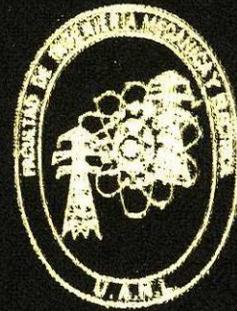


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



**"COMUNICACION VIA SATELITE"**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

GERARDO RANGEL RODRIGUEZ

ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. 1997

T

TK510

R35

8.1



1080072240

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**“COMUNICACION VIA SATELITE”**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

**PRESENTA  
GERARDO RANGEL RODRIGUEZ**

**ASESOR: ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR**

**SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. 1997**

**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**

**QUE PRESENTA  
GERARDO RANGEL RODRIGUEZ**

**SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. 1997**

Capítulo 1: Introducción.....	1 -
1.1.-Historia de las comunicaciones.....	1 -
1.2.-Medios de comunicación.....	2 -
Capítulo 2: Historia de las comunicaciones por satélite.....	3 -
Capítulo 3:El satélite y el medio ambiente del espacio.....	8
3.1.-El satélite y su hogar.....	8
3.2.-Las fuerzas perturbadoras.....	9
3.3.-La temperatura del satélite.....	11
3.4.-Otros factores de perturbación.....	12
Capítulo 4:Estructura y funcionamiento de un satélite.....	14
4.1.-Introducción.....	14
4.2.-Subsistemas de antenas.....	14
4.3.-Subsistema de comunicaciones.....	16
4.3.1.-Conceptos Generales.....	16
4.3.2.-Acceso múltiple por división en frecuencia.....	19
4.3.3.-Acceso múltiple por división en el tiempo.....	20
4.3.4.-Acceso múltiple por diferenciación de código.....	21
Capítulo 5:Sistema de telecomunicaciones por satélites de gran altura geostacionarios (sincrónicos).....	22
5.1.-Introducción.....	22
5.2.-Periodo orbital.....	22
5.3.-La órbita Geoestacionaria.....	23
5.4.-Area de cobertura.....	24

5.5.-Perdidas de transmisión y asignación de frecuencias.....	24
5.6.-Conceptos generales del sistema.....	26
Capitulo 6: El Enlace.....	26
6.1.-Circuito hipotetico de referencia.....	26
Capitulo 7: Acceso Múltiple.....	28
7.1.-Definición y clasificación.....	28
7.2.-Ruido de intermodulación.....	29
Capitulo 8: Comunicación vía satélite.....	29
8.1.-Recepción de señales de televisión.....	29
8.2.-Sistemas de recepción de TV vía satélite.....	30
Capitulo 9: Nuevas Generaciones y comunicación entre satélites.....	33
9.1.-Introducción.....	33
9.2.-El satélite OLYMPUS.....	33
9.3.-El satélite ACTS.....	34
9.4.-Comunicación entre satélites.....	34
Capitulo 10: Características de la banda C.....	35
Capitulo 11: Características de la banda Ku.....	42
Capitulo 12: Características de la banda L.....	47

## Capítulo 1.-Introducción

### 1.1.-Historia de las comunicaciones.

Hace muchísimo tiempo la comunicación a larga distancia se empezó a dar con los cazadores que mataban a su presa y tenían la necesidad de comunicarse con las personas que vivían en el campamento, al principio tenían los cazadores que llevar la presa hasta el campamento pero siempre y cuando de tamaño de la presa fuera mediano pero cuando la presa era grande les era difícil, hasta que se les ocurrió comunicarse por medio de una hoguera o golpeaban con un garrote un tronco de árbol hueco.

A medida que el hombre primitivo se enseñaba a comunicarse a largas distancias se fue cambiando la manera de entender las hogueras o el tronco de árbol hueco y sabía que ya no era solo para comunicar que la caza había concluido, sino también eran para advertirles de algún peligro que se aproximara, para pedir auxilio y para suministrar un faro a los perdidos. Mientras más larga era la distancia a la que el hombre primitivo podía comunicarse en forma de escuchar o ver, más útil resultaba para ellos.

Al transcurso del tiempo, sucedieron a los troncos de árbol hueco, los tambores, los bongos y, más tarde el cañón. También al fuego sucedieron las señales de humo, al brillo de espejos, el semáforo de lámpara y el cohete de señales.

En el siglo XIX lo que imperaba era el correo. El medio por el que se llevaba a cabo la comunicación por correo era a pie, a caballo o en barco que era el que llevaba los mensajes a muy largas distancias. Estos medios fueron útiles en su tiempo pero a medida que el tiempo pasaba se daban cuenta que esta forma de comunicación era muy lenta tardaban en algunos casos muchos meses en llegar el correo, los sistemas de señales tal como se conocían entonces, se limitaban al alcance del oído o de la vista.

A medida que el tiempo pasaba y las necesidades eran otras surgieron grandes inventores. Samuel morse, norteamericano, inventó el telégrafo en el año de 1837. Alejandro Graham Bell, fue el iniciador de la era de la transmisión de la voz, en 1876, con el teléfono. Guillermo Marconi siguió en 1895 con la radio y en 1901 logró que las primeras señales de radiotelegrafía atravesaran el Atlántico.

Alejandro Graham Bell en 1915 realizó ensayos venturosos con una conexión de radio y teléfono entre Honolulu, Washington, D.C. y París. En 1915 la primera voz cruzó los mares gracias a la ayuda de la Marina de Guerra de los Estados Unidos.

Con el radioteléfono se podía viajar en torno del mundo, pero no era del todo seguro debido a que tenía algunos defectos, principalmente en la recepción a causa de las condiciones que imperan en el espacio libre una de ellas y quizá la más importante eran las condiciones atmosféricas. La solución que se encontró a este problema fue instalar un cable submarino. Pero fue necesario un adelanto tecnológico para instalar en el cable pequeños repetidores suficientemente dignos de confianza durante casi 20 años sin requerir atención.

Con repetidores que retransmitan las señales sonoras por cables a través de varios miles de Kilómetros. Todo esto se logró en el año de 1956 al tender Estados Unidos un cable telefónico entre Terranova y Escocia, en colaboración con Canadá y Gran Bretaña. Al poco tiempo se tendieron cables a Alaska, a Hawai y el Japón, a las Antillas y a Europa Continental.

En el año de 1927 el servicio comercial entre los Estados Unidos y Europa hubo 11,000 llamadas transoceánicas. En el año de 1961, el volumen había aumentado a más de 4 millones de llamadas, y siguió en el aumento prosiguiendo a la razón de cerca del 20 por ciento al año.

A medida que pasa el tiempo la población va en aumento, las barreras comerciales caen y el comercio internacional se vuelve una necesidad. Se hace inevitable la transmisión de televisión intercontinental y de datos de computadoras de alta velocidad. En todo el horizonte se observa la imperiosa necesidad de más canales de comunicación. Todo esto provocó la creciente necesidad de la expansión de los sistemas clásicos de comunicaciones en el ámbito espacial.

## 1.2.-Medios de comunicación.

La creciente necesidad del hombre de comunicarse y poder mandar cada vez más información en forma segura y eficiente durante las últimas décadas obliga a crear canales en las telecomunicaciones mundiales.

Los sistemas de operatividad intercontinental se dividen en dos grupos:

### a).-Enlaces por línea física:

Son los cables submarinos de banda ancha, muy seguros, que resultan un sistema eficaz, pero una solución parcial entre los Estados Unidos y Europa, con derivaciones en Alaska, Hawai y otros lugares. La expansión de este medio físico resulta casi imposible por el costo y el tiempo para África, Asia y Asia y otros puntos.

### b).-Enlaces radioeléctricos: onda corta y microondas:

La radiocomunicación por onda corta, solo se puede proporcionar un número limitado de canales, debido a la estrechez del espectro utilizable y que en la actualidad ya está saturado, decreciendo rápidamente su capacidad de absorción. Este tipo de enlaces son muy afectados por factores aleatorios ya que dependen de la ionosfera. También debemos considerar que admiten interferencias y bloqueo como asimismo la presencia de un importante nivel de ruido.

Los enlaces radioeléctricos por microondas constituyen un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar muchos canales, no es factible su empleo en enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidores con las características que ellos exigen, en medio de los océanos. Eliminando esta dificultad, económicamente son convenientes.

De estos análisis efectuados surge una tercera alternativa como solución del los diversos problemas planteados y consiste en establecer las comunicaciones mediante el uso de objetos situados fuera de la tierra y más allá de la misma atmosfera. A esta tercera alternativa se le conoce con el nombre de satélite, quien permite la comunicación a cualquier parte del globo terrestre.

Los satélites hacen posible la utilización de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas, en cuanto a capacidad y confiabilidad, entre dos puntos situados sobre la superficie terrestre, con la ventaja de que significa la necesidad de poseer sólo una estación terrena en una determinada zona, para enlazar ésta, a través del satélite, con cualquier otro centro productor de tráfico que posea igual facilidad, aún cuando el mismo este situado a distancias considerablemente grandes. el costo de explotación de un canal resulta independiente de la distancia existente entre dos estaciones terrenas que estén dentro de la zona "iluminada", o sea la zona de acción de un mismo satélite.

#### Definición de Satélite:

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

#### Capitulo 2.-Historia de las comunicaciones por satélite.

Un famoso escritor británico de ciencia ficción llamado Artur C. Clark autor de "2001: Space Odyssey", por su original idea de los satélites de comunicación geostacionaria. Clarke concluyo en 1945 que un satélite con órbita circular, ecuatorial y con un radio aproximado de 42242 Km. debería tener una velocidad angular igual a la de la tierra. Esto haría "ver" al satélite como un punto fijo en el espacio con respecto a un observador en la tierra y el satélite podría recibir y retransmitir señales desde cualquier punto del hemisferio. Con tres satélites espaciados entre sí 120 grados se podría cubrir prácticamente todo el globo, ya que Clarke considero la posibilidad de que las señales pudiera ser retransmitidas entre satélites. Clark tuvo su idea fuera de tiempo ya que en esa época no se contaba con la tecnología adecuada, y no fue hasta 1957, cuando la tecnología de los cohetes estuvo disponible, cuando Rusia lanzó el Sputnik I en Octubre 4 de 1957.

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 de 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 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.

Se puso en órbita un globo metalizado por un cohete que puede ser usado como un reflector de ondas electromagnéticas generadas por un transmisor terrestre. La energía se recogía 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.

Los laboratorios Bell, la NASA y la JET Propulsión, gracias a la acción de ellos el proyecto "ECHO" fue realizado. El satélite cuya forma era un globo, tenía un diámetro de 30 mts. y estaba cubierto de nylon con lamina de aluminio. Su órbita era circular inclinada y de altitud de cerca de 1500 Km. En 1960 se logro la transmisión de telefonía., gracias al sistema de FM en la banda de radiofrecuencia de 960 Mhz y 2290 Mhz.

Los satélites pasivos tienen capacidad infinita para comunicaciones de acceso múltiple, son gravemente obstaculizados por el uso ineficiente de la potencia transmitida. En el experimento "ECHO", por ejemplo, solamente una parte en  $10^{18}$  de la potencia transmitida (10 Kw) es retornada a la antena. Puesto que la señal se ve afectada por el ruido que llega desde varias fuentes, para compensar esto, se debe utilizar en el receptor un amplificador de bajo ruido.

Los satélites pasivos tienen la ventaja que no requieren equipo electrónico sofisticado a bordo. Se usa para rastreo, un radio-faro, pero en general no es necesario electrónica complicada. La carencia de electrónica en los fines de los 50's, hizo interesante el sistema pasivo en los primeros años de la comunicación por satélite. A medida que paso el tiempo la electrónica llega a estar disponible en los sistemas pasivos fueron remplazados por los sistemas activos.

En el lanzamiento del Sputnik I en 1957 fue seguido por la "carrera espacial" y esto fue reflejado en el lanzamiento del SCORE (Signal Communicating by Orbiting Relay Equipment) por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en diciembre 18 de 1958. El SCORE fue colocado en una órbita elíptica baja con un perigeo de 182 Km y un apogeo de 1048 Km y un periodo de 101 minutos. Su modo normal de operación consistía en grabar el mensaje enviado desde la tierra mientras pasaba sobre una estación terrena (transmisora) y retransmitirlo cuando lo requería otra estación terrena (la receptora). La "longitud" máxima del mensaje era de 4 minutos y su capacidad era de un canal de voz ó 70 canales de teletipo de 60 palabras por minuto recibiendo señales desde las estaciones terrenas a 150 Mhz y retransmitiéndolas a 132 MHz.

