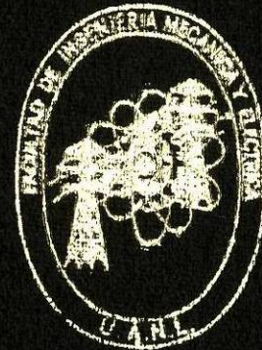


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

CURSO CON OPCION A TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

ALFREDO OLIVARES VICENCIO

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA

MONTERREY, N. L.

FEBRERO DE 1997

T

TK5 104

05

C.1

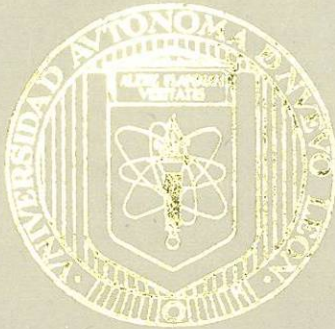




1080086838

14497

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

CURSO CON OPCION A TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

ALFREDO OLIVARES VICENCIO

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA

MONTERREY, N. L.

FEBRERO DE 1997





T  
TK5104  
OS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.**

**COMUNICACION VIA SATELITE**

**ALFREDO OLIVARES VICENCIO**

*Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. Febrero de 1997*



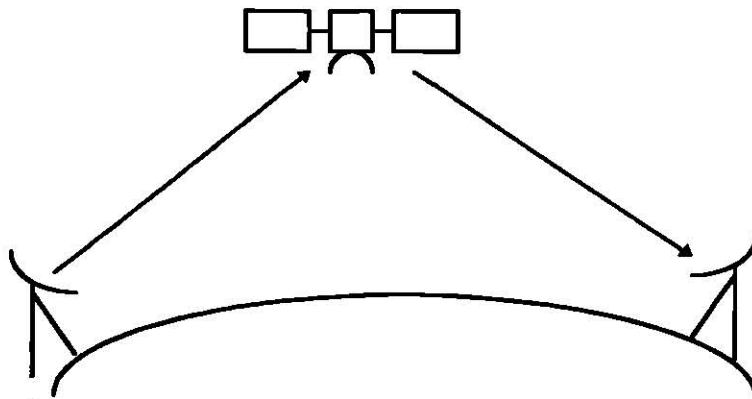
## ¿QUÉ ES UN SATÉLITE ?

Un satélite es una estación repetidora de microondas colocada en el espacio.

### ¿Cómo surgen los satélites ?

Las microondas se desarrollan con fines militares en la segunda guerra mundial y posteriormente se usan con fines comerciales y de comunicación masiva. Por su alta frecuencia manejan una mayor capacidad que un enlace en onda corta en HF (además que la ionosfera presenta mucha incertidumbre); o bien, que un enlace por cable, el cual es muy susceptible a daño físico.

Ya que las estaciones repetidoras terrestres de MO necesitan tener línea de vista son necesarias muchas de ellas para un cierto enlace lejano. Las MO cruzan libremente la ionosfera por lo que una repetidora en el espacio cubriría con su señal lo que cubrirían cientos de repetidoras en tierra, además de que un enlace interoceánico sería sumamente difícil con estaciones terrenas.



Esquema de un enlace satelital.

### COMO LLEGAR A LA ORBITA GEOESTACIONARIA.

Sin las leyes de Isaac Newton que rigen la mecánica clásica, seguramente los científicos del 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 un cuerpo se le aplica una acción (por ejemplo; una fuerza), entonces este responde con una reacción igual y de 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 estos 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 numero de tipos de órbita en los que un satélite se

puede colocar alrededor de la tierra es infinito, pero como ya se indico anteriormente la mas 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.

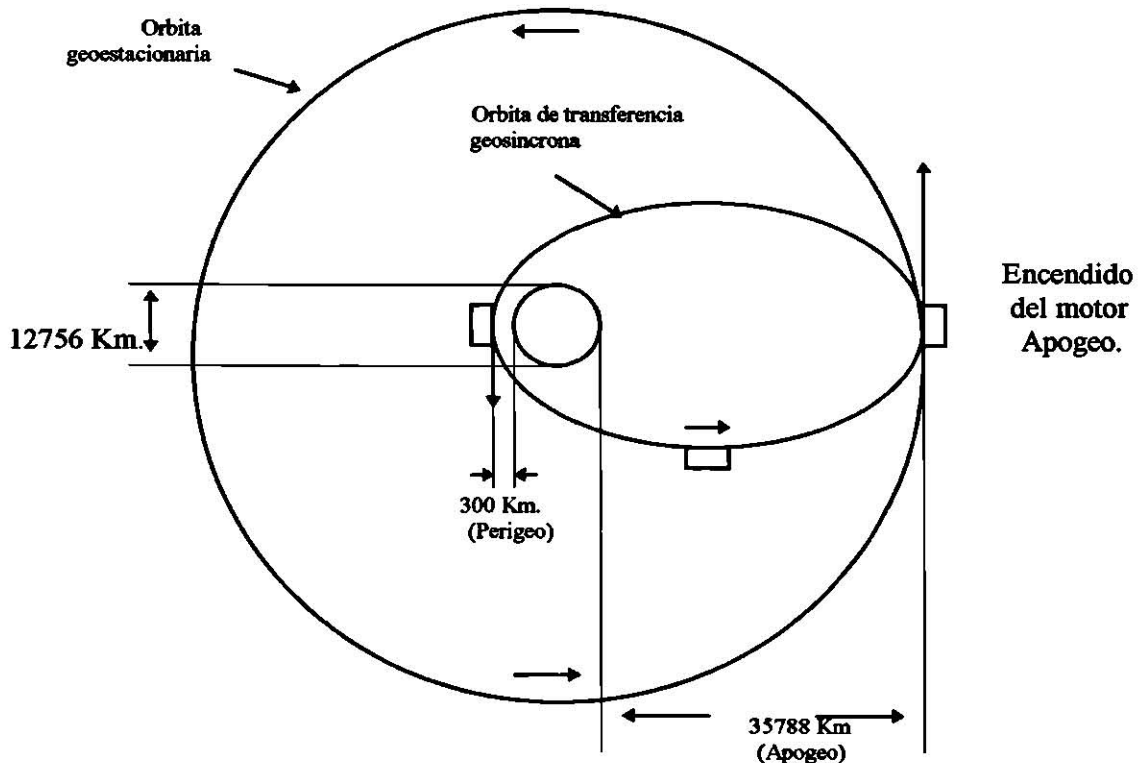
- **INYECCION DIRECTA EN ORBITA GEOESTACIONARIA.**

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos que se explican mas 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 el para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete titán IIIC de los Estados Unidos es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin.

