

128
71



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"SATELITES SOLIDARIDAD, CARACTERISTICAS E IMPORTANCIA"

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:

LUIS VICTOR PARTIDA GODINEZ

ASESOR: ING. JUAN GONZALES VEGA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Comunicaciones. Satélites Solidaridad, características e importancia.

que presenta el pasante: Luis Victor Partida Godínez,
con número de cuenta: 9057187-9 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán local, Edo. de México, a 4 de Septiembre de 19 97

| MODULO: | PROFESOR: | FIRMA: |
|---------|--------------------------------|----------------------------------|
| III | Ing. Juan Gonzáles Vega | <i>Juan Gonzáles Vega</i> |
| IV | Ing. Vicente Magaña Gonzáles | <i>Vicente Magaña Gonzáles</i> |
| I | Ing. Alfonso Contreras Marquez | <i>Alfonso Contreras Marquez</i> |

DEP/VOROSER

AGRADECIMIENTOS:

A todos los profesores que a lo largo de la carrera me aportaron una gran cantidad de conocimientos y consejos, los cuáles me ayudaron para llegar al final de esta etapa tan importante.

Al ingeniero Juan González Vega, asesor de este documento, por sus atinados consejos y por ayudarme a terminar satisfactoriamente el presente documento.

GRACIAS

Luis Victor Partida Godínez

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

JORGE E IRMA.

Con todo mi cariño y respeto, ya que siempre me brindaron su cariño, comprensión y apoyo incondicional, lo que hizo posible que pudiera terminar la carrera.

A MIS HERMANOS:

Todo mi cariño y agradecimiento, ya que hemos pasado juntos momentos buenos y no tan buenos, y porque me apoyaron cuando fue necesario.

René

Abraham

Adriana

Hugo

Ursula

Victor

TESINA

SEMINARIO DE COMUNICACIONES

“Satélites Solidaridad, características e importancia”

Alumno: Partida Godínez Luis Victor

No. de cuenta: 9057187-9

Septiembre-1997

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| CAPITULO 1 | |
| GENERALIDADES | 7 |
| • Biografía de Arthur C. Clarke | 8 |
| • La órbita de Clarke | 9 |
| • Principales líneas, puntos y círculos imaginarios de la Tierra | 11 |
| • Medidas de la Tierra | 13 |
| • Medios de Comunicación | 13 |
| • Espectro Electromagnético | 15 |
| CAPITULO 2 | |
| SATÉLITES GEOESTACIONARIOS | |
| CARACTERÍSTICAS GENERALES | 17 |
| • Como llegar a la órbita geostacionaria | 18 |
| • Inyección directa en órbita geostacionaria | 18 |
| • Inyección inicial en órbita elíptica | 19 |
| • Inyección inicial en órbita circular baja | 21 |
| • El satélite y su nuevo hogar | 23 |
| • Frecuencias asignadas y reutilización de frecuencias | 26 |
| • Estructura y funcionamiento de un satélite | 28 |
| • Subsistema de Antenas | 28 |

| | |
|---|----|
| • Subsistema de Comunicaciones | 31 |
| • Subsistema de Energía Eléctrica | 32 |
| • Subsistema de Control Térmico | 35 |
| • Subsistema de Posición y Orientación | 36 |
| • Subsistema de Propulsión | 37 |
| • Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando | 38 |
| • Subsistema Estructural | 39 |
| • Estructura y funcionamiento de una Estación Terrena | 40 |

CAPITULO 3

| | |
|---|-----------|
| SISTEMA DE SATÉLITES MORELOS | 41 |
|---|-----------|

| | |
|--------------------------------------|----|
| • Segmento Espacial | 43 |
| • Cobertura | 45 |
| • Continuidad en los servicios | 48 |

CAPITULO 4

| | |
|---|-----------|
| SISTEMA DE SATÉLITES SOLIDARIDAD | 49 |
|---|-----------|

| | |
|---|----|
| • Centros de Control | 50 |
| • Anatomía del Satélite | 51 |
| • Estructura básica de los subsistemas | 53 |
| • Subsistema Térmico | 53 |
| • Subsistema de Potencia | 53 |
| • Subsistema de Control de Orientación | 54 |
| • Subsistema de Propulsión | 54 |
| • Subsistema de Telemetría, Rastreo y Comando | 55 |

| | |
|--|-----------|
| • Subsistema de Comunicaciones | 56 |
| • Cobertura de los Satélites | 57 |
| • Importancia de los Sistemas de Satélites | 60 |
| GLOSARIO | 63 |
| CONCLUSIONES | 67 |
| BIBLIOGRAFÍAS | 68 |

INTRODUCCION

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

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

Los satélites integran una gran familia, y parte de ella la constituyen los que están abocados específicamente a los servicios de comunicaciones, pero también hay los que fueron hechos para propósitos diferentes: los satélites científicos, los satélites meteorológicos, los satélites militares, etc.

Dentro de los satélites de comunicaciones existen algunas variantes, pero los geostacionarios son los más importantes y los que más se utilizan en la actualidad. Con ello es ahora posible comunicar lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que transmiten es sorprendente.

Por ejemplo se pueden ver en vivo programas de televisión que se están transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo (aún en el caso de que uno se encuentre a bordo de una veloz embarcación en alta mar), transmitir todas las páginas de un periódico (incluyendo fotografías) a un lugar remoto para que se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, transmitir cursos de actualización y de entrenamiento a zonas urbanas y rurales, efectuar diagnósticos médicos a cientos o miles de kilómetros de distancia, realizar transacciones bancarias, actualizar o consultar bancos de datos de computadora, y muchas otras cosas más que contribuyen a la dinámica evolutiva de la sociedad moderna

México se inició en las comunicaciones espaciales en 1968 con la puesta en marcha de la estación terrena de Tulancingo Hidalgo. En 1981 se incorporó a la organización Intelsat al colocar un satélite expreso en la posición 53°W, se trataba del satélite Intelsat IV, el cual transmitía cuatro canales de televisión hacia las comunidades rurales en todo el país.

Poco después (dos años) más de 160 estaciones terrenas fueron instaladas en varios lugares y la mayoría fueron ligadas a transmisiones de televisión de baja potencia, con lo que la programación ya no era exclusiva de el Distrito Federal.

TELECOMM (Telecomunicaciones de México) es una organización creada en 1989 con recursos del gobierno de México, e infraestructura derivada de las dependencias gubernamentales que prestaban servicios de telecomunicación en la manera tradicional. TELECOMM, de acuerdo con la legislación mexicana, es un gobierno descentralizado.

México considera estratégicas las comunicaciones por satélite y su constitución política señala que solo el gobierno federal puede establecer este tipo de servicios, que actualmente están a cargo de TELECOMM en forma exclusiva.

Además de prestar servicios de conducción de señales y redes públicas por satélite, TELECOMM presta en forma exclusiva en todo el país los servicios de Telex, Fax público, Telegramas y giros telegráficos. Opera también una red de datos por paquete y diversos servicios de valor agregado.

Como parte de la infraestructura con que cuenta TELECOMM para brindar sus servicios, está el sistema de satélites Morelos (constituido por los satélites Morelos I y Morelos II), así como el sistema nacional de satélites solidaridad (constituido por los satélites Solidaridad I y Solidaridad II), además del centro de control.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

Biografía de Arthur C. Clarke



Arthur C. Clarke nació en el pueblo costero de Somerset, Inglaterra el 16 de diciembre de 1917. En 1936 mudó a Londres, donde se unió a la Sociedad Interplanetaria Británica (BIS). Ahí empezó a experimentar con material astronáutico en la BIS, y a escribir el boletín de la BIS y ciencia ficción.

En 1945 publicó el artículo técnico "Extra-terrestrial Relays" estableciendo los principios de la comunicación via satélite en órbita geostacionaria - especulación realizada 25 años después. Su invento le ha valido numerosos honores, tales como la Beca Internacional Marconi 1982, una medalla de oro del Franklin Institute, la Cátedra Vikram Sarabhai del Physical Research Laboratory, Ahmedabad, el Premio Lindbergh y una Beca del King's College, Londres. Hoy en día, la órbita geostacionaria a 42,000 kilómetros es llamada La Órbita Clarke por la Unión Astronómica Internacional.

Obtuvo honores de primera clase en Física y Matemáticas en el King's College, Londres, en 1948.

En 1954 Clarke escribió al Dr. Harry Wexler, entonces jefe de la División de Servicios Científicos del U.S. Weather Bureau, acerca del uso de satélites para la predicción del tiempo. De esas comunicaciones nació una nueva rama de la meteorología, y el Dr. Wexler se convirtió en la fuerza conductora del uso de cohetes y satélites para la investigación y operación meteorológica.

En el libro Perfiles del Futuro (1962) echa una mirada a las posibles formas del mundo de mañana. En este libro establece sus tres Leyes.

En 1964, comenzó a trabajar con Stanley Kubric en el guión de un filme de CF. Después de 4 años, compartió con él una nominación al Oscar por la versión filmica de 2001: A Space Odyssey.

Junto con Walter Cronkite y Wally Schirra comentó la transmisión de las misiones Apollo 11, 12 y 15 por la CBS.

Vive en Colombo, Sri Lanka desde 1956 y se ha dedicado a la exploración subacuática a lo largo de esa costa y la Gran Barrera de Arrecifes.

LA ÓRBITA DE CLARKE

Fue precisamente Arthur C. Clarke, quién en 1945 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 estuvieran colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años más tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso en otras órbitas. Además casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial (Figura 1).

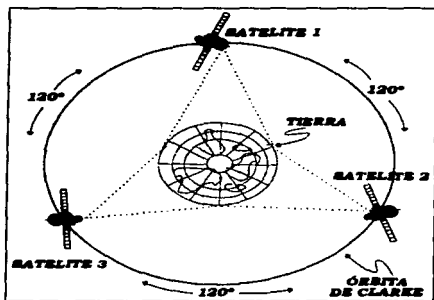


Figura 1.

¿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 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 fijo con respecto a la Tierra, es decir geoestacionario. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra, además para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta cada 24 horas, debía estar aproximadamente a 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 (Figura 2).

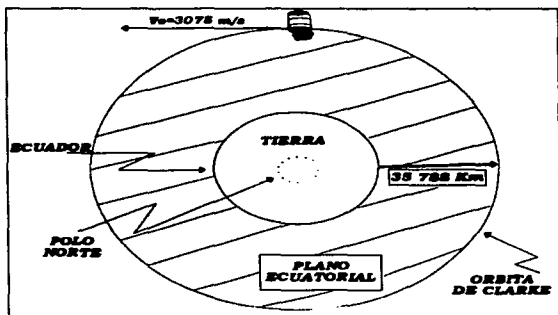


Figura 2. Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas.

Llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, 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 1968 y los sueños de Clarke se había convertido en 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.

PRINCIPALES LINEAS, PUNTOS Y CIRCULOS IMAGINARIOS DE LA TIERRA

Para comprender mejor el sitio en donde se colocan los satélites, presentamos a continuación las principales líneas, puntos y círculos imaginarios de la Tierra como se aprecia en la figura 3.

Eje de rotación: Es la línea imaginaria formada por el movimiento de rotación.

Polos geográficos: Son los extremos del eje de rotación, a 90° latitud norte y sur.

Polos magnéticos: Son cualquiera de los dos puntos de la Tierra situados en las regiones polares a donde se dirige la aguja magnética. El norte está situado en la Tierra del príncipe de Gales, Canadá; y el sur a 70° de latitud y 150° de longitud este.

Plano Ecuatorial: Es el plano que corta el eje de rotación perpendicularmente y en su punto medio.

Plano Paralelo: Es cualquier plano paralelo al plano ecuatorial.

Plano Meridiano: Es el plano que corta a la Tierra apoyándose en el eje de rotación.

Ecuador: Es la línea formada por la intersección del plano ecuatorial con la superficie de la Tierra.

Paralelo: Es la línea formada por la intersección de un plano paralelo con la superficie terrestre.

Meridiano: Es la línea que se origina de la intersección de un plano meridiano con la superficie de la Tierra.

Meridiano de Greenwich: Se considera meridiano 0° o meridiano de origen al que pasa por el observatorio de Greenwich, cerca de Londres (Reino Unido). Los meridianos se utilizan para medir la longitud de un lugar o la distancia en grados que hay desde dicho lugar al meridiano 0° .

Trópico de Cáncer: El trópico de Cáncer está situado en el hemisferio N a $23^{\circ} 27'$

Trópico de Capricornio: El trópico de Capricornio está situado en el hemisferio S a $23^{\circ} 27'$

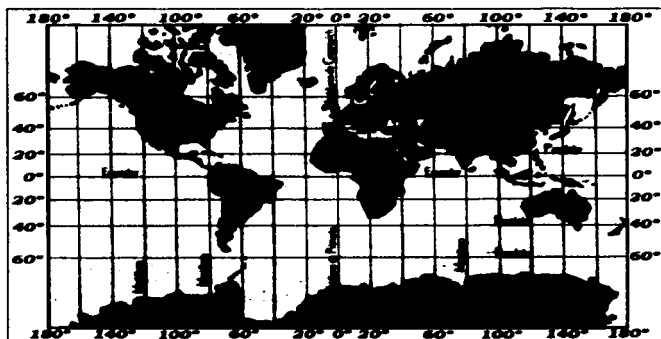


Figura 3.

MEDIDAS DE LA TIERRA

Radio Ecuatorial: 6 378.3 Km.

Radio Polar: 6 356.9 Km.

Circunferencia del Meridiano: 40 009.1 Km.

Circunferencia del Ecuador: 40 076.5 Km.

Longitud de un cuadrante del Meridiano: 10 002.2 Km.

Superficie total de la Tierra: 510 100 000 Km².

Volumen de la Tierra: 1 083 319 780 000 Km³.

Densidad media de la Tierra: 5.52 g/cm³.

Masa de la Tierra: 5 976X10²⁷ g.

Distancia media de la Tierra al Sol: 149 600 000 Km. = 1 UA.

Distancia media de la Tierra a la Luna: 384 365 Km.

MEDIOS DE COMUNICACIÓN

¿Puede el sonido dar la vuelta alrededor de la Tierra? Si nuestra voz, la música o, en general, los sonidos pudiesen propagarse por el espacio sin debilitarse, atravesando paredes, montañas, ciudades, etc., y si a la vez contásemos con un oído sensible, entonces comunicarse a distancia apenas representaría problema alguno.

El problema de las comunicaciones a distancia pudo resolverse con eficacia a partir del momento en que se descubrieron las ondas electromagnéticas. En efecto, mediante ellas los sonidos llegaron con toda su intensidad a cualquier lugar del globo terráqueo. Y no solo esto, sino que también han alcanzado lugares más lejanos, como por ejemplo, nuestro satélite lunar e incluso algunos planetas del sistema solar.

La primera comunicación con ondas electromagnéticas, atravesando la masa líquida del océano Atlántico, se realizó en el año de 1901 por el físico italiano Guillermo Marconi. Fue así como nacieron las comunicaciones inalámbricas, lo que, es innecesario decirlo, supuso un considerable avance en el progreso

técnico de nuestra civilización, puesto que permiten poner en contacto a todos los pueblos del mundo con gran rapidez, sin necesidad de tender cables, cuya obra, sobre todo si han de atravesar el mar, es muy costosa.

La propagación de las ondas electromagnéticas puede hacerse a través del aire, del agua y de los metales, como asimismo a través del vacío. Así se hace posible que las ondas radioeléctricas lleguen a todos los hogares atravesando innumerables obstáculos. Claro que éstos, a su vez, les ocasionan ciertas pérdidas que las debilitan.

A una altura de la superficie terrestre, que oscila de 80 a 400 Kilómetros, el planeta se halla rodeado por una capa invisible denominada ionosfera. Es precisamente esa capa, lo que permite que las ondas radioeléctricas lleguen hasta lugares muy lejanos.

Es interesante observar que las ondas electromagnéticas se propagan en línea recta y, como la tierra tiene forma esférica, las ondas no podrían seguir su curvatura sino fuera por esa notable capa, descubierta precisamente por medio de las ondas electromagnéticas. El descubrimiento de esas ondas produjo una revolución en la técnica, y desde entonces el progreso de sus aplicaciones fue creciendo a un ritmo cada vez más acelerado, debido a que cada invención abría nuevas posibilidades en ese campo (figura 4).

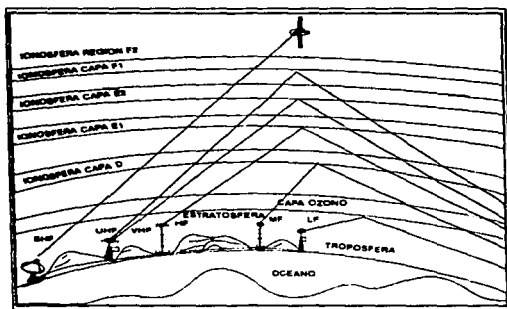


Figura 4. Capas de la atmósfera terrestre, se puede observar la reflexión de las ondas electromagnéticas.

En efecto hubo tal desarrollo, que las nuevas aplicaciones crearon ramas independientes de la técnica de las telecomunicaciones. De este modo, nacieron por ejemplo, la telefotografía, la televisión, el radar y el control remoto o teledirección, invento que ha solucionado el problema de los cohetes teledirigidos, de utilización inmediata en los futuros viajes interplanetarios y, además, de insospechadas posibilidades.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El Espectro electromagnético es el medio o espacio por donde se propagan las ondas electromagnéticas. Ampliando el concepto de Espectro Electromagnético podemos decir que se trata de un conjunto de frecuencias cuyo límite se fija convencionalmente como se muestra en la figura 5.

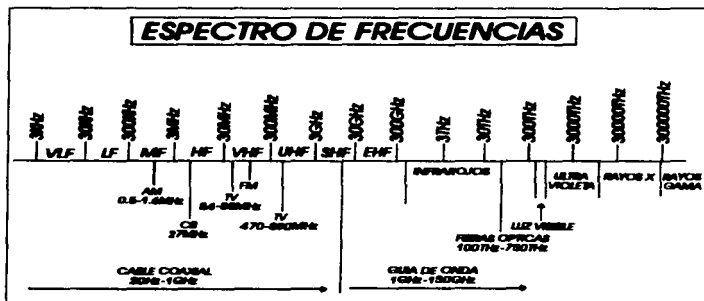


Figura 5. El espectro electromagnético nos muestra el rango total de la radiación electromagnética, desde los rayos gamma a la radiofrecuencia.

Las frecuencias bajas son dos: la banda de muy baja frecuencia (very low frequency VLF) abarca de 3 a 30 KHz, y la baja frecuencia (low frequency LF) que va de 30 a 300 KHz.

Las frecuencias medias (FM) se encuentran arriba de las bajas, entre 300 KHz y 3 MHz; se usan para las transmisiones masivas por radio; por la gran cantidad de aparatos receptores que hay en todo el mundo no se les ha asignado otras funciones.

La banda de alta frecuencia (high frequency HF), de 3 a 30 MHz, tiene posibilidades de alcance mundial, aunque funciona muy irregularmente ya que la propagación de las ondas depende de la geografía de los suelos, el clima, el horario, etcétera. Antes de que se inventaran los satélites y los cables submarinos se usaba para el servicio telefónico internacional. Esta banda ha sido asignada en muchos países a grupos de aficionados de Banda Civil.

Las siguientes bandas del espectro son las de muy alta frecuencia (very high frequency VHF), 30 a 300 MHz, y ultra alta frecuencia (ultra high frequency UHF), 300 MHz a 3 GHz. Aquí se ubican los canales de televisión y radio de frecuencia modulada y también se hacen transmisiones de radio móviles de policías, bomberos, taxis y teléfonos de automóvil. Dentro de estas frecuencias se presta el servicio de telefonía móvil celular.

Por último, están las bandas donde operan las microondas que se localizan en la parte mas alta del espectro, la banda de super alta frecuencia (super high frequency SHF) de tres a 30 GHz, la extremadamente alta frecuencia (extremely high frequency EHF) de 30 a 300 GHz, a partir de esta frecuencia se encuentran los rayos infrarrojos, la luz visible los rayos ultravioleta, los rayos X, y los rayos gama.

CAPITULO 2

*** SATÉLITES**

GEOESTACIONARIOS

*** CARACTERÍSTICAS GENERALES**

COMO LLEGAR A LA ÓRBITA GEOESTACIONARIA

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

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

INYECCIÓN DIRECTA EN ÓRBITA GEOESTACIONARIA

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta la órbita geostacionaria, sin que necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos. La inyección directa en órbita geostacionaria es muy costosa y solo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a

su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete Titán IIIC de los E U A. es un buen ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin

INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA ELÍPTICA

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir muy alargada, en la que el centro de la Tierra es uno de los focos. Una vez ahí, es satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en esa órbita, llamada de transferencia geosíncrona, hasta que se lleva a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios de él mismo (Figura 6).