Después de indagar por primera vez en el espacio con los satélites "SPUTNIK", "EXPLORER" y "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 más conocido de los anteriores porque fue el único capaz de retransmitir programas de T.V. a través del Atlántico. El primer "TELSTAR", se lanzo desde Cabo Cañaveral el 10 de Julio de 1962. Era una esfera de aproximadamente 87 cm. de diámetro pesando 80 Kg. el vehículo utilizado de lanzamiento fue un cohete Thor-delta el cual sitúo al satélite en una órbita elíptica con un apogeo de 5,600 Km con un periodo de 2.5 horas. El "TELSTAR II" se construyo con una mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fue idéntico a su procesor. Se lanzó el 7 de Mayo de 1963.

En el "TELSTAR" I y II la potencia era 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 estabilidad por giro. La capacidad de comunicación era de 600 canales telefónicos ó un canal de T.V. El "TESTAR" se diseñó como un experimento y no fue diseñado para operación comercial. La órbita usada hizo al satélite "visible" solamente por periodos breves. Un proyecto "RELAY" fue desarrollado por Radio-Corporation of America, bajo contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los Estados Unidos han desempeñado un papel muy importante desde el principio en cuanto se refiere al campo de comunicaciones por satélite, pero la URSS también lanzó en Mayo de 1965 su primer satélite de comunicación: "MOLNIYA" de órbita elíptica con un apogeo de 39152 Km. y un período de 11 Hrs. con 38 minutos. El "INTELSAT" I fue el primer satélite comercial geoestacionario desarrollado por Comsat para Intelsat. Lanzado en Abril 6 de 1965 permaneció activo hasta 1969. Su rutina de operación entre Estados Unidos y Europa empezó en Junio 28 de 1965. Opero con dos transponders de 25 MHz de ancho de banda con una portadora ascendente centrada en 6301 MHz para Europa y 6390 Mhz para Estados Unidos. Las frecuencias descendentes eran 4081 MHz para Estados Unidos y 4161 MHz para Europa.

PRIMEROS SATELITES EXPERIMENTALES Y COMERCIALES DE COMUNICACIONES

NOMBRE	FECHA DE LANZAMIENTO	ALTITUD DE LA ORBITA INICIAL (EN KILOMETROS)	SERVICIOS
Score	Diciembre 18, 1958	182 a 1048	Voz y telegrafía, 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, datos y telefoto, inclusive transmisores 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 telefoto 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 Sycorn III (Comercial entre E.U. y Europa)
Molniya I	Abril 23, 1965	497 a 39380	Televisión, voz y telegrafía

Los sistemas de comunicaciones operando y proyectados a futuro crece tan rápidamente que es difícil resumirlos en un listado, de hecho en la actualidad hay gran diversidad de satélites orbitando la tierra prestando diferentes servicios, por ejemplo, comunicaciones, observaciones meteorológicas, experimentación, vigilancia, etc.

## Ventajas de la comunicación vía satélite

a).-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 area de cobertura la cual puede llegar a ser tal, que se cubriera 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.

b).-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.

c).-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 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.

d).-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 el tener una gran capacidad de manejo de información. De hecho, los satélites actuales tienen la capacidad de manejar hasta 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/ó Ku).

e).-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, éste es el caso de regiones pantanosas, bosques, islas, etc.

### **Clasificación de los satélites:**

a).-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.).

b).-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. Nuestro interés en este curso se centrara en los de comunicaciones.

c).-De acuerdo a su órbita: Por su órbita los podemos clasificar en GEOESTACIONARIOS y NO GEOESTACIONARIOS. Un satélite geostacionario 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 geostacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la tierra, un ejemplo de esto es la luna.

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

1).-Al permanecer fijo el satélite con respecto a la tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se orienta la antena esta permanece fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena.

2).-Una vez orientada la antena se dispondara 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.

d).-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 geostacionario. Un satélite será de cobertura domestica cuando su transmisión cubra solo un area 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 area 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 tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones globales internacionales e intercontinentales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales, (dentro del mismo país).

Capitulo 3.-El satélite y el medio ambiente del espacio.

### 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 juvenes

y otros viejos de configuraciones, tamaños y aplicaciones distintas; muchos de ellos reciben y transmiten señales en la misma frecuencia que el satélite recién llegado también usara durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente, aunque todos son vecinos, no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre si por tres grados de arco, equivalentes a 1,500 y 2,200 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.

La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas va 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.

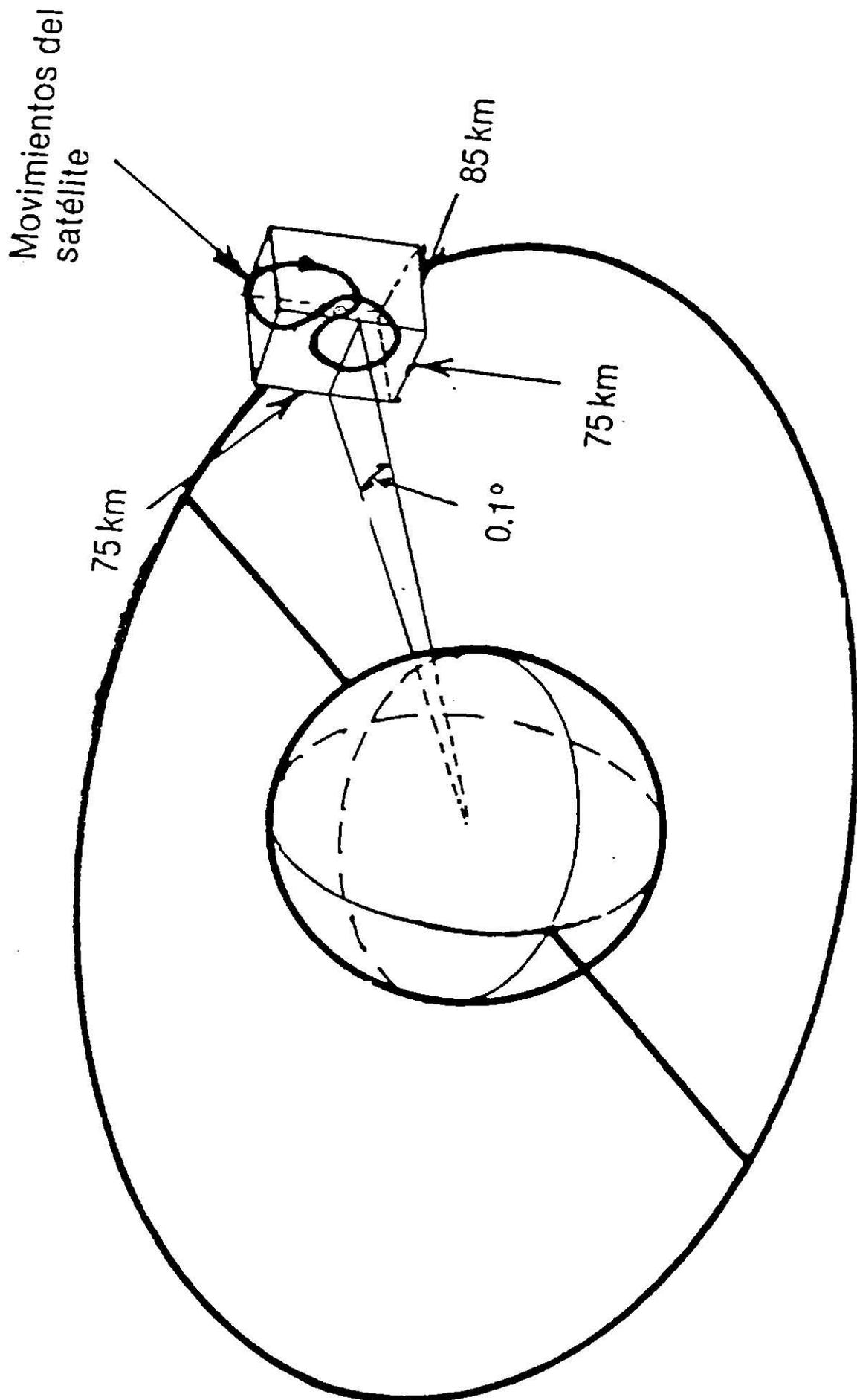
Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujando o tirando de él de un lado a otro, de tal forma que se le puede imaginar, aunque sean en forma muy exagerada, como una botella que flota sobre las olas 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 encargan 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.

### 3.2.-Las fuerzas perturbadoras

¿Cuales son las fuerzas que causan tantos problemas para conservar al satélite fijo en su posición geoestacionaria? La fuerza que más 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. 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 mueve a la derecha o a la izquierda (oeste o este) sobre el arco geoestacionario, dentro de la caja imaginaria.

Figura 3.1.-Siempre y cuando el satélite no se salga de esta gran caja imaginaria no hay ningun problema.



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 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 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 producen un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial, es decir, hacia arriba o hacia abajo (norte o sur) dentro de la caja imaginaria.

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación de la radiación solar sobre la superficie de su estructura; 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.

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 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.

### 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  $-100^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ , las baterías solamente entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $+20^{\circ}\text{C}$ , y los tanques de combustible deben estar entre  $+10^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$ ; el equipo eléctrico 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 recibió por la radiación de fuentes externas y la energía que él mismo disipa internamente. El problema se complica aún más si se considera que la energía de las fuentes externas cambia constantemente conforme el satélite gira al rededor 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 del sol, y aun cuando causa algunos problemas para conservar el balance térmico en el satélite, es obvio que sin el 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 al rededor 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 calienta mucho, las partes no iluminadas se enfrían. En el interior del satélite, la transferencia de 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 con convección. En cuanto a la contribución térmica de la tierra, esta consiste en radiación 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 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.

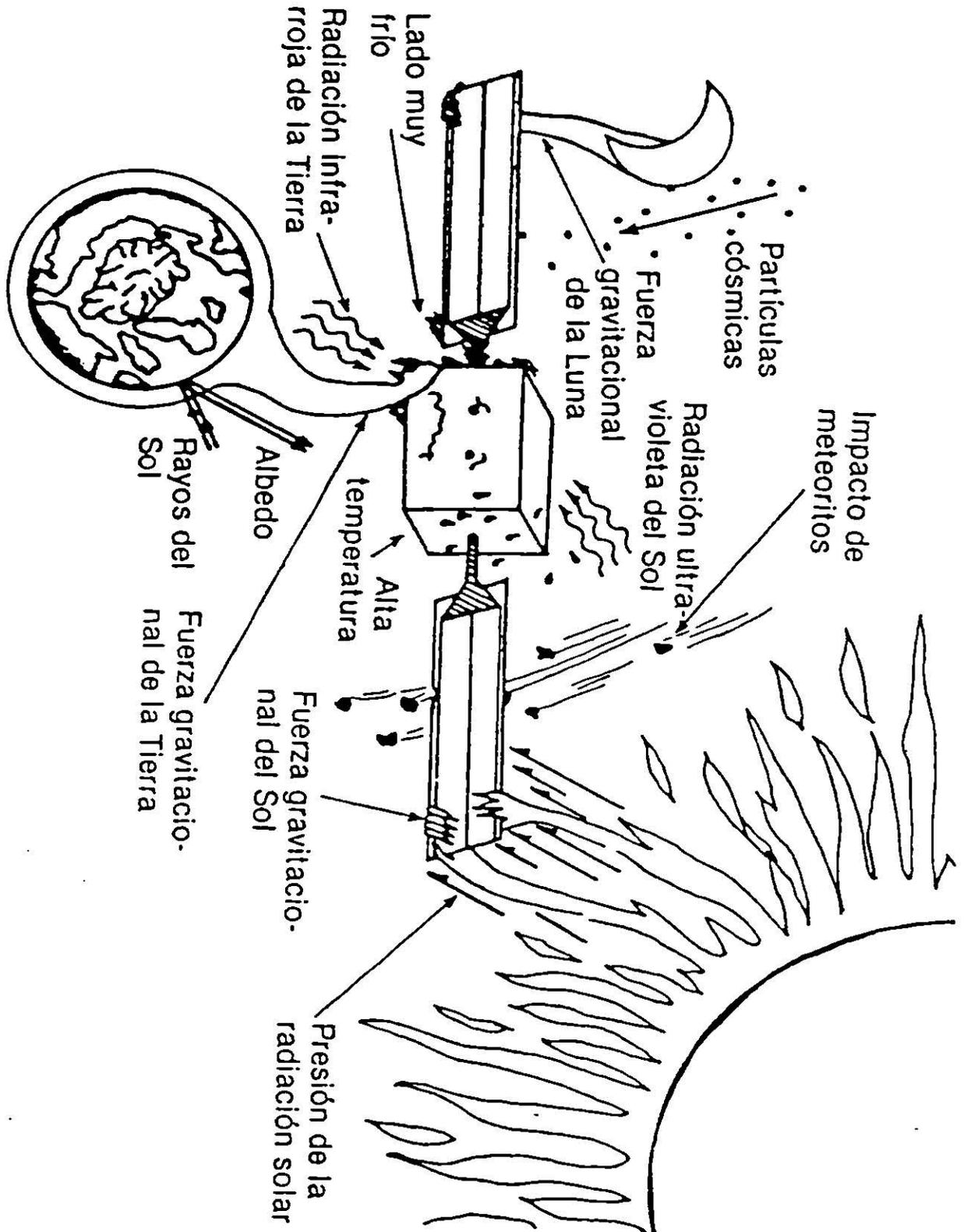
#### 3.4.-Otros factores de perturbación.

