

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

FRANCISCO GARCIA HDZ.

ASESOR

ING. FERNANDO ESTRADA

FEBRERO DE 1999

T

TK51

G3

1999

C.1



1080096849

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

FRANCISCO GARCIA HDZ.

ASESOR

ING. FERNANDO ESTRADA

FEBRERO DE 1999

T
TKS104
G3
1999



INDICE

	pag.
Introducción: Reseña histórica sobre las comunicaciones.....	1
Consideraciones sobre los medios de comunicación.....	3
El origen de los satélites de comunicaciones.....	7
Características de la señal de satélite.....	12
La comunicación vía satélite, una necesidad.....	12
Ventajas de la comunicación vía satélite	13
Clasificación de los satélites	14
Conceptos fundamentales de un sistema de telecomunicaciones por satélites de gran altura geoestacionarios	17
Pérdidas de transmisión y asignación de frecuencias	20
Descripción a cuadros de un satélite típico	25
El enlace Tierra-Satelite-Tierra	28
Acceso Múltiple	30

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 quizás 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 tan 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, mas tarde, el cañón. Al fuego sucedieron las señales de humo, al 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, fué 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 al Lejano Oriente.

El radioteléfono podía viajar en torno al mundo, pero tenía defectos, principalmente en la recepción a causa de las condiciones atmosféricas. La respuesta parecía hallarse en un cable submarino. Sin embargo, fué 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 aumentando, 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 COMUNICACION (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: **Línea Física**

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 ionósfera, la cual esencialmente es irregular y cambiante introduciendo en consecuencia un importante porcentaje de incertidumbre. Tambien debemos considerar que admiten 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 planeado y consiste en establecer las comunicaciones mediante el uso de objetos situados fuera de la tierra y más allá aún de la misma atmósfera. Dichos objetos, conocidos con el nombre de satélites, permiten la accesibilidad de las comunicaciones a cualquier parte de 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 confiabilidad, 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.

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) fué 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 fué instalado en 1886.

1870.-Un enlace telegráfico alámbrico (por cable aéreo y sub-marino) instalado entre Londres y Calcuta (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, inventada 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

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años mas tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas.

Ademas casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial (ver figura 3.1). ¿Cómo sería posible lograrlo, si los satélites deben moverse a gran velocidad, para no perder altura y caer hacia la tierra, atraídos por ella?. La tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas; si se coloca a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la tierra, es decir, geoestacionario. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta cada 24 horas, debía estar a aproximadamente 36,000 Km de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3,075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra (ver figura 3.2).

Sin duda fueron muchos los científicos e ingenieros que leyeron con interés las ideas de Arthur C. Clarke y de otros autores contemporáneos. Cabe mencionar que en aquel entonces todavía no

se lanzaba ni siquiera el primer satélite artificial de la tierra, ya no se diga en órbita geoestacionaria a 36,000 Km de altura sobre el nivel del mar, sino aunque fuese a unos cuantos cientos de kilómetros de distancia.

Pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik, y después de varias pruebas con algunos otros satélites en esos primeros años, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado Syncom. Poco más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo; era el año de 1968 y los sueños de Clarke se habían convertido en una realidad, 23 años después de haber publicado sus ideas.

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

BREVE HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES

Las reflexiones en la luna aplicando las técnicas de radar fueron repetidamente demostradas en 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., fué establecido entre Washington D.C. y Hawai. El circuito 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 100Kw, 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 Propulsion, 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 cerca 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 en 10×10^{18} de 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 Sputink I en 1957 fué seguido por la "Carrera Espacial" y esto fué reflejado con el lanzamiento del SCORE (Signal

Communicating by Orbiting Realy Equipment) por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en Diciembre 18 de 1958. El SCORE fué colocado en una 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 proyecto "Telstar" es el más conocido de los anteriores probablemente porque fué el único capaz de retransmitir programas de T.V. a través del Atlántico. El primer "Telstar", se lanzó desde Cabo Cañaberal 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 un órbita elíptica con un apogeo de 5600 Km con un período de 2.5 horas.

El "Telstar II" se construyó con una mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fué idéntico a su predecedor. 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 TV.

El "Telstar" se diseñó como un experimento y no fué destinado para operación comercial. Entre otras cosas, la órbita usada hizo al satélite "visible" solamente por períodos breves. Un proyecto con

objetivos similares, el proyecto "Relay" fué desarrollado por Radio-Corporation of America, bajo contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los E.U.A. 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 geostacionario fué el "Intelsat I" desarrollado por Comsat para Intelsat. lanzando 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 transponders de 25 Mhz de ancho de banda con su 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.

