comunicación.

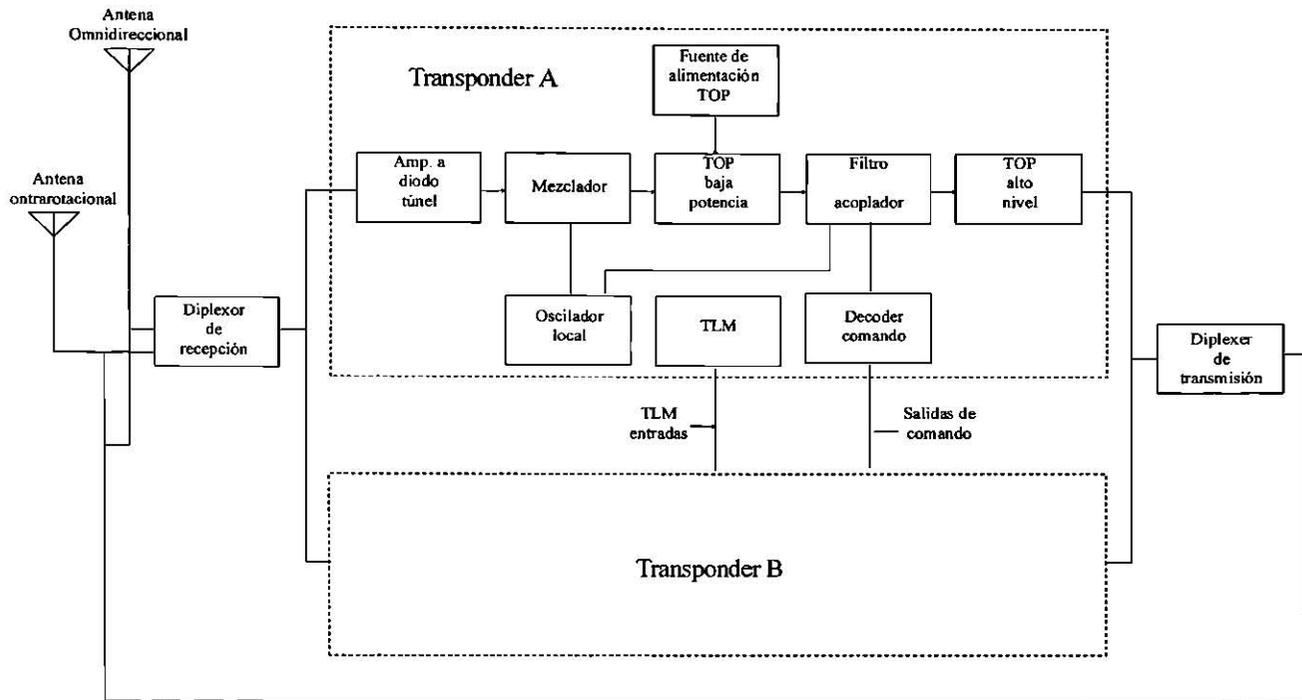


Figura No. 6.1

a).- Antena

Las señales de comunicación enviadas desde la estación terrena en frecuencia del orden de los 6 GHz son recibidas por la antena contrarrotacional (este sistema de antena permite mayor estabilidad al satélite) y pasadas al diplexor de recepción.

b).- Diplexor de recepción

En el diplexor de recepción son separadas las bandas altas y bajas de comunicación, para hacer alimentadas a su respectivo transponder.

c).- Amplificador a diodo túnel

Siguiendo la trayectoria de la señal a través de un transponder, observamos que esta amplificada en el amplificador a diodo túnel que tiene aproximadamente 31 dB de ganancia y una figura de ruido de 4.3 dB.

d).- Mezclador

En esta parte son mezcladas la señales de comunicación de 6 GHz, para convertirlas en señales de orden de los 4 GHz (abatidas o transpuestas 2225 MHz), en esta misma parte se cuentan con filtros que eliminan las señales espurias indeseables, producto de la mezcla, permitiendo el acceso al amplificador a tubo de ondas progresivas a las señales útiles de comunicación.

e).- Tubo de ondas progresivas de baja potencia

Las señales de comunicación son amplificadas en esta parte del equipo.

f).- Tubo de ondas progresivas de alta potencia

Aquí las señales de comunicación son finalmente amplificadas al nivel adecuado de transmisión.

g).- Dopléxer de transmisión

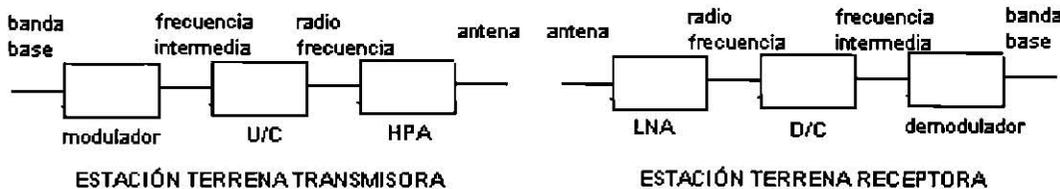
Las señales de ambos transponder son combinadas para ser alimentadas a la antena de comunicación que se encargará de transmitir la información hacia la Tierra.