- **INYECCION INICIAL EN ORBITA ELIPTICA.**

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

El perigeo de la órbita de transferencia geosincrona esta normalmente a una altura aproximada de 200 Kms. Sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35788 Kms. Que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la ultima vuelta elíptica que se allá programado; obviamente, el encendido se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje de motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse este, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosincrona a la circular geoestacionaria ( Figura siguiente).

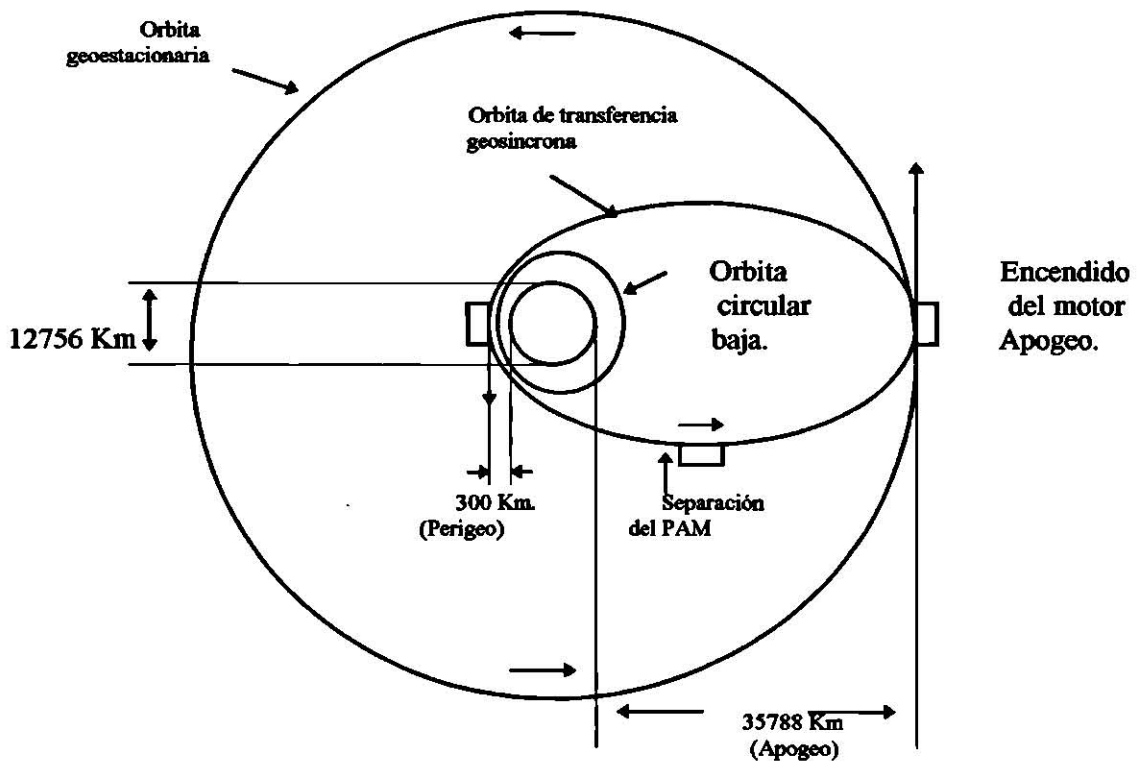




- **INYECCION INICIAL EN ORBITA CIRCULAR BAJA.**

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

El orbitador despeja llevando al satélite en su compartimiento de carga, entra en órbita alrededor de la tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Kms. Sobre el nivel del mar (sig.figura). Es una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando en esta forma también en órbita circular baja alrededor de la tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave aunque ligeramente modificada por efecto por 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 45 minutos mas tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento en una elíptica, similar ala del segundo caso explicado anteriormente en la sección de inyección inicial en órbita elíptica. Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, mas 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 geostacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solamente hay que proporcionarle cambios o incrementos de velocidad al satélite para modificar la geometría de las órbitas que forman parte de procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo también ahí 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.

## **VENTAJAS DE LOS SATÉLITES:**

### *1) Simplificación del sistema:*

Debido a su gran altura (aproximadamente 36,000 Km.) se tiene línea de vista entre el satélite y cualquier estación terrena que este dentro de su área de cobertura la cual puede llegar a ser tal, que se 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 un 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, comparando contra un enlace utilizando una red de microondas de 20 o mas repetidoras, por lo tanto 20 o mas fuentes de ruido. Definitivamente la calidad de la señal en un enlace vía satélite es mucho mas 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 mas estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil. Pero aun debemos agregar a esto el hecho de que los fabricantes de los satélites proveen a este de equipo redundante para las partes mas 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 en tener una gran capacidad de manejo de información. De hecho, los satélites actuales tienen la capacidad para manejar hasta 24 canales de TV. Simultáneamente o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos por cada canal de TV) por cada banda que disponga (C y/o Ku).

### *5) Ventajas de tipo social:*

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

## **CLASIFICACION DE LOS SATELITES:**

### *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 involucran proceso electrónico en el satélite (Grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc....)



*2) De acuerdo a su aplicación:*

Podemos clasificar los satélites en dos grupos: Civiles y Militares. Dentro de los civiles podemos incluir los de comunicaciones, los meteorológicos, los de investigación, etc. Nuestro interés en ese curso se centrara en los de comunicaciones.

*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 aparecerá 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 la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se oriente la antena permanece fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena.

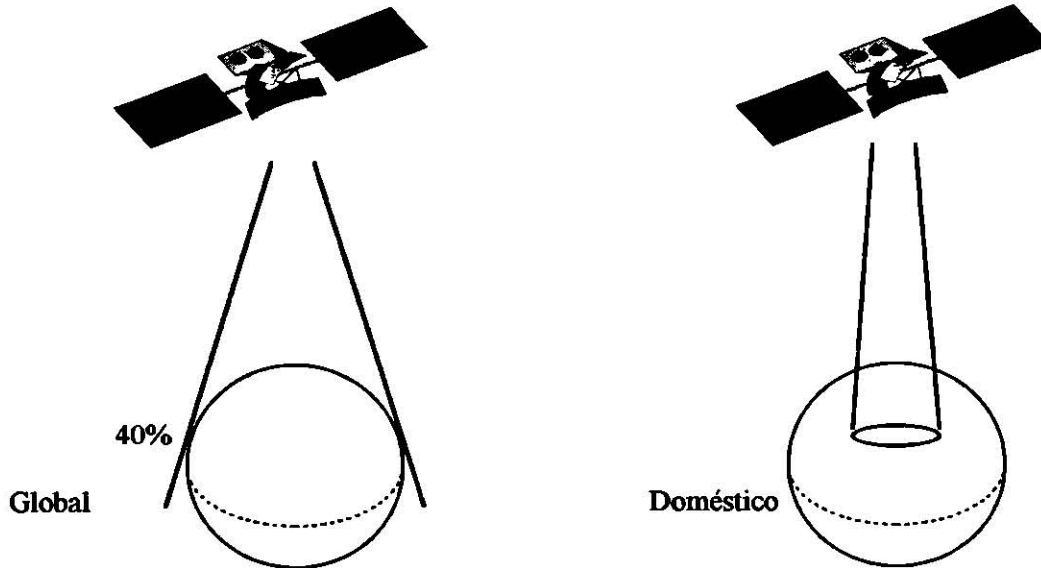
b).- Una vez orientada la antena se dispondrá del satélite todo el tiempo , ya que este permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.