Hasta ahora han visto ya la mayor parte de los factores que alteran el funcionamiento correcto de un satélite geoestacionario y que, por consiguiente, exige en el un buen diseño y una supervisión y control permanentes. A continuación se mencionan 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; este 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 expuestos 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, 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 cortocircuito 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.

Figura 3.3.-Fuerzas y otros factores que alteran la estabilidad del funcionamiento de un satélite



## Capítulo 4.-Estructura y funcionamiento de un satélite.

### 4.1.-Introducción

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

#### Principales subsistemas de un satélite y sus funciones

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

### 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 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 que 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.

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 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 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 tengan que trabajar y la cobertura que deben 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 mas pequeña. Algo debe obtenerse de una antena grande a cambio de menos metros cuadrados sobre la superficie terrestre; ¿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: cuanto mas grande 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 mas alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje, mayor es su capacidad de concentración de energía; esta es una característica propia de las antenas parabólicas, 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.

Las dimensiones eléctricas 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 numero de longitudes de onda que cabrían alineadas en su apertura o boca. Por ejemplo, una antena parabólica de dos 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 cuanto mas 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 puntuales. Las primeras dos son antenas de corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que pueden verse desde la posición del satélite; es decir, 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 contorno. Las otras seis antenas si son parabólicas y la extensión territorial que cubre

es aquella dentro de los contornos notese que las zonas más pequeñas son las cubiertas por las antenas de cobertura puntual, que reciben este nombre precisamente porque 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.

#### 4.3.-Subsistema de comunicaciones.

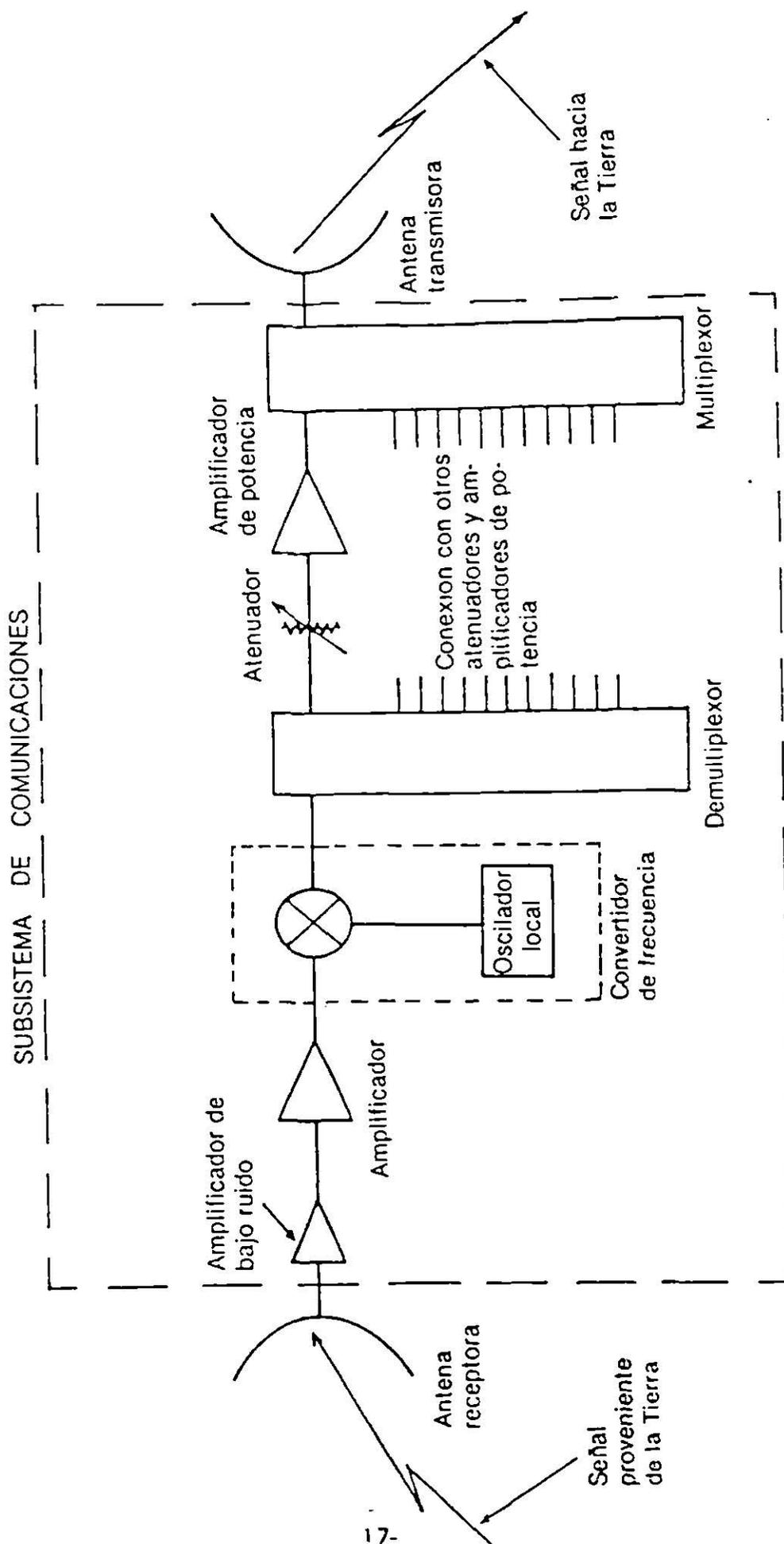
##### 4.3.1.-Conceptos generales

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 encarga 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 una 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.

La figura muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez, en el solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones; es normal que en algunos de estos equipos se instalen repetidos, o sea, que sean redundantes, para que en el caso de que uno de ellos se descomponga, exista aún la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y transmisión; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro. 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. En realidad, cada cadena es más compleja de lo que se muestra en el diagrama, además de que puede haber ligeras variantes en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia, pero lo que se ha incluido por el momento es suficiente para explicar a grandes rasgos cual es su función. Este subsistema, incluyendo el de las antenas, es el mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es planificar el uso del satélite, es decir, asigna 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 de telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencia diferentes; al rango de frecuencias que haya entre la frecuencia mas 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 mas capaz de trabajar 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, telefonía o datos que otro cuyo ancho de banda de operación sea menor.

Figura 4.3.-Relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones.



Un satélite puede tener varias antenas receptoras o quizá solamente una, dependiendo de su diseño y aplicaciones, y cada una de ellas debe ser capaz de recibir al mismo tiempo muchos canales con información que posteriormente serán amplificados por separado en distintos transpondedores. Es decir, las antenas receptoras, y lo mismo se aplica a las antenas transmisoras, tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas de frecuencia C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación o sea, el rango de frecuencias disponible, es de 500MHz para transmisión y 500MHz para recepción. 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 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, bajándola 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 nomenglatura 6/4 GHz, indicando que la señal sube al satélite con frecuencias cercanas a los 6 GHz y que baja con frecuencias cercanas a los 4 GHz.

En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencia y transmisión es similar al de la banda C, sólo que las frecuencias Tierra-satélite están entre 14.0 y 14.5 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz, y las frecuencias satélite-Tierra están entre 11.7 y 12.2 GHz; en este caso, el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 GHz.

En los satélites híbridos, los procesos descritos 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 separadoras 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 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 del 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 al otro que si esta en buenas condiciones. Después de que todas las señales han sido amplificadas casi fielmente, puesto que muy poca potencia de ruido se les ha sumado, continuara su viaje a lo largo de la trayectoria del transpondedor; en las etapas siguientes de amplificación se les

seguirá introduciendo un poco más de ruido, pero su efecto ya no será tan problemático como hubiese podido serlo en la primera etapa de amplificación, porque ahora están vigorizadas con un nivel de potencia tal que las hace menos vulnerables.

Todo tipo de información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada, denominada portadora; por ejemplo un canal de televisión tiene su propia frecuencia portadora y la combinación de 60 canales telefónicos no se agrupan, sino que se envían en forma aislada, uno a uno; en este caso, cada canal telefónico tiene asignada una frecuencia portadora distinta. De igual forma, un canal digital que contenga datos, sin importar que sea alta o de baja velocidad, requiere tener su propia frecuencia portadora. La figura muestra un ejemplo usual de lo que podría contener un transpondedor de 36 Mhz de ancho de banda, en donde el espacio de frecuencias disponible es ocupado por cuatro señales similares en amplitud y ancho de banda, con su propia frecuencia portadora; cada señal contiene 192 canales telefónicos agrupados y provienen de una ciudad distinta.

Siempre que haya más de una portadora presente al mismo tiempo en el amplificador de potencia, se produce ruido de intermodulación y cuanto mayor sea su número, mayor es el ruido y su efecto sobre la información original; por lo tanto, mientras más portadoras se quieran amplificar con el mismo dispositivo al mismo tiempo, será preciso operar en un punto cada vez más abajo del de saturación, y será menor la cantidad de potencia que se pueda aprovechar a la salida. Este problema del ruido de intermodulación también se tiene en los amplificadores de potencia de las estaciones terrenas transmisoras.

#### 4.3.2.- Acceso múltiple por división en frecuencia

Ya se ha visto que el ancho de banda total de 500 Mhz de un satélite se divide en varios transportadores, y que una forma usual de hacerlo es con ranuras de 36 MHz. Esto significa que el amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en total un ancho de banda de 36 MHz. Sin embargo, cada estación terrena que transmite desde la tierra no tiene necesariamente el suficiente tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada. Considerese como ejemplo una gran ciudad, otra de tamaño medio y una población rural con unos cuantos miles de habitantes, supóngase que las tres desean hacer uso del satélites razonable suponer que en la primera hay la mayor demanda de conversaciones telefónicas, tanto por su mayor nivel económico y cultural como por su mayor densidad de población; en la segunda hay una demanda menor, y en la tercera menos todavía. Por consiguiente, las señales que se generen a cada instante en cada una de esas tres poblaciones requieren distintos anchos de banda para que puedan transmitirse.

Regresando al ejemplo establecido, supóngase que la gran ciudad se designa con la letra A, la de tamaño medio por B, y la población rural por C. Es evidente que, si las tres transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los anchos de banda que requieren las tres estaciones individualmente de un total cercano a los 36 Mhz, entonces las tres ocuparán simultáneamente el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guarda. Esta forma de uso simultáneo del transpondedor, por varias estaciones terrenas, estén o no

situadas en la misma ciudad, recibe el nombre de acceso múltiple por división en frecuencia o FMDA, ya que el espectro radioeléctrico del transpondedor se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a cada una de ellas.

Sin embargo, ¿qué sucede cuando el tráfico generado en los puntos geográficos que comparten un transpondedor no se estaría aprovechando con eficiencia si se emplease la técnica anterior, y en este caso se requiere utilizar otra versión de acceso múltiple que brinde mayor flexibilidad; la alternativa se denomina acceso múltiple por división en frecuencia con asignación por demanda o 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 cualquiera otra de las estaciones del sistema que la solicite temporalmente.

#### 4.3.3.-Acceso múltiple por división en el tiempo

El acceso múltiple por división en el tiempo o TDMA es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas accesan y ocupan un transpondedor, en donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente, en esta nueva técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con cierto ancho de banda fijo, y se comparten entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignada un tiempo T para permitir lo que guste dentro de la ranura, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno.

El tiempo T asignado a cada estación no es necesariamente igual en todos los casos, puesto que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, por lo tanto, la ranura de tiempo que se les asigne debe ser más larga que la de las estaciones chicas. Estos tipos asignados pueden ser fijos por estación, en cuyo caso se tiene acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija, o bien pueden variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico (hora pico). En estas condiciones, es preciso reorganizar la distribución de los tiempos con una nueva estructura de marco o trama de transmisión, dándole ranuras de tiempo más largas a las estaciones con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico; la nueva estructura de marco se repite secuencialmente hasta que haya necesidad de hacer otro cambio. Hay varios métodos para cambiar los marcos de transmisión según la demanda, pero la más común es mediante un programa establecido con base en las estadísticas de tráfico.