7

EL ENLACE: TIERRA - SATÉLITE - TIERRA

7.1 CIRCUITO HIPOTÉTICO DE REFERENCIA

Para establecer un sistema de comunicaciones vía satélite, se requiere contar con estación terrena transmisora, un satélite de radiocomunicaciones y una estación terrena receptora, integrados según la recomendación de CCIR (Rec-352-1), del "circuito hipotético de referencia" como a continuación se describe:



ESTACIÓN TERRENA TRANSMISORA

- Acometida de la señal a transmitir (entrada de banda base)
- Modulador
- Convertidor de subida (U/C, up converter)
- Amplificador de potencia (HPA, high power amp.)
- Antena, lado transmisión

La señal de información (telefonía, televisión, información digital, etc.), es recibida por el equipo transmisor de satélite en Tierra una vez que, previamente es agrupada adecuadamente mediante la multiplexión en la forma de señal Banda Base (BB), para ser alimentada al modulador. Este modulador opera a una frecuencia estándar de 70 MHz llamada frecuencia intermedia (F.I.) la cual es modulada en frecuencia por la banda base. La señal de F.I. (modulada), es

posteriormente elevada al rango de microondas (ejemplo: 6 GHz en banda C), en el convertidor de subida para luego ser amplificada en el HPA con la finalidad de conseguir el suficiente nivel para que la señal llegue al satélite con la potencia suficiente.

La señal de microondas es alimentada a la antena la que concentra la energía dirigiéndola hacia el satélite.

SATÉLITE DE RADIOCOMUNICACIONES

- **Antena, lado de recepción**
- **Amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA)**
- **Convertidor de frecuencia (Traslador de banda)**
- **Amplificador de potencia (HPA)**
- **Antena, lado de transmisión**

Al llegar la señal al satélite es captada por la antena de recepción, la cual la alimenta a un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) el cual amplifica la microonda, para luego, en el convertidor, bajar la frecuencia al rango de la banda "down-link" (ejemplo: al rango de 4 GHz en banda C). Una vez trasladada la frecuencia, la señal será amplificada en el HPA y enviada de nuevo hacia la Tierra por la antena de transmisión. Esta antena, en ocasiones, es la misma que la de recepción.

ESTACIÓN TERRENA RECEPTORA

- **Antena, lado recepción**
- **Amplificador de bajo nivel de ruido**
- **Convertidor de bajada (D/C, down converter)**
- **Demodulador**
- **Entrega de la señal de banda base**

En la estación terrena receptora la señal es recogida por la antena, alimentada al LNA en donde se amplifica con un bajo nivel de ruido, al convertidor de bajada donde la señal es convertida al rango de microondas a frecuencia intermedia (70 MHz), para luego ser recuperada la información en el demodulador. La señal a la salida del demodulador es la información en la forma de Banda Base.

Analicemos las partes que constituyen una estación terrena receptora típica. El elemento distintivo de la instalación es la antena receptora, que consiste en una paraboloide de tres a seis metros de diámetro y que concentran la señal enviada por el satélite en su punto focal, en el que el foco del paraboloide va colocado el amplificador de bajo ruido (LNA), sostenido por barras ligeras. En el que se amplifica la señal, que se envía por un cable coaxial hacia el interior de la casa ó

escuela donde se encuentra el resto del equipo receptor de vídeo amplifica y detecta la señal separándola hasta en 24 canales que pueden seleccionarse uno a uno de igual que un televisor comercial.

Para adquirir e instalar una estación terrena receptora hay que precisar los siguientes conceptos:

- a).- El diámetro del paraboloide (antena) y la calidad del amplificador de bajo ruido (LNA), cuya combinación baste para obtener una imagen con una satisfactoria relación señal/ruido en el lugar de recepción.
- b).- Las combinaciones físicas del sitio de instalación para que ésta se lleve a cabo adecuadamente, como son de tipo de suelo, intensidad máxima de viento, etc.
- c).- Las características electrónicas del equipo según el número de canales simultáneos que se requieran, polarización horizontal, vertical ó ambas, etc.
- d).- La distancia entre la antena y el equipo interior, la cual debe procurarse que sea la menor posible para evitar pérdidas en el cable coaxial.

Una vez instalada la estación y después de apuntar la antena en dirección de uno de los satélites geoestacionarios de comunicaciones cuyas coordenadas sean conocidas y cuya intensidad de campo sea suficiente, el equipo deberá probarse de acuerdo con su instructivo.

Como se sabe, es necesario que los satélites geoestacionarios estén en órbita ecuatorial y circular cuyo radio sea 36000 Km. A esta altura y para que el satélite se mantenga en órbita según las leyes de la gravitación, éste debe ir animado de una velocidad tangencial de 11000 Km./Hr. A esta velocidad, el satélite se encuentra sobre la vertical de un punto fijo en el Ecuador. Por esta razón, para el observador en la Tierra, el satélite se haya inmóvil en el espacio y se puede apuntar a él la antena receptor, dejándola fija una vez que, durante el reajuste inicial, la intensidad de la señal llegue al máximo.

Como fácilmente se deduce, la señal de un satélite se recibirá mejor si se encuentra en el mismo meridiano que la estación terrena receptora por ser así menor su distancia a ella. Esto trae como consecuencia que los satélites geosíncronos se hallen agrupados encima de los continentes, dejando espacios libres sobre los mares, sin embargo, no es posible agruparlos demasiado porque ello causaría interferencia entre unos y otros.

Estos satélites obtienen su energía eléctrica mediante celdas solares que rodean su cuerpo cilíndrico, reciben las señales enviadas desde la Tierra

mediante grandes paraboloides como los de la estación de Tulancingo, Hidalgo, las que debido a su aspecto parecen radiotelescopios.