*4) De acuerdo a su cobertura.*

Clasificaremos a 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 practica un 40% de la superficie de la tierra es vista desde un satélite geoestacionario. Un satélite será de cobertura DOMESTICA cuando su transmisión cubra solo un área especifica 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 domestica, es decir, los REGIONALES cuyo objetivo es cubrir varias zonas especificas, 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 INTELSAT de uso internacional, la antena comúnmente utilizada es del tipo de corneta, mientras que en los de cobertura domestica, 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).

- **GLOBAL :**  
Pretende cubrir la mitad de la Tierra visible desde el satélite; cubre solo alrededor del 40% por la posición de satélite.
- **DOMÉSTICO :**  
Cubren solo una región determinada.



Para cubrir diversas regiones de la tierra con el haz del satélite (tal es el caso del sistema Solidaridad), se utiliza un arreglo de alimentadores, se manipulan las faces de estos arreglos para darle forma al haz.

#### **DE ACUERDO A SU ÓRBITA EL SATÉLITE PUEDE SER:**

- **GEOESTACIONARIO**
- **NO GEOESTACIONARIO**

Con un satélite de orden geostacionario siempre hay línea de vista para un mismo punto. Si el satélite con esta órbita pudiera verse, se vería como un punto fijo en el cielo que no se mueve con respecto al observador.

Para que la órbita sea geostacionaria debe cumplir con las siguientes características:

- 1) Órbita ecuatorial.
- 2) Órbita circular.
- 3) Altura de 35890 Kms. sobre el nivel del mar.
- 4) Desplazamiento en el mismo sentido del giro de la Tierra.

Al cumplir con estas condiciones se logra un periodo de 24 horas lo cual aunado a la órbita ecuatorial alrededor del mismo eje de rotación de la tierra permite la sincronización y por lo tanto la órbita geostacionaria lo cual es derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífuga y de la atracción mecánica espacial la cual rige el movimiento de los planetas y de nuestros satélites artificiales. Una vez que el satélite se fija en su posición es necesario estabilizarlo y corregir su posición constantemente ya que existen fuerzas externas que se encargan de moverlo. Los subsistemas de propulsión son los encargados de realizar estas maniobras. Los motores de maniobra y los motores



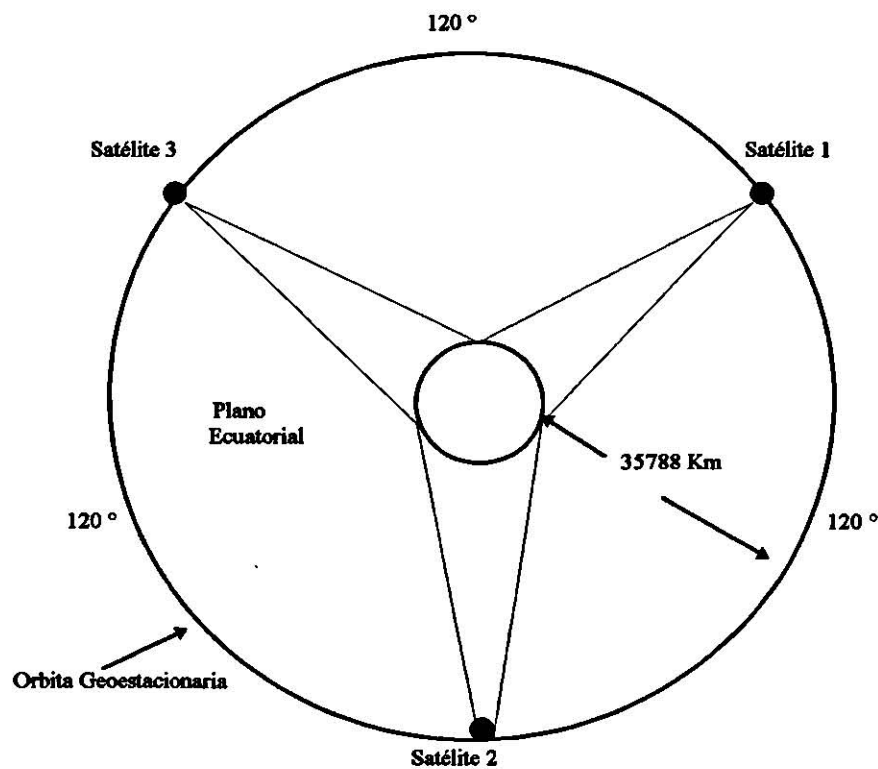
de orientación son alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos , el mas utilizado es la *Hidrazina Monopropelente* aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes, (con dos propelentes distintos un combustible y un oxidante.). De hecho, es este combustible que determina la vida útil del satélite el cual en promedio es de 10 a 14 años.

#### AREA DE COBERTURA:

Son tres los satélites requeridos para establecer un sistema de comunicación global a nivel mundial con este tipo de satélites, con un ángulo de cobertura sobre el ecuador de la tierra de 162.6 grados visto desde el satélite. En el sistema de cobertura global; los tres satélites se encuentran con una separación aproximada de 120 grados entre ellos.

En el caso de los sistemas Intelsat para comunicaciones internacionales, los puntos estratégicos donde se encuentran los satélites son: Sobre el océano Atlántico, pacifico indico.

El mayor problema de un sistema de comunicación que opera con satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de la señal , alrededor de 0.26 seg. , para la comunicación de un solo salto, es decir, estación terrena-satelite-estacion terrena.



## **PERIODO ORBITAL:**

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

La ley de Kepler está dada por la fórmula:

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

donde:

- $P_0$  = Periodo orbital (seg.).
- $R$  = Radio de la Tierra (6,378 Kms.).
- $\mu$  = Constante de Kepler ( $399 \times 10^3 \text{ km.}^3 / \text{seg.}^2$ ).
- $H$  = Altura del satélite (m).