La técnica TDMA, al igual que la FDMA, no es más que una forma mediante la cual las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, es necesario que los canales de vídeo, voz y datos que se van a transmitir pasen por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base (como son en su forma original), principalmente las etapas de multiplexaje y modulación, de

las cuales hay una gran diversidad. por ejemplo, un enlace FDM/FM/FDMA significa que en la estación terrena transmisora primero se multiplexan o combinan en frecuencia varios canales originalmente en banda base (FDM), después el resultado modula en frecuencia a una portadora (FM), y posteriormente esta accesa al transpondedor del satélite (FDMA); en el punto receptor o destinatario se tiene que efectuar el proceso inverso para recuperar los canales en su forma original o banda base, es decir, demodular en frecuencia y después demultiplexar en frecuencia. Otro ejemplo sería un enlace TDM/QPSK/TDMA, en el que el primero se multiplexan en el tiempo varios canales digitales (TDM), después el resultado modula digitalmente con desplazamiento de fase en cuadratura a la portadora (QPSK), y por último esta accesa al transpondedor (TDMA). El tema es sumamente amplio y nuevamente se remite al lector interesado en profundizar sobre el a alguna de las referencias proporcionadas.

#### 4.3.4.- Acceso múltiple por diferenciación de código.

Además de las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en los satélites comerciales de comunicaciones, existe una tercera alternativa en la que un transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica, denominada acceso múltiple por diferenciación de código o CDMA, y que aparentemente resulta imposible, es particularmente útil en transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrestres transmisoras y receptoras pueden ser 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 (un transpondedor completo), pues cada bit de información como los que se transmiten en modalidad TDMA se transforman en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

En la figura se ilustra una red de seis estaciones terrenas que operan con la técnica de acceso CDMA. cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, solo la destinataria de cierta información determinada conoce el código con el que se transmitió y es de reconstruir el mensaje original, aunque llegue superpuesto con todos los demás mensajes que se transmitieron simultáneamente, pues estos últimos solo lo detectan como "ruido" tolerable. En virtud de que el ancho de banda que utiliza este sistema de CDMA es muy amplio, por la expansión del espectro en frecuencia de la señal al codificar cada bit de información en un nuevo tren de bits, también se le denomina acceso múltiple con espectro expandido o SSMA.

## Capitulo 5.-Sistema de telecomunicaciones por satélites de gran altura geoestacionarios (sincronicos).

### 5.1.-Introducción.

Satélites de gran altura, el satélite de comunicaciones.

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 20,000 Km.

Como un caso particular tomaremos el proyecto "Syncom" por ser este sistema un caso típico, además de pertenecer a los satélites de gran altura (36,000 Km. aproximadamente). Se le llamo "Syncom" porque tiene una velocidad angular igual a la de rotación 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.
- b) El satélite es visible desde casi la mitad de la superficie terrestre.

Así como por ejemplo, el "Syncom II" que estuvo colocado a 22 grados de la longitud Oeste, pudo "verse" desde un gran número de países correspondientes a los continentes de América del Norte, América Central, Europa y África.

El experimento Syncom colocó un satélite aproximadamente a 36,000 Km. arriba del ecuador de la tierra y apuntó la dirección de avance del satélite a lo largo de una línea idéntica a la de 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.

### 5.2.-Periodo orbital

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

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

donde :

$P_o$ =Período orbital (seg)

$R$ =Radio de la tierra (m)

$h$ =Altura del satélite (m)

$\mu$ =Constante de Kepler: el valor de la constante de Kepler es  $(3.99 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{seg}^2)$

Ecuación derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional. Para un período orbital aproximadamente de 35,890 Km, tomando automáticamente la condición estacionaria, para un observador desde la tierra. El período relativo se determina por la relación siguiente:

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

Donde  $P$  está definido como período relativo. Se observa en esta ecuación que el período relativo de un satélite de período orbital de 24 horas es infinito.

### 5.3.-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 35,890 Km.
- 4.-El satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la tierra.

Al cumplir con estas condiciones se logra un período 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. 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 motores de maniobra y los motores de orientación son los alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos, el más utilizado es la Hidrazina Monopropelente aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes, (con dos propelentes distintos: un combustible y un oxidante.) de hecho, es este combustible el que determina la vida útil del satélite el cual en promedio es de 10 a 14 años.

#### 5.4.-Area de cobertura

Son tres los satélites requeridos para establecer un sistema de comunicaciones 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, sobre el Océano Pacífico y sobre el Océano Indico.

El mayor problema de un sistema de comunicaciones que opera con satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de la señal, alrededor de 0.26 segundos, para una comunicación de un solo salto, estación terrena-satélite-estación terrena.

#### 5.5.-Perdidas de transmisión y asignación 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 geoestacionarios, por la distancia que conservan respecto a la tierra (35,890 Km.), requieren de dispositivos adicionales que permiten compensar las perdidas 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 perdidas en el espacio libre.

$$P_r = P_t G_t G_r (\lambda / 4\pi d)^2$$

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 satélite y estación terrena

y

$$(\lambda/4\pi d)^2$$

determina las perdidas 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 perdidas 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 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 y considerando que el ruido es un coeficiente que depende de la elevación sobre un plano horizontal, acordé 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 de comunicación por satélite las frecuencias de 5,925-6,425 MHz. para la transmisión de tierra a satélite y de 3,700-4,200 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 manejan 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 más utilizadas son las siguientes:

	BANDA "C" MHz.	BANDA "Ku" MHz.	BANDA "Ka" MHz.
ascendente (up-link)	5,925 a 6,425	14,000 a 14,500	27,500 a 31,000
descendente (down-link)	3,700 a 4,200	11,700 a 12,200	17,700 a 21,200

## 5.6.-Conceptos generales del sistema

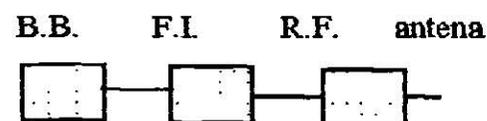
El sistema en si mismo es un sistema complejo que debe crear su propia potencia y fijarse o ajustarse por sí mismo cuando las fuerzas gravitacionales de la luna, la tierra y el sol cambian. Los satélites modernos pesan entre 1800 y 4000 libras. contienen una serie de receptores de radio/televisión los cuales recogen las transmisiones enviadas desde la tierra (señales ascendentes o downlink), una serie de transmisores los que amplifican la potencia de las señales Downlink y una serie de complejas antenas transmisoras y receptoras. Todo esto va colocado en una forma rectangular de aproximadamente 2 metros por lado. A bordo hay también paneles de celdas solares las que deben estar dirigidas hacia el sol para recibir los rayos solares los que sería convertidos a potencia eléctrica para operar el equipo electrónico que se encuentra a bordo, además, baterías para almacenar dicha potencia para los periodos 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) que son construidos en la superficie del satélite, 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 esta 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 limites establecidos, el controlador transmite ordenes desde la tierra al satélite para hacer los limites establecidos, el controlador transmite ordenes desde la tierra al satélite para hacer los ajustes correspondientes en la operación del satélite.

## Capitulo 6.-El enlace: TIERRA-SATELITE-TIERRA

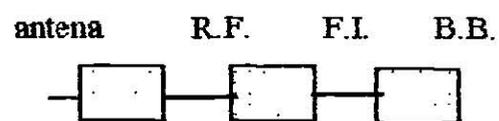
### 6.1.-Circuito hipotético de referencia.

Para establecer un sistema de comunicaciones vía satélite, se requiere contar con una 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.



modulador U/L HPA

Estación terrena transmisora



LNA D/C

Estación terrena receptora

**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 de 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 de 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.

#### **SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES**

- \*Antena lado de recepción.**
- \*Amplificador 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 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 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 de 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 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 a la salida del demodulador es la información en la forma de Banda Base.

## Capitulo 7.-Acceso múltiple

### 7.1.-Definición y clasificación.

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.

Los tres tipos más 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 su propia y única banda de frecuencias. Esta es la forma de acceso múltiple más 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 está transmitiendo, cada ocupante tiene el uso exclusivo de una o más 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 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 hacer 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.

### 7.2.-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.

## Capitulo 8.-Comunicación vía satélite.

### 8.1-Recepcion de señales de televisión

Actualmente recibimos señales de televisión en dos formas diferentes:

a) Televisión terrestre local en las bandas de frecuencias muy altas (VHF: canales 2 al 6 y 8 al 13) y frecuencias ultra altas (UHF: canales 14 al 83) con transmisores colocados en partes altas de una región con areas de cobertura correspondientes a una zona metropolitana. Las señales se producen en centros de programación enviándose a los transmisores por medio de microondas.

b) Televisión vía satélite de comunicación domésticos colocados en órbitas fijas (geoestacionarias) en una franja de 70° a 140° longitud oeste a 35, 880 Kms. del Ecuador (latitud 0°) con areas de cobertura abarcando un país se procesa en centros de programación enviándose por microondas a los satélites geosincronicos.

**ENLACE ASCENDENTE:** Los satélites localizados en las órbitas de Clarke (35,880) se excitan desde la tierra (trayectoria ascendente) por transmisores en el nivel de kilowatts de potencia mas antenas con ganancias del orden de 50 a 60 db en la banda de 5.9 a 6.4 GHz (perdidas de transmisión:199 db) con señales de vídeo y audio moduladas en frecuencia banda ancha (36 MHz por canal).

Su característica importante es el factor de mérito del satélite: la relación de ganancia a la temperatura equivalente de ruido del satélite.

El ancho de banda total de 500 MHz se colocan 12 canales polarizados en cuadratura con los anteriores (12 canales impares con polarización vertical, otros 12 canales con polarización horizontal). También se usan otros rangos de frecuencia además del sistema de 4/6 Ghz (7/8 GHz, 12/14 GHz, 20/30 GHz). El último rango permite un mayor ancho de banda (1500 a 2000 MHz).

**ENLACE DESCENDENTE:** El satélite geostacionario recibe la señal en el rango de 6 Ghz, la amplifica, cambia de frecuencia (en el rango de 4 Ghz, para que no sea interferido por la señal transmitida mas potente) y la retransmite hacia la tierra utilizando el equipo denominado trans-receptor es del orden de 5 Watts (el amplificador de potencia debe ser muy confiable, pequeño, ligero, eficiente y con un ancho de banda grande) más la ganancia de la antena que produce contornos de niveles de potencia constante del orden de 40 dbw y menores, extendiéndose en el area de un país y desbordandose a otros países (foot print).

Al descender viaja distancias del orden de 38,000 Kms. con perdidas de transmisión de cerca de 196 db. El nivel de potencia de la señal recibida es tan pequeño (-160 dbw y menores) que no existe un receptor tan sensible que la capte, además el nivel de la potencia del ruido es mayor (del orden de -133 dbw) por lo que sería cubierta por el ruido sin poderse rescatar. Por consiguiente el equipo receptor debe ser muy especial. Lo describiremos a continuación.

## 8.2.-Sistemas de recepción de tv vía satélite

Un sistema de recepción de señales de televisión vía satélite esencialmente requiere de las siguientes tres partes.

