

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESINA COMUNICACION VIA SATELITE

JOSE LUIS CERVANTES BENAVIDES

CIUDAD UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 1998

T

TK5104

C4

1998

c.1

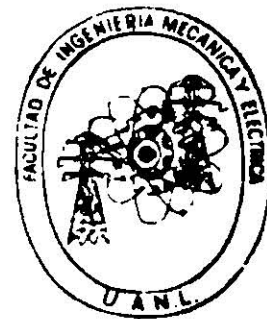
PK5104  
DA  
1998  
2.1



1080096923

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**



**TESINA: COMUNICACION VIA SATELITE**

**JOSE LUIS CERVANTES BENAVIDES**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**DICIEMBRE DE 1998**

T  
TK 5104  
C4  
1998



Sin duda haber terminado mi carrera es algo que tengo que agradecer a quien con su apoyo fue factor determinante para poder lograrlo.

**A Dios:** Que me presto la vida y la salud para poder llegar a realizar una carrera profesional y además puso los medios para lograr este objetivo.

**A mis Padres:** Que con su apoyo me dieron la motivación de luchar por algo que representa un orgullo para cualquier persona como lo es prepararse y buscar ser siempre una persona con deseos de superación, el de enfrentar las adversidades por pequeñas o grandes que sean, para poder lograr un objetivo, es por ello que puedo decir que estoy orgulloso de terminar mi carrera porque se que con ello no defraudo la confianza que ustedes pusieron en Mí.

**José Luis Cervantes Benavides**

# INTRODUCCION

## RESEÑA HISTORICA SOBRE LAS COMUNICACIONES.

Tal vez las comunicaciones a larga distancia tuvieron su origen hace muchísimo tiempo, cuando algún grupo de cazadores salió en persecución de una fiera de gran tamaño, la acorraló y, por fin, logró matarla a pedradas. Alguien encendió entonces una hoguera para avisar a las mujeres y los niños del campamento que la caza había concluido. O quizá golpeó con un garrote un tronco de árbol ahuecado, para llamarlos al festín.

La historia no registra el día en que el hombre aprendió a comunicarse, por la vista y el oído. A través de grandes distancias. Sin embargo, es indudable que ello era natural para el hombre primitivo como reconocer que el trueno o el relámpago anunciaban tormenta... y también, la comunicación, era igualmente necesaria para que pudiera sobrevivir.

La capacidad de comunicarse con el vecino amplió el horizonte y los conocimientos del hombre. Por medio de las señales se podía advertir acerca de algún peligro que se aproximara, indicar dónde podía encontrar alimento, pedir auxilio y suministrar un faro a los perdidos. Mientras mayor fuese la distancia a que se pudieran ver o escuchar las señales, más útiles resultaban.

Así, en el transcurso de las eras, sucedieron a los troncos de árbol los tambores, los bongós y, más tarde, el cañón. Al fuego sucedieron las señales de humo, el brillo de espejos, el semáforo de lámpara y el cohete de señales.

Hasta el Siglo XIX el correo era lo que imperaba. A pie, a caballo o en barco, era quien llevaba los mensajes a larga distancia. Porque los sistemas de señales tal como se conocían entonces, se limitaban al alcance del oído o de la vista.

Pero todo cambió en forma un tanto rápida. La tecnología se adelantó al correo. Samuel Morse, norteamericano, inventó el telégrafo en 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.



La primera voz cruzó los mares en 1915. Con la ayuda de la Marina de Guerra de los Estados Unidos, el Sistema Telefónico Bell hizo ese año ensayos venturosos con una conexión de radio y teléfono entre Honolulu, Washington, D. C. Y París.

El servicio comercial de radioteléfono se estableció en 1927 entre Europa y América y no tardó en extenderse a la América Latina y el Lejano Oriente.

El radioteléfono podía viajar en torno del mundo, pero tenía defectos, principalmente en la recepción a causa de las condiciones atmosféricas. La respuesta parecía hallarse en un cable submarino. Sin embargo, fue necesario un adelanto tecnológico para instalar en el cable pequeños repetidores suficientemente dignos de confianza para que duraran 20 años sin requerir atención. Repetidores que retransmitieran las señales sonoras por cables submarinos a través de varios miles de kilómetros. Tal cosa se logró por fin en 1956 al tender los 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 1927, primer año de servicio comercial entre los Estados Unidos y Europa, hubo 11,000 llamadas transoceánicas. En 1961, el volumen había aumentado a más de 4 millones de llamadas, y el aumento prosigue a razón de cerca del 20 por ciento al año.

Surgen nuevas naciones, la población va en aumento, las barreras comerciales caen y el comercio internacional se encuentra en ascenso. 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 mas canales de comunicación.

Ello ha provocado la expansión de los sistemas clásicos de comunicaciones el ámbito espacial.

## CONSIDERACIONES SOBRE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN (PREVIOS A LOS SATELITES)

El extraordinario incremento de las necesidades de canales en las telecomunicaciones mundiales, urgió al hombre durante las últimas décadas, a crear nuevos métodos y sistemas de comunicación, capaces de incrementar la cantidad de información transmitida en forma segura, eficiente, y en lo posible, con una rentabilidad superior.

Podemos dividir los sistemas de operatividad intercontinental en dos grupos:

- a) Enlaces radioeléctricos: ONDA CORTA Y MICROONDAS
- b) Enlaces por LINEA FISICA

Consideremos primero la radiocomunicación por onda corta, que solo 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. Además, estos enlaces están afectados por factores aleatorios ya que dependen de la ionosfera, la cual esencialmente es irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre. También debemos considerar interferencias y bloqueo como asimismo la presencia de un importante nivel de ruido.

Dentro de los medios radioeléctricos debemos considerar los enlaces por microondas que si bien es cierto 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. Eliminada esta dificultad, económicamente son convenientes.

Los enlaces nombrados en segundo término (línea física), son los cables submarinos de banda ancha, muy seguros, que resultan un sistema eficaz, pero una solución parcial entre Estados Unidos y Europa, con derivaciones en Alaska, Hawai y otros lugares. La extensión de este medio es solo una función del costo y del tiempo, resultando casi imposible prolongarlos al Africa, Asia y otros puntos.

Del análisis efectuado surge una tercer alternativa como solución del problema planteado y consiste en establecer las comunicaciones mediante el uso de objetos situados fuera de la tierra y más allá aún de la mista atmósfera. Dichos objetos, conocidos con el nombre de *satélites*, permiten la accesibilidad de las comunicaciones a cualquier parte del globo terrestre.

La utilización de satélites, ya sea reflectores o relevadores radioeléctricos, hace factible el uso de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas, en cuanto a capacidad y contabilidad, entre dos puntos situados sobre la superficie terrestre, agregándose a esto la ventaja 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 esté 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.

**NOTA:** Debemos considerar que dentro del concepto de "línea física" queda incluida la *fibra óptica* la cual representa una alternativa más para la comunicación intercontinental presentando ciertas ventajas, (aunque también algunas limitaciones). El tema de fibras ópticas queda fuera del objetivo del presente trabajo por lo que recomendamos recurrir a otras fuentes para su estudio y comparación con otros medios.