Esta ecuación se deriva de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional. Para que el periodo orbital sea de 24 hrs. (86,400 seg.) el satélite se debe encontrar a una altura aproximada de 35,870 Kms., tomando automáticamente la condición estacionaria para un observador de la Tierra.

Para cumplir con las condiciones anteriores, la Tierra y el satélite deben tener el mismo eje de giro. En una órbita elíptica los tiempos de cobertura son diferentes. Si la órbita es circular y no es ecuatorial, la fuerza gravitacional de la Tierra tenderá a desplazar al satélite a una órbita al centro de esta.

## **FUENTES DE ENERGÍA DE UN SATÉLITE:**

- Energía Eléctrica:
  - Celdas Solares.
  - Pilas Recargables.
- Energía Mecánica:
  - Hidrazina.

## **PERDIDAS DE TRASMISION Y ASIGNACION DE FRECUENCIAS.**

Los satélites en general, como parte de un sistema de comunicaciones, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra. Para el caso de los satélites geostacionarios, por la distancia que conservan respecto a la tierra (35890 Km.), 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.

$\lambda$  = Longitud de onda.

$d$  = Distancia entre satélites y estación terrena.

y,

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

determina las pérdidas en el espacio libre.

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

$$F_t \neq F_r$$

donde,

$F_t$  = Frecuencia de transmisión.

$F_r$  = Frecuencia de recepción.

La designación de las primeras bandas de frecuencias, dadas a conocer en la Conferencia Extraordinaria Radioadministrativa, celebrada en Ginebra en 1963, después de considerar que en frecuencias menores de un GHz. El ruido estático y cósmico aumenta y que a frecuencias mayores de 10 GHz. Las ondas son absorbidas por el oxígeno o por el vapor existente en el aire cuando pasan a través de la zona atmosférica y considerando que el ruido es un coeficiente que depende de la elevación sobre un plano horizontal, acordó finalmente apta la gama de frecuencias comprendida entre 1 y 10 GHz. (referidas como radioventana); para ser utilizadas en comunicaciones vía satélite quedando designadas para usarse en el sistema de comunicación por satélite 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 ( Hoy conocida como banda "C"). Posteriormente con el desarrollo de nueva tecnología algunos de los problemas existentes fuera del rango de 1 a 10 GHz. Han sido debidamente compensados ( sobre todo con el desarrollo de dispositivos de bajo nivel de ruido) de modo que actualmente se maneja adicionalmente otras bandas.

En conclusión, los satélites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra ( señal Up-link), para retornarlas en otra banda de frecuencias ( señal Down-link). Las bandas mas utilizadas son las siguientes:

	<b>BANDA "C" MHz.</b>	<b>BANDA "Ku" MHz.</b>	<b>BANDA "Ka" MHz.</b>
<b>Ascendente (Up-link)</b>	5925 a 6425	14000 a 14500	27500 a 31000
<b>Descendente (Down-link)</b>	3700 a 4200	11700 a 12200	17700 a 21200

## **BANDAS DE FRECUENCIA EN ENLACES SATELITALES**

A frecuencias menores de 1 GHz se genera mayor ruido estático y cósmico y a frecuencia mayores de 10 GHz las ondas pueden ser absorbidas por el vapor del aire o por el oxígeno cuando pasan por la zona atmosférica (al espacio comprendido entre 1 y 10 GHz se le conoce como radioventana). Actualmente se utilizan bandas que van por encima de los 10 GHz como es la banda Ku (del orden de los 14 GHz), la cual es de las más utilizadas junto con la banda C (Up-link  $\approx$  6 GHz, Down-link  $\approx$  4 GHz).

Para el enlace ascendente al satélite (Up-link) se utiliza una frecuencia más alta que la que se usa para el enlace descendente (Down-link) ya que a mayor frecuencia es mayor la pérdida por propagación y en tierra se le puede dar toda la potencia requerida a la señal para subir al satélite, pero este último tiene limitada su potencia por los paneles solares por la energía que capta solo de los paneles solares.

## **DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO.**

### **EL INTELSAT III.**

Si bien, hemos escogido al satélite intelsatIII como modelo típico de un satélite de comunicaciones, su diagrama y su descripción son validos para otros satélites, incluyendo los de satélites diferentes y demás capacidad como los actuales. A lo largo de la explicación se harán los comentarios correspondientes para hacer posible esto.

La siguiente figura muestra el diagrama a cuadros de un satélite de la serie intelsatIII donde la ruta de transmision-recepcion se conoce como el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radiofrecuencia (RF) en el orden de los 6 GHz. Y las convierte a 4 GHz. (suponiendo banda "C") 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 en la tierra a través de una estación monitora 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 el desarrollo anormal e imprevisto.

Haciendo referencia a la figura, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite (antena de monitoreo), pasan por el amplificador a diodo túnel el convertidor de frecuencias (formado por el mezclador y el oscilador local) y el tubo de ondas progresivas de baja potencia, insertadas al decodificador de telecomando, a través de un filtro acoplador. Ahí son procesadas antes



de aplicarse al circuito de control que puede ser el encendido del motor de apogeo para corregir la órbita, encender un 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 comunicaciones.