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 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 produciendose un retardo de aproximadamente 0.26 segundos.

LA COMUNICACION VIA SATELITE, UNA NECESIDAD

Como se mencionó en nuestra Introducción 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 radiocomunicaciones 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 esta 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 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 COMUNICACION VIA SATELITE

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 esté dentro de su area 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.

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, comparando contra un enlace utilizando una red de microondas de 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 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.

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 para manejar hasta 24 canales de tv. Simultáneamente, o su equivalente en telefonía (aproximadamente 960 canales telefónicos por cada canal de T.V.) por cada banda que disponga (C y/o Ku).

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.

CLASIFICACION DE LOS SATELITES.

1.-De acuerdo a su principio de operación: podemos clasificar a los satélites en pasivos y activos, de acuerdo a su principio de operación.

Consideremos a un satélite como pasivo si actúa solamente como superficie reflectora y activo si se 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 órbita: por su órbita los podemos clasificar en "Geoestacionarios" y "No Geoestacionarios". Un satélite geoestacionario es aquel que permanece fijo con respecto a la tierra, es decir, visto desde la tierra aparecerá como un punto fijo en el cielo. Un satélite no geoestacionario aparecerá siempre en movimiento con respecto a la tierra, un ejemplo de esto es la luna.

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

A) Al permanecer fijo el satélite con respecto a la tierra no es necesario rastrear el movimiento para orientar la antena, es decir, una vez que 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 (por ejemplo un país). Aquí debemos incluir un tipo de

satélite con cobertura intermedia entre la global y la doméstica es decir los “regionales” cuyo objetivo es cubrir varias zonas específicas, por ejemplo varios países o alguna región de ellos pero sin intentar cubrir toda el area que cubre un global, un ejemplo de éstos 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 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 internacinal, la antena comunmente utilizada es el tipo de corneta, mientras que en los de cobertura doméstica, los MORELOS por ejemplo, la antena es de tipo parábola. Los sistemas globales son para comunicaciones internacionales e intercontinentales, mientras que los domésticos son para comunicaciones locales, (dentro del mismo país).

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 ésto, 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 un caso particular tomaremos el proyecto "Syncom" por ser este sistema un caso típico, además de pertenecer a los llamados 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 planeados. 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 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 (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.

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:

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

donde:

P_0 = período orbital (seg)

R = radio de la tierra (m)

h = altura del satélite (m)

μ = 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 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 periodo relativo se determina por la relación siguiente:

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

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

LA ORBITA 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 geostacionaria lo cual es derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífuga y de la atracción mecánica especial la cual rige el movimiento de los planetas y de nuestros satélites artificiales. Una vez que el satélite se fije en su posición, es necesario estabilizarlo y corregir su posición constantemente ya que existen fuerzas externas que se encargan de realizar estas “maniobras”. Los motores de maniobra y los motores de orientación son alimentados normalmente por combustibles que operan propulsores químicos, el mas utilizado es la Hidrazina Monopropelente aunque la tendencia apunta hacia la utilización de sistemas bipropelentes. (con dos propelentes distintos: un combustible y un oxidante). De hecho, es este combustible 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 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 Inelsat 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 con satélites geostacionarios 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 permiten compensar las pérdidas ocasionadas en el espacio libre.

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

$$Pr = Pt Gt Gr \frac{(\lambda)^2}{(4 \Pi d)^2}$$

donde:

Pt = Potencia de Transmisión

Gt = Ganancia de antena de Transmisión

Gr = Ganancia de antena de Recepción

λ = Longitud de onda

d = Distancia entre satélite y estación terrena

y

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

determina las pérdidas en el espacio libre.

Dispositivos activos, como amplificadores a diodo túnel, GaAsFET, y tubos de onda progresiva de alto y bajo nivel, permiten compensar las pérdidas en el espacio libre mencionadas. Sen incluyen,

ademas 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:

F_t = Frecuencia de transmisión

F_r = Frecuencia de recepción

La designación de las primeras bandas de frecuencias, dadas a conocer en 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 (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 satelites, en general, tienen como finalidad retransmitir las señales enviadas desde la tierra (señal up-link), para retornarlas en otra banda de frecuencias (señal down-link). Las bandas mas utilizadas son las siguientes:

	BANDA “ C “ (Mhz)	BANDA “ Ku “ (Mhz)	BANDA “ Ka” (Mhz)
ascendente (up-link)	5925 a 6425	14000 a 14500	27500 a 31000
descendente (down-link)	3700 a 4200	11700 a 12200	17700 a 21200

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 o up-link) una serie de convertidores de frecuencia que cambian las señales up-link a una nueva banda de frecuencias para su viaje de regreso a la tierra (señales descendentes o down-link), una serie de transmisores los que amplifican la potencia de las señales down-link y una serie de complejas antenas transmisores y receptores.