## RESUMEN

La historia de las telecomunicaciones es el reflejo de una gran aventura humana. Presentamos un resumen de las fechas particularmente más importantes:

1837. Samuel Morse inventa un sistema de transmisión codificada para las letras del alfabeto, lo que luego repercute en la invención del telégrafo.

1858. A costa de un considerable esfuerzo técnico y financiero, un cable (un alambre sencillo aislado) fue colocado a través del Atlántico y permitió la transmisión intercontinental de telegrafía (muy lenta!). Después de un mes, un defecto en el aislamiento interrumpió el sistema. Otro cable fue instalado en 1866.

1870. Un enlace telegráfico alámbrico (por cable aéreo y submarino) fue instalado entre Londres y Calcutta (11,000 Km.).

1876. Alejandro Graham Bell solicita una patente (unas cuantas horas antes que Elisha Gray) concerniente a un método eléctrico de transmisión de sonidos por medio de una resistencia variable marcando el inicio del invento del teléfono.

1901. Guillermo Marconi transmite un telegrama mediante ondas de radio a través del Atlántico.

1907. Lee de Forest inventa la válvula triodo.

1927. Primer enlace telefónico transatlántico mediante onda corta.

1938. La modulación PCM, inventado por Alec Reeves, permite la representación digital de información analógica. Sin embargo, la tecnología es aún muy pobre para desarrollar su aplicación práctica.

1948. Se inventa el transistor.

1956. Casi un siglo después que su precursor telegráfico, el primer cable telefónico transatlántico (con 51 repetidores submarinos) es puesto en servicio.

1962. Un tercer tipo de enlace transatlántico es agregado a los de cable y onda corta: *el satélite activo* "Telstar I" de órbita baja, permitiendo la primera transmisión de televisión transatlántica.

1965. Primer satélite geoestacionario: el Intelsat I ("Early Bird").

1969. Transmisión directa de los primeros pasos del hombre en la Luna.

1980. Una "sonda" espacial transmite fotografías de Júpiter y Saturno.

# HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE

## EL ORIGEN DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES

La mayoría de los expertos dan crédito a Artur C. Clarke, famoso escritor británico de ciencia-ficción y autor de "2001: Space Odyssey", por su original idea de los satélites de comunicaciones geostacionarios. En 1945 Clarke concluyó que un satélite con órbita circular, ecuatorial y con un radio aproximado de 42242Km. Debería tener una velocidad angular igual a la de la tierra. Esto haría "ver" al satélite como un punto del hemisferio. Con tres satélites espaciados entre sí 120 grados se podría cubrir prácticamente todo el globo, ya que Clarke consideró la posibilidad de que las señales pudieran ser retransmitidas entre satélites.

Como generalmente sucede con los autores de ciencia ficción, Clarke tuvo su idea fuera de tiempo, y no fue sino hasta 1957, cuando la tecnología de los cohetes estuvo disponible, que Rusia lanzó el Sputnik I, (Oct, 4 de 1957).

## BREVE HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES.

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

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

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

El satélite cuya forma era un globo, tenía un diámetro de 30 mts y estaba cubierto de nylon con lámina de aluminio. Su órbita era circular inclinada y de altitud de acerca de 1500 Km. En 1960 se logró la transmisión de telefonía, gracias al sistema de FM en la banda de radiofrecuencias de 960 MHz y 2290 MHz; mediante la cual se investigaron sus propiedades.

Aunque 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 de 10 a la 18 potencia en la potencia transmitida ( 10 Kw) es retornada a la antena receptora. 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.

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

El lanzamiento del Sputnik I en 1957 fue seguido por la "carrera espacial" y esto fue reflejado con 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 órbita elíptica baja con un perigeo de 182 Km y un apogeo de 1048 Km y un período 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.

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

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 probablemente porque fue el único capaz de retransmitir programas de T.V. a través del Atlántico. El primer "TELSTAR", se lanzó 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 situó al satélite en una órbita elíptica con un apogeo de 5,600 Km con un período de 2.5 horas.

El "TELSTAR II" se construyó con una mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fue idéntico a su predecesor. Se lanzó el 7 de Mayo de 1963.

La potencia de transmisión de los "TELSTAR" I y II 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 "TELSTAR" se diseñó como un experimento y no fue destinado para operación comercial. Entre otras cosas, la órbita usada hizo al satélite "visible" solamente por períodos breves. Un proyecto con objetivos similares, el proyector "RELAY" fue desarrollado por Radio-Corporation of América, bajo contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los E.U. han desempeñado un papel muy importante desde el principio en cuanto se refiere al campo de la comunicación por satélite, pero la URSS también 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 primer satélite comercial geoestacionario fue el "INTELSAT I" 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. Operó con dos trasponders de 25 MHz de ancho de banda con su portadora ascendente centrada de 6301 MHz para Europa y 6390 MHz para Estados Unidos. Las frecuencias descendentes eran 4081 MHz para Estados Unidos y 4161 MHz para Europa.

## TABLA 1.1

### PRIMEROS SATELITES EXPERIMENTALES Y COMERCIALES DE COMUNICACIONES

NOMBRE	FECHA DE LANZAMIENTO	ALTITUD DE LA ÓRBITA INICIAL(KILOMETROS)	SERVICIOS
Score	Diciembre 18, 1958	182 a 1048	Voz, telegrafías Repetición de señales como demora y Transmisión de mensajes.
Courier I-A	Agosto 18, 1960	No entró en órbita, Explotó el vehículo	
Courier I-B	Octubre 4, 1960	943 a 1234	Voz, telégrafo y telefoto, incluso transmisión de voz A Puerto Rico.
Telstar I	Julio 10, 1962	954 a 5638	Televisión,voz telégrafo, datos y telefoto inclusive Transmisiones entre E. U. Y Europa Occidental. Entre E.U 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 tel. Transmisiones entre E.U. Europa Occidental y Africa.
Relay II	Enero 21, 1964	2132 a 7403	Similar a Relay I
Sycom III	Agosto 19, 1964	35781 a 35798	Voz, televisión.
Early Bird	Abril 6, 1965	35787 a 35796	Similar a Sycom III (comercial entre E:U y Europa)
Molniya I	Abril 23, 1965	497 a 39380	Telefono, voz, telegrafía.

El número de 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.

# CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL DE SATELITE

## DEFINICION DE SATELITE.

Un satélite no es más que una repetidora (en el rango de las microondas) puesta en el espacio. Un satélite no crea transmisiones por sí mismo, solo retransmite ó revela 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.

## LA COMUNICACIÓN VIA SATELITE, UNA NECESIDAD.

Como se mencionó en el capítulo 1 algunas formas de comunicación previas a la comunicación vía satélite lo fueron las ondas de radio en la banda HF, el cable y las redes terrenas de microondas.

En lo que respecta a las radio comunicaciones por onda corta (banda HF) estas solo pueden proporcionar un número limitado de canales debido a la estrechez del ancho de banda utilizable. Hay que recordar, que a mayor frecuencia portadora se dispone de un mayor ancho de banda y por lo tanto de mayor capacidad; en la actualidad la banda ya está saturada. Además la propagación en esta banda está afectada por factores aleatorios ya que depende de la ionósfera, la cual es esencialmente irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre.