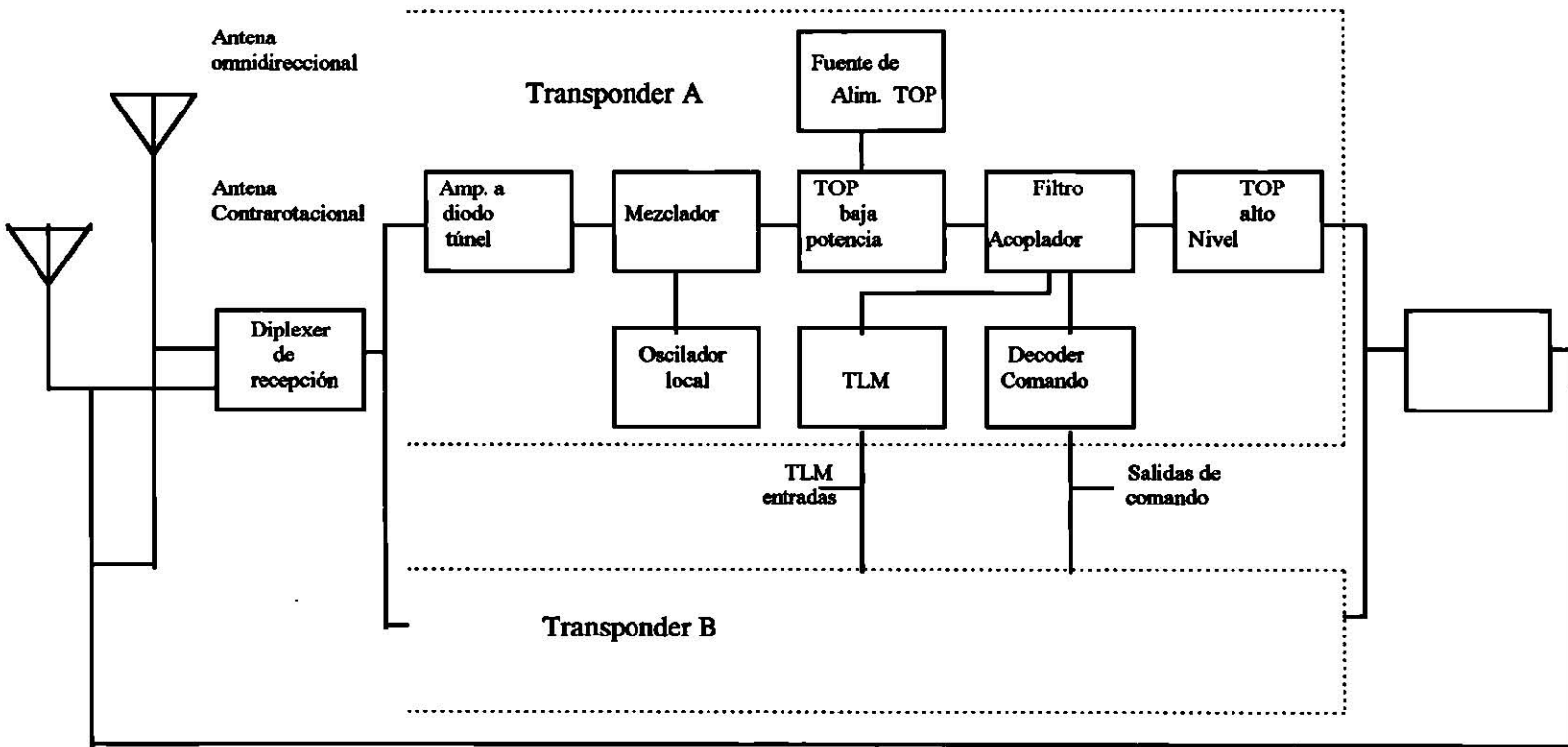


Figura a cuadros INTELSATIII

**a) ANTENA:**

Las señales de comunicaciones 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 Diplexer de recepción.

Debemos aclarar aquí que el satélite intelsatIII fue un satélite de cuerpo cilíndrico estabilizado por giro (semejante a los Morelos mexicanos) lo que consecuentemente obliga a utilizar una antena contrarrotacional, con giro contrario al del satélite para poderla orientar aunque estamos describiendo al intelsat III el diagrama es válido, como se menciona anteriormente para un satélite cualquiera de los actuales solo con la consideración, en este punto, de que la antena, no sería contrarrotacional para un modelo de cuerpo cúbico con aletas donde solo nos referiríamos a la antena como la "antena de comunicaciones" para diferenciarla de la de monitoreo (la omnidireccional).

**b) DIPLEXER DE RECEPCION:**

En el diplexer de recepción son separadas las diferentes bandas (o portadoras) de comunicación para ser alimentadas a su respectivo transponder o canal; (acceso múltiple).

**c) AMPLIFICADOR A DIODO TUNEL:**

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

Nuevamente debemos mencionar aquí, que si queremos generalizar el diagrama, es conveniente referirnos a este amplificador como un LNA (Amplificador de bajo ruido) y considerar que en la mayoría de los satélites modernos se utiliza como dispositivos activos como los transistores de efecto de campo de arseniuro de galio o GaAsFET.

**d) MEZCLADOR:**

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

En el caso de que la banda utilizada fuera la banda "Ku" el cambio de frecuencia es en el mezclador es de 2300 MHz. En cualquiera de los casos observe que la frecuencia de bajada siempre será menor que la de subida. Esto es así por el hecho de que la señal de bajada esta limitada en cuanto a su potencia por la capacidad de las celdas solares que son la única fuente de energía eléctrica disponibles en el satélite y considerando que a mayor frecuencia existen mas perdidas de propagación es preferible seleccionar la que tenga menos perdidas ( la de menor frecuencia) para la bajada y lograr que llegue a tierra con un mayor nivel de potencia que si se escogiera la de mayor frecuencia. En el caso de la señal de subida, el problema no es tan critico ya que en tierra se dispone de otras fuentes de energía para, previamente compensar las posibles perdidas.

**e) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE BAJA POTENCIA:**

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

**f) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE ALTA POTENCIA:**

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

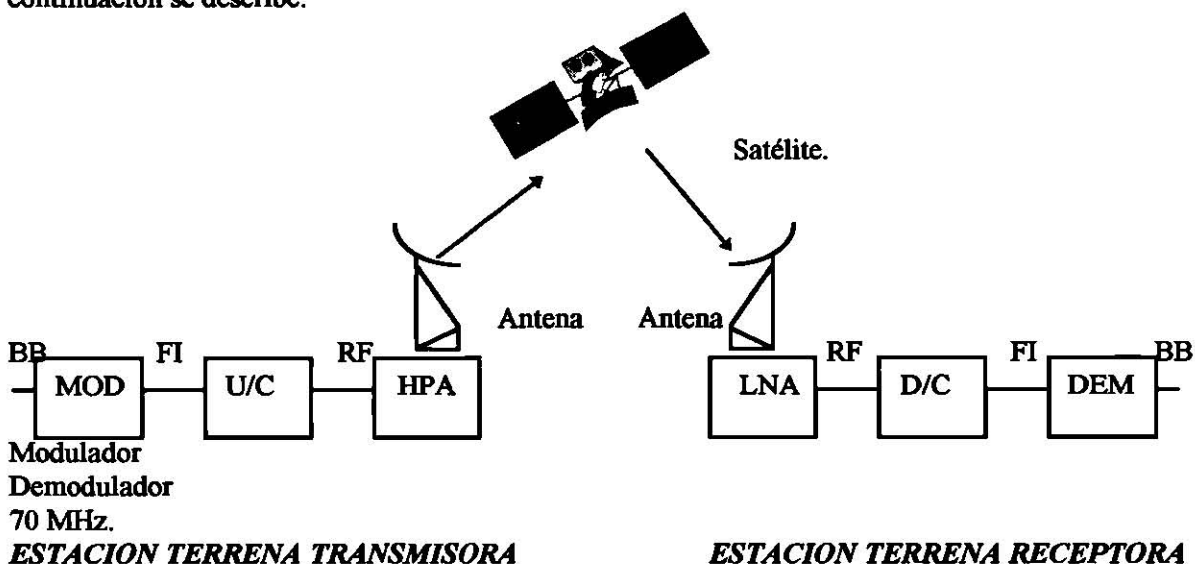
NOTA: Ambos tubos de ondas progresivas pueden ser agrupados en un solo cuadro designado como HPA ( Amplificador de alta potencia). En algunos sistemas modernos este amplificador esta constituido de dispositivos de estado sólido.