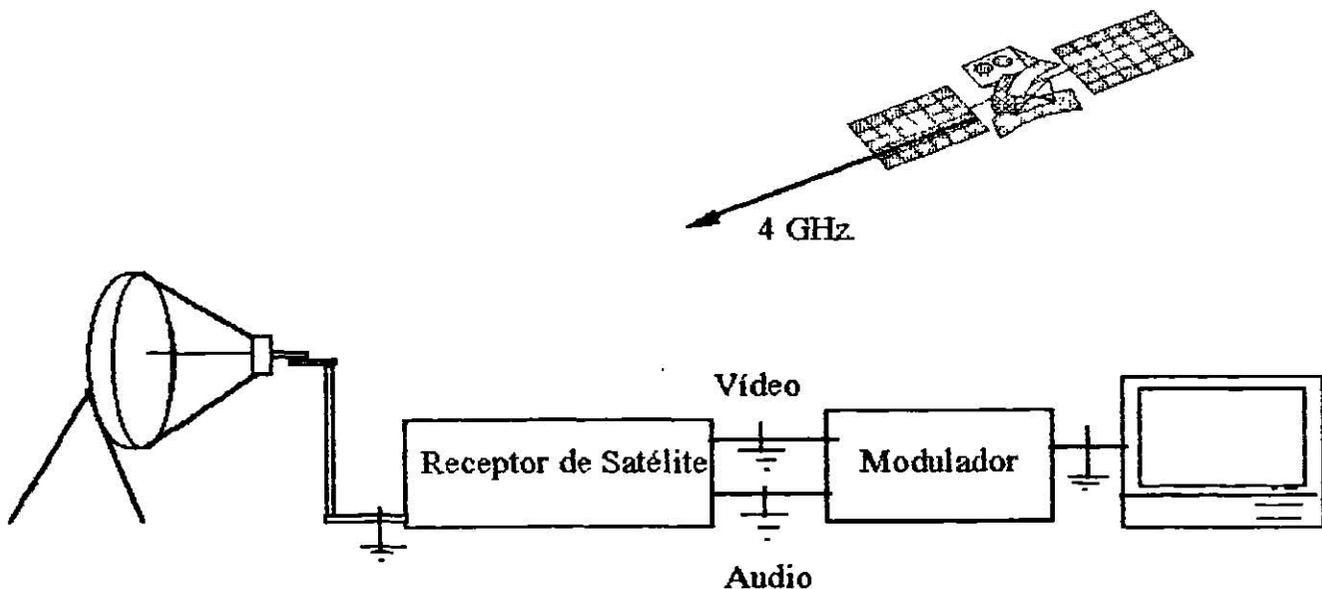
1) Una antena o alimentador con un disco reflector parabólico o esférico apuntando hacia la órbita de Clarke no tiene que moverse al localizar un satélite; con el area que presenta (afectada por un factor de eficiencia  $0.4 < \eta < 0.7$ ) conecta la señal que proviene de la fuente distante y la concentrara en un punto focal. Con esta concentración de energía electromagnética (ganancia de la antena) se eleva el nivel de potencia de la señal a un nivel superior al del ruido blanco térmico del mismo disco (20 a 50 Kelvin) y del preamplificador (80 a 150 Kelvin) por lo menos en 8 db.

La ganancia de la antena varía con el radio del reflector. por ejemplo para la frecuencia de operación (4 GHz) y los diámetros indicados se especifica la ganancia correspondiente: 2.44 m, 37.5 dbi; 3.5 m, 39.5 dbi; 3.66 m, 41 dbi; 4.6 m, 43 dbi; 6.1 m, 45.6 dbi; cuyos anchos de haz de 3 db son menores de 2°.

Antenas: diámetro, ganancia.

Diámetro m	Ganancia dbi, 4 GHz	Ancho del haz
2.44	37.5	2.15°
3.6	41.7	1.5°
4.6	43.0	1.14°
5.0	44.5	1.10°
5.6	45.5	0.96°
6.1	45.6	0.86°

2) Un amplificador de ruido mínimo, ARM (Low Noise Amplifier) alimentado por el alimentador tipo corneta (horn) o disco colocado en el punto focal del reflector, el cual es un preamplificador que eleva la señal a un nivel de potencia que puede excitar el receptor de señal del satélite. El ARM debe ser de ganancia alta (50 a 60 db) e introducir un ruido muy pequeño. Entonces el factor de ruido es mínimo { (1.1 db (80 Kelvin), 1.3 db (100 Kelvin), 1.5 db (120 Kelvin), 1.8 db (150 Kelvin) } para que cumpla con los requisitos de calidad de la señal.



Estación terrena de TV vía satélite

3)Un receptor de señal del satélite con el cual se selecciona el canal deseado translada en frecuencia, amplifica, filtra y demodula la señal de FM para producir la banda base: señales de vídeo de 30 Hz a 4.2 Mhz y señales de audio de 50 Hz a al5KHz.

El receptor de satélite recibe señales con niveles que pueden fluctuar de -25 a -65 dbm a frecuencias de 3.7 a 4.2 GHz.Entrega la señal en banda base con un nivel de cerca de 10 dbm.Su factor de ruido varía de 11 a 13 db (3361 a 5496 Kelvin)

Existen dos tipos de receptores de satélite, el tipo Howar (Diseñado por el Dr. Taylor Howard) y el tipo Coleman (diseñado por el Dr. Robert Coleman).Al primero lo caracterizan dos pasos de conversación de frecuencia: la primera frecuencia intermedia de 500 a 1200 MHz y la segunda frecuencia intermedia de 70 Mhz; mientras que el segundo tiene un solo paso de conservación de frecuencia, de 3.7 -4.2 GHz cambia a 70 MHz.

En forma más detallada las partes necesarias, explicando la función de algunas de ellas, son:

1.Disco reflector parabolico o esférico.

2.Alimentador tipo corneta o disco con ranuras circulares.

3.Guía de onda rectangular:recibe el modo dominante  $ET_{10}$  con polarización lineal horizontal o vertical.

4.Circulador o aislador: evita que la energía de microondas de los circuitos receptores se fugen por el ARM y pasen a la antena.Otra función es como acoplador de impedancias de la guía de onda ( $Z_{ET}$  de 469 a 511 ohms) al ARM presentándole una impedancia estable de 50 ohms.

5.Amplificador de ruido mínimo (ARM).

6.Línea coaxial de perdidas mínimas que llevan la señal a 4 GHz del ARM al receptor de satelite.Tiene una impedancia característica de 50 ohms y perdidas que varían 2 db hasta 6 db en 30 m de longitud del cable.

7.Receptor de señal de satélite con control remoto.

8.Modulador de color de RF, el cual cambia la señal de banda base al formato normal de color del canal 3 ó 4 (puede ser a otros canales).

9.Cables coaxiales normalmente de 75 ohms.

10.Aparato receptor de TV.

11.Rotor eléctrico para girar la guía de onda y seleccionar entre polarización horizontal y vertical las que contienen 12 canales de TV diferentes.

## Capítulo 9.-Nuevas generaciones y comunicación entre satélites.

### 9.1.-Introducción

La transmisión de información por satélite ya es algo común alrededor del mundo, no solo en lo que se refiere a enlaces internacionales sino también a gran parte del tráfico nacional. Cada vez son más los países que ven a un sistema de satélites propios como algo deseable, por la enorme flexibilidad que ofrece para prestar una variedad de servicios con cobertura total inmediata. Al mismo tiempo, los u organizaciones internacionales que ya poseen un sistema de satélites ven su tráfico y demanda de servicios aumentar año tras año. Esto exige el lanzamiento de cada vez más satélites, pero la órbita geoestacionaria tiene una capacidad limitada; actualmente, la separación entre satélites adyacentes está restringida a un mínimo de dos grados de arco. En consecuencia, cada posición orbital debe aprovecharse al máximo, colocando en ella satélites de mayor capacidad y variedad de usos; estas consideraciones han dado la pauta para el desarrollo de sistemas nuevos, que utilizan el espectro de frecuencias asignado y la potencia eléctrica disponible con la mayor eficiencia posible, y que tenga la facilidad de intercambiar información entre ellos para distribuirla más eficientemente.

### 9.2.-El satélite OLYMPUS

Olympus es el satélite de mayor potencia y versatilidad que se ha desarrollado y construido recientemente; su diseño es tal que puede estar constituido simultáneamente por módulos para servicio fijo, móvil o de radiodifusión directa, o bien, en forma exclusiva para cualquiera de estos tres servicios con eficiencia máxima. British Aerospace es la compañía líder que ha diseñado y que construye esta nueva clase de satélites, en asociación con las compañías Aeritalia y Selenia-Spazio de Italia, Fokker de los países bajos y Spar de Canadá.

El primer Olympus fue financiado por la Argentina Espacial Europea y su lanzamiento se realizó con éxito en junio de 1986. El satélite tiene un peso de 2532 kg, su arreglo solar de 25 metros de extensión genera 3.6 KW de potencia eléctrica y su vida será de cinco años. Los satélites Olympus que se construyan posteriormente tendrán una vida de diez años, podrían pesar hasta 3800 Kg, generar 7 KW de potencia eléctrica y tener antenas con diámetros hasta de 9 metros. La Agencia Espacial europea probará varias tecnologías avanzadas con este primer satélite, que está colocado en 19° C O; estas quedan agrupadas en las cuatro cargas siguientes:

- Dos canales de 230 W para radiodifusión directa de alta potencia a 18/12 Ghz con dos antenas de haces dirigibles. Un canal estará asignado a Italia y el otro será gobernable sobre Europa; ambos canales transmitirán a 12 Ghz con anchos de banda de 27 MHz.

- Un paquete de servicios especializados de cuatro canales a 14/12 Ghz, con cinco haces dirigibles en grupo, para transmitir videoconferencias, datos de alta velocidad a estaciones receptoras pequeñas. El servicio se efectuará mediante una matriz de conmutación a bordo del satélite y acceso múltiple por división en el tiempo (SS/TDMA); cada canal tendrá un ancho de banda de 18 MHz.

- Dos haces puntuales dirigibles cuyo ancho de haz es de  $0.6^\circ$ ; operara a 30/20 Ghz para pruebas de comunicación entre ciudades, transmitiendo datos de baja velocidad y señales de videofono.

- Un paquete de radiofaros a 12/20/30 Ghz para experimentos de propagación; el radiofaro de 12 Ghz se experimentara para el apuntamiento de estaciones terrenas, y los de 20 y 30 Ghz para conocer los efectos del clima sobre la propagación de las señales.

### 9.3.-El satélite acts

El satélite de tecnología avanzada ACTS, al igual que el satélite Olympus, servirán para probar varias tecnologías de vanguardia; la compañía GE Astro-Space de EE.UU. y otras empresas lo están desarrollando para la NASA, pero aún no hay una fecha precisa para su lanzamiento.El ACTS opera en la banda Ka, efectuara procesamiento de señales y conmutación a bordo, y sus antenas producirán haces que cubrirán simultáneamente areas distintas a la misma frecuencia (SS/TDMA y reutilización de frecuencias); habra haces fijos y dirigibles, que solo existiran durante el tiempo que se les requiera.Así mismo, el satélite contara con un láser de comunicaciones para pruebas de transmisión hacia tierra y hacia otros satélites.La duración de la misión experimental esta planeada para que sea de cuatro años y durante ese tiempo el sistema estará disponible para empresas, universidades y oficinas de gobierno a fin de que realicen las pruebas que considere convenientes.

### 9.4.-Comunicacion entre satélites.

La posibilidad de que los satélites se comuniquen entre si directamente sin necesidad de emplear estaciones terrenas relevadoras para enviar cierto tipo de información de un lugar a otro ofrecería muchas ventajas; entre ellas, la energía eléctrica disponible se usaría con mayor eficiencia y la calidad de los enlaces mejoraria.Los beneficios serian aun mayores si fuese posible que satélites de servicio móvil y de radiodifusión directa pudiesen comunicarse entre si.De esta forma, por ejemplo, un aficionado al acampar podría ver en su remolque en Escocia un programa deportivo transmitido por satélite estadounidense, o una persona en una plataforma marítima de explotación de petróleo podría tener una videoconferencia con alguien que estudia al otro lado de la Tierra.

Los enlaces intersatelitales o ISL requieren hacerse con haces muy angostos, y como las dimensiones de las antenas de los satélites están limitadas por razones de diseño y colocación en órbita es preciso utilizar frecuencias muy altas; las dimensiones eléctricas de la antena aumentan, y por lo tanto su ganancia también, mientras que el ancho del haz de radiación disminuye.Las frecuencias de microondas asignadas para estos enlaces intersatelitales están en la banda Ka (20/30 Ghz y el EHF 60 Ghz); sin embargo, el uso de láseres permitirán emplear la energía eléctrica con mayor eficiencia que en los enlaces intersatelitales de microondas y producir haces aún mas angostos.Por esta razón, en la actualidad se están desarrollando algunos proyectos para probar la eficiencia de los láseres enfocando su energia hacia un satélite objetivo.En Gran Bretaña, La compañía Marconi Space Systems esta diseñando un enlace intersatelital con láser para el Royal Aircraft Establishment, que probablemente se pruebe por primera vez en el satélite experimental PSDE/Sat-2 de la Agencia Espacial Europea.