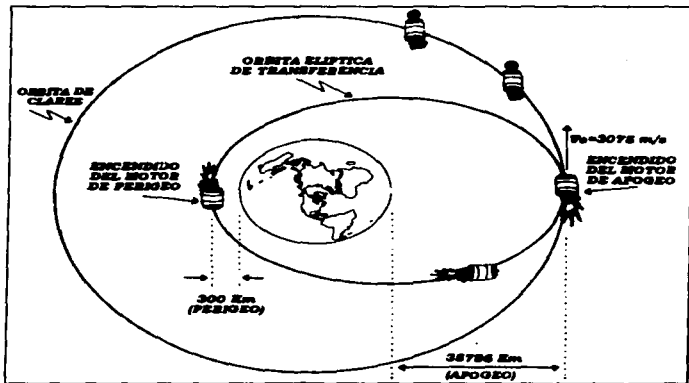


Figura 6. Inyección inicial en órbita elíptica.

El perigeo de la órbita de transferencia geosincrona está normalmente a una altura aproximada de 300 Km. sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35 788 Km., que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar. El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende precisamente en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado; obviamente, el encendido se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección correcta. Al encenderse éste, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia, pasando de la elíptica de transferencia geosincrona a la circular geostacionaria. Los lanzadores Ariane de la Agencia Espacial Europea, comercializados por Arianespace (Figura 7), así como los cohetes Delta y Atlas-Centauro de E.U.A., entre otros, operan bajo los principios de esta segunda técnica.

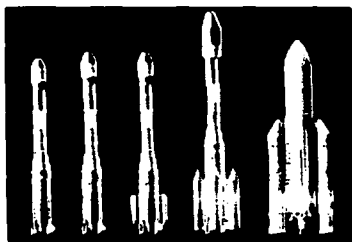


Figura 7. Familia de lanzadores Ariane: Ariane 1, Ariane 2, Ariane 3, Ariane 4 y Ariane 5 (de izquierda a derecha), que colocan satélites en órbita elíptica de transferencia geosincrona.

INYECCIÓN INICIAL EN ÓRBITA CIRCULAR BAJA

Esta es la técnica empleada por el Sistema de Transportación Espacial de la NASA de E.U.A., mejor conocido como orbitador, y consiste en tres pasos, los dos últimos son idénticos al caso anterior de inyección inicial en órbita elíptica, y el primer paso se describe a continuación.

El orbitador despega llevando al satélite en su compartimiento de carga (Figura 8) y entra en la órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km. sobre el nivel del mar (Figura 9).

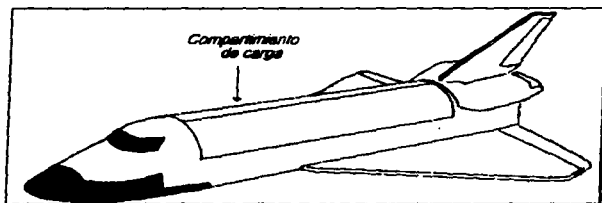


Figura 8. Esquema de un orbitador, en el compartimiento de carga está almacenado un satélite.

En una de las muchas vueltas de la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la Tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimiento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del Ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del Ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica

su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, similar a la del segundo caso explicado anteriormente. Una vez que se ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, más adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

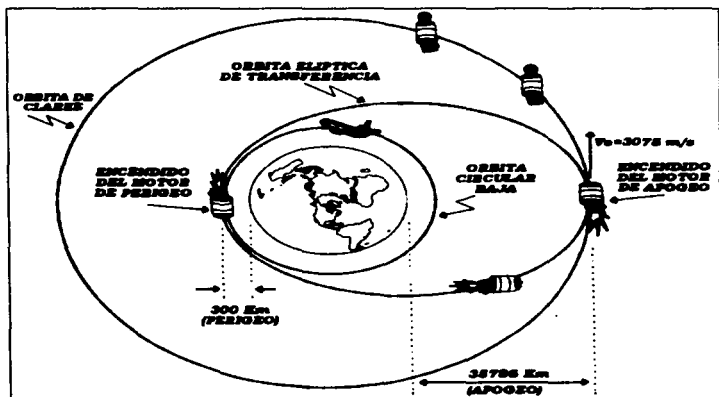


Figura 9. Los orbitadores de la NASA colocan al satélite en una órbita circular baja. Para que este llegue a su posición geostacionaria final deben seguirse otros dos pasos, mediante el encendido de un motor de Perigeo y después el de un motor de Apogeo.

En realidad, el procedimiento para colocar un satélite en la órbita geostacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solamente hay que proporcionarle cambios o incrementos de velocidad al satélite para modificar la geometría de las órbitas que formen parte del procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo también hay que lograr pasar de un plano a otro, y todo ello haciendo el menor consumo posible de energía (combustible) para reducir los costos del lanzamiento.

EL SATELITE Y SU NUEVO HOGAR

El satélite ha llegado a su posición final en el cinturón de Clarke, autorizada a su propietario con años de anticipación por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Sin embargo, no es el primero en llegar ahí; hay muchos otros satélites en el mismo cinturón, algunos jóvenes y otros viejos, de configuraciones, tamaños y aplicaciones distintas, muchos de ellos reciben y transmiten señales en las mismas frecuencias que el satélite recién llegado también usará durante su funcionamiento, por muchos años. Afortunadamente aunque todos son vecinos, no se encuentran colocados en el mismo punto; de hecho, están separados entre sí por dos a tres grados de arco, equivalentes a 1500 y 2200 Km. respectivamente (Figura 10), con lo cual se garantiza que no exista ningún riesgo de interferencia radioeléctrica entre ellos. Además, la posición en longitud de cada uno depende de la zona geográfica que se encargue de intercomunicar, por ejemplo, un satélite diseñado para prestar servicios de telecomunicaciones a la India, se colocará en órbita geostacionaria sobre el océano Índico y no al otro lado de la Tierra, sobre el océano Pacífico, al sur de México; en este lugar de nada le serviría el sistema de la India, a menos que la energía radiada por el satélite pudiese atravesar el planeta y ser capturada por antenas hindúes que estuvieran apuntando hacia el centro de la Tierra y no hacia el cielo.

De cualquier forma, hay ciertas secciones del cinturón de Clarke que son más codiciadas que otras y que por lo tanto se encuentran sumamente pobladas. La zona de mayor tráfico internacional de señales radioeléctricas vía satélite es la del océano Atlántico, debido a que a sus lados se encuentran los países industrializados de América del Norte y Europa. Por lo que se refiere a tráfico interno o doméstico de señales, se intuye que una de las zonas más congestionadas, por la gran demanda de servicios que se encuentran ahí,

tanto en variedad como en cantidad, es la sección del arco ecuatorial comprendidas por las longitudes geográficas de México, E.U.A. y Canadá, así como las longitudes mas cercanas a sus territorios.

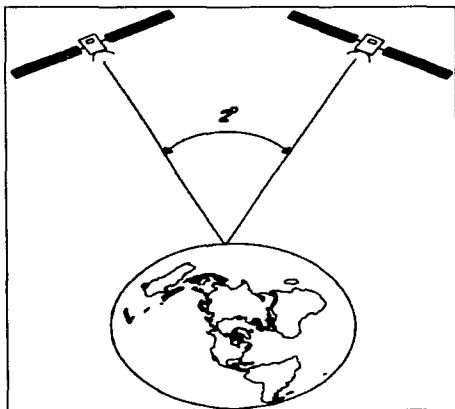


Figura 10. El ángulo mínimo entre los satélites debe estar entre 2 y 3 grados.

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

Sin embargo, el satélite no puede cumplir del todo con los requisitos anteriores, ya que varias fuerzas se encargan de dificultarle su tarea, empujándolo o tirándolo de él de un lado a otro, de tal forma que se puede

imaginar aunque sea de una forma muy exagerada, como una botella que flota sobre las olas del mar cambiando su orientación y posición constantemente. Necesita ayuda para resolver todos estos contratiempos, y tener asimismo cierta flexibilidad de movimiento limitado; nunca se le puede decir "no te muevas ya", como por arte de magia, pues las fuerzas externas se encargan de volver a moverlo. A través del subsistema de propulsión del satélite, es posible ayudarlo a corregir su orientación y posición, enviándole comandos a control remoto en forma periódica.

En la figura 11 se muestran las dimensiones de una gigantesca caja imaginaria en cuyo centro estaría colocado el satélite en el espacio; nótese que cada lado de la caja mide muchos kilómetros.

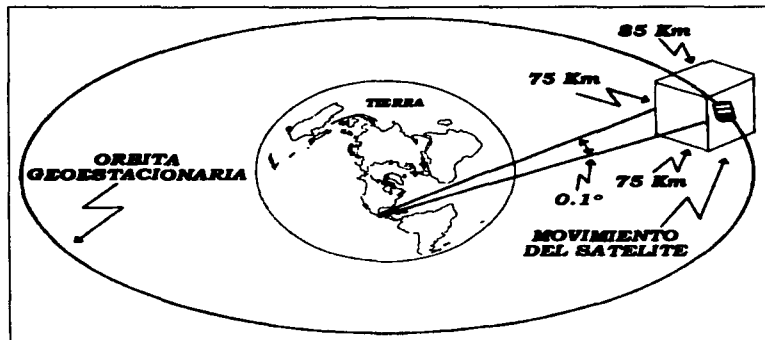


Figura 11. Siempre y cuando el satélite no se salga de esta gran caja imaginaria no hay ningún problema.

Mientras que el satélite se mueva dentro de ella, no habrá ningún problema, pero hay que rastrearlo permanentemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión a control remoto antes de

que se salga, para así regresarlo hacia el otro lado de la caja. Claro está que para realizar todas estas maniobras con precisión, se necesita contar en Tierra con un centro de control espacial computarizado y que el satélite le envíe cierto tipo de información, que le permite a los operadores, y a las computadoras, hacer sus cálculos y tomar las decisiones correctas.

Cada vez que el subsistema de propulsión se activa para corregir la posición y orientación del satélite se consume combustible, y poco a poco los tanques de almacenamiento se van vaciando.

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

FRECUENCIAS ASIGNADAS Y REUTILIZACION DE FRECUENCIAS

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores. Por lo que se refiere al ancho de banda, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha asignado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/12 GHz y 30/20 GHz, respectivamente dependiendo de la región, hay variaciones entre los límites inferior y superior de cada una de estas bandas.