Las señales de televisión, que las estaciones transmisoras envían en la banda de 5925 a 6425 MHz, son captadas por el satélite que las convierte a la banda de 3700 a 4200 MHz y las amplifica retransmitiéndolas a Tierra mediante su antena direccional.

Para determinar la dirección de la antena receptora, se investigan las coordenadas geográficas del sitio escogido se determinan el azimut y la elevación del paraboloide utilizando una gráfica.

8

ACCESO MÚLTIPLE

El **acceso múltiple** se define como la capacidad para que un gran número de estaciones terrenas transmisoras “conecten” sus enlaces de comunicación correspondientes a través de un satélite común.

Existen tres métodos principales para la transmisión up-link. Estos son: acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y el acceso múltiple por división de código (CDMA). Probablemente existan otros, pero esos son los principales en el momento, especialmente los dos primeros.

8.1 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA

El acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) se empezó a aplicar en 1960 y es aún el de más importancia. Cada estación terrena de un grupo particular selecciona y transmite una única serie de frecuencias. Los transmisores multiplexan su información y la entregan al satélite y su transponder como señal compuesta para su traslación de frecuencia y su retransmisión a cada estación receptora.

En el curso de dichas actividades, sin embargo, muchas frecuencias de la original son producidas por la intermodulación a la salida de los amplificadores debido a su no linealidad. Por lo tanto la parte electrónica del satélite (los transponders) no debe ser sobreexcitada para evitar la distorsión por intermodulación y la forma de prevenir es mediante la limitación de la potencia.

Si el satélite no opera a su máxima potencia, entonces no ocurrirá la distorsión, pero el satélite deberá transmitir la potencia reducida, digamos en 3 dB y esto reduce la potencia a la mitad.

Consecuentemente, la mayoría de los satélites que actualmente entregan 5 ó 10 Watts trabajan con 2.5 o 5 Watts de salida cuando operan con FDMA.

Las estaciones terrenas extraen esas señales multiplexadas mediante la sintonización de su frecuencia correspondiente la cual es pasada al receptor y procesada para extraer la información correspondiente.

8.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO

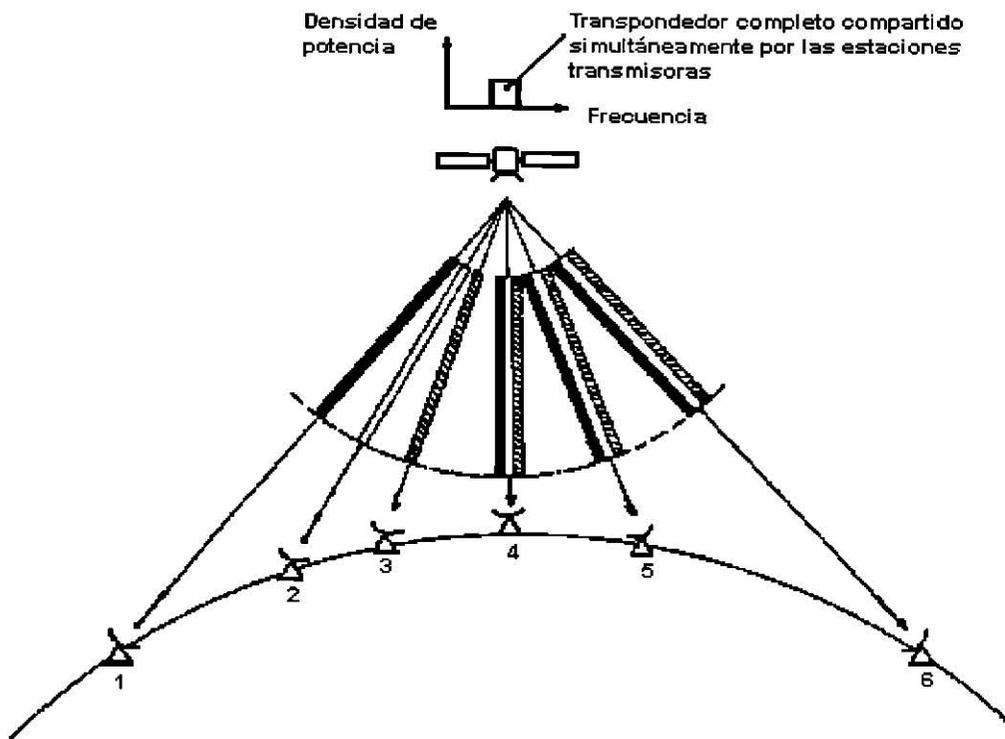
El acceso múltiple por división de tiempo constituye el segundo método de transmisión hacia el satélite y se asemeja al FDMA en que la modulación sobre los varios portadores llega al satélite proveniente de varios transmisores. A diferencia del FDMA, solo un "paquete" de información se puede recibir en el satélite en un instante dado, consecuentemente, no hay división de potencia ni productos de intermodulación en la estaciones transmisoras o receptoras, por lo tanto el transponder puede operar a su potencia completa sin distorsión. Así entonces, estamos realmente doblando la capacidad de la salida del satélite solo dicha salida es comparada con la del sistema FDMA.

La forma en que este sistema trabaja es que cada estación tiene un circuito que almacena su información de salida. Mediante un control desde una estación maestra, los circuitos de almacenamiento individuales (BUFFERS) de cada transmisor en sistema liberan todas las señales almacenadas a una muy alta velocidad hacia el satélite vía la señal up-link. El satélite realmente ve las ráfagas como una transmisión continua virtual.