La introducción de las comunicaciones intersatelitales por láser no es tan sencilla como parece, pues no basta con utilizar frecuencias del orden de 100 000 Ghz, sino todas las componentes del sistema exigen una tecnología diferente a la de los ISL de microondas. Por ejemplo, se necesita una fuente laser en lugar de osciladores eléctricos y amplificadores, y lentes transmisión en vez de antenas convencionales de radiofrecuencia. De cualquier forma, los estudios correspondientes están avanzando, y quizá en el año 2000 sea común pensar en sistemas de agrupación de satélites como el propuesto por British Aerospace. Este concepto propone la intercomunicación por láser entre los satélites de servicio fijo, móvil y de radiodifusión directa; las antenas terrestres de 5m de diámetro se reducirían a 1m o menos y los costos también bajarían significativamente. Así mismo, la comunicación entre grupos de satélites o clusters podría llevarse a cabo, consecuencias económicas, sociales y tecnológicas que solamente el tiempo podría mostrar a los usuarios de las generaciones futuras de satélites. Adicionalmente a las aplicaciones anteriores, los enlaces intersatelitales podrían utilizarse para la transmisión de la información de satélites de órbita baja (p. ej., de percepción remota) hacia la Tierra, vía satélite geoestacionarios de comunicaciones; es decir que, aun cuando el satélite de órbita baja pueda ser visto en un momento determinado por una estación terrena receptora, la información captada por él si se pueda transmitir hacia la Tierra a través de un satélite geoestacionario que la estación si pueda ver. En conclusión, los enlaces por láser entre satélites de órbitas diferentes también pueden tener un gran potencial en el futuro.

#### Capitulo 10: Características de la Banda C.

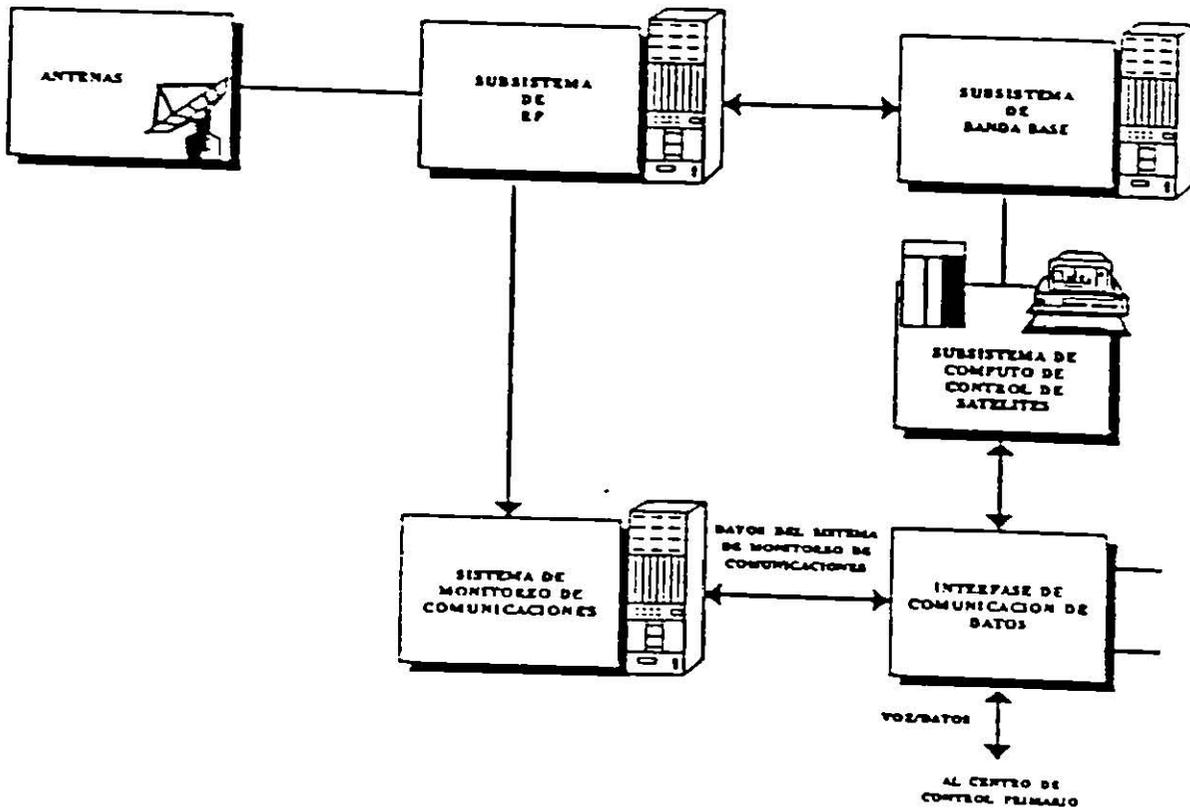
El rango de frecuencias en Banda C es de 5.925 a 6.425 GHz para enlaces ascendentes y de 3.700 a 4.200 GHz en el enlace descendente. Está compuesta por el mismo número de transpondedores que tenían en los satélites Morelos: 12 canales ANGOSTOS de 36 MHz y 6 canales AMPLIOS de 72 Mhz. Todos los canales ANGOSTOS han sido diseñados para recibir de la región R1 con polarización horizontal y transmitir hacia la región R1 con polarización vertical; además esta banda cuenta con selección de haces para la región R2 y R3.

La selección del haz ascendente a través de los canales 5N al 12N puede ser individual e independiente conmutado para recibir de R1, R2 ó R3; los canales 5N, 7N, 9N y 11N pueden ser individual e independientemente conmutados para transmitir hacia R1 ó R3, mientras que los canales 6N, 8N, 10N y 12N pueden ser individual e independiente conmutados para transmitir en R1 ó R2, adicionalmente los transpondedores 11N y 12N pueden recibir de las regiones R2+R3.

Los canales AMPLIOS están diseñados para recibir únicamente desde R1 con polarización vertical y transmitir únicamente hacia R1 con polarización Horizontal.

En el solidaridad 2 los transponders 2N, 4N, 6N, 8N, 10N y 12N cubrirán la llamada región 2 en forma permanente. Los transpondedores restantes de banda C y Ku, tienen el mismo esquema de comunicación que el Solidaridad 1.

# CENTRO DE CONTROL ALTERNO HERMOSILLO, SONORA



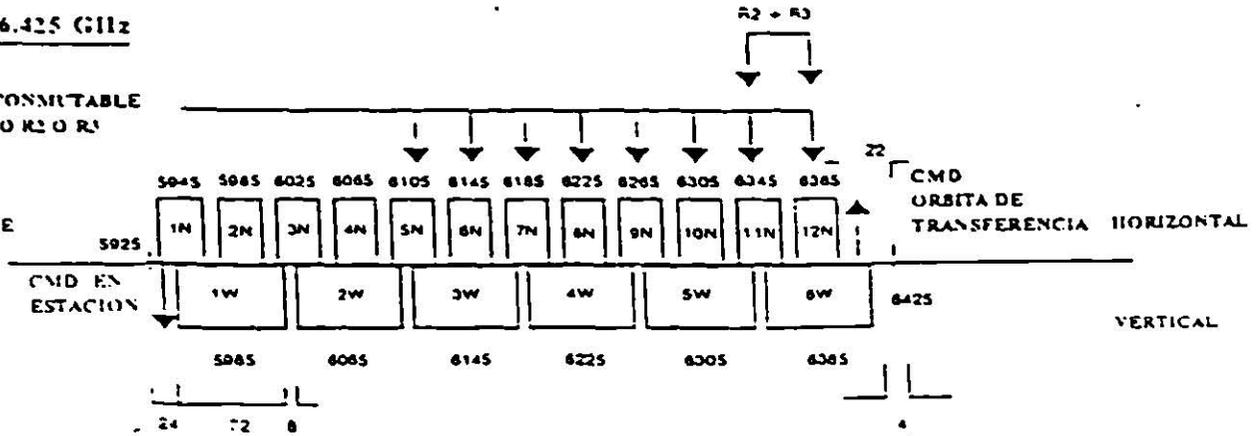
# PLAN DE FRECUENCIA BANDA C

## SOLIDARIDAD 1 Y 2

SUBIDA 5.925 A 6.425 GHz

INDIVIDUALMENTE CONMUTABLE  
AL RECEPTOR DE R1 O R2 O R3

ENLACE ASCENDENTE  
BANDA C



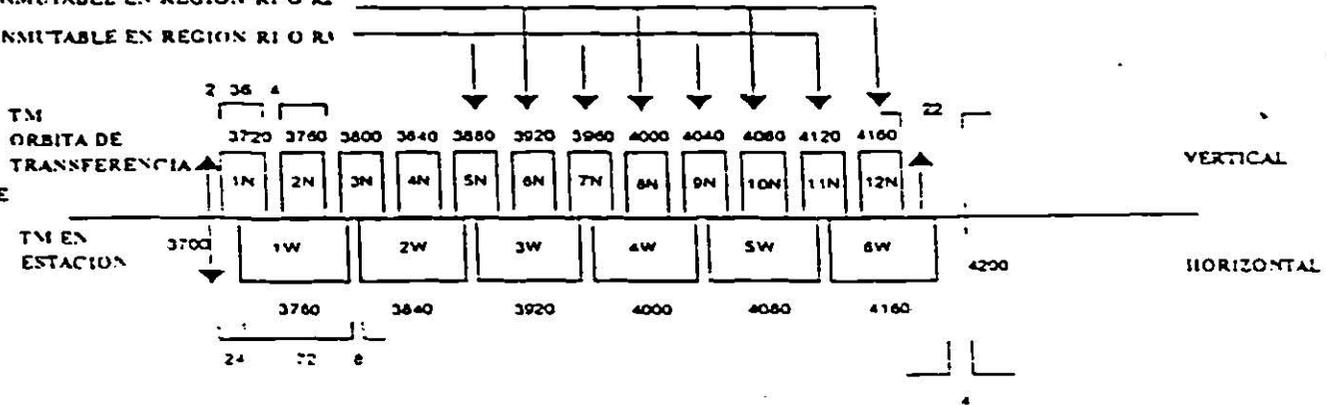
## SOLIDARIDAD 1

BAJADA 3.7 A 4.2 GHz

INDIVIDUALMENTE CONMUTABLE EN REGION R1 O R2

INDIVIDUALMENTE CONMUTABLE EN REGION R1 O R3

ENLACE DESCENDENTE  
BANDA C



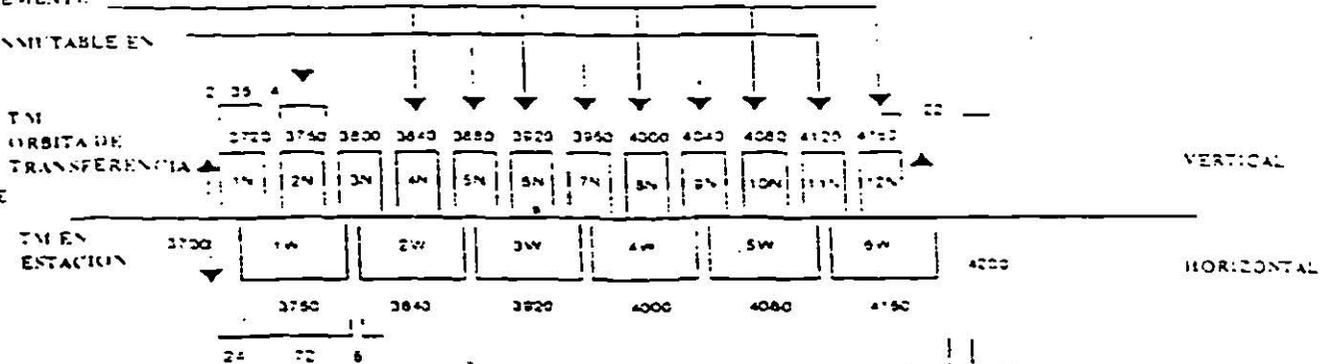
## SOLIDARIDAD 2

BAJADA 3.7 A 4.2 GHz

REGION 2 PERMANENTEMENTE

INDIVIDUALMENTE CONMUTABLE EN  
REGION R1 O R3

ENLACE DESCENDENTE  
BANDA C



## **Amplificador de Potencia de Estado Sólido (SSPA)**

Este amplificador tiene la capacidad de proporcionar hasta 16 Watts de potencia de salida de RF, la potencia de salida puede ser seleccionada a menor nivel sin afectar sus parámetros de funcionamiento.

Además los SSPA's proporcionan una mejor respuesta lineal, y una mayor eficiencia en RF, disminuyendo el consumo de potencia y la disipación térmica, y tiene una confiabilidad propicia para satisfacer los 14 años de vida especificados.