Al considerar los enlaces de microondas en redes por tierra los problemas de ancho de banda (capacidad) y de la incertidumbre por la ionósfera son ampliamente superados constituyendo un medio de gran confiabilidad y capaz de manejar una gran capacidad de información (tanto en telefonía como en TV). Sin embargo no es factible su empleo en enlaces intercontinentales por la imposibilidad de instalar repetidoras con las características que ellas exigen, en medio de los océanos (no olvidemos que las microondas solo se propagan a línea de vista, es decir, en línea recta). Fuera de esta dificultad, económicamente son convenientes.

En lo que respecta a los cables (sobre todo cables submarinos) tienen un ancho de banda, que aunque es amplio, es limitado y su costo aumenta lógicamente con la extensión.

Del análisis efectuado anteriormente surgió una alternativa como solución de los problemas planteados y consiste en establecer la comunicación mediante el uso de una repetidora colocada en el espacio: el satélite.

La utilización del satélite hace factible el uso de las microondas con las ventajas inherentes a las mismas en cuanto a capacidad, agregándose a esto la ventaja que significa el poder utilizar una sola repetidora para enlazar dos puntos situados a distancias considerablemente grandes en vez de una red de 30 o más repetidoras. Por otra parte el satélite permite el "salto" de los océanos para lograr la comunicación intercontinental de alta capacidad.

Aunque la comunicación vía satélite nació como una necesidad para comunicar lugares muy distantes, como por ejemplo, un continente con otro continente, hoy en día se utiliza para comunicar lugares situados en el mismo continente y aún dentro del mismo país.

### VENTAJAS DE LA COMUNICACIÓN VIA SATELITE

- ◆ SIMPLIFICACION DEL SISTEMA. Debido a su gran altura (aproximadamente 36.000 Km) se tiene línea de vista entre el satélite y cualquier estación terrena que esté dentro de su área de cobertura la cual puede llegar a ser tal, que se cubrirá prácticamente el 40% de la superficie de la tierra con un solo satélite. Esto simplifica enormemente el sistema ya que el satélite sustituye a las redes de microondas con las consiguientes ventajas tanto técnicas como económicas.
- ◆ MAYOR CALIDAD. Debido a 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, comparando 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.

- ◆ **MAYOR CONFIABILIDAD.** Otra consecuencia del hecho de utilizar una sola repetidora, en vez de una red de ellas en los enlaces vía satélite es la reducción de la posibilidad de fallas a una sola (el satélite), lo cual da una gran confiabilidad al sistema. Además hay que considerar las normas más estrictas que controlan la fabricación del satélite, lo que permite la seguridad de su funcionamiento durante su tiempo de vida útil. Pero aún debemos agregar a esto, el hecho de que los fabricantes de los satélites proveen a éste de equipo redundante para las partes más susceptibles de daño lo que definitivamente garantiza su funcionamiento.
  
- ◆ **ALTA CAPACIDAD (VENTAJA PROPIA DE LAS MICROONDAS).** Aquí podríamos hacer énfasis en la ventaja de utilizar las microondas como frecuencias portadoras, lo que permite disponer de un ancho de banda amplio y por lo tanto tener una gran capacidad de manejo de información. De hecho, los satélites actuales tienen la capacidad para manejar hasta 24 canales de TV simultáneamente, o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos para cada canal de TV) por cada banda que disponga (C y/o Ku).
  
- ◆ **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.

## **CLASIFICACION DE LOS SATELITES**

1. **DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE OPERACIÓN.** Podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación. Consideramos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se involucra un proceso electrónico en el satélite (grabación, reproducción, amplificación, cambio de frecuencia, etc.)
  
2. **DE ACUERDO A SU APLICACIÓN.** Podemos clasificar a los satélites en dos grupos: civiles y militares. Dentro de los civiles podemos incluir los de comunicaciones, los meteorológicos, los de investigación, etc. Nuestro interés en este curso se centrará en los de comunicaciones.

3. DE ACUERDO A SU ORBITA. Por su órbita los podemos clasificar en: geoestacionarios y no geoestacionarios. Un satélite geoestacionario es aquel que permanece fijo con respecto a la tierra, es decir, visto desde la tierra aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecería siempre en movimiento con respecto a la tierra, un ejemplo de esto es la luna.

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

- a) Al permanecer fijo el satélite con respecto a la tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena, es decir, una vez que se localiza el satélite y se orienta la antena ésta permanece fija, factor que gravita preponderantemente en el costo de la estación terrena.
  - b) Una vez orientada la antena se dispondrá del satélite todo el tiempo, ya que éste permanece fijo, lo que permite la continuidad del sistema las 24 horas del día, condición necesaria en un buen sistema de comunicaciones.
4. DE ACUERDO A SU COBERTURA. Clasificaremos 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 práctica un 40% de la superficie de la tierra es "vista" desde un satélite geoestacionario. Un satélite será de cobertura doméstica cuando su transmisión cubra solo un área específica que puede ser grande o pequeña según sean los requerimientos.

# CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES POR SATELITES DE GRAN ALTURA GEOESTACIONARIOS (SINCRONICOS)

## SATELITES DE GRAN ALTURA, EL SATELITE DE COMUNICACIONES.

Conviene resaltar, del capítulo anterior, que los satélites de comunicaciones actuales son satélites activos, geoestacionarios con cobertura tanto global como doméstica ó regional. En base a esto, ubiquemos primero la posición que debe guardar el satélite en el espacio para luego pasar a la explicación de la forma en que se establece la comunicación por satélite, el proceso que sufre la señal, las bandas de frecuencia utilizadas, etc.

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 caso particular tomaremos el proyecto "Syncom" (ver tabla 1.1) por ser este sistema un caso típico, además de pertenecer a los llamados satélites de gran altura (36,000 Km. Aproximadamente). Sé le llamó "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 longitud Oeste, pudo "verse" desde un gran número de países correspondientes a los continentes de América del Norte, América Central, Europa y Africa.

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 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.

### PERIODO ORBITAL.

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

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

donde:

Po = período orbital (seg)  
R = radio de la tierra (m)  
h = altura del satélite (m)  
 $\mu$  = constante Kepler

El valor de la constante Kepler es (3.99 X 10<sup>14</sup> m<sup>3</sup> / seg<sup>2</sup>)

Ecuación derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional. Para un período orbital aproximadamente de 24 horas, el satélite se encuentra en una altura aproximada de 35,890 Km; tomando automáticamente la condición estacionaria, para un observador desde la tierra. El período relativo se determina por la relación siguiente:

$$P = \frac{24 P_0}{24 - p_0}$$

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

### LA ORBITA GEOESTACIONARIA.

En resumen, las condiciones para que el satélite guarde una órbita geoestacionaria son las siguientes:

- ◆ La órbita debe ser circular.
- ◆ La órbita debe ser ecuatorial.
- ◆ La altura sobre el nivel del mar debe ser 35,890 Km.
- ◆ 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 centrífuga y de la atracción mecánica espacial la cual rige el movimiento de los planetas y de nuestros satélites artificiales. Una vez que el satélite se fija en su posición, es necesario estabilizarlo y corregir su posición constantemente ya que existen fuerzas externas que se encargan de moverlo. Los subsistemas de propulsión son los encargados de realizar estas maniobras. Los motores de maniobra y los motores de orientación son alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos, el más utilizado es la Hidrazina Monopropelente aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes (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.