También la UIT ha asignado para el servicio de las estaciones móviles la banda L, con una frecuencia central aproximada de los enlaces ascendentes y descendentes de 1.6/1.4 GHz (figura 12).

Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad, y hasta hace poco había solo 500 MHz de ancho de banda asignados en cada una de ellas, por lo que la mayor parte de los satélites que se utilizan operan con esa cantidad; sin embargo ya se han asignado otras bandas adicionales muy cercanas, y el

ancho de banda se ha incrementado a 1000 MHz. La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales. La banda Ka tiene un atractivo ancho de banda de 3500 MHz, pero su principal desventaja es que cuando llueve los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku.

| |
|--------------------------------------|
| ESTACIONES FIJAS |
| 6 GHz / 4 GHz (BANDA C) |
| 8 GHz / 7 GHz (BANDA X, USO MILITAR) |
| 14 GHz / 12 GHz (BANDA Ku) |
| 30 GHz / 20 GHz (BANDA Ka) |
| ESTACIONES MOVILES |
| 1.6 GHz / 1.4G GHz (BANDA L) |

Figura 12. Cuadro de frecuencias, hay que observar que la frecuencia de subida debe ser diferente a la frecuencia de bajada.

Como puede verse, el espectro radioeléctrico disponible es finito, y con el fin de aumentar la capacidad de cada satélite se han desarrollado dos métodos para utilizar las frecuencias casi por duplicado: reutilización con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La reutilización de frecuencias con aislamiento espacial se realiza con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están suficientemente separados entre si, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

La reutilización de frecuencias con discriminación de polarización se efectúa mediante la transmisión simultánea en un mismo haz, a la misma frecuencia, con señales de polarización ortogonales; éstas pueden ser lineales (horizontal y vertical) o circulares (derecha e izquierda). Muchos satélites comerciales operan con este tipo de reutilización de frecuencias, por ejemplo, los Intelsat, Morelos y Spacenet.

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATÉLITE

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

1. **Subsistema de antenas:** Su función es recibir y transmitir señales de Radiofrecuencia.
2. **Subsistema de comunicaciones:** Amplifica las señales y cambia su frecuencia.
3. **Subsistema de Energía eléctrica:** Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
4. **Subsistema de Control térmico:** Regular la temperatura del conjunto.
5. **Subsistema de Posición y orientación:** Determinar la posición y orientación del satélite.
6. **Subsistema de Propulsión:** Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación.
7. **Subsistema de Rastreo, telemetría y comando:** Intercambiar información con el centro de control en Tierra para conservar el funcionamiento del satélite.
8. **Subsistema Estructural:** Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

SUBSISTEMA DE ANTENAS

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras y después de que son procesadas (este proceso se limita fundamentalmente a amplificación y conversión de frecuencia) en el satélite las transmiten de regreso hacia la Tierra concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas de las que transmiten pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferentes.

Los elementos de alimentación denominados alimentadores son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de onda que emiten energía hacia un reflector parabólico o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores.

Las hay de distintos tamaños configuraciones y acabados que deban tener de ciertas zonas geográficas de la Tierra.

Paradójicamente una antena parabólica chica puede recibir y transmitir dentro de una extensión territorial muy grande mientras que una antena de mayor tamaño que opere a la misma frecuencia solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña.

La razón es sencilla: cuanto más grande son las antenas tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras. Por otra parte, cuanto más alta sea la frecuencia a la que una antena de dimensiones constantes trabaje mayor es su capacidad de concentración de energía; ésta es una característica propia de las antenas parabólicas y en general de todas las antenas llamadas "de apertura" (las antenas de corneta parabólicas simples y Cassegrain caen dentro de esta categoría), cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no de las físicas.

Hay satélites que tienen varias antenas de características distintas con finalidades diferentes. Por ejemplo el satélite de comunicaciones internacionales Intelsat V tiene ocho antenas para poder cubrir una vasta extensión territorial e intercomunicarlas eficientemente al menor costo posible. De estas ocho antenas, dos son globales dos hemisféricas dos de zona y dos puntuales. Las primeras dos son antenas de corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite; es decir pueden recibir desde cualquier estación transmisora que se encuentre dentro de los límites de esa zona y pueden transmitir también hacia cualquier estación receptora que se halle dentro del mismo contorno. Las otras seis antenas si son parabólicas y la extensión territorial que cubren es aquella dentro de los límites de los contornos mostrados en la figura 13. Nótese que las zonas más pequeñas son las cubiertas por las antenas de cobertura puntual, que reciben este nombre precisamente porque concentran su potencia casi en un punto, en relación

con las dimensiones del planeta; los haces de iluminación de estas antenas por ser tan angosto, reciben el nombre de haces pincel o puntuales.

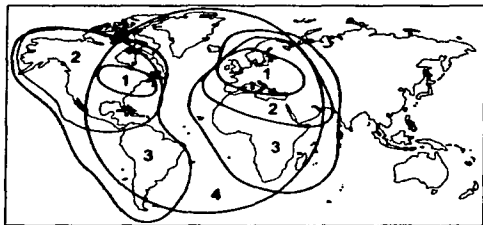


Figura 13. Cobertura terrestre de los haces de iluminación de las antenas de un satélite Intelsat V colocado sobre el océano Atlántico:

- 1.- Ház puntual o local.
- 2.- Ház de zona.
- 3.- Ház hemisférico.
- 4.- Ház Global

En la misma figura 13 se observa que la cobertura de cada haz, denominada huella de iluminación, está limitada por un contorno muy irregular. La irregularidad de estos contornos está hecha a propósito por los diseñadores de las antenas del satélite, aunque es mucho más sencillo construir una antena cuya huella de iluminación sea un círculo o una elipse; de esta forma no se desperdicia potencia transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay tráfico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, y en cambio se aprovecha mejor concentrándola para que ilumine sólo los lugares geográficos en los que sí hay densidades importantes de población, equipos y gran demanda de servicios de comunicación. Como las huellas de iluminación tienen ciertos contornos, el haz que irradia cada una de estas antenas también se le llama haz de contorno, independientemente de la extensión territorial que abarque.

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

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

El diagrama de la figura 14 muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez en él solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones; es normal que algunos de estos equipos se instalen repetidos o sea que sean redundantes para que en el caso de que uno de ellos se descomponga, exista aún la posibilidad de tener una trayectoria ininterrumpida entre las antenas de recepción y transmisión; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro. A la trayectoria completa de cada repetidor comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite.

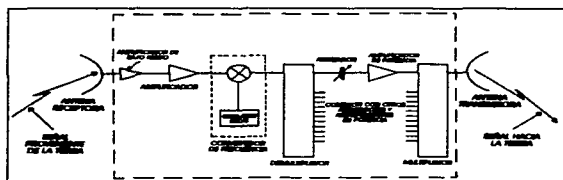


Figura 14. Relación entre los subsistemas de comunicaciones (punteado) y el subsistema de antenas.

En realidad cada cadena es más compleja de lo que se muestra en el diagrama, además de que puede haber ligeras variantes en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia pero lo que se ha incluido por el momento es suficiente para explicar a grandes rasgos cuál es su función. Este subsistema incluyendo el de las antenas es el de mayor interés para los ingenieros en comunicaciones cuya responsabilidad es planificar el uso del satélite, es decir, asignar las trayectorias o transpondedores en los que se deben de ir los diferentes servicios, como los canales de televisión telefonía y datos con sus correspondientes niveles de potencia así como el espacio (por espacio se entiende el porcentaje de la potencia total del amplificador y el porcentaje de su ancho de banda que son usados por cada señal) que deban ocupar dentro de cada amplificador.

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

SUBSISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para funcionar adecuadamente todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin Interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por cada uno en particular depende de sus características de operación y normalmente varía entre los 600 y 2 000 Watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas

solares. Hasta ahora ningún satélite comercial de comunicaciones utiliza energía nuclear, pues los combustibles como el curio-244 y el plutonio, aun cuando son relativamente fáciles de usar y requieren un sistema de protección sencillo para que no dañen por radiación a los componentes electrónicos del satélite, son muy caros; por otra parte, los combustibles baratos, como el estroncio-90 son peligrosos y puede implicar un grave riesgo en perjuicio del medio ambiente. Sólo las sondas interplanetarias enviadas hacia los planetas exteriores justifica el uso de generadores de radioisótopos, pues la densidad de energía solar por unidad de volumen es muy baja en aquellas regiones.

Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. En un principio era del orden del 8%, ahora se utilizan celdas con una tecnología mejor, que brindan factores de eficiencia del 10 al 12% pues también aprovechan gran parte de la energía radiada por el Sol en la región ultravioleta de su espectro. Aun así esta eficiencia sigue siendo muy baja y es probable que en los próximos años el silicio con el que están hechas las celdas de hoy sea sustituido por arseniuro de galio ya que experimentalmente se ha demostrado que este último material ofrece una eficiencia de aproximadamente 18%.

Con arseniuro de galio se puede obtener un determinado voltaje usando menos celdas conectadas en serie que el número que se requiere cuando se emplean celdas de silicio; además de estos las primeras tienen la desventaja de que son menos dependientes de la temperatura, pero todavía son muy caras y densas, y pasarán varios años antes de que comiencen a utilizarse en gran escala.

Las celdas solares funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico, cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas mayor es la electricidad que generan.

El efecto fotovoltaico también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares; cuanto más baja sea ésta mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas. Cuando el satélite se encuentra a la distancia de una unidad astronómica (una unidad astronómica (1 UA) es la longitud del semieje mayor de la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol aproximadamente igual a ciento cincuenta millones de kilómetros) del Sol la intensidad de la radiación solar sobre sus celdas es de 1 350 watts por cada metro cuadrado de superficie. Todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiaciones que año tras año van disminuyendo su eficiencia aun más; después de unos 7 años de operación la

reducción de su eficiencia puede disminuir aproximadamente en un 30% con respecto a la eficiencia original aún cuando llevan una cubierta de protección hecha de sílice fundido.

La intensidad de radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante puesto que éste se acerca o aleja del Sol junto con la Tierra al desplazarse alrededor de él completando una vuelta en un año; cuando el satélite y la Tierra se acercan al Sol la intensidad de la radiación solar sobre las celdas aumenta esto ocasiona que en diferentes épocas del año se tenga más o menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima en los solsticios.