Existen algunas modalidades dentro de los sistemas TDMA como por ejemplo, ALOHA (acceso esporádico TDMA) el cual simplemente almacena los datos a transmitirse y luego envía su contenido esporádicamente en forma hasta cierto punto arbitraria.

8.3 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO

El acceso múltiple por división de código resulta un sistema relativamente más sofisticado que los anteriores y no es usado tan extensamente a nivel comercial pero si en los campos de seguridad y militares. En este sistema, todas las estaciones transmiten a la misma frecuencia y al mismo instante. Solo que cada transmisión tiene su propio y único código. Es particularmente útil en transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que el TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte, presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda.



Red de seis estaciones terrenas que operan con acceso múltiple CDMA. Las estaciones transmisoras usan la misma frecuencia y transmiten al mismo tiempo; las receptoras deben conocer el código de transmisión para reconstruir el mensaje original.

8.4 ACCESO MÚLTIPLE POR ASIGNACIÓN DE DEMANDA

El acceso múltiple por asignación de demanda permite la recepción de información solo cuando el receptor lo requiera. Por otro lado, tal información va a un sistema al cual otros muchos usuarios también tiene acceso cuando lo necesitan. Cualquiera de los tres sistemas vistos puede ser usado con DAMA.

La técnica de acceso múltiple DAMA permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer comunicación; en el momento en que alguna deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para otra de las estaciones del sistema que la solicite temporalmente.

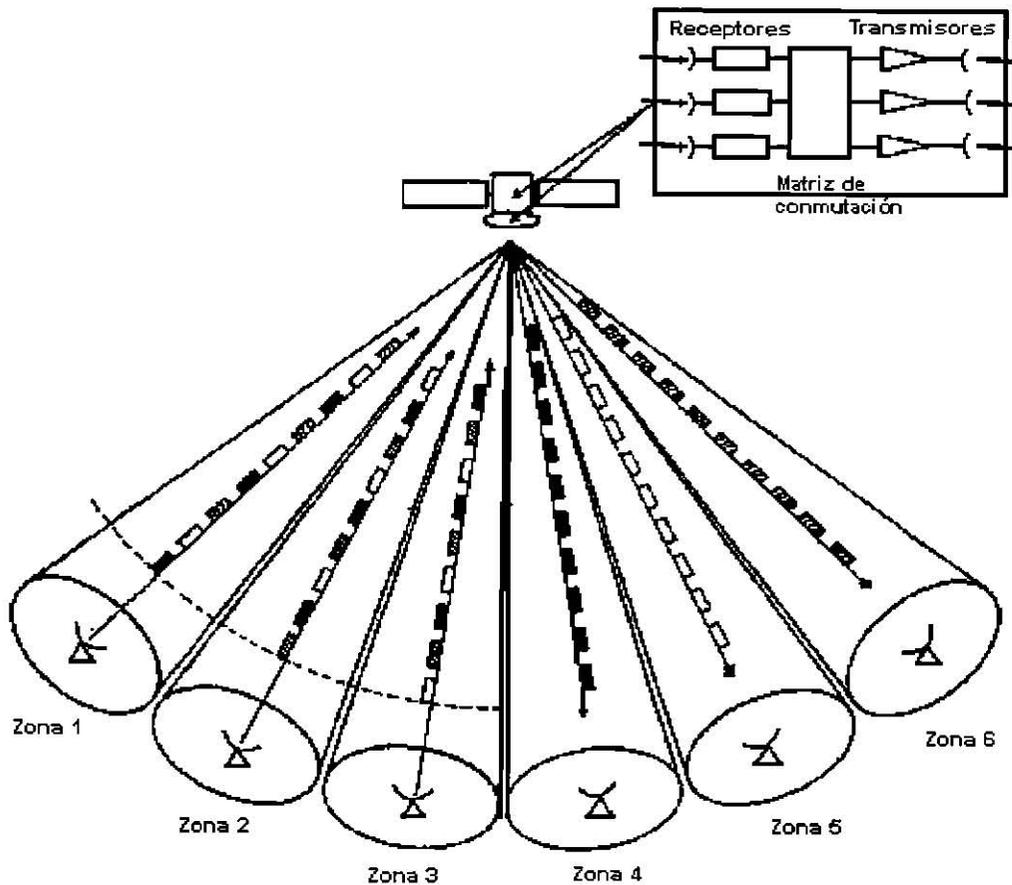
Cada vez que una estación terrena desee iniciar una transmisión, debe solicitarle antes al banco de frecuencias que le asigne una de ellas para su portadora; este mismo banco de frecuencia se comunica con el punto de destino para informarle que se le va a transmitir y en qué frecuencia debe sintonizarse para que reciba la señal; solamente hasta que la estación transmisora y la receptora hayan recibido la asignación de sus frecuencias de operación, se puede iniciar el enlace.

La forma más popular en uso ahora es el llamado acceso múltiple de canal sencillo por portadora (SCPCMA). Este separa la salida de un transponder particular en muchos posibles canales asignados y estos están disponibles para cualquier estación que los requiera. Aquí un par de frecuencias son asignadas como requisito de la estación receptora, para establecer un enlace dúplex completo por la llamada. Cuando la llamada se completa, esas mismas frecuencias son liberadas al sistema para su inmediata utilización si alguien las requiere. Por supuesto, como muchas estaciones tienen acceso al sistema, algunas ocasiones las señales estarán ocupadas. Justamente como en telefonía lo que hay que hacer es volver a intentar hasta lograr el enlace.