## AREA DE COBERTURA.

Son tres los satélites requeridos para establecer un sistema de comunicación global ha 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 comunicación que opera satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de la señal, alrededor de 0.26 segundos, para una comunicación de un solo salto, es decir, estación terrena satélite estación terrena.

## PERDIDAS DE TRANSMISION Y ASIGNACION DE FRECUENCIAS.

Los satélites en general, como parte de un sistema de comunicaciones, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra. Para el caso de los satélites geoestacionarios, por la distancia que conservan respecto a la tierra (35.890 Km.), requieren de dispositivos adicionales que permitan compensar las pérdidas ocasionadas en el espacio libre.

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

$$Pr = PtGtGr \frac{(\lambda)^2}{4\pi d}$$

donde:

Pt = Potencia de Transmisión

Gt = Ganancia de antena de Transmisión

Gr = Ganancia de antena de Recepción

$\lambda$  = Longitud de onda

d = distancia entre satélite y estación terrena

y

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

determina las pérdidas en el espacio libre.

Dispositivos activos, como amplificadores a diodo túnel, GaAsFET, y tubos de onda progresiva de alto y bajo nivel, permiten compensar las pérdidas en el espacio libre mencionadas. Se incluyen, además de este tipo de dispositivos, osciladores y mezcladores para transponder o abatir las frecuencias recibidas de las transmitidas, con 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:

Ft = Frecuencia de Transmisión.

Fr = 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, acordó finalmente apta la gama de frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz (referidas como radioventana), para ser utilizadas en comunicaciones vía satélite, quedando designadas para usarse en el sistema 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. Posteriormente con el desarrollo de nueva tecnología algunos de los problemas existentes fuera del rango de 1 a 10 HGz han sido debidamente compensados de modo que actualmente se manejan adicionalmente otras bandas.

En conclusión, los satélites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales 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	5,925 a 6,425	14,000 a 14,500	27,500 a 31,000
Descendente	3,700 a 4,200	11,700 a 12,200	17,700 a 21,200

## CONCEPTOS GENERALES DEL SISTEMA.

El sistema en sí mismo es un sistema complejo que debe crear su propia potencia y fijarse o ajustarse por sí mismo cuando las fuerzas gravitacionales de la luna, la tierra y el sol cambian. Los satélites modernos pesan entre 1800 y 4000 libras. Contienen una serie de receptores de radio/televisión los cuales recogen las transmisiones enviadas desde la tierra (señales ascendentes uplink) una serie de convertidores de frecuencia que cambian las señales uplink a una nueva banda de frecuencias para su viaje de regreso a la tierra (señales descendentes 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 serán convertidos a potencia eléctrica para operar el equipo electrónico que se encuentra a bordo, además baterías para almacenar dicha potencia para los períodos ocasionales cuando la tierra se atraviesa entre el sol y el satélite. Cuando el satélite tiende a salirse de su punto en la órbita asignada, una serie de cohetes miniatura de empuje 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 está sucediendo a bordo desde las condiciones de los cohetes de empuje hasta la temperatura en la superficie del satélite y las condiciones de operación de los transmisores y receptores del satélite. Cuando algo se sale de los límites establecidos, el controlador transmite órdenes desde la tierra al satélite para hacer los ajustes correspondientes en la operación del satélite.

# DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO

## EL INTELSAT III.

Si bien, hemos escogido el satélite Intelsat III como modelo típico de un satélite de comunicaciones, su diagrama y su descripción son válidos para otros satélites, incluyendo los de modelos diferentes y de más capacidad como los actuales. A lo largo de la explicación se harán los comentarios correspondientes para hacer posible esto.

La figura 5.1 muestra el diagrama a cuadros de un satélite de la serie Intelsat III donde la ruta de transmisión recepción se conoce con el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radio frecuencia (RF) en el orden de los 6 GHz y las convierte a 4 GHz amplificadas antes de ser retransmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignación a cada transponder de una fracción de la banda total.

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

Haciendo referencia a la figura 5.1, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite (antena de monitoreo), pasan por el amplificador a diodo túnel, el convertidor de frecuencias y el tubo de ondas progresivas de baja potencia, e insertadas al decodificador de telecomando, a través de un filtro acoplador. Ahí son procesadas antes de aplicarse al circuito de control que puede ser el encendido del motor de apogeo para corregir la órbita, encender un amplificador a tubo de ondas progresivas, etc.