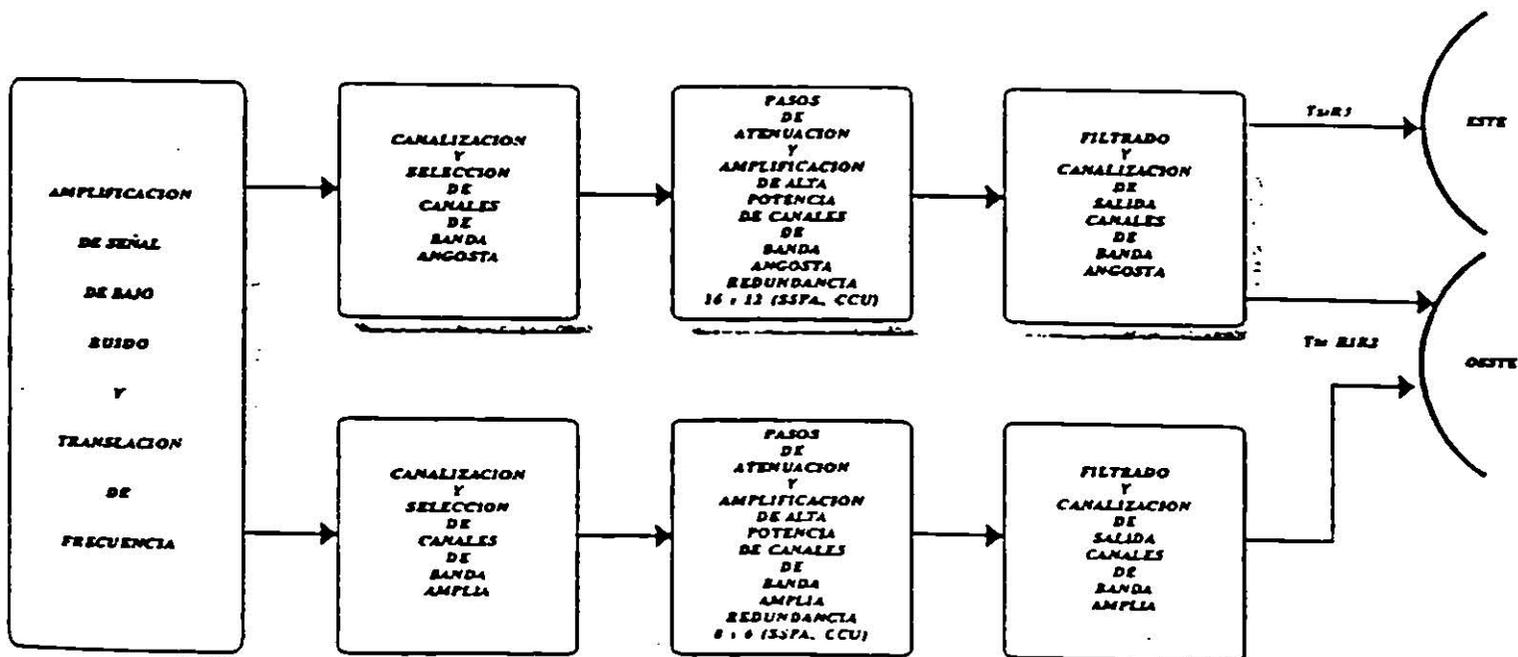
Existen 4 amplificadores (SSPA's) de respaldo en banda angosta y 2 en banda amplia.

Especificaciones de los transpondedores de Banda C.

En las tablas siguientes se presentan valores de operación de los transpondedores de la Banda C, tales como:

- Puntos óptimos de operación por Transpondedor.
- Valores de Back-Off's de entrada (BOI)/ salida (BOO) para una, dos portadoras y multiportadoras de los transpondedores Angostos y Amplios.
- Pasos de Ganancia del Atenuador (ATP).

**DIAGRAMA A BLOQUES DEL REPETIDOR DE BANDA C**



PUNTO OPTIMO DE OPERACION DE LOS TRANSPONEDORES AMPLIOS EN BANDA C

TRANSP.	SERVICIO	BOI (db)	BOO(db)	ATP (db)
1W	VOZ Y DATOS	7.5	5.0	10
2W	TV Txp completo VOZ Y DATOS	3.8	2.3	10
3W	TV DIGITAL TELEFONIA	4.2	2.5	10
4W	TDMA/DAMA 60 MBPS	1.0	0.3	10
5W	2TV Txp completo	3.0	2.0	10
6W	TV Tpx completo VOZ Y DATOS	3.0	2.0	10

PUNTO OPTIMO DE OPERACION DE LOS TRANSPONEDORES ANGOSTOS EN BANDA C

TRANSP.	SERVICIO	BOI (db)	BOO (db)	ATP (db)
1N	VOZ Y DATOS	7.5	5.0	10
2N	TELEAUD.	9.0	6.0	10
3N	VIDEO ANALOGICO	1.0	0.3	10
4N	TV ANALÓGICA	1.0	0.3	10
5N	TV ANALÓGICA	1.0	0.3	10
6N	TV DIGITAL	1.0	0.3	10
7N	TV ANALÓGICA	1.0	0.3	10
8N	TV DIGITAL	1.0	0.3	10
9-12N	VOZ Y DATOS	7.5	5.0	10

CARACTERISTICAS DE INTERMODULACION Y BACK-OFF'S DE ENTRADA/SALIDA PARA MULTIPORTADORAS DE BANDA C (SSPA'S) TRANSPONEDORES ANGOSTOS

MIPBO (db)	MOPBO (db)	(C/I)cc (db)	DENSIDAD DE INTERMODULACION (I <sub>o</sub> ) TXP'S ANGOSTOS (db-HZ)
10.0	6.8	23.0	-103.3
9.0	6.0	21.2	-100.7
8.5	5.5	20.4	-99.5
8.0	5.2	19.5	-98.2
7.5	5.0	18.8	-97.2
7.0	4.5	17.9	-95.9
6.0	4.0	16.6	-94.0
5.0	3.2	15.6	-92.3
4.0	2.7	14.8	-91.0
3.0	2.2	13.7	-89.4

CARACTERISTICAS DE INTERMODULACION Y BACK-OFF'S DE ENTRADA/SALIDA PARA MULTIPORTADORAS EN BANDA C (SSPA'S) TRANSPONEDORES AMPLIOS

MIPBO (db)	MOPBO (db)	(C/I)cc (db)	DENSIDAD DE INTERMODULACION (I <sub>o</sub> ) TXP's AMPLIOS (db-Hz)
10.0	6.8	23.0	-106.8
9.0	6.0	21.2	-104.2
8.5	5.5	20.4	-103.3
8.0	5.2	19.5	-101.7
7.5	5.0	18.8	-100.7
7.0	4.5	17.9	-99.4
6.0	4.0	16.6	-97.5
5.0	3.2	15.6	-95.8
4.0	2.7	14.8	-94.5
3.0	2.2	13.7	-92.2

## Capitulo 11:Caracteristicas de la Banda Ku.

El rango de frecuencia en Banda Ku es de 14.000 a 14.500 GHz para el enlace ascendente y de 11.700 a 12.200 GHz en el enlace descendente.Ha sido completamente rediseñada, teniendo un total de 16 transpondedores de 54MHz, ocho de los cuales reciben en polarización vertical y los ocho restantes reciben en polarización horizontal, y cuenta con 4 amplificadores TWT de respaldo.

·Todos los transpondedores tienen la capacidad de recibir y transmitir en la región R4 (ver regiones de cobertura).

·Los transpondedores 5K, 6K y 9K cuentan con linealizador que mejora el desempeño de los canales con multiportadoras.

En relación a las dos areas de cobertura de la banda Ku, R4 y R5, hay cuatro posibles vías de transmisión por la cual se puede configurar un transpondedor de Banda Ku como sigue:

VÍA A:	R4 Ascendente	R4 Descendente
VÍA B:	R4 Ascendente	R5 Descendente
VÍA C:	R5 Ascendente	R4 Descendente
VÍA D	R5 Ascendente	R5 Descendente

El presente diseño permite que el transpondedor 6 sea operado en las vías a,b,c y d y el transpondedor 8 solo con las vías a y c.

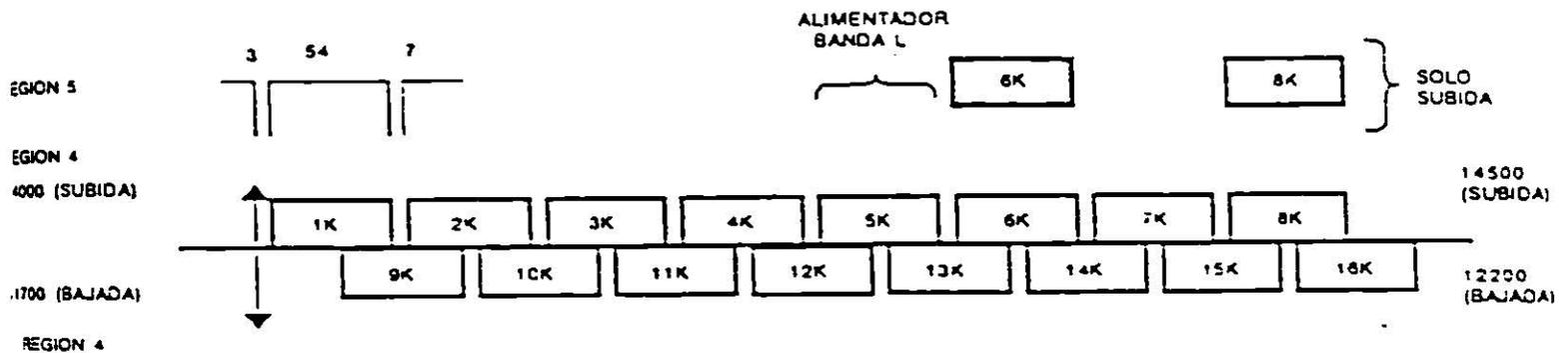
### Transmisor de Radiofaro (BEACON)

La banda Ku cuenta con transmisor de radiofaro con redundancia 2:1, con el se adquiere el control de potencia del enlace ascendente, proporcionando una portadora estable, para radiar a las estaciones terrenas permitiendo modificar la potencia ascendente y compensar las condiciones atmosféricas.el sistema de redundancia esta provisto de dos transmisores, cada uno seleccionado por comando terrestre y suministra Telemetría para el estado Encendido/Apagado.

En su funcionamiento, el punto clave es la estabilidad de frecuencia debido a la temperatura.La estabilidad de la frecuencia debido a la temperatura.la estabilidad de la frecuencia de  $\leq 0.3$  ppm., es asegurada a través del uso de un oscilador de temperatura controlada.

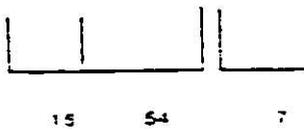
# SOLIDARIDAD PLAN DE FRECUENCIA BANDA Ku

ENLACES ASCENDENTES VERTICAL Y DESCENDENTES HORIZONTAL



BEACON DE BANDA Ku

(11701)



ENLACES ASCENDENTES HORIZONTAL, DESCENDENTES VERTICAL

Canal No	Frecuencia Central Descendente MHz	Frecuencia Central Ascendente MHz
1	11730	14030
2	11791	14091
3	11852	14152
4	11913	14213
5	11974	14274
6	12035	14335
7	12096	14396
8	12157	14457
9	11743	14043
10	11804	14104
11	11865	14165
12	11926	14226
13	11987	14287
14	12048	14348
15	12109	14409
16	12170	14470

## Especificaciones de los transpondedores de la banda Ku

En las tablas siguientes se presentan valores de operación de los transpondedores de la banda Ku, tales como.

- Puntos óptimos de operación de los transpondedores con multiportadoras Digitales.

Características de intermodulación y valores de Back-Off's de entrada (BOI)/salida (BOO) para multiportadores de transpondedores Linealizados y no-linealizados.

- Tabla de redundancias para los amplificadores (TWTA's).

- Pasos de ganancia del atenuador (ATP).