8.5 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO CON CONMUTACIÓN EN EL SATÉLITE

Los satélites más modernos se están construyendo con varias antenas de haz pincel, diseñadas para cubrir diferentes zonas geográficas con muy alta densidad de potencia; cada haz está asociado con ciertos receptores y transmisores y es posible conmutar parte de la información - o toda - de un haz a otro mediante una matriz de microondas. Este versátil y novedoso sistema es digital, con acceso múltiple TDMA; se denomina acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite o **SS/TDMA**. Los satélites Intelsat VI e

Italsat; entre otros, utilizarán esta técnica moderna de SS/TDMA, la cual incrementa significativamente la eficiencia de un sistema, puesto que se logra la cobertura total de un gran territorio dividido en zonas con haces de potencia altamente concentrada, en vez de hacerlo con un solo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área.



Acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación a bordo del satélite SS/TDMA. Cuando el número de zonas y haces aumenta, es posible utilizar las mismas frecuencias para haces de zonas no adyacentes (para evitar interferencias y el ancho de banda disponible se aprovecha mejor varias veces; esta técnica se conoce como reutilización de frecuencia con aislamiento espacial).

ESTUDIO Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍA ESPACIAL EN MÉXICO

9.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tecnología espacial en México se inició a mediados de la década de los 60's, mediante el estudio de subsistemas de comunicaciones y materiales, así como el desarrollo de cohetes y lanzadores. Sin embargo, esta actividad tuvo una vida corta y se abandonó el trabajo durante la mayor parte de las décadas de los 70's y los 80's.

A partir de la adquisición de los satélites domésticos nacionales Morelos I y II en 1982, y su posterior lanzamiento en 1985, renació el interés por desarrollar tecnología espacial propia en México. Se incluyó la presencia del **Dr. Rodolfo Neri Vela** a bordo del transbordador espacial durante el lanzamiento del satélite Morelos II cuyas labores consistieron en efectuar algunos experimentos y la fotografía de ciertas áreas del territorio nacional.

Sin embargo, y debido al período de austeridad gubernamental durante 1985-90, fue hasta la definición de características de la segunda generación de satélites mexicanos Solidaridad que se buscó la participación de expertos mexicanos con la compañía fabricante de los satélites en la definición de algunos detalles relacionados con la aplicaciones y cobertura de los satélites Solidaridad I y II.

Esta experiencia permitió buscar el desarrollo local de tecnología para la construcción de satélites, y se reforzó como una más de las acciones derivadas del programa "1992, Año Internacional del Espacio". A partir de entonces se han creado varios grupos de estudio, desarrollo e implementación de tecnología espacial en México. Estos grupos se han formado principalmente en universidades, centros de investigación y organismos públicos con financiamiento casi total de entidades de gobierno federal y estatales.

Aunque el interés inicial pareció estar orientado hacia aplicaciones de telecomunicaciones, creció rápidamente el interés por satélites de percepción remota y aplicar esta información para el estudio y mejor utilización de recursos en nuestro país.

9.2 SISTEMA DE SATÉLITES MORELOS

Los satélites Morelos I y II fueron lanzados el 17 de Junio y el 26 de Noviembre de 1985, respectivamente.

El Morelos I, localizado a 113.5° de longitud Oeste, se encuentra operando desde Agosto de 1985.

El Morelos II, localizado a 116.8° de longitud Oeste, fue colocado en una órbita de estacionamiento a fin de que alcanzará su posición en una órbita nominal aprovechando su deriva natural, con un gasto mínimo de combustible. Fue puesto en operación el 1 de Noviembre de 1989.

9.2.1 Estado operativo

El tiempo de vida depende del gasto de combustible que se efectúa para corregir la posición del satélite. Una vez agotado el combustible, el satélite inicia una deriva Este-Oeste, al perder su sincronía con el movimiento en la Tierra. Al salir de su posición orbital nominal debe cesar sus transmisiones para evitar interferencias a otros sistemas satelitales. Se tiene calculado un tiempo de vida de 9 años después de colocados los satélites en órbita nominal, por lo que se calcula que el Morelos I deberán remplazarlo a principios de 1994 y el Morelos II a finales de 1998.

La Banda C:

3700-4200	MHz	SATÉLITE-TIERRA
5925-6425	MHz	TIERRA-SATÉLITE

La Banda Ku:

11700-12200	MHz	SATÉLITE-TIERRA
14000-14500	MHz	TIERRA-SATÉLITE

9.2.2 Capacidad instalada y ocupada

Cada uno de los satélites tiene un total de transponders , 18 en banda C y 4 en Banda Ku. En la Banda C se tienen 12 transponders de 36 MHz y 6 transponders de 72 MHz. En Banda Ku, se cuenta con 4 transponders de 108 MHz. Por lo tanto, el ancho de banda total disponible de cada satélite es de 1296 MHz.

El satélite Morelos I, con 21 transponders activados, se encuentran ocupando a un 89.04 %, proporcionan los siguientes servicios:

- Televisión permanente
- Televisión ocasionalmente
- Telefonía pública
- Telefonía rural
- Telefonía privada
- Telefonía digital
- Teleaudición
- Datos de redes privadas

La Banda Ku se utiliza principalmente para redes de usuario privados, televisión y telefonía rural. Los demás servicios se presentan en Banda C.