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

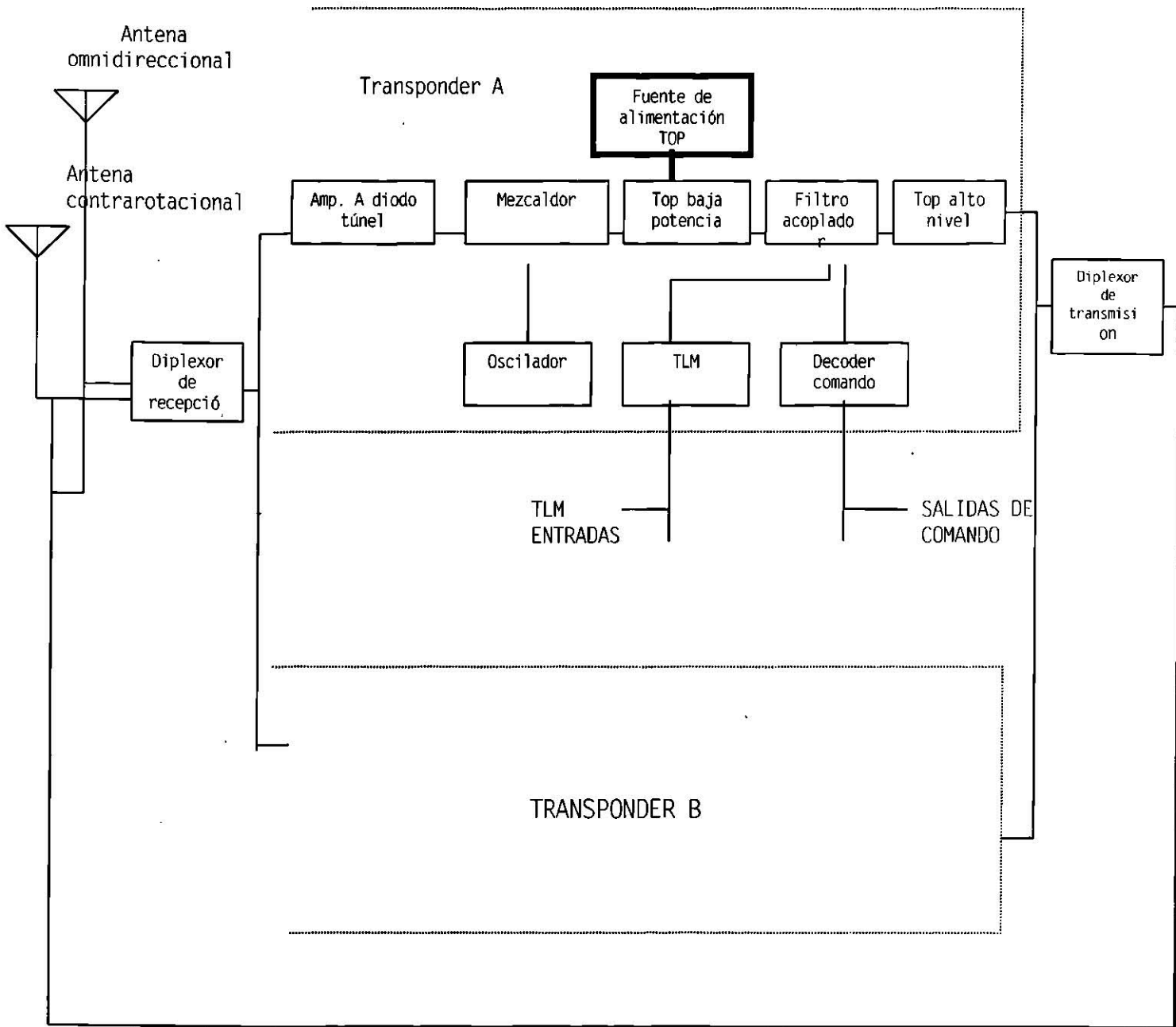


Figura No. 5.1

### **a) ANTENA.**

Las señales de comunicaciones enviadas desde la estación terrena en frecuencia del orden de los 6 GHz, son recibidas por la antena contrarrotacional y pasadas al depléxer de recepción.

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

### **b) DIPLEXER DE RECEPCION.**

En el diplexér de recepción son separadas las diferentes bandas (o portadoras) de comunicación para ser alimentadas a su respectivo transponder o canal, (ver mas adelante "acceso múltiple).

### **c) AMPLIFICADOR A DIODO TUNEL**

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

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

### **d) MEZCALDOR.**

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

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS.

### VENTAJAS DE FDMA

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

### DESVENTAJAS DE FDMA

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

### VENTAJAS DE TDMA

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

### DESVENTAJAS DE TDMA

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

## RUIDO DE INTERMODULACION.

Debido a la característica no lineal de TWT del transponder del satélite, cuando se presentan varias portadoras 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 TWT dado es disminuir el nivel de señal de entrada de modo que este pueda operar en la región lineal.

En la siguiente sección se desarrolla el diseño de un enlace de comunicaciones vía satélite donde a partir de los conceptos teóricos ya vistos y otros prácticos que se agregarán estaremos en posibilidad de evaluar el funcionamiento del enlace completo: tierra-satélite-tierra.

# Tecnologías de Telecomunicaciones

En las últimas décadas, las telecomunicaciones han experimentado un inusitado desarrollo tecnológico, principalmente por la contribución de la microelectrónica, la óptica, ciencia de materiales, la ciencia del espacio, la computación e informática, entre otras. Cada una de estas áreas ha proveído a las telecomunicaciones de distintos soportes tecnológicos: mayor capacidad de transmisión, mejores materiales conductores, diversificación de interconexión, capacidad de manejo y transferencia de diferentes signos, señales e imágenes, simultáneamente. Aquí nos referiremos principalmente a dos áreas que han ejercido un impacto contundente en las telecomunicaciones: la electrónica o microelectrónica y la computación.

## Electrónica

Desde mediados del siglo, la electrónica se convirtió en parte intrínseca de las modernas telecomunicaciones, al grado que hoy es difícil determinar donde empiezan y donde terminan algunos componentes electrónicos o de telecomunicación.

La electrónica creó un sin fin de elementos electrónicos como interruptores, resistencias, aislantes y transformadores, que fueron interconectados con tubos de vacío para producir sistemas completos de comunicaciones. En sus inicios, esos sistemas se montaban en mástiles de madera y más tardes se colocarían en artefactos de metal. El tubo de vacío, inventado en 1906 por Lee De Forest para transmitir y amplificar eléctricas, tuvo una influencia crucial para el desarrollo de las comunicaciones por radio y televisión. Sin embargo, mostró serias limitaciones de funcionamiento cuando se usó en máquinas más complejas como las computadoras y cuando se juntaban varios paneles, la probabilidad de que un tubo fallara era muy grande, por lo que para inicios de los cuarenta ya se trabajaba para reemplazarlo por dispositivos más pequeños como el transistor, cuyo tamaño original era de 100 veces menor que el tubo de vacío.

## Microelectrónica y Computación

La microelectrónica y la computación han evolucionado en forma paralela. El más contundente impacto que ha tenido la electrónica es precisamente en la tecnología de la computación. Precisamente, la evolución de las computadoras modernas está asociada al desarrollo de los principales componentes de la electrónica. Así, la primera generación de computadoras electrónicas estuvo acompañada por los tubos de vacío, la segunda por el

transistor, la tercera por los circuitos integrados, la cuarta por la integración a muy grande escala y la quinta por la ingeniería del conocimiento.

## Telecomunicaciones y computación

A principios de década de los sesenta las comunicaciones y la computación eran todavía actividades separadas. Las primeras redes de cómputo entre varios usuarios se constituyeron inicialmente enlazando unidades centrales de proceso a través de líneas telefónicas.

La convergencia de la computación y telecomunicaciones fue posible gracias a la conversión digital de los sistemas de telecomunicaciones y los adelantos de la microelectrónica. Esto significa que el equipo de almacenamiento y procesamiento (computación) y transmisión de datos (telecomunicaciones) emplean el mismo idioma a través de códigos binarios, que es el lenguaje digital universal que ha posibilitado la convergencia de voz, imágenes e información en una sola red y con ello la estrecha interrelación de diversas industrias como la computación, radiodifusión, electrónica y telecomunicaciones.

En los sistemas digitales, las señales telefónicas para televisión y servicios de información, se convierten, mediante el uso de códigos binarios (pulsaciones de 0 y 1), a señales idénticas o lenguaje común. Aquí lo importante es la presencia o ausencia de una pulsación, no su volumen o la forma exacta que tome. Por ello es posible enviar cualquier señal por una misma línea. En los sistemas análogos, la transmisión se efectúa de acuerdo a un patrón continuo de ondas que siguen los cambios de una señal vocal o de otra señal. Esto es adecuado para conversaciones telefónicas ordinarias, pero no para transmisión de datos de alta velocidad. Asimismo, una señal analógica, al ser amplificada, también amplifica las distorsiones o ruidos que se recogen en la transmisión.

La digitalización es la base para el despliegue de las redes integradas, que proporcionan conectividad de extremo a extremo en las redes para apoyar una amplia variedad de servicios, a los cuales los usuarios tienen acceso mediante un conjunto de interfaces. El Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT) de la UIT inició en 1966 los primeros estudios para normar el funcionamiento de redes digitales. Posteriormente se descubrió que estos sistemas tenían la capacidad de manejar una gama de servicios en forma simultánea. Los análisis se consolidaron hasta 1984 y se vio que la red digital integrada (RDI) evolucionaría a partir de la red telefónica por ser la más grande e interconectada en el mundo, se basaría en el tipo digital y se integraría entre áreas de conmutación y transmisión.

## El espectro radioeléctrico y las microondas

En los últimos años, las modernizaciones del sistema telefónico y las telecomunicaciones avanzan a pasos agigantados también gracias a la explotación tecnológica de las microondas y las fibras ópticas. Aunque las microondas se empezaron a utilizar desde la segunda guerra mundial, fue hasta hace dos décadas que inició su más cabal aprovechamiento.