**g) DIPLEXER DE TRANSMISION:**

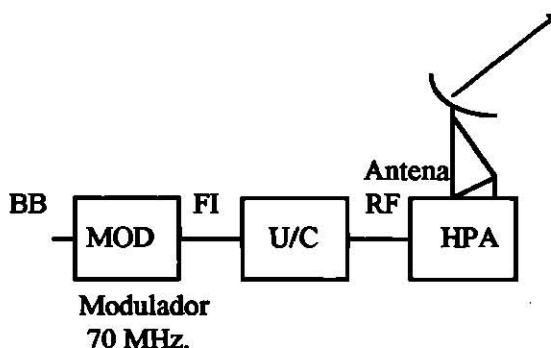
Las señales de todos los transponders son conuinadas para ser alimentadas a la antena de comunicaciones que se encargara de transmitir la información hacia la tierra.

**EL ENLACE:  
TIERRA - SATELITE - TIERRA  
CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA.**

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



**ESTACION TERRENA TRANSMISORA.**

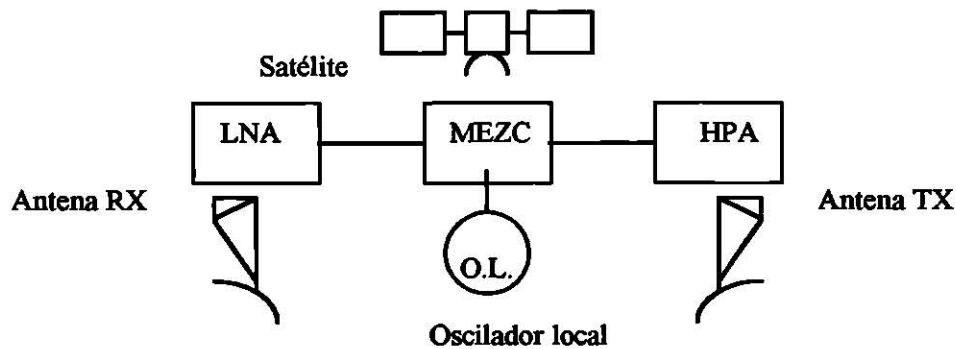


- BB= Acometida de la señal a transmitir (Entrada de banda base).
- MOD= Modulador a 70 MHz.
- U/C= Convertidor de subida (Up-converter).
- HPA= Amplificador de potencia (High power amplifier).
- Antena= Lado de transmisión.

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

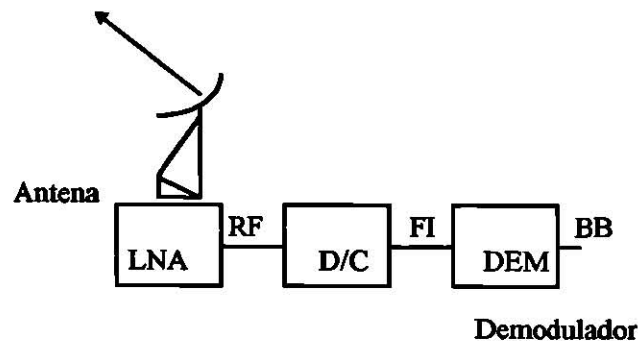
## SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES.



- Antena de recepción RX.
- LNA= Amplificador de bajo nivel de ruido (Low Noise Amplifier).
- MEZC= Convertidor de frecuencia (Traslador de banda).
- O.L.= Oscilador local.
- HPA= Amplificador de potencia (High Power Amplifier).
- Antena de transmisión TX.

Al llegar la señal al satélite, es captada por la antena de recepción la cual alimenta a un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) el cual amplifica la microonda para luego, en el convertidor, bajar su frecuencia al rango de la banda "Down-link" (Ejemplo: al rango de 4GHz. 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.

## ESTACION TERRENA RECEPTORA.



- Antena lado de recepción.
- LNA= Amplificador de bajo nivel de ruido.
- D/C= Convertidor de bajada (Down-converter).
- DEM= Demodulador.
- Entrega de la señal de Banda Base.

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



## **ACCESO MULTIPLE. DEFINICION Y CLASIFICACION.**

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

Los tres tipos mas comunes de acceso múltiple son:

- **Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).**

Donde todos los usuarios (Transmisores en tierra) tienen acceso al satélite al mismo tiempo pero cada uno transmite en su propia y única banda de frecuencias. Esta es la forma de acceso múltiple mas utilizada con la modulación analógica, donde las señales están presentes todo el tiempo.

- **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).**

Donde los usuarios transmiten por turno en su propia y única ranura de tiempo. Mientras esta transmitiendo, cada ocupante tiene el uso exclusivo de uno o mas transponders. La naturaleza intermitente del TDMA lo hace particularmente atractivo para modulación digital.

- **Acceso múltiple por división de código (CDMA).**

Muchas estaciones terrenas transmiten simultáneamente señales codificadas distribuidas en todo el ancho de banda asignado. Los sistemas decodificadores reciben las transmisiones combinadas provenientes de diferentes estaciones y recuperan cada uno de ellos.

En cualquiera de las tres clásicas formas de acceso múltiple cabe otra subdivisión:

Si el acceso al satélite es permanente de parte de una estación terrena transmisora el acceso se conoce como fijo o por pre-asignación. Si el acceso es temporal y compartido se le conoce como acceso de asignación por demanda.

### **VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS.**

#### **VENTAJAS DE FDMA.**

- No se requiere de sincronización (cada estación transmite independientemente de las otras).
- La asignación de cada canal es simple y directa.

#### **DESVENTAJAS DE FDMA.**

- Los niveles de potencia de los enlaces ascendentes deben de ser estrechamente coordinados para ser un uso eficaz de la potencia de salida de microondas de los transponders.
- El sistema esta propenso a intermodulación por lo que es necesario reducir la potencia (total del transponder) conforme aumenta el numero de portadoras con la consecuente perdida de eficiencia.