El Satélite Morelos II tiene una ocupación de un 70% en Banda C que se utilizan para las señales de televisión del Instituto Tecnológico de Monterrey, Televisa, SETEC, el gobierno del estado de Yucatán y de eventos de televisión.

En cuanto a la Banda Ku, se encuentra totalmente asignada.

9.2.3 Técnicas adoptadas y marcas seleccionadas

Los satélites Morelos I y II fueron fabricados por Hughes Aircraft Corporation, la cual fabricó, entre otros, los satélites Intelsat I, II, IV, IV-A, y VI.

Los satélites Morelos son de tipo "Hughes HS-376" de cuerpo cilíndrico, estabilizado por rotación por lo cual la plataforma de antenas debe tener un motor de contra giro para mantenerla constantemente apuntada hacia la Tierra.

Los transponders en Banda C utilizan TWT de 7 a 10.5 Watts que, con la ganancia de la antena, produce una potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) de 36 y 39 dBW. En Banda Ku se emplean amplificadores TWT de 19.4 Watts, produciendo una PIRE de 44.3 dBW.

9.2.4 Desarrollo y utilización del sistema de satélites Morelos

Desde el primer anuncio oficial de la adquisición de un sistema de satélites para uso exclusivo de nuestro país, se presentaron diversas expectativas respecto a los beneficios que se traería al pueblo de México.

Se llegó a pensar que en todo el país se podría recibir los principales canales de televisión utilizando los receptores normales. El satélite en sí cubre todo el territorio nacional y actualmente, a través de él, se transmiten diversos canales de televisión, los canales pueden ser recibidos en cualquier punto del país, si se cuenta con equipo adecuado.

La disponibilidad de la señal en cualquier punto de nuestro país, ya sea en las ciudades, poblados, rancherías, selvas, desiertos, sierras, etc., es un logro tecnológico muy importante. Ningún otro medio de comunicación conocido en la actualidad podría cubrir casi en su totalidad los aproximadamente dos millones de kilómetros cuadrados de nuestro accidentado territorio.

Por lo tanto, el satélite realiza una función muy importante facilitando la comunicación e integración de nuestro país, pero esta maravilla tecnológica necesita ser conocida y comprendida para no mal interpretar sus funciones de utilidad.

9.2.5 Servicio fijo por satélites (SFS)

El satélite Morelos I opera para la prestación de servicios fijos por satélite. Este servicio se encuentra definido en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) de la siguiente manera:

“Servicio de Radiocomunicación entre estaciones terrenas situadas en puntos fijos determinados, cuando se utiliza uno o más satélites; en algunos casos, este servicio incluye enlaces entre satélites que pueden realizarse también dentro del servicio entre satélites; el servicio fijo por satélite pueden incluir enlaces de conexión para otros servicios espacial.”

A diferencia del SFS, en el Servicio de Radiodifusión por satélite, (SRS), las señales emitidas son más potentes y su frecuencia no es compartida con otros servicios, lo cual permite la recepción de señales con antenas aproximadamente 60 cm. de diámetro, que pueden ser fácilmente instaladas en los hogares. Debido a la mayor potencia del SRS, su costo es muy superior y su capacidad se limita a solo 3 ó 4 canales de televisión por satélite.

9.3 SEGUNDA GENERACION DE SATÉLITES MEXICANOS

Las funciones de la segunda generación de satélites Mexicanos dominados SOLIDARIDAD, consiste en reemplazar al satélite Morelos I y aumentar la capacidad de servicios del sistema de satélites nacionales.

Los nuevos satélites tendrán también la misión de proporcionar cobertura regional para comunicaciones transfronterizas y para necesidades internas de países de Centro, Sudamérica y el Caribe.

Como opción al nuevo sistema, se tiene prevista la inclusión de la banda L para servicios móviles, banda con la que no cuenta los satélites Morelos. Adicionalmente, los nuevos satélites tendrán ventajas tecnológicas, sobre las actuales.

9.3.1 Objetivos:

Los objetivos básicos de los satélites Solidaridad se subdivide de acuerdo con las bandas que emplearán, en la forma siguiente:

Banda C

- Ampliar la cobertura geográfica a los países del Caribe, Centroamérica, incluyendo algunos del Sur, como Bolivia, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.
- Radiar la menor potencia.
- Mejorar las características de transmisión dentro del territorio mexicano aumentando la potencia de los transponders.
- Aumentar proporcionalmente el número de los transponders de 36 MHz, con respecto a los 72 MHz, para mejorar las condiciones de operación de los canales de televisión.
- Contar con flexibilidad en la asignación de capacidad entre los distintos haces, de tal forma que facilite la interconexión de canales entre ellos y así transferimos de un haz a otro.

Banda Ku

- Ampliar la cobertura geográfica para incluir, además del territorio de México las ciudades norteamericanas de Chicago, Dallas, Los Angeles, Houston, Miami, Nueva York, San Francisco, Tampa y Washington.
- Radiar la menor potencia al mar.
- Reutilizar frecuencias mediante polarización cruzada.
- Incrementar en 6 dB la densidad de potencia por ancho de banda unitario a fin de:
- Aumentar la disponibilidad de los enlaces. Reducir el diámetro de las antenas de las estaciones terrenas.
- Aumentar la capacidad de información binaria por unidad de ancho de banda.
- Mejorar la distribución de potencia dentro del territorio de México con el propósito de mejorar la comunicación en las zonas más lluviosas del país.
- Contar con suficiente flexibilidad para realizar interconexión entre haces.
- Reducir el ancho de banda de los transponders a la mitad de la calidad de transmisión de los enlaces.