Los avances de la telecomunicación inalámbrica están asociados al descubrimiento y explotación de la radiación electromagnética, que es energía radial con forma de ondas invisibles que se propagan por el espacio y la materia. La radiación es óptimamente utilizada para transmisiones electrónicas (u otros usos), dentro del espectro del espectro radioeléctrico en diferentes longitudes e intensidad. Por ello, el espectro se ha dividido en nueve bandas y en diferentes longitudes e intensidad. Cada banda cubre una década de frecuencia, o sea el número de ondas radiadas que pasan por cierto punto en determinado tiempo (estos son los Hertz). La longitud de onda del espectro útil abarca de los tres mil metros a un milímetro en ruta descendente.

Las microondas son ondas de radio generadas a frecuencias muy altas a través de un tubo oscilador llamado magnetrón. A diferencia de la longitud de 3,200 metros que alcanzan las ondas en las frecuencias bajas del espectro, las microondas obtienen longitudes que van de los 100 centímetros a un milímetro. Además de usarse en la radiodifusión, radiotelegrafía, televisión, satélites, tienen aplicaciones en intervenciones quirúrgicas, laboratorios de física, hornos de uso industrial y doméstico, combaten plagas, etc.

La emisión de microondas para telecomunicaciones se realiza a través de torres transmisoras, instaladas en línea visual en puntos elevados a distancias entre 30 y 50 kilómetros; se enfocan en haces direccionales, pueden reflejarse en aviones, naves marítimas, patrullas de policía, carros de bomberos y otros objetos. Utilizan repetidoras para reforzar las señales periódicamente. Comúnmente se emplean dos y cuatro antenas en cada estación para recepción y retransmisión.

El uso de las microondas ha sido históricamente controvertido. No obstante que su localización en el espacio atmosférico impide su apropiación física, la sobre explotación y saturación de las bandas de transmisión es un problema siempre presente.

Para prever la explotación irracional del espectro y el uso indiscriminado de equipo, se han establecido normas técnicas internacionales para controlar el uso de frecuencias y artefactos por los

particulares. Aunque estas reglas tienen como objetivo evitar el caos en el uso de las microondas, su violación es un problema latente, sobre todo por aquellas empresas o gobiernos que tienen capacidad tecnológica y poder suficiente para dominar en un momento determinado el espectro radioeléctrico, traspasando incluso las fronteras nacionales sin autorización de los gobiernos. Tal es el caso del equipo que emplea el proyecto T.V. Martí de Estados Unidos que envía desde 1990 sonido e imagen a la televisión cubana, aún cuando el gobierno de este país no admite dichas transmisiones.

En épocas de guerra las microondas son cruciales por la alta capacidad transmisiva y por la ventaja de no tener que emplear cables conductores. En la primera guerra mundial se usó el radioteléfono trasatlántico para las comunicaciones con los barcos navieros y mercantes, después que los cables que unían a Alemania y Gran Bretaña fueron cortados al estallar el conflicto en 1914. Durante la segunda guerra mundial, la tecnología de microondas sirvió de base para el radar. Las primeras instalaciones del radar eran limitadas y poco confiables; conforme los militares exigieron mejor definición y certeza hacia el final de las hostilidades, los tecnólogos fabricaron equipo que permitía blancos precisos, usando las partes más altas del espectro.

Durante la guerra del Golfo Pérsico en 1991, el espectro radial sirvió de cauce para controlar, mediante computadoras enlazadas a satélites, poderosos artefactos de guerra como misiles teledirigidos. Los aliados emplearon redes de satélites para vigilar las comunicaciones y movimientos de las fuerzas iraquíes, para localizar a los aviadores derribados en el desierto, así como para orientar a sus aviones, barcos y fuerzas de tierra. Los alcances de los satélites espías dejan pasmado a cualquier persona: se especula que el Big Bird del Pentágono estadounidense leía los titulares del diario ruso Pravda y los números de las placas de los automóviles en la Plaza Roja, cuando aquello era una fortaleza.

Las microondas también son el medio para que a través de los satélites artificiales, y no precisamente en épocas de guerra, se tenga acceso a información sobre cuestiones como instalaciones y posesión de armamentos, espionaje, investigación de la tierra e interacción educativa a distancia.

Las microondas son el soporte de dos de las formas de transmisión de mayor éxito en la actualidad: las comunicaciones vía satélite y la radio telefonía móvil celular, que a su vez han evolucionado hacia las redes de comunicación personales, cuya base técnica primordial es la no supeditación a redes de cable inmóviles.

## Los Satélites

El afán por ampliar las comunicaciones y abarcar todos los rincones de la tierra, ha conducido a los científicos a buscar medios cada vez más complejos para lograrlo. La exploración terrestre y atmosférica no ha sido suficiente. El objetivo de ir mas arriba, a 36000 kilómetros de altura sobre el nivel del mar se ha cumplido. Allí la ubicación es idónea para que los satélites artificiales logren, con unos cuantos artefactos, llevar comunicaciones e información a todos los puntos de la tierra.

Las redes satelitales se componen por una serie de estaciones terrenas conectadas entre sí por medio de satélites colocados en una órbita espacial que retransmiten señales por microondas a través del espacio atmosférico. El equipo instalado dentro de un satélite recibe las señales enviadas desde una estación terrestre, las amplifica y transmite a otra estación terrestre que las distribuye por pares de cables, cables coaxiales, guías de onda, fibras ópticas y sistemas de repetición de microondas.

La transmisión espacial fue concebida con mas de diez años de anticipación al lanzamiento de los primeros satélites artificiales. En 1945 el científico inglés Arthur C. Clarke propuso el uso de un satélite terrestre para radiocomunicación entre varios puntos de la superficie terrestre. Clarke sugirió en una publicación el diseño de una nave espacial tripulada que podría lanzarse como un cohete. La nave se posicionaría a una altitud aproximada de 35,900 kilómetros, giraría junto con la tierra (sería síncrono) y habría receptores y equipo de transmisión terrestres que llevarían las señales a una determinada parte de la tierra. Fue tal el acierto del científico inglés que su mecanismo es en esencia el mismo con el que funcionan los sistemas satelitales geosíncronos de la actualidad. En su memoria, la órbita geoestacionaria se conoce también como Cinturón de Clarke.

El lanzamiento de los satélites artificiales inició el 4 de octubre de 1957, cuando la unión Soviética envió al espacio el Sputnik I, con el objeto de realizar experimentos biológicos; pesaba 80 kilogramos y gravitó alrededor de la tierra hasta el 4 de enero de 1958. Inmediatamente el Congreso Norteamericano aprobó el otorgamiento de fondos para proyectos satelitales, y al año siguiente ese país lanzó el Explorer I, de 14 kilogramos de peso, que permaneció en órbita cinco años.

La generación de satélites comerciales para comunicaciones empezó en 1965 con el lanzamiento del satélite Early Bird (pájaro madrugador) Intelsat I, que medía solo 71 por 58 centímetros, pesaba 39 kilogramos y tenía capacidad para manejar 250 llamadas telefónicas internacionales. Este sería el primero de una serie de doce propiedad de Intelsat.