#### **VENTAJAS DE TDMA.**

- No se comparte la potencia y no se presentan problemas de intermodulación.
- El sistema es flexible en cuanto a la PIRE que cada usuario transmite en cada enlace ascendente.

#### **DESVENTAJAS DE TDMA.**

- Se requiere una sincronía perfecta en la red.
- Se requiere de una gran capacidad de almacenamiento si la trama es larga.

## **RUIDO DE INTERMODULACION.**

Debido a la característica no lineal del TWT del transponder del satélite, cuando se presentan varias portadoras (como en el caso FDMA) se producen productos de intermodulación entre las portadoras afectando la calidad de la transmisión. A estos productos de intermodulación se les da el nombre de "ruido de intermodulación".

Cuando dos o más portadoras están presentes en el mismo transponder, estos productos de intermodulación pueden aparecer como traslapes en el espectro original de frecuencias asignado a cada portadora.

La única manera de reducir el ruido de intermodulación para un TWT dado es disminuir el nivel de señal de entrada de modo que este pueda operar en la región lineal.

## **EL SATELITE Y EL MEDIO AMBIENTE DEL ESPACIO.**

### **EL SATELITE 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, por 2 o 3 grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 Kms. respectivamente, con lo cual se garantiza que no existe ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además, la posición de 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 el sistema a la India a menos que la energía radiada por el satélite pudiese atravesar el planeta y ser capturada por antenas inducidas que estuvieran apuntando hacia el centro de la tierra y no hacia el cielo.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico debido a que a sus lados se encuentran los países industrializados de América del Norte y Europa. Por lo que se refiere a tráfico interno o doméstico a 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 de arco ecuatorial comprendida por las longitudes geográficas de México, Estados Unidos y Canadá, así como las longitudes más cercanas a sus territorios.

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

Sin embargo el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarles 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 a si mismo cierta flexibilidad de movimiento limitado; nunca se le puede decir no te muevas ya, como por arte de magia, por las fuerzas externas se encargaran de volver a moverlo. A través del subsistema de propulsión del satélite, es posible ayudarle a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

En la siguiente figura se muestra 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 que el satélite se mueva dentro de ella, no habrá ningún problema pero hay que

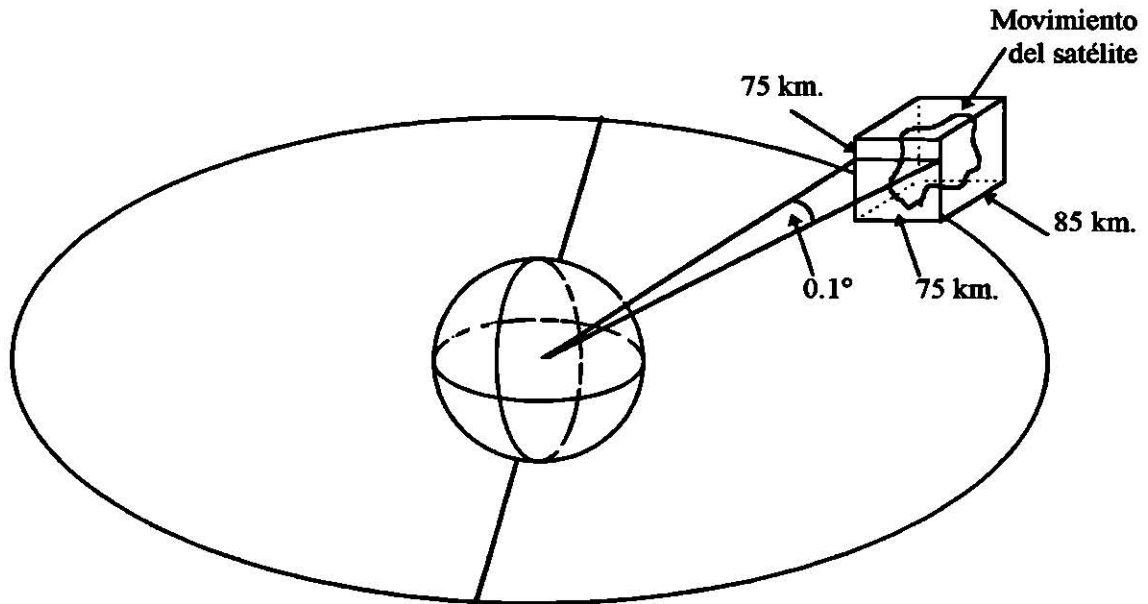


Figura: Siempre y cuando el satélite no se salga de esta gran caja imaginaria no habrá ningún problema.

rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el subsistemas de propulsión a control remoto antes de que se salga, para así regresarlo hacia el otro lado de la caja. Claro esta que para realizar todas estas maniobras con precisión se necesita contar en tierra con un centro de control especial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información que le permita a los operadores y alas computadoras hacer sus cálculos y tomar sus decisiones correctas. Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la posición y orientación del satélite se consume combustible y poco apoco los tanques de almacenamiento se van vaciando. ¿Que ocurre cuando ya no hay combustible en los tanques de almacenamiento, después de varios años de haber realizado gran numero de maniobras correctivas? Simplemente, ya no es posible mantener el 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 consediendole su jubilación. El numero de años que pueda trabajar sin problemas, es decir, su vida útil, depende en gran medida dela eficiencia con la que los operadores en tierra administren el combustible contenido en los tanque de almacenamiento del satélite.

## **LAS FUERZAS PERTURBADORAS.**

¿Cuales son las fuerzas que causan tantos problemas para conservar el satélite fijo en su posición geostacionaria? La fuerza que mas le 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 este 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 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 pacifico que sobre un punto en el continente africano aun cuando ambos puntos de medición estén en la misma altura sobre el nivel del mar. Mas aun, la tierra no es una esfera perfecta sino que esta achatada en sus polos, y el circulo ecuatorial no es en realidad un circulo, si no una elipse, aunque de muy poca excentricidad; el eje mayor de esta es 150 metros mas largo que el eje menor. Para que se tuviese una uniformidad esférica del campo gravitacional de la tierra, en primer lugar esta 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 formo 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 desplace 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 geostacionario, dentro de la caja imaginaria de la figura.

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 ultima es mucho mas pequeña que la tierra y además se encuentra diez veces mas lejos que la del satélite que este de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que en el 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; 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 el plano de la elíptica 1; 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 en 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 desplegables o extensibles que sobre satélites de configuración cilíndrica, puesto que en el 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 la 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, si no 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, al centro de masa del satélite cambia; por lo tanto, cuando se activa el subsistente de propulsión para corregir 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 ultimo, la misma radiación radioelectrica de las antenas del satélite produce una presión, cuyo efecto es importante cuando la potencia de transmisión del satélite es alta y esta concentrada en un haz iluminación muy angosta. Esta fuerza origina un giro del satélite, que para reducir al máximo su efecto sobre el, 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 se ha hablado de los efectos perturbadores mecánicos o de movimiento sobre el satélite.