Banda L

- Establecer servicios móviles por satélite en una banda exclusiva para ese fin.
- Cubrir el territorio nacional, el mar patrimonial y las zonas que lo rodean.

9.3.2 Consideraciones operativas

La nueva generación de satélites mexicanos nacerá en un momento que se caracteriza, entre otras cosas, por lo siguiente:

- Alta ocupación de la órbita geoestacionaria.
- Alta demanda de capacidad en banda Ku.

Demanda estable de capacidad en banda C.

- Terminación de la vida útil del satélite Morelos I, en órbita geoestacionaria.

Durante varios años México ha estado coordinado con Canadá y los Estados Unidos de América una tercera posición orbital que se ubica en los 109.2° de longitud Oeste previendo que, al ocupar y realizarse el reacomodo de satélites en los próximos años, el arco que se encontrarán los satélites mexicanos y canadienses permitirá un espaciamento de apenas 1.9° entre ellos.

La disminución en el espaciamento entre los satélites y la mayor potencia y cobertura de los mismos dificulta la coordinación operativa, particularmente con Canadá, lo que obstaculiza el balance de tráfico en los distintos transponders.

Además, es necesario establecer coordinaciones con otros países que disputan las posiciones orbitales de la región para nuevos servicios.

El incremento de la demanda de servicios en banda Ku obliga a maximizar la capacidad de ésta, dentro de los límites razonables de peso y consumo de energía.

El notable incremento en la demanda se ha presentado por diversas causas identificadas y continuará con un ritmo importante, cuando menos durante los próximos cuatro años.

En el **Sistema de Satélites Solidaridad** se han mejorado algunos de los inconvenientes operativos encontrados en el Sistema Morelos, como son la necesidad de coexistencia de canales de televisión dentro de uno mismo transponder en Banda C y el ancho de banda de los transponders en banda Ku.

La segunda generación consistirá en dos satélites Solidaridad, que serán fabricados al mismo tiempo.

Se optó por dos satélites para asegurar la continuidad del servicio en caso de falla del primer lanzamiento. Para estar en condiciones para asegurar el servicio, se requiere que se programe su lanzamiento con poca diferencia de tiempo.

Cada uno de los satélites tendrá la capacidad de absorber cuando menos todo el tráfico del satélite Morelos I, que está totalmente saturado en su capacidad.

El peso de cada satélite Solidaridad es soportado por varios de los vehículos de lanzamiento, disponibles en el mercado.

9.3.3 Ventajas tecnológicas adicionales

Los **satélites Solidaridad** tendrán mejoras en todos los subsistemas, destacando entre otros los siguientes:

- Mejor relación G/T en los receptores de los satélites.
- Baterías de níquel-hidrógeno con mejor desempeño.
- Mayor flexibilidad para la utilización de los amplificadores de redundancia.
- Transponders de más potencia.
- Vida útil de 12 años en lugar 9 en el sistema Morelos.
- Conmutación de transponders a distintos haces.
- Menor sensibilidad a los efectos de intermodulación.

Como ejemplo concreto del significado que tienen las mejoras mencionadas, se puede señalar la aplicación al incremento de 6 dB de potencia por unidad de ancho de banda en la banda Ku. Además, aumentados de disponibilidad de los enlaces (3 a 5 dB), reducción de tamaños de antenas (2 a 3 dB), modificaciones de FEC y de modulación.

Cabe mencionar que para mejorar la disponibilidad de un enlace de 99.5% a 99.99% en un año, se requiere de aumentos de potencia de 3.4 a 11 dB, dependiendo de la región del país donde se encuentran las estaciones terrenas, ya que el aumento de disponibilidad de los enlaces es la ventaja que más fácilmente pueden aprovechar los usuarios del Sistema Morelos al ser transferidos al Sistema Solidaridad.

Parte del aumento de la densidad de la potencia puede emplearse para llevar la tasa binaria de información por unidad de ancho de banda. Esta posibilidad se realiza a través de los cambios en las tendencias de las velocidades binarias y tipos de modulación de las portadoras, y de las posibilidades y conveniencias de modificación de la redundancia para corrección de errores, que permiten un

aumento en la velocidad binaria agregada por unidad de ancho de banda. De acuerdo con estas tendencias y posibilidades, se ha estimado que el rendimiento en bits por segundo por Hertz, pasará de 0.39 en Sistema Morelos a 0.58 en el Sistema Solidaridad, o sea un incremento de cerca de 50%.

9.3.4 Transferencia tecnológica

En el proyecto de satélites Solidaridad se han cuidado los aspectos de transferencia tecnológica, por tal motivo, se le han dado una gran importancia a este capítulo para asegurar que una mayor cantidad de técnicos mexicanos mejore sus conocimientos y adquiera experiencia en la tecnología de los satélites de comunicaciones, así como para abrir la posibilidad de que la industria nacional participe, activamente en el proyecto.

Los técnicos mexicanos, además de haber participado en numerosos estudios, visitas e intercambio de opiniones para establecer las especificaciones de los nuevos satélites, participarán en todas las etapas del proyecto, tales como la supervisión y ensamblado; la capacitación a todos los niveles; las pruebas de aceptación, y en todas las demás partes en que se subdivide el mismo.