Durante toda su vida de operación, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos necesita obtener su energía eléctrica de alguna otra fuente que no sea el Sol para poder seguir funcionando; esta fuente secundaria o de respaldo la constituye un conjunto de baterías que se cargan cuando las celdas solares se hallan expuestas al Sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. En el momento en que ocurre un eclipse, ya sea de Tierra o de Luna unos relevadores eléctricos detectan la disminución en el nivel de la energía suministrada por las celdas a los equipos y conectan las baterías automáticamente. De esta forma las baterías comienzan a descargarse poco a poco mientras alimentan al satélite y su operación se puede requerir durante muchos minutos a veces más de una hora dependiendo de la duración del eclipse. Cuando éste concluye y el satélite queda otra vez expuesto a los rayos del Sol las celdas solares vuelven a hacerse cargo como fuente primaria de energía al mismo tiempo que recargan las baterías para que estén listas cuando se les requiera nuevamente.

Los eclipses ocurren cuando la Tierra o la Luna se interponen entre el Sol y el satélite. En la figura 15 se muestra, por ejemplo la posición del satélite con respecto al Sol cuando ocurre un eclipse de Tierra. Dada la inclinación del eje de rotación del globo terráqueo con respecto a la eclíptica y a que el satélite gira alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, los eclipses de Tierra no ocurren todo el Año sino solamente dentro de los 21 días antes y después de cada equinoccio; los eclipses pueden durar en cada uno de esos días desde unos cuantos minutos hasta un máximo de 70 minutos, en la fecha de los equinoccios de primavera y otoño.

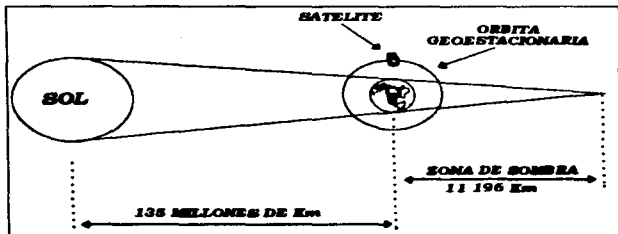


Figura 15. Periodo de eclipse para satélites geoestacionarios.

Las baterías que más se utilizan en los satélites geoestacionarios de comunicaciones son de níquel-cadmio; su eficiencia de potencia-peso es baja pero se prefieren porque son muy confiables y de larga duración.

Sin embargo, algunos satélites (p.ej., Intelsat V y Spacenet) ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y que quizá poco a poco las irán reemplazando desde la fecha hasta el año 2000. Hay otros tipos de baterías que aún se encuentran en la etapa de investigación por ejemplo de plata-hidrógeno litio y sodio.

SUBSISTEMA DE CONTROL TÉRMICO

El satélite está integrado por un gran número de elementos todos ellos fabricados por distintos materiales y diseñados para realizar funciones diversas. Por ejemplo las celdas solares trabajan con mayor eficiencia entre -100°C y $+50^{\circ}\text{C}$, las baterías solamente entre 0°C y $+50^{\circ}\text{C}$; el equipo electrónico y los sensores infrarrojos entre otros componentes también requieren rangos específicos de temperatura para funcionar bien. Por lo tanto es preciso garantizar un control térmico eficaz en la estructura del satélite y en cada uno de sus

equipos para que no falle. El mecanismo para hacerlo es muy complejo pues se necesita mantener un balance térmico entre la energía que el satélite recibe por la radiación de fuentes externas y la energía que él mismo disipa internamente. Uno de los factores que intervienen en el equilibrio térmico en cuestión es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del Sol y de la Tierra son otros factores que deben considerarse también.

La energía proveniente de la Tierra la integran dos tipos de radiación: la propia de ella y la del Sol reflejada por su superficie (albedo). La suma del calor generado internamente por el satélite más el producido por la absorción de energía del Sol y de la Tierra, menos el radiado por el satélite hacia el exterior, se debe mantener lo más constante posible, con pocas variaciones de tal modo que el satélite funcione íntegro y correctamente. El control de este balance térmico es también muy importante cuando ocurre un eclipse pues el satélite se enfría bruscamente al quedar en la oscuridad y cuando esté de nuevo expuesto a los rayos del Sol sufre otro cambio brusco de temperatura.

SUBSISTEMA DE POSICIÓN Y ORIENTACIÓN

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y retransmitirlas hacia otra a través de su subsistema de antenas direccionales, que por supuesto deben permanecer orientadas hacia la zona geográfica de servicio. Para que tal situación se logre, es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la Tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial.

Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite (o en algunos casos toda su estructura) gira para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la Tierra. En los primeros satélites que utilizaron antenas de haces direccionales, éstas se hacían girar en sentido contrario al giro del cuerpo cilíndrico del satélite de tal forma que en realidad no se movían con relación a la superficie terrestre. Sin embargo, esta solución perdió practicabilidad al ir evolucionando las generaciones de satélites y hoy solo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de su estructura (que incluye a las

antenas) se mantiene fijo, la unión entre la sección que gira y la que no gira es un mecanismo de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con muy poca fricción. El satélite, al girar sobre su eje (que es paralelo al de rotación de la Tierra) se vuelve menos vulnerable a las fuerzas perturbadoras que tienden a sacarlo de su posición correcta.

Los satélites con estabilización triaxial no giran, y aparentemente permanecen estéticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la Tierra. En estos casos la estabilización de la estructura del satélite se conserva mediante volantes giratorios que van colocados en su interior sobre cada uno de los tres ejes utilizados como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie terrestre.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la Tierra. Por lo tanto es preciso poder determinar de alguna manera y en todo momento dónde está el satélite y cuál es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en qué dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra (el centro de control). La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite que éste retransmite después, y la diferencia que se detecta en el centro de control entre las fases de la señal transmitida y la recibida es un indicador de lo lejos que se encuentra. Cuando se obtiene la posición de máxima recepción se considera que la antena de la estación terrena está perfectamente orientada hacia el satélite y por lo tanto se puede conocer la dirección o ángulo en que éste se encuentra.

SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN

El subsistema de propulsión o de control a reacción opera según el principio de la tercera ley de Newton; mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje cientos o miles de veces más grandes que los eléctricos.

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para producir un incremento de velocidad determinado mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje aplicado o producido por cada unidad de peso del propelente que se consume cada segundo; en consecuencia tiene dimensiones de tiempo y se expresa en segundos.

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

SUBSISTEMA DE RASTREO, TELEMETRÍA Y COMANDO

Este subsistema permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de prueba que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores son convertidas en una señal digital que el satélite transmite hacia la Tierra con una velocidad baja entre 200 y 1000 bits por segundo, y esta información permite conocer el estado de operación del sistema satelital, apoyada por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. Normalmente se utilizan de 6 a 7 tonos distintos, cuya frecuencia es de unos cuantos kilohertz, y que modulan sucesivamente en fase con la señal portadora de la estación terrena de control; el satélite recupera los tonos y remodula con ellos a su propia portadora para retransmitirlos hacia la Tierra en donde son detectados por el centro de control. Las señales recibidas en Tierra se comparan en fase con las transmitidas originalmente y las diferencias obtenidas permiten calcular la distancia a la que se encuentra el satélite con precisión de una cuantas decenas de metros.

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

SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

La estructura del satélite es la armazón que sostiene a todos los equipos que lo forman y que le da la rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto desde el momento en que abandona la superficie de la Tierra; este importante subsistema debe ser durable resistente y lo más ligero posible.

Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos, fuerzas centrífugas, empujes de los propulsores y esfuerzos mecánicos (cada vez que se desprende alguna etapa del cohete que lo transporta o de él mismo). Cuando llega a su posición orbital final, y tal como ya se ha indicado, el satélite se ve afectado por impactos de micrometeoritos, presiones de radiación de las antenas, fuerzas de atracción de la Tierra, la Luna y el Sol y empujes generados por su propio subsistema de propulsión. En consecuencia, tanto la estructura del satélite como cada una de las demás partes que lo componen deben diseñarse para que soporten esas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo esperado de vida. Para ello el diseñador tiene a su alcance una diversidad de materiales para fabricar la estructura así como muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica a través de los años. Los materiales más comunes para este fin son

aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero y varios plásticos reforzados con fibra de carbón; de éstos, el berilio es el más caro, y por lo tanto su utilización es limitada. Dependiendo del diseño (número y forma de las antenas, tipo de estabilización, número y potencia de los amplificadores, etc.), la masa de la estructura puede variar entre 10 y 20% del total de la masa del satélite; una buena parte de esa estructura (los cilindros o las paredes de la caja, según el caso) se fabrica con "panal de abeja" (honeycomb) de aluminio, por su ligereza y rigidez excelentes.

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UNA ESTACIÓN TERRENA

Todo satélite es un nodo o punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte que se complementa con las estaciones terrenas que se comunican a través de él. Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí de los cuales el más representativo y conocido es su antena o plato parabólico. El término "estación terrena" se utiliza indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunica desde la Tierra con un satélite sin importar si está fijo en algún punto, si es una unidad móvil o si está instalado en un barco avión o cualquier otro vehículo. Por lo general la misma antena se utiliza para transmitir y recibir si es que su aplicación así lo requiere; para esto se interconecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado diplexor. Si la estación cuenta con un sistema de rastreo, la antena tiene comúnmente (además de su propio alimentador) un sistema separado de alimentación que permite realizar el rastreo automáticamente del satélite en combinación con varios mecanismos acoplados a ella.

CAPITULO 3

SISTEMA DE SATÉLITES

MORELOS

El Sistema de Satélites Morelos es un proyecto del Gobierno Federal que permite ampliar la infraestructura de las telecomunicaciones y que, además de satisfacer las necesidades de servicio del país, garantiza su autonomía en este ramo.

Este sistema consta de dos segmentos fundamentales: el espacial y el terrestre. Se define como segmento espacial al conjunto de estaciones ubicadas en el espacio o satélites de comunicaciones; el segmento terrestre lo constituye el conjunto de estaciones de comunicaciones que se enlazan entre sí por medio del segmento espacial y que están ubicadas en la superficie del territorio mexicano.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) adquirió dos satélites para telecomunicaciones, de la empresa Hughes Aircraft Co., de la serie HS-376, y para su lanzamiento se contrataron los servicios del Sistema de Transportes Espacial (NASA) en los Estados Unidos.

Ambos satélites están diseñados para transmitir en dos bandas de frecuencia, la C, de 4/6 GHz, y la Ku, de 12/14 GHz. Cada satélite consta de 22 transpondedores: 18 en la banda C y cuatro en la Banda Ku.

El control operativo de los satélites se realiza desde el territorio nacional a través del Centro de Control, Telemetría, Rastreo y Comando, ubicado en el conjunto de Telecomunicaciones (CONTEL) en Iztapalapa, en la ciudad de México.