La fuerte demanda de servicios satelitales, han propiciado la multiplicación de satélites a tal grado que la órbita espacial sobre el ecuador, donde se estacionan, está casi saturada. Muy pronto diferentes países empezaron a lanzar satélites, a través de empresas privadas o los propios gobiernos. Canadá fue el tercero en disponer satélites para comunicaciones, pero únicamente, ha nivel nacional. En 1972 puso en servicio el primero de cinco generaciones llamados Anik. Entre otros países que cuentan con sistemas de satélites domésticos están Brasil; Francia, Rusia, India, Japón, China, Australia, Gran Bretaña, Italia, Panamá, México y Argentina.

Los satélites artificiales cubrieron regiones donde la comunicación por redes terrestres es prácticamente imposible, o sumamente costosa. Se vencieron las barreras físicas que aislaban zonas enteras de los cinco continentes, como desiertos, montañas, océanos, selvas y polos glaciares. Se incorporaron a las comunicaciones localidades de Asia, Africa y América que de haberse esperado a tener redes alámbricas no tuviesen, aún a la fecha, acceso a circuitos de canales para telefonía, telegrafía y televisión.

La ventaja de utilizar satélites de comunicaciones radica en que eluden las barreras naturales, permiten planear su uso a requerimientos reales, acortan los tiempos de instalación y complementan las redes terrestres para transmisiones internacionales, posibilitando el cubrimiento de la tierra.

Con ellos se pueden establecer transmisiones con equipo móvil desde puntos geográficos donde no existe infraestructura para telecomunicaciones.

Los satélites son insensibles a las distancias. Todos los enlaces se hacen aproximadamente a 71,800 kilómetros (satélites geosíncronos) donde quiera que se ubiquen los artefactos emisores y receptores. Se necesitan unas cuantas estaciones terrestres movibles de acuerdo a las necesidades, y la señal las sigue. Es común ver que cuando ocurre un acontecimiento relevante en cualquier parte del mundo, inmediatamente se desplazan plataformas móviles llevando antenas parabólicas y equipo de transmisión, que envían señales para televisión de determinado fenómeno en vivo a todos los rincones de la tierra.

Algunas desventajas en las transmisiones satelitales es que están sujetas a demoras de propagación, se debilitan con lluvias intensas, nieve y manchas solares que afectan a las estaciones terrestres, también sufren interferencias de radio, microondas y aeropuertos. Además los costos de fabricación y lanzamiento son muy elevados. Los ahorros de costos una vez que están en órbita, son máximos cuando la distancia entre los puntos excede a 1,800 kilómetros comparados con los de microondas y los 190 kilómetros con los de fibras ópticas.

Los satélites pueden ser ubicados a distintas distancias de la tierra y a velocidades diferentes de la rotación, lo que permite coberturas locales, regionales y globales. De acuerdo a estos requerimientos se han desarrollado diferentes generaciones de satélites de comunicaciones.

Los satélites de órbita elíptica (high earth orbit, HEO), fueron los primeros satélites diseñados especialmente para comunicaciones. Se desplazan a diferente velocidad de la tierra, y se alejan y acercan a ella en diferentes momentos. Tardan 12 horas en completar una revolución y ofrecen mejores condiciones de uso en las telecomunicaciones cuando su altitud es de 40 mil kilómetros.

Los satélites geoestacionarios (geosynchronous earth orbit, GEO) se ubican sobre el ecuador a 36 mil kilómetros de la tierra y viajan a su misma velocidad (de ahí su nombre síncronos), por lo que parecen estar estacionados o inmóviles y completan su recorrido en 24 horas. Tienen un área de cobertura aproximada de ocho mil kilómetros que proporciona una capacidad visual hasta de una tercera parte de la tierra. Tres satélites de este tipo, colocados en forma equidistante, pueden transmitir instantáneamente señales de radio o televisión a casi el área completa de la tierra. Son los más utilizados para servicios de transmisión de datos, señales de televisión y telefonía, requieren de grandes estaciones terrenas fijas, pero también para comunicaciones con unidades móviles como las de navegación aérea, marítima y terrestre. La órbita geoestacionaria es la más congestionada ya que en ella están colocados no nada más satélites para comunicaciones, sino otros de aplicaciones diversas como meteorológicos, experimentales y militares.

Otra generación de satélites son los de órbita terrestre baja (low earth orbit, LEO). Estos han provocado serias controversias sobre todo con los consorcios y países que tienen satélites GEO para comunicaciones, pues aducen que sus objetivos no están bien definidos y entrarán a hacerles una fuerte competencia sobre todo por los bajos costos que están manejando en comparación con los GEO.



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

#### **e) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE BAJA POTENCIA.**

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

#### **f) TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS DE ALTA POTENCIA.**

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

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

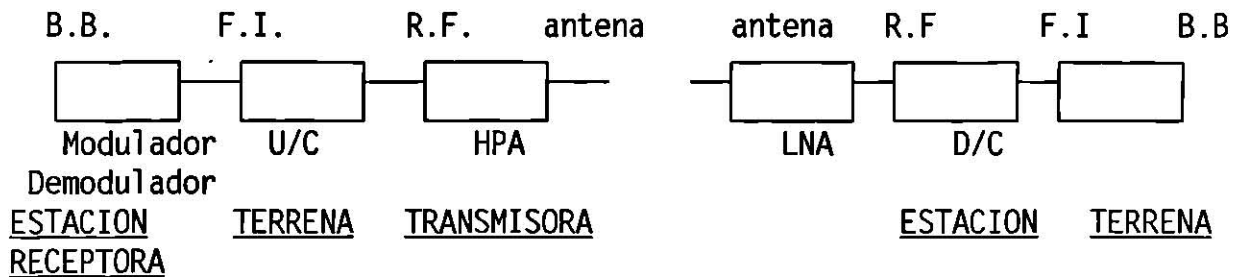
#### **g) DIPLEXER DE TRANSMISION**

Las señales de todos los transponder son combinadas para ser alimentadas a la antena de comunicaciones que se encargará de transmitir la información hacia la tierra.

# EL ENLACE: TIERRA-SATELITE-TIERRA

## CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA.

Para establecer un sistema de comunicaciones vía satélite, se requiere contar con una estación terrena transmisora, 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:



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

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

## SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES

- ◆ Antena lado de recepción.
- ◆ Amplificadores de Bajo Nivel de Ruido (LNA).
- ◆ Convertidor de frecuencia (Traslado de Banda).
- ◆ Amplificador de potencia (HPA).
- ◆ Antena lado de transmisión.

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

## ESTACION TERRENA RECEPTORA.

- ◆ Antena lado de recepción.
- ◆ 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.

# ACCESO MULTIPLE

## DEFINICION Y CLASIFICACION.

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 en su propia y única banda de frecuencia. 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 uno 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 pre-asignación. Si el acceso es temporal y compartido se le conoce como acceso de asignación por demanda.

Los LEO se ubican a una altitud entre 900 y 1300 kilómetros y son no geoestacionarios, o sea, registran una velocidad distinta a la de rotación de la tierra. Su área de cobertura terrestre es de un radio promedio de 5,500 kilómetros, por lo que tienen que colocarse muchos microsátélites con trayectorias diferentes para brindar cobertura local, regional y mundial. Dado que los satélites LEO, (que admiten en frecuencias inferiores a un gigahertz), necesitan estaciones terrenas sencillas, terminales portátiles, así como antenas y fuentes de poder reducidas, (a diferencia de los geoestacionarios que requieren infraestructura terrena pesada), permiten una gran flexibilidad en su uso, pues pueden aprovecharse varias decenas de microsátélites de acuerdo a las necesidades de cobertura o servicio.