En resumen, se puede decir que el **Sistema Solidaridad** deberá cumplir en el tiempo con el compromiso de mantener la continuidad del servicio del satélite Morelos I y proporcionará a los usuarios los beneficios tecnológicos que es posible introducir en el Sistema de Satélites Nacionales.

10

COHETES Y LANZADORES ESPACIALES

Para poder colocar satélites de comunicaciones u otras aplicaciones en órbitas espaciales es necesario usar sistemas lanzadores que tengan la suficiente potencia para vencer la atracción gravitacional y colocar los satélites fuera de la atmósfera. A continuación se muestran algunos de los principales sistemas de cohetes y lanzadores comerciales y científicos a nivel mundial.

El **Transbordador Espacial** de la NASA es el más conocido de los lanzadores de satélites. Sin embargo, desde la explosión del Challenger, no se permite el lanzamiento de satélites comerciales, sino solamente de satélites militares, científicos y del gobierno de los E.U. Tiene capacidad para lanzar tanto satélites como laboratorios y módulos para una plataforma espacial futura.

El lanzador espacial **Ariane** de la Agencia Espacial Europea ESA construido y operado por la Agencia Espacial Francesa CNES. El lanzador Ariane es el más utilizado de los lanzadores comerciales de satélites mundiales, y de satélites científicos europeos. Debido a la prohibición de la NASA de lanzamientos comerciales, aumentó la cantidad de lanzamientos comerciales a bordo del Ariane. El Ariane 4 tiene capacidad para lanzar hasta dos satélites grandes, y el próximo Ariane 5 podrá lanzar tanto satélites como elementos de la plataforma espacial o una pequeña nave espacial con tres tripulantes, llamada HERMES.

ATLAS.- El cohete lanzador Atlas de la compañía ESA construido y operado por la General Dynamics. El cohete Atlas es utilizado para lanzamientos comerciales, científicos y militares, tanto de los E.U. como de otros países. También gracias a la prohibición de la NASA aumentó la cantidad de lanzamientos comerciales a bordo del Atlas. El Atlas tiene capacidad para lanzar hasta dos satélites grandes.

DELTA.- El cohete lanzador Delta es construido y operado por la compañía McDonnell Douglas Aerospace. El cohete Delta es utilizado para lanzamientos comerciales, científicos y militares, tanto de los E.U. como de otros países. Debido a la prohibición de la NASA de lanzamientos comerciales, aumentó la cantidad de lanzamientos comerciales a bordo del Delta. El Delta III tiene

capacidad para lanzar dos satélites medianos o un satélite grande de hasta 3800 kg.

GRAN MARCHA.- El cohete Gran Marcha es construido y operado por la compañía Great Wall de la República popular China. El cohete Gran Marcha es utilizado para lanzamientos domésticos chinos, aunque ofrece servicio de lanzamientos comerciales, científicos y militares para otros países.

H-2.- El cohete H-2 es un prototipo de lanzador construido y operado por la Agencia Espacial Japonesa NASDA del Gobierno japonés, a partir de una licencia obtenida de reproducción limitada de cohetes Delta. El cohete H-2 será utilizado solamente para lanzamientos domésticos japoneses, y tiene prohibidos lanzamientos comerciales, científicos o militares para otros países.

PROTÓN.- El cohete lanzador Protón fue inicialmente desarrollado en la extinta Unión Soviética para lanzamientos domésticos. Actualmente estos cohetes son construidos y operados por la compañía Lockheed-Energia-Krunichev de Moscú, Rusia. Los cohetes Protón son utilizados para lanzamientos comerciales, científicos y militares, tanto de Europa como de los E.U. y otros países. Debido a la unión de las compañías Lockheed Martin (E.U.) y Krunichev (Rusia) se aprovecha la experiencia y tecnología de los antiguos rivales, y además de ofrecer lanzamientos a bajo costo, pueden levantar grandes pesos a órbitas geoestacionarias.

TITÁN.- El lanzador espacial Titán es construido y operado por la compañía Martin Marietta Technologies, de los Estados Unidos, la cual construye cohetes y proyectiles balísticos, además de satélites de comunicaciones bajo una de sus subsidiarias. Existen distintas variaciones del Titán, dependiendo su potencia de la carga útil a bordo del cohete. El cohete Titán es el más utilizado de los lanzadores militares, además de algunos satélites comerciales y científicos norteamericanos.

10.1 ESTUDIO DE LANZADORES EN MÉXICO

Existen a la fecha muy pocas instituciones en México que se enfocan al estudio, diseño y construcción de lanzadores y pequeños cohetes, lo cual se lleva a cabo principalmente por algunas universidades y centros de investigación, coordinado por el Instituto Mexicano de Comunicaciones, de la SCT.

El principal sitio de estudios es la Escuela de Aeronáutica, de la ESIME - TICOMAN, donde se cuenta con la carrera de Ingeniero Aeronáutico, y se han realizado estudios en varios tipos de lanzadores comerciales, sobre todo a partir del análisis de lanzadores para los satélites mexicanos Solidaridad y próximos satélites mexicanos.

Se cuenta también con la presencia del PUIDE, programa que involucra a varios grupos de trabajo y estudio de lanzadores, telecomunicaciones, características físicas del espacio exterior, y proyectos científicos en condiciones de microgravedad, recabado por la UNAM.

BIBLIOGRAFÍA

ESTRADA SALAZAR Fernando. Diseño de Enlaces de Comunicación Vía Satélite.

NERI VELA Rodolfo. Satélites de Comunicaciones. México. 1989.