En la banda C, cada satélite tiene 12 transpondedores de 36 MHz de ancho de banda y seis de 72 MHz; en la banda Ku cada uno tiene cuatro transpondedores de 108 MHz.

El ancho de banda de un transpondedor y la potencia de transmisión del mismo determinan la cantidad de información, con calidad aceptable, que puede enviarse por él. En general, un transpondedor de 36 MHz tiene una capacidad promedio para manejar mil canales de telefonía, uno o dos canales de televisión, o datos a una velocidad de hasta 60 millones de bits por segundo. Los transpondedores de 72 y 108 MHz tienen, respectivamente, el doble y triple de la capacidad de uno de 36 MHz.

SEGMENTO ESPACIAL

El Sistema de Satélites Morelos consta de dos satélites de telecomunicaciones puestos en órbita en el año de 1985, el Morelos I, el 17 de junio y, el 26 de noviembre el Morelos II. A través del satélite Morelos I se prestó los servicios de telecomunicaciones.

El Morelos II, por haber sido concebido como un satélite de respaldo del Morelos I, pero con posibilidad de operar servicios sujetos a interrupción, se ubicó en una órbita de almacenamiento, en la cuál estuvo por espacio de tres años, para después desplazarse de forma natural a su posición definitiva, a la cuál arribó a finales del año 1988, lo que le permitió ahorrar combustible y extender su vida útil.

Cada satélite del Sistema Morelos mide 2.16 m de diámetro y 6.60 m de altura; tiene una masa inicial en órbita de 666 Kg., de los cuáles 145 son de Hidrazina (combustible), con una vida útil de 9 años aproximadamente (Figura 16).

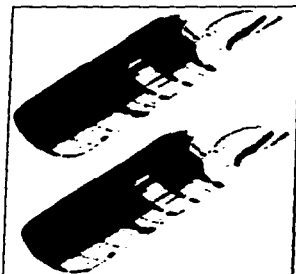


Figura 16. Satélites Morelos I y Morelos II.

En cada caso, la fuente primaria de alimentación de energía eléctrica requerida para su operación consta de un dispositivo de celdas solares, montadas sobre el cuerpo cilíndrico del satélite, que generan 940

watts de corriente directa. Además, se cuenta con baterías de almacenamiento a bordo, capaces de generar 830 watts, para casos de eclipses o de escasa iluminación de las celdas solares.

Los dos satélites quedan colocados en la órbita geoestacionaria. El sistema incluye los dos satélites, el equipo e instalación de una estación de rastreo, telemetría y comando.

La NASA fue la responsable del lanzamiento y colocación en órbita de los dos satélites, colocando a los satélites Morelos I y II en la posición 113.5°W y 116.8°W respectivamente.

Cada uno de los satélites está formado por diversos subsistemas, tales como el de comunicaciones, telemetría, rastreo y comando, control de orientación, propulsión, de energía eléctrica y térmico. En la figura 17 y 18 se ilustran sus componentes.

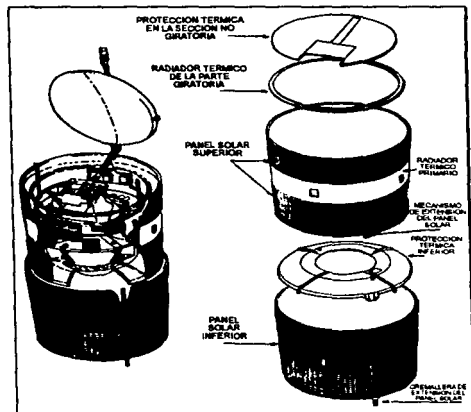


Figura 17. Vista seccionada del satélite.

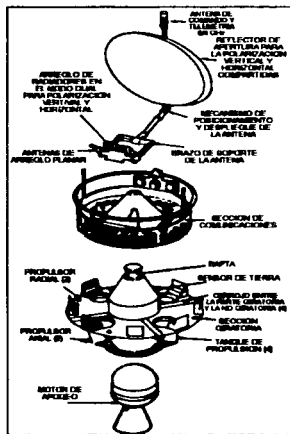


Figura 18. Componentes del satélite.

COBERTURA

El subsistema de comunicaciones de microondas consiste en una sección de antena y 22 canales repetidores (transpondedores) que operan tanto en la banda C como en la banda Ku. La parte correspondiente a la banda C utiliza el concepto de reutilización de frecuencia, lo que permite una capacidad de 12 canales de banda angosta (36 MHz) y seis de banda ancha (72 MHz).

Por lo que se refiere a la banda Ku, no se hace reuso de frecuencias y se cuenta con cuatro canales o transpondedores de 108 MHz de ancho de banda cada uno.

El subsistema de antenas para comunicaciones es, en realidad, un arreglo de varias antenas. Se forman seis diferentes haces de comunicaciones, además de tres haces para rastreo. El corazón del subsistema de antenas es un reflector parabólico dual, ensamblado y localizado en el extremo de la plataforma no giratoria y apuntando nominalmente hacia el centro de México.

El reflector dual se ensambla con sus respectivos alimentadores formando cinco de los seis haces de comunicaciones. Los cinco haces son para: la transmisión de la banda C, polarización vertical y horizontal; recepción de la banda C, polarización vertical y horizontal, y la transmisión de la banda Ku, polarización horizontal. El sexto haz está relacionado con la recepción de la banda Ku en el arreglo planar. Los contornos de las coberturas se muestran en las figuras 19, 20 y 21.

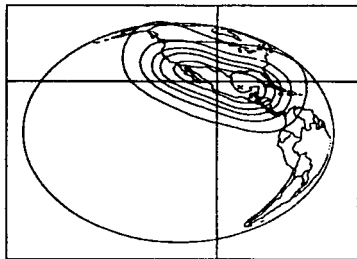


Figura 19. Potencia radiada desde el satélite. Transpondedores de banda C angosta.

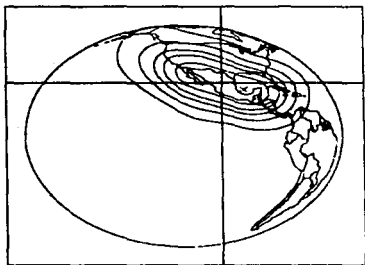


Figura 20. Potencia radiada desde el satélite. Transpondedores de banda C amplia.

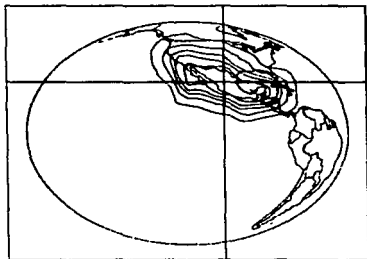


Figura 21. Potencia radiada desde el satélite. Transpondedores de banda Ku.

CONTINUIDAD EN LOS SERVICIOS

Al concluir la vida útil del Morelos I en el primer trimestre de 1994 y el Morelos II en el primer trimestre de 1998, y con el propósito de mantener la continuidad en los servicios que se prestaban y que ofreciera una respuesta creciente a la demanda de servicios por parte de los usuarios, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través del organismo descentralizado TELECOMM, se dio origen al sistema de satélites Solidaridad.

Se programó que los satélites Solidaridad se pusieran en órbita desde Kourou, base de lanzamiento de Arianespace, ubicada en la Guyana Francesa, Sudamérica, en noviembre de 1993 y marzo de 1994. Este lugar fue seleccionado debido a su cercanía con el Ecuador, lo que hace posible ahorrar combustible al lanzador.

CAPITULO 4

SISTEMA DE SATÉLITES

SOLIDARIDAD

El Sistema de Satélites Solidaridad consta de dos naves espaciales con estabilización triaxial y pertenecen a la nueva serie HS-601 de la Compañía Hughes Aircraft. Ocuparán dos posiciones orbitales: una en los 109.2° longitud Oeste y otra, que sustituirá el Morelos I, en los 113.0° longitud Oeste. El Morelos II mantendrá la posición de los 116.8° longitud Oeste.

Los dos satélites incluyen en su carga útil las bandas C y Ku, como los Morelos, además de una nueva banda, la L para comunicaciones móviles.

Es necesario destacar que el nuevo sistema de telecomunicaciones es de cobertura doméstica y regional, es decir, abarca México, su mar patrimonial, parte de Estados Unidos y Canadá, así como el Caribe, Centro y Sudamérica.

CENTROS DE CONTROL

Los centros de control satelital tienen como principales funciones:

- Control de posicionamiento
- Control de integridad operativa del sistema de satélites
- Verificación de parámetros asignados para la operación de los servicios.

México cuenta con dos centros de control: El Primario, instalado en el Conjunto de Telecomunicaciones, CONTEL, en la Ciudad de México con los componentes necesarios para el adecuado control simultáneo de los satélites Morelos II y Solidaridad I y II.

El otro es el Centro de Control Alterno que se localiza en Hermosillo, Sonora y el cual respaldará al Centro de Control Primario para dar soporte a los satélites Morelos y Solidaridad.

ANATOMIA DEL SATELITE

El satélite HS-601 fue introducido en 1987 para satisfacer los requerimientos de alta potencia, para satélites de carga múltiple para aplicaciones tales como televisión directa para recepción en antenas pequeñas, cadenas privadas de negocios, y comunicaciones móviles.

La anatomía del satélite Solidaridad está compuesto por dos módulos:

1. La estructura primaria que contiene el combustible del vehículo, y el subsistema de propulsión.
2. Una estructura de rejilla que contiene los equipos de comunicaciones, electrónicos, el paquete de baterías y las tuberías isotérmicas de calor.

El satélite Solidaridad es una nave espacial de cuerpo estabilizado triaxialmente (figura 22). Consiste de una porción central en forma de cubo que contiene los sistemas electrónicos y de propulsión, y, a lo largo del eje norte-sur, tiene un par de alerones con tres paneles cada uno con arreglos de células solares que miden un total de casi 21 metros de longitud.

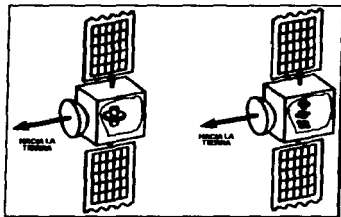


Figura 22. Estabilización por 3 ejes. Este sistema cuenta con ruedas giratorias generadoras de momentum movidas por un motor (es posible usar una sola, pero puede haber mas para redundancia).

Cada nave espacial pesa casi 1,641 kg. al inicio de su vida en órbita. Sus paneles solares suministrarán 3,300 vatios, y una batería de 27 celdas de níquel e hidrógeno lo alimentará durante los periodos de eclipses.