**Punto Optimo de Operación de los Transpondedores en BANDA Ku  
con Multiportadoras Digitales**

<b>TRANSP.</b>	<b>POL.</b>	<b>BOI (dB)</b>	<b>BOO (dB)</b>	<b>ATP (dB)</b>
1K	V/H	8.5	4.0	20
2K	V/H	8.5	4.0	20
3K	V/H	8.5	4.0	20
4K	V/H	8.5	4.0	20
5K*	V/H	7.5	5.1	20
6K*	V/H	7.5	5.1	20
7K	V/H	8.5	4.0	20
8K	V/H	8.0	5.0	20
9K*	H/V	7.5	4.0	20
10K	H/V	8.5	4.0	20
11K	H/V	8.5	4.0	20
12K	H/V	8.5	4.0	20
13K	H/V	8.5	4.0	20
14K*	H/V	1.0	0.3	20
15K	H/V	8.5	4.0	20
16K	H/V	8.5	4.0	20

\* *Transpondedores linealizados*

◆ *Video digital comprimido (una sola portadora)*

*Características de Intermodulación y BACK - OFF's  
de Entrada/salida para Multiportadoras en BANDA Ku  
(Transpondedores No-LINEALIZADOS)*

<i>MIPBO (dB)</i>	<i>MOPBO (dB)</i>	<i>(C/I)<sub>cc</sub> (dB)</i>	<i>DENSIDAD DE INTERMODULACION (I<sub>o</sub>) (dB-Hz)</i>
10.0	4.8	15.7	-96.1
9.0	4.2	14.8	-94.6
8.5	4.0	14.5	-94.0
8.0	3.6	14.1	-93.3
7.5	3.3	13.6	-92.5
7.0	3.1	13.2	-91.9
6.0	2.6	12.4	-90.6
5.0	2.2	11.5	-89.3
4.0	1.8	10.7	-88.1
3.0	1.5	10.0	-87.1

CARACTERISTICAS DE INTERMODULACION Y MBACK-OFF'S DE ENTRADA/SALIDA PARA MULTIPORTADORAS EN BANDA Ku (TRANSPONEDORES LINEALIZADOS)

MIPBO (db)	MOPBO (db)	(C/I)cc (db)	DENSIDAD DE INTERMODULACION (Io)(db-Hz)
10.0	7.1	26.8	-109.5
9.0	6.3	23.6	-105.5
8.5	5.9	22.3	-103.8
8.0	5.5	21.3	-102.4
7.5	5.0	20.0	-100.7
7.0	4.8	19.0	-99.4
6.0	4.1	17.0	-96.7
5.0	3.5	15.3	-94.4
4.0	2.9	13.9	-92.4
3.0	2.4	12.6	-90.6

Capitulo 12:Caracteristicas de la banda L

El rango de frecuencias de la Banda L, asignada para los servicios móviles, es de 1525.0 a 1559.0 MHz para el segmento Espacio-Tierra y de 1626.5 a 1660.5 Mhz para Tierra-espacio.

El subsistema de comunicaciones en Banda L incorpora la tecnología más reciente en Banda Ku y L para maximizar su funcionamiento, eficiencia sobre todo la confiabilidad del sistema.El subsistema consiste en dos transpondedores separados, uno en Banda L/Ku y otro en banda L/Ku, compartiendo una antena común Transmisora/receptora en Banda L.

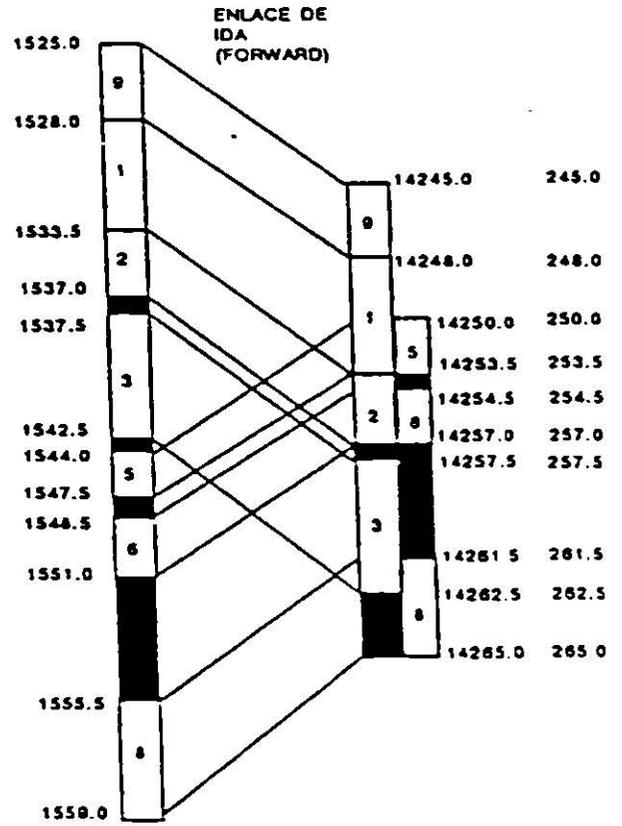
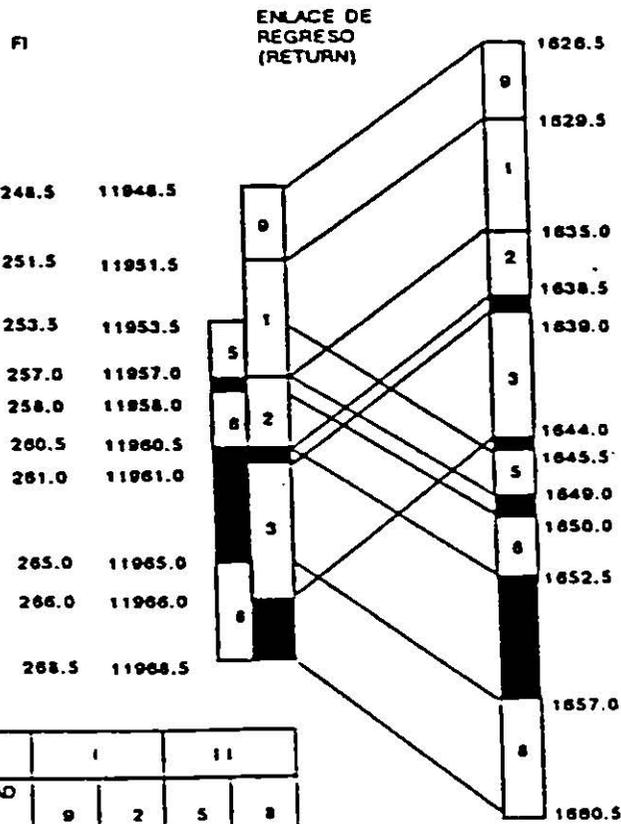
Funcionamiento:

En el enlace de ida (Forward), en banda Ku, se cruzan las comunicaciones provenientes de una estación terrestre con diversos usuarios; en el satélite, se efectúa la traslación Ku/FI a FI/L y las transmite en banda L a usuarios moviles en Tierra, mar y aire, por medio de un arreglo de 26 antenas dipolo tipo copa montado en la cara nadir del satélite. a través del enlace de retorno (Return), en banda L, el arreglo de antenas dipolo recibe las señales de los usuarios móviles, se efectúa la translación L/FI a FI/Ku, y las regresa en banda Ku a las estaciones terrestres.

La banda L para el servicio móvil, se divide en cuatro sub-bandas en el Solidaridad 1 y tres en el Solidaridad 2, independientemente controlables con un rango de ancho de banda de 2.5 a 8 Mhz.estas sub-bandas son contiguas a la Banda Ku dentro del canal 5, permitiendo el uso del ancho de banda remanente de un canal de 27 MHz de la Banda Ku.

Debido a las características de propagación de esta banda, únicamente se podrá operar en las areas en que se efectúe la coordinación de frecuencias.

# SOLIDARIDAD PLAN DE FRECUENCIA BANDA L



L.O.	I	II		
SOLIDARIDAD 1	9	2	5	8
SOLIDARIDAD 2	1	3	6	

FRECUENCIAS EN MHz

**POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA ACUMULADA Y G/T DE LA BANDA L**

BANDA L PIREA (dbW) EN EL SATELITE SATELITE SATELITE	ENLACE CON LAS E/T BASE PIRE (dbW) EN EL	BANDA L g/t (db/K) EN EL SATELITE	ENLACE CON LAS E/T BASE G/T (dbW/K) EN EL
45.5 (EOC Mar Patrimonial)	41.5 (BANDA Ku)	-1.1 (EOC Mar Patrimonial)	+2.5 (BANDA Ku)
46.6 (Territorio Continental)		-0.2 (Territorio Continental)	

**Explotación**

En la siguiente tabla se muestra la asignación y la utilización de los transpondedores, recomendados para los satélites Solidaridad, así como las facilidades de conectividad entre regiones.

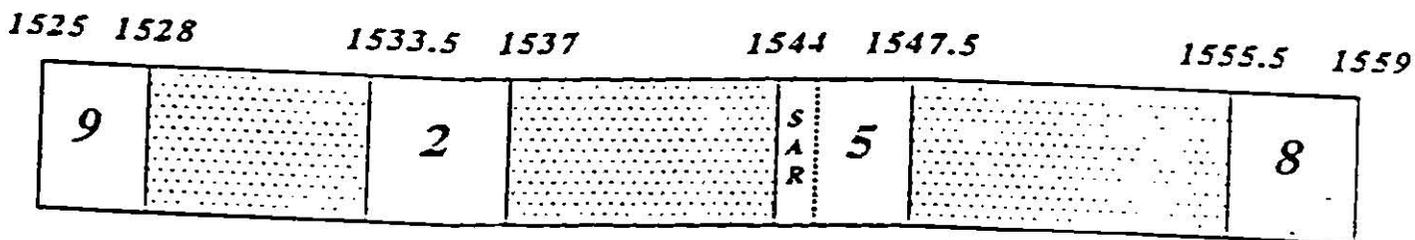
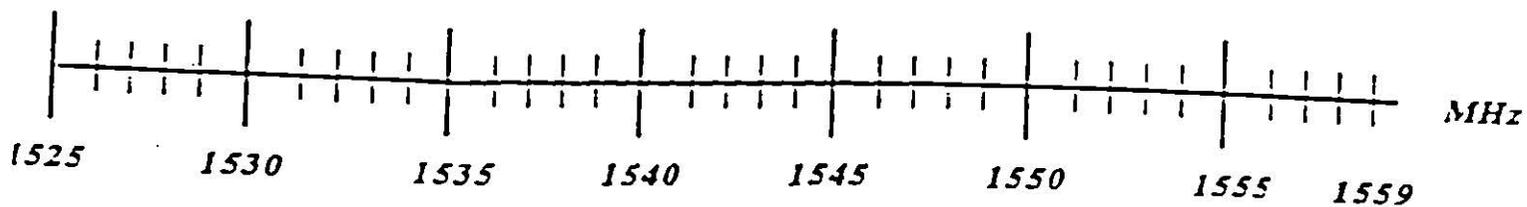
Los valores mostrados son validos para ambos satélites a menos que se indique lo contrario.

TXP's=transpondedores

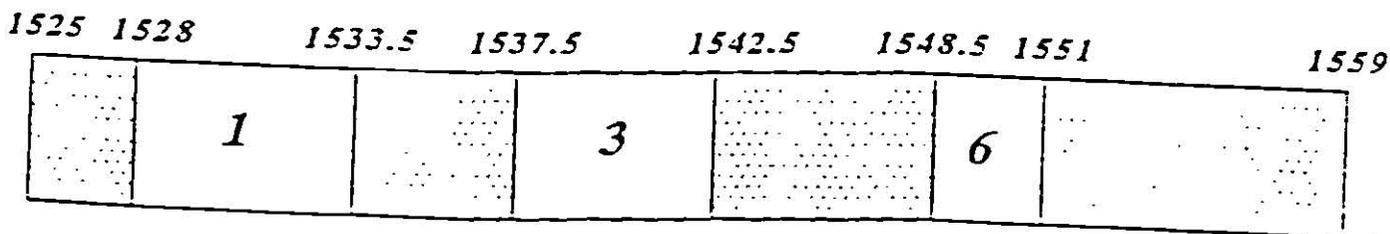
B=Ancho de banda.

Para el trafico de la banda-L se utiliza la parte baja del Transpondedor 5 de Banda Ku (5K) El transpondedor de Banda-L esta conformado por 4 sub-bandas para un total de 13.5 MHz para Solidaridad 1; y el transpondedor de Solidaridad 2 está conformado por 3 sub-bandas para un total de 13.0 MHz.

**SUB-BANDAS DE LA BANDA L**



**FILTROS DE SOLIDARIDAD 1 M**



**FILTROS DE SOLIDARIDAD 2 M**

SAR: SERVICIOS DE SEGURIDAD Y SOCORRO

**SATELITE SOLIDARIDAD CARACTERISTICAS DE LOS TRANSPONEDORES  
(CADA SATELITE)**

BANDA	N° DE TXP's	B (Mhz)	COBERTURA (REGION)	POLARIZACION		
				ENLACE ASCENDENTE	ENLACE DESCENDENTE	TXP
C	SOL-1 12	36	R1, R2, R3	HORIZONTAL	VARTICAL	TODOS
	6	72	R1	VERTICAL	HORIZONTAL	TODOS
	SOL-2 6	72	R1	V	H	TODOS
	6	36	R1 Y R3	H	V	TODOS
	6	36	R2	H	V	TODOS
Ku	16	54	R4, R5	VERTICAL HORIZONTAL	HORIZONTAL VERTICAL	1K A 8K 9K A 16K
L	1°	SOL-1 13.5	R6	VERTICAL (Ku)	CIRCULAR DERECHA (L)	5K
		SOL-2 13.0		CIRCULAR DERECHA (L)	HORIZONTAL (Ku)	5K

LOS VALORES MOSTRADOS SON VALIDOS PARA AMBOS SATELITES A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