Estos satélites se encuentran en vías de experimentación. Aunque pueden utilizarse en zonas que ya cuentan con comunicaciones desarrolladas, por la facilidad de transportación de las antenas receptoras, son aprovechables también en zonas que carezcan por completo de sistemas de telecomunicaciones. Han despertado gran interés en diferentes empresas que ven la posibilidad de usarlos para redes de telecomunicaciones y brindar servicios de información inalámbricos no nada mas a grandes consorcios sino a usuarios particulares (para viajes de negocios o placer, operadores de botes, ingenieros y médicos que trabajan en áreas remotas). Otros creen que podrán solucionar problemas de comunicación en áreas rurales con servicios deprimidos, en zonas cuya ubicación está a dos horas de donde existe teléfono, donde vive aproximadamente la mitad de la población mundial.

Los proyectos LEO, encabezados por consorcios norteamericanos, se iniciaron incluso antes de que el Congreso de ese país asignara frecuencias en mayo de 1994. Los proyectos son los siguientes:

Proyecto 21: Es propiedad de Inmarsat y parte de la cuarta generación de satélites de este organismo. Su costo es de más de un mil millones de dólares.

Iridium: Son una constelación de 66 satélites. Su diseño incluye líneas intersatélite y el costo es de 3.4 mil millones de dólares. Son propiedad del consorcio formado por 18 empresas de diferentes países encabezados por Motorola.

Globalstar: Se compondrá de 24 a 48 satélites con cobertura global y en Estados Unidos. Está diseñado con código de acceso por división múltiple (CDMA code division multiple access) y con un costo de 1.8 mil millones de dólares.

Odyssey: Es una constelación de 12 satélites que orbitarán en tres planos. Su costo es de 1.3 mil millones de dólares y es propiedad de TRW, Inc. consorcio de manufacturación de tecnología aeroespacial.

Elipso I y II: Comprende de 6 a 18 satélites en dos planos para proveer servicio nacional solamente. Su costo son 180 millones de dólares y son propiedad de 6 compañías norteamericanas de comunicaciones móviles, manufactureras de electrónica y tecnología inalámbrica y del banco inglés Barclays.

Aries: Son 48 satélites de órbita polar en cuatro planos. Su costo es de 292 millones de dólares y es propiedad de inversionistas privados y empresas de comunicaciones de Estados Unidos.

Teledesic: Son 840 satélites del tamaño de un refrigerador en el diseño de Strategic Defense Initiative. Su costo es de 9 mil millones de dólares y es propiedad de Craig McCaw, William Gates (Bill Gates), McCaw Development y Kinship Partners.

La participación de grandes consorcios multinacionales de telecomunicaciones, junto con grupos financieros, manufactureros electrónicos y de cohetes, entre otros, refleja el alto grado de mercantilización de los satélites, que inicialmente fueron concebidos para solventar necesidades básicas de comunicaciones.

De acuerdo a la cobertura que tienen en tierra, existen tres sistemas de satélites para comunicaciones:

1. Internacionales - Intelsat, Intersputnik, Inmarsat.
2. Regionales - Eutelsat que cubre a los países europeos, Arabsat a países árabes, Panamsat a países americanos.
3. Nacionales - Telesat de Canadá, Telecom de Francia, Satcom, Comstar, Westar, SBS, Gstar de Estados Unidos, Palapa de Indonesia, Molnya-3, Statsionar, Loutch de Rusia, Sakura, CS y Ayame de Japón, Radugae e Insat de India, Morelos y Solidaridad de México y Nahuel de Argentina, entre otros.

Además de los satélites para comunicaciones, existe otra amplia gama de satélites con diferentes objetivos, entre ellos: meteorológicos, de exploración marina, oceanográfica, terrestre, del espacio, astronómica, con misiones biológicas y médicas. Aproximadamente cinco mil se encuentran en órbita, de los cuales 175 ocupan la órbita geoestacionaria para servicios comerciales y uso doméstico.

México cuenta con un sistema de satélites para comunicaciones desde 1985. El Morelos I entró en órbita en junio de 1985 y el Morelos II en

noviembre de 1989. El primero fue reemplazado en 1994 por el Solidaridad I y en ese mismo año se lanzó el Solidaridad II. El Morelos II saldrá de órbita en 1998. A partir de 1994, con el lanzamiento de los Solidaridad, el sistema tendrá una cobertura más amplia que el Morelos. Está programado para enviar más de 50 mil llamadas telefónicas simultáneamente, o más de 50 canales de televisión y datos a altas velocidades; permitirá la comunicación con unidades del autotransporte de carga y pasaje durante su tránsito por las carreteras, así como para las embarcaciones de cabotaje que navegan por los litorales mexicanos. Se prestarán servicios a los países del Caribe centroamericano, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y diferentes ciudades de los Estados Unidos como los Angeles, San Francisco, Houston, Dallas, Chicago, Nueva York, Washington, Miami, Tampa e incluso Toronto, Canadá. Enviará también señales especiales a Buenos Aires, Montevideo y Santiago de Chile. Con el Morelos II y el Solidaridad, se cubrirá la demanda de señales de México y esas regiones hasta el año 2006.

Indudablemente el sistema satelital con más alcance, aunque muy cuestionado por operar como monopolio estadounidense, es Intelsat. Se fundó en agosto de 1964 como una empresa de riesgo. Su creación se previó en la Ley de Satélites de Comunicaciones de 1962 de Estados Unidos, que ordenó el establecimiento de un sistema de comunicaciones por satélite comercial, pero no prescribió claramente los asuntos para las comunicaciones nacionales.

Para la fundación de Intelsat firmaron únicamente once países; inició con el lanzamiento del Early Bird pero fue tal la aceptación que para 1980 ya poseía cerca de 400 estaciones terrestres con 12 satélites. En 1987 Intelsat contaba con 113 países signantes, 17 satélites que unían a aproximadamente 170 países, distintos territorios y corporaciones alrededor del mundo a través de 739 estaciones terrestres.

Las principales normas que lo rigen son: Intelsat es dueño de los satélites y del segmento espacial de frecuencias y las estaciones terrenas son propiedad de cada uno de los países; los estados miembros se comprometen a utilizar los satélites de Intelsat para comunicación con el extranjero; los países tienen, en Comsat (el órgano administrador), un número de votos proporcional al porcentaje del capital total invertido en los servicios de satélites.

Con base en la Ley de Comunicaciones por Satélites de 1962, el Congreso de los Estados Unidos creó Comsat y se adjudicó, a ese país, el monopolio de las comunicaciones internacionales por satélite. Fue creada como corporación privada, con un propósito nacional. Su estructura fue resultado de un fuerte debate congresional y público alrededor de la Ley

de Comunicaciones por Satélite. Hubo dos posiciones contrarias para que se formara como empresa pública o como empresa privada. Finalmente resultó un híbrido público - privado. Comsat funge como intermediario entre consorcios norteamericanos de comunicación (American Telephone and Telegraph -AT&T-, General Telephone and Electronics -GTE-, Radio Corporation of America -RCA-) y el gobierno de Estados Unidos, es responsable del diseño, desarrollo y mantenimiento del segmento espacial del sistema global de telecomunicaciones.