Con las antenas desplegadas, la nave espacial mide 7.2 metros de ancho. La antena de la banda C está en el lado oeste de la nave espacial y la banda Ku en el lado este (y transmisión en banda C a Sudamérica). Ambas antenas tienen 2.4 por 1.8 metros, son ovaladas con alerones en X y con dos superficies reflejantes, una de las cuales es sensible a la polarización vertical y la otra a la horizontal. Una red de dipolos acoplados de la banda L, de 26 elementos, cubre el lado de la nave espacial que da la cara a la Tierra (figura 23).

Las antenas del satélite Solidaridad y los paneles solares se pliegan a lo largo del cuerpo durante el lanzamiento, formando un cubo de 2.7 por 3.5 por 3.1 metros.

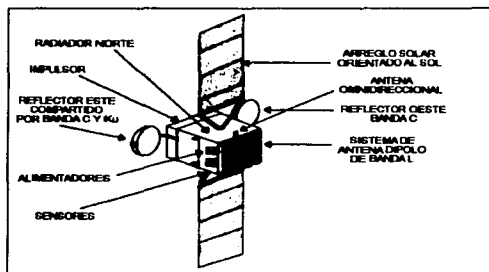


Figura 23. Estructura básica del satélite Solidaridad (HS-601).

ESTRUCTURA BASICA DE LOS SUBSISTEMAS

SUBSISTEMA TERMICO

El control térmico es realizado por el uso de los radiadores multizona Norte y Sur equipados con tubos de calor, acabados pasivos, mantas de aislamiento multicapa y calentadores de resistencia eléctrica. Los tubos de calor del radiador son usados para desechar en seguida el calor internamente disipado al espacio.

Los tubos de calor son incrustados en los paneles radiadores norte-sur y la disipación térmica se extiende desde los amplificadores de potencia de RF de la carga útil hasta lo largo de sus superficies.

La superficie exterior de los paneles radiadores son cubiertos con baja absorción, cristales de cuarzo de alta emitancia para maximizar el rechazo de calor al espacio mientras minimiza la energía solar absorbida.

Todas las unidades de carga útil de alta disipación son montadas en seguida a la superficie interior de los radiadores para un rechazo eficiente de calor. El uso de tubos de calor en los paneles radiadores permite un control seguro de temperatura de las unidades de carga útil para mantener condiciones isotérmicas sobre los paneles radiadores.

SUBSISTEMA DE POTENCIA

El sistema de potencia eléctrica genera y distribuye la potencia de corriente directa requerida para soportar las operaciones del satélite durante todas las fases de la misión. La potencia primaria es proporcionada por la luz solar, las celdas solares de alta densidad de energía están montadas en dos arreglos solares desplegables que siguen al sol durante toda la órbita del satélite hasta el fin de su vida. Cuando los arreglos son iluminados el bus es regulado de 50.90 volts a 52.90 volts y por limitadores del voltaje del bus localizado en la estructura de cada arreglo solar. La potencia secundaria es proporcionada durante el lanzamiento.

La potencia de la batería es regulada por dos controladores de descarga de batería que operan en paralelo para mantener el voltaje de bus en 50.50 volts.

Después de un eclipse, una cantidad del controlador de carga de baterías (BCC) automáticamente recarga el sistema de baterías, comenzando tan pronto como el voltaje del bus alcanza o sobrepasa el punto del controlador de descarga de batería (BDC).

SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACION

Este subsistema incluye los sensores, el control de actuadores y el equipo microprocesador digital necesarios para controlar la orientación del satélite durante todas las fases de la misión, incluyendo el ascenso, la adquisición de Sol y de Tierra, las operaciones normales y mantenimiento en su órbita geostacionaria. El diseño del ACS está basado en un control de tres ejes para su operación en órbita de transferencia de la misión.

El ACS también opera el despliegue de las antenas, el posicionamiento de las alas solares y un sistema autónomo de manejo de detección de fallas y respuestas de funciones que permiten al satélite mantenerse en servicio con un mínimo de actividades de control desde Tierra.

El ACS nos proporciona exactitud, seguridad y un control automático del satélite durante la duración de la misión. El sistema actúa con un alto grado de autonomía operacional, incorporando la auto-revisión y la detección de fallas para ejecutar las acciones correctivas pertinentes. Los componentes mayores incluyen los procesadores de control del satélite, redundancia en los sensores de Tierra, un giro triaxial para cenar el cuerpo del satélite durante las maniobras y una rueda de momento de dos ejes. El control de la orientación es controlado por el momento de giro de la rueda y los ángulos del balanceo.

SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN

Se trata de un sistema integrado bipropelente que permite la inserción en órbita, el control de orientación y las funciones de mantenimiento en su órbita geosíncrona para ser realizadas con una fuente común de propelente. Los propelentes almacenados son consumidos por doce impulsores de control de orientación y por un motor de apogeo para la generación de los impulsos requeridos.

La mezcla de propelente está diseñada para dar un alto requerimiento y un consumo volumétrico igual de los propelentes, permitiendo que los tanques del propelente tengan el mismo tamaño.

El combustible y el oxidante están contenidos en cuatro tanques esféricos de titanio con 89.0 cm de diámetro, los cuáles son presurizados después del lanzamiento desde dos tanques cilíndricos de helio.

Doce impulsores están configurados para el control total en todo momento en los tres ejes. Estos proporcionan el impulso necesario para girar al satélite, para reorientaciones, para el desgiro del satélite, para las maniobras de mantenimiento en su órbita geosíncrona y para el control de orientación con completa redundancia funcional. Un motor de apogeo líquido proporciona el impulso necesario para mantener las maniobras de apogeo.

SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA, RASTREO Y COMANDO

Este subsistema tiene las siguientes funciones:

1. Flujos de telemetría de frecuencias dobles únicas, para evitar interferencias y pérdidas de información.
2. Frecuencias de comando primarias y de respaldo.
3. Determinación (medición de la distancia del satélite a Tierra).
4. Envíos del estado y datos de operación del satélite a Tierra.
5. Recepción y distribución de comandos.
6. Recepción y transmisión de tonos de determinación.

La figura 24 muestra el subsistema de telemetría, rastreo y comando.

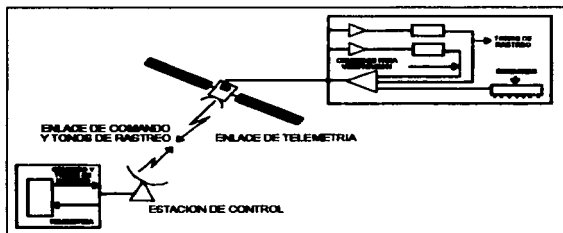


Figura 24. Subsistema de telemetría, rastreo y comando

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

Cada uno de los satélites solidaridad operarán en la banda C, Ku y L de la siguiente forma:

Banda C (6/4 GHz): 12 transpondedores con polarización horizontal de 36 MHz.

6 transpondedores con polarización vertical de 72 MHz.

Banda Ku (14/12 GHz): 8 transpondedores con polarización horizontal de 54 MHz.

8 transpondedores con polarización vertical de 54 MHz.

Banda L (1.6/1.4 GHz): 1 transpondedor con polarización circular derecha de 15 MHz.

COBERTURA DE LOS SATÉLITES

Los dos satélites Solidaridad incluyen como ya se mencionó en su carga útil a las bandas C, Ku y L, cubriendo México, su Mar patrimonial y parte del continente Americano.

La cobertura de los satélites está dividida en 6 regiones.

Banda C (con tres regiones):

Región 1: Comprende México, Sur de E.U.A. y parte de centroamérica (figura 25).



Figura 25. Región 1, banda C.

Región 2. Incluye la región 1, además de Florida, el Caribe, el resto de Centroamérica, Venezuela y Colombia (figura 26).

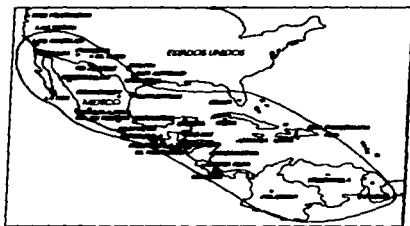


Figura 26. Región 2, banda C.

Región 3. Abarca el resto de Sudamérica con excepción de Brasil (figura 27).



Figura 27. Región 3, banda C.

Banda Ku (con dos regiones):

Región 4: Se encuentra México y la parte sur de Estados Unidos (figura 28).



Figura 28. Región 4, banda Ku.

Región 5: Comprende el área de San Francisco, así como las principales ciudades del este de Estados Unidos, además de Toronto, Canadá y la Habana, Cuba (figura 29).



Figura 29. Región 5, Banda Ku.

Banda L: Comprende la región 6, abarcando México y su Mar patrimonial (figura 30).



Figura 30. Región 31, banda L.

IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES

Para nuestro país, el contar con sistemas satelitales propios, ha representado un ahorro en términos de divisas, superior a los 120 millones de dólares anuales, que sería lo que gastaríamos si tuviésemos que arrendar la capacidad utilizada.

La experiencia adquirida a través de la utilización de los Morelos, sin duda, será rebasada por los Solidaridad, de aquí que resulte interesante hacer un recuento de las aplicaciones que ha tenido nuestra primera generación de satélites.

Los usos que ofrece un satélite son muy variados. Se utilizan para transmisiones regulares de televisión, de eventos y noticias en el momento mismo en que ocurren; para las transmisiones de radio en

cadena nacional o regional, así como para el envío de noticias entre las diferentes agencias noticiosas, periódicos y demás medios de comunicación; las transferencias financieras de bancos y casas de bolsa; comunicaciones empresariales de voz, datos y video; supervisión y monitoreo de oleoductos y líneas eléctricas; conversaciones telefónicas de larga distancia y telefonía rural, además de aplicaciones especiales para la educación y la salud.

Para ofrecer el servicio de telefonía básica, la empresa Teléfonos de México ocupa el 10 por ciento de la capacidad de los satélites, lo que le permite enlazar a las principales ciudades del país con regiones de difícil acceso para otro medio de comunicación.

En materia de telefonía rural, la cobertura de los satélites abarca siete entidades del territorio nacional: Oaxaca, Chiapas, Yucatán, Nuevo León, Chihuahua, Jalisco y Baja California Sur, prestando este importante servicio a poblaciones menores a los dos mil 500 habitantes.