### **LA TEMPERATURA DEL SATELITE.**

El satélite esta integrado por gran numero de elementos, todos ellos fabricados con distintos materiales diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo, las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre menos  $100^{\circ}$  C mas  $50^{\circ}$  C, las baterías solamente entre  $0^{\circ}$  C y mas  $20^{\circ}$  C, y los tanques de combustible deben estar entre mas  $10^{\circ}$  C y mas  $50^{\circ}$  C; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos entre otros componentes también requieren rasgos 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 los equipos para que no fallen. 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 aun mas si se considera que la energía de las fuentes externas cambia 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 el no seria posible generar electricidad a través de las celdas solares; por su puesto, sin el tampoco no habría vida en 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 la cara que esta orientada hacia el sol se caliente mucho, las partes no iluminadas se enfrían. En el interior del satélite, la transferencia de calor se lleva acabo por conducción, y en el espacio por radiación, puesto que el medio ambiente de casi vacío excluye la posibilidad de que en este ultimo se pueda transferir por convección. En cuanto a la contribución térmica de la tierra, esta consiste en radiación infrarroja emitida por ella misma y de la reflexión de 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 la tierra entre el 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 esta 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.

## OTROS FACTORES DE PERTURBACION.

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 el un buen diseño y una supervisión y control permanente. A continuación se menciona algunos otros factores importantes que complican aun mas la vida operativa del satélite.

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 dependen mucho de la temperatura pero en realidad estas perdidas son despreciables siempre y cuando los materiales utilizados para proteger al satélite no sean muy delgados. Hay otros efectos que pueden resultar mas 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 allá 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 degrade aun mas; por si fuera poco, también pueden modificar el acabado de las superficies diseñadas para controlar su balance térmico. Los meteoritos pueden también 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 a descrito someramente el medio ambiente hostil en el que un satélite geoestacionario debe de sobrevivir durante varios años. No seria extraño que en son de broma, y si los satélites pudiesen hablar entre si uno de ellos le dijera al recién llegado bienvenido a casa. Lo que si 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, ciencias de materiales, química e ingeniería civil.

## ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATELITE.

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

Subsistema	Función
1 Antenas	Recibir y Transmitir señales de radiofrecuencia.
2 Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia.
3 Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
4 Control térmico	Regular la temperatura del conjunto.
5 Posición y orientación.	Determinar la posición y orientación del satélite.
6 Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación.
7 Rastreo, telemetría y cmd.	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.

## 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 hacia 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 onda, que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores. El estudio de las antenas de estaciones terrenas, se amplía un poco más al respecto, pues su principio básico de operación es similar al de las antenas parabólicas de los satélites. Es fácil comprender que si el subsistema de antenas tuviese alguna falla por ejemplo, si no estuviese bien orientada hacia la superficie de la tierra debido a algún desperfecto en su 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 interfaseo 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 tengan que trabajar y la cobertura que deban 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: ¿para que 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: cuando 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 mayor es su capacidad de concentración de energía; esta 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 angosta 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. Por ejemplo, una antena parabólica de 2 metros de diámetro que irradia energía a una frecuencia de 11 GHz, lo hace dentro de un haz de iluminación más angosto que como lo haría si tuviese que operar a una frecuencia de 4 GHz, simplemente porque cuando más alta es la frecuencia, la longitud de la onda electromagnética es más corta y el tamaño eléctrico de la antena aumenta.

Hay satélites que tienen varias antenas de características distintas, con finalidades diferentes. Por ejemplo, el satélite de comunicaciones internacionales Intelsat V. Tiene ocho antenas para poder cubrir una vasta extensión territorial e intercomunicarla eficientemente al menor costo posible. De estas ocho antenas, dos son globales, dos hemisféricas, dos de zona y dos puntales. Las primeras dos son antenas de corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que puede verse de la posición del satélite; es decir, que pueden recibir desde cualquier estación transmisora que se encuentre dentro de los límites de esa zona y pueden transmitir también hacia cualquier estación receptora que se halle dentro del mismo control. Las otras seis antenas si son

parabólicas y la extensión territorial que cubren es aquella dentro de los contornos mostrados en la siguiente figura. Nótese que las zonas mas pequeñas son las cubiertas por las antenas, de cobertura puntual, que reciben este nombre precisamente por que concentran su potencia casi en un punto, en relación con las dimensiones del planeta; los haces de iluminación de estas antenas, por ser tan angostos, reciben el nombre de haces pincel o puntuales.

En la misma figura se observa que la cobertura de cada haz, denominada huella de iluminación, esta limitada por un contorno muy irregular. La irregularidad de estos contornos esta hecha a propósito por los diseñadores de las antenas del satélite, aunque es mucho mas sencillo construir una antena cuya huella de iluminación sea un circulo o una elipse; de esta forma no se desperdicia potencia transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay trafico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, y en cambio se aprovecha mejor concentrándola para que ilumine solo los lugares geográficos en los que si hay densidades importantes de población, equipos y gran demanda de servicios de comunicación. Como las huellas de iluminación tienen ciertos contornos, al haz que irradia cada una de estas antenas también se le llama haz de contorno, independientemente de la extensión territorial que abarque.

La huella de iluminación es la intersección del haz radiado por la antena con la superficie de la tierra. Imagínese el lector que tiene una lampara de mano que en lugar de proyectar un circulo sobre una pared, o bien una elipse al inclinar la lampara, proyecta una mancha irregular de luz, por ejemplo, el perfil de una papa. Imagínese ahora un globo gigante transparente e ilumínelo con la lampara; la intersección del haz de iluminación irregular o de contorno con el globo seria precisamente la huella de iluminación de la lampara, o sea la cobertura que tiene una parte de la superficie curva del globo.

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 conversación telefónicas, programas de televisión o información digital de empresas, bancos, etc.;pero existe otro tipo de antena muy importante, que no tiene nada que ver con la recepción y 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 la 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, dónde está y como esta funcionando en general; de esta manera, sus propietarios u operadoras 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 ultimas son altamente direccionales; normalmente es una antena biconica, cuya radiación es casi omnidireccional, es decir ,que emite mas o menos con la misma intensidad en todas direcciones; de esta forma, aun cuando el satélite cambie bruscamente de orientación , su comunicación con el centro de control no se interrumpe y se sigue teniendo control sobre el mismo.