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 (normalmente 12) que son construídos 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 siguiente figura 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 radiofrecuencia (RF) en le orden de los 6 Ghz. y las convierte a 4 Ghz (suponiendo banda "C") amplificadas antes de ser transmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignacion a cada transponder de una fracción de la banda total.

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

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

continuacion se delinea el funcionamiento basico de los componentes utilizados en la trayectoria de la señal de comunicaciones.

1.-Antena: las señales de comunicaciones enviadas desde la estación terrena en frecuencia del orden de los 6 Ghz. son recibidas por la antena contrarrotacional (este sistema de antena permite mayor estabilidad al satélite) y pasadas al duplexor de recepción. Debemos aclarar aquí, que el satélite Intelsat III fué un satélite de cuerpo cilíndrico estabilizado por giro (semejante a los Morelos mexicanos) lo que consecuentemente obliga a utilizar una antena contrarrotacional, con giro contrario al del satélite para poderla orientar. Aunque estamos describiendo al Intelsat III, el diagrama es válido, como se 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 referíamos a la antena como la “antena de comunicaciones” para diferenciarla de la de monitoreo (la omnidireccional).

2.-Duplexor de recepción:en el duplexor de recepción son separadas las diferentes bandas (o portadoras) de comunicacion para ser alimentadas a su respectivo transponder o canal, (ver mas adelante “acceso multiple”).

3.-Amplificador a diodo túnel: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 un 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 Arseniuro de Galio ó GaAsFET.

4.-Mezclador:en esta parte son mezcladas la señales de 6 Ghz., para convertirlas en señales de orden de los 4 Ghz. (abatidos o transpuestas 2225 Mhz en bande “C”), en esta misma parte se cuentan con filtros

que eliminan las señales espurias indeseables, producto de la mezcla, permitiendo el acceso al amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT) a las señales útiles de comunicaciones. En el caso de que la banda utilizada fuera la banda "Ku" el cambio de frecuencia en el mezclador es de 2300 Mhz. En cualquiera de los casos observe que la frecuencia de bajada siempre será menor que la de subida.

Esto es así por el hecho de que la señal de bajada 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.

5)Tubo de ondas progresivas de baja potencia:Las señales de comunicaciones son amplificadas en esta parte del equipo.

6)Tubo de ondas progresivas de alta potencia:Aquí las señales de comunicación son finalmente amplificadas al nivel adecuado de transmisión. 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.

7)Duplexor de transmisión:Las señales de todos los transponders son combinadas para ser alimentadas a la antena de comunicaciones 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 mas adelante 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 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 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 la HPA con la finalidad de conseguir el suficiente nivel para que la señal llegue el satélite con la potencia suficiente.

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

SATELITE DE RADIOCOMUNICACIONES

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

Al llegar la señal al satélite, es captado 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" (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.

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:

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

2.- 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.

3.- 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-asignado. Si el acceso es temporal y compartido se le conoce como acceso de asignación por demanda.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS

VENTAJAS DE FDMA

A)No se requiere de sincronización (cada estación transmite independientemente de las otras).

B)La asignación de cada canal es simple y directa.

DESVENTAJAS DE FDMA

A)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.

B)El sistema está propenso a intermodulación por lo que es necesario reducir la potencia (total del transponder) conforme aumenta el número de portadoras con la consecuente pérdida de eficiencia.

VENTAJAS DE TDMA

A)No se comparte la potencia y no se presentan problemas de intermodulación.

B)El sistema es flexible en cuanto a la PIRE que cada usuario transmite en cada enlace ascendente.

DESVENTAJAS DE TDMA

A)Se requiere de una sincronía perfecta en la red.

B)Se requiere de una gran capacidad de almacenamiento si la "trama" es larga.

RUIDO DE INTERMODULACION

Debido a la característica no lineal del TWT del transponder del satélite, cuando se presentan varias portadoras (como en le caso FDMA) se producen productos de intermodulación entre las portadoras afectando la calidad de la transmsión. 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.