Los servicios de televisión permiten tener cobertura sobre el 70 por ciento de la población del país, a través de las dos cadenas nacionales (Televisa y Televisión Azteca) y de doce redes nacionales en la banda UHF, adicionalmente a los servicios que proporcionan por cable algunas compañías afiliadas a la Cámara Nacional de la Industria de Televisión por Cable.

Recientemente se ha incorporado la tecnología de video comprimido, sistema que permite la ubicación de hasta seis canales de televisión en la misma capacidad en la que hasta hace poco sólo podía cursarse uno.

Los servicios de radio se proporcionan a través de mil 57 estaciones distribuidas en todo el país, de las cuales 727 operan en la banda de Frecuencia Modulada. Es importante destacar que las radiodifusoras están cambiando a tecnología de transmisión digital y que, algunas de ellas, llegan a las principales ciudades del sur de Estados Unidos con población hispanoparlante.

En este mismo rubro, el Instituto Mexicano de la Radio cuenta con 19 estaciones en todo el territorio nacional, que difunden programas informativos y culturales.

Por otra parte, el Instituto Nacional Indigenista opera 12 radioemisoras en diferentes comunidades del país, cuyas transmisiones se difunden en las lenguas de esas etnias.

Los servicios educativos hacen uso del sistema de satélites Morelos para el programa de telesecundaria que llega a ocho mil 725 centros escolares.

El Hospital Infantil de México cuenta con el Centro Mexicano de Educación para la Salud por medio de satélites, el cual ofrece servicios médicos a distancia y de monitoreo de emergencias, así como de videoconferencias.

Los principales centros de educación del país tienen el apoyo de las telecomunicaciones, ya que vía satélite transmiten videoconferencias que en forma simultánea enlazan dos puntos con imagen y voz.

Cabe destacar la utilización de los sistemas satelitales que han representado una mayor dinámica; el establecimiento de redes privadas para voz y datos, imprescindibles para las instituciones gubernamentales, empresas financieras, manufactureras, comerciales y productoras de insumos, viéndose fortalecidas las operaciones de la micro y mediana industria.

Los servicios de los Morelos son, asimismo, utilizados por los bancos y casas de bolsa como elemento importante para el funcionamiento de sus redes de telecomunicaciones, mismas que permiten atender al 55 por ciento de la población del país.

GLOSARIO

ACS: Subsistema de control de actitud (Attitude Control Subsystem).

Aeronáutica: Ciencia que estudia el diseño, la construcción y el manejo de aeronaves.

Albedo: Potencia reflectora de un cuerpo iluminado; se aplica especialmente a los astros.

Apogeo: Distancia máxima entre la Tierra y cualquier astro.

Banda: Conjunto de las frecuencias comprendidas y pertenecientes a un espectro o goma de mayor extensión, la clasificación adoptada internacionalmente esta basada en bandas numeradas que van de la que se ubica de los $0.3 \times 10^n \text{Hz}$ a $3 \times 10^n \text{Hz}$ en el cual n es el número banda.

Banda C: Es el rango de frecuencias que se encuentra en los límites de 3.7 y 6.4 GHz. Esta banda se utiliza tanto para transmisiones de microondas como de satélites, es muy usada en las transmisiones de televisión.

Banda Ka: Es el rango de frecuencias que se encuentra en los límites de 10.9 y 36 GHz. Esta banda se utiliza para transmisiones de microondas.

Banda Ku: Es el rango de frecuencias que se encuentra en los límites de 11.7 y 14.5 GHz. Esta banda se utiliza únicamente para transmisiones por satélite.

Banda L: Es el rango de frecuencias que se encuentra en los límites de 0.94 y 1.55 GHz. Esta banda es muy utilizada en las comunicaciones móviles via satélite.

BCC: Controlador de carga de batería (Battery Charge Control).

BDC: Controlador de descarga de batería (Battery Discharge Control).

Bidireccional: Relativo a un enlace en el que la transferencia de información del usuario, puede efectuarse simultáneamente en los dos sentidos entre dos puntos.

Bus: Conjunto de vías de comunicación que tienen una función común.

CD: (Corriente Directa), se presenta cuando la diferencia de potencial entre los dos puntos del hilo conductor es constante y provoca el desplazamiento de los electrones desde el punto de mayor potencial al punto de menor potencial (p. ej., la generada por una pila).

Equinoccio: Momento del año solar en que se produce la intersección del plano de la eclíptica con el plano del Ecuador. Los rayos solares caen entonces perpendiculares sobre el ecuador y la noche y el día tienen la misma duración en toda la Tierra, debido a que la línea que separa la zona de esfera terrestre iluminada de la zona oscura pasa por los polos. Existen dos equinoccios en el año: el de otoño, hacia el 23 de septiembre, y el de primavera, hacia el 21 de marzo.

FM: (Frecuencia Modulada); modulación analógica en la cuál la frecuencia de la portadora, se hace variar con referencia a la señal modulada.

Geostacionario: Un satélite es geostacionario cuando su posición con respecto a la superficie de la Tierra no varía.

Guillermo Marconi: (Bologna 1874 - Roma 1937) Físico italiano. Basándose en las ondas electromagnéticas descubiertas por Hertz, desarrolló un sistema de transmisión de señales telegráficas sin conducción por cable. Consiguió establecer por este medio una comunicación entre Inglaterra y Terranova en 1901, fecha en que suele situarse la invención de la radio. En 1909 recibió el premio Nobel de física.

Ionosfera: Capa de la atmósfera comprendida entre los 80 y los 600 km. de altitud, así llamada por existir en ella partículas cargadas eléctricamente (iones) que reflejan las ondas de radio.

Isaac Newton: (Woolsthorpe, Lincolnshire 1642 - Londres 1727) Físico, matemático y astrónomo inglés. En el campo de la mecánica recopiló en su obra Principios matemáticos de filosofía natural (1687) los hallazgos de Galileo y enunció sus tres famosas leyes del movimiento, de ellas pudo deducir la fuerza gravitatoria entre la Tierra y la Luna y demostrar que era directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Kepler Johannes: (Weil, Württemberg 1571 - Ratisbona 1630) Astrónomo alemán. Enunció las tres leyes que llevan su nombre. Según la primera, todo planeta describe una órbita elíptica en uno de cuyos focos se halla el Sol. La segunda establece que el radio vector que une el centro de cada planeta con el centro del Sol describe un área proporcional al tiempo empleado en trazarla. Y la tercera determina que los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas.

NASA: Siglas de National Aeronautics and Space Administration, organismo estadounidense que dirige las investigaciones aeronáuticas y espaciales con fines civiles. Entre sus programas espaciales destacan Mercurio, Géminis, Apolo y Skylab.

Perigeo: Punto más cercano a la Tierra en la órbita de la Luna o de cualquier otro cuerpo que gira alrededor de la Tierra, como un satélite artificial.

Polarización: Es el tipo de desarrollo lineal o circular que se imprime a una onda electromagnética que describe la dirección del vector campo eléctrico.

Polarización Cruzada: Es la polarización horizontal y vertical compartida por el reflector del satélite.

Polarización Horizontal: En radio, polarización de las ondas de modo que las líneas de fuerza eléctrica son horizontales, lo que equivale a decir que el plano de polarización eléctrica es horizontal y el de polarización magnética es vertical.

Polarización Vertical: Las ondas se emiten con polarización vertical cuando la antena emisora o sus elementos activos tienen posición vertical, en ese caso la antena receptora o sus elementos activos deben estar así mismo en posición vertical.

RF: (Radiofrecuencia), Frecuencia de las ondas electromagnéticas empleadas en radiocomunicación.

Satélite: Cuerpo que gira alrededor de otro cuerpo de masa dominante y cuyo movimiento está principalmente determinado de modo permanente por la fuerza de atracción de éste último.

Solsticio: Nombre de los dos momentos del año en que es máxima la desigualdad entre el día y la noche. Los solsticios y equinoccios, y por tanto la sucesión de estaciones, se producen a causa de la posición relativa de la Tierra en su movimiento de traslación en torno al Sol, debido a la inclinación que presenta su eje con respecto al plano de la eclíptica.

TELECOMM: Telecomunicaciones de México; es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, cuyo objeto principal es la prestación del servicio público de telégrafos y los de telecomunicaciones.

Teledirección: Dirección o control a distancia de aparatos, sistemas, etc., por medio de ondas electromagnéticas.

Telefotografía: Técnica para enviar y recibir fotografías por medio de ondas electromagnéticas.

Transpondedor: Es aquella parte del satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambia la frecuencia y la retransmite nuevamente a una estación terrena, con una cobertura amplia.

Unidireccional: Pertenece a un enlace en el que la transferencia de información es posible en un solo sentido fijado previamente.

CONCLUSIONES

Este documento tuvo como finalidad compilar las características y conceptos para poder comprender el funcionamiento y las ventajas que ofrecen los satélites artificiales, y de esta forma valorar la importancia de contar con sistemas de comunicación satelital propios.

Como se pudo notar a lo largo de este documento, México se metió de lleno a la tecnología de las telecomunicaciones cuando adquirió el Sistema de Satélites Morelos, sin embargo se hacía necesario ampliar las posibilidades que proporcionaba este sistema, no solo por que iba a quedar fuera de funcionamiento el primer satélite Morelos, sino por que cada vez había más demanda de servicios, por lo que se adquirió el Sistema de Satélites Solidaridad con el mismo fabricante, pero ahora se cambió el modelo del satélite por uno que proporcionaba más duración, potencia y versatilidad.

Es sumamente importante que México haya incorporado esta tecnología, ya que es un país muy grande y con gran población, y es necesario aprovechar todos los servicios que proporcionan las telecomunicaciones.

Considero que deben implementarse más sistemas semejantes, ya que esto implica seguir por el camino del crecimiento y desarrollo del país.

Finalmente, espero que este documento sirva como apoyo tanto a maestros como alumnos que quieran adentrarse en este fascinante mundo de las telecomunicaciones, pero principalmente que quieran enterarse de lo que ha hecho México en este concepto, ya que de esta forma se podrá comprender lo que hace falta por hacer.

BIBLIOGRAFIA

1. **Satélites de Comunicaciones.**
Rodolfo Neri Vela
McGraw-Hill
México, 1989
2. **Satellite Communications**
Timothy Pratt, Charles W. Bostian
John Wiley & Sons.
E.U.A., 1986
3. **Digital Communications, Satellite/Earth Station Engineering**
Dr. Kamilo Feher
Prentice-Hall
E.U.A., 1987
4. **Enciclopedia Interactiva Santillana**
Santillana Publishing Company, Chion America Inc.
E.U.A., 1995
5. **Sistema de Satélites Morelos**
Dirección de Sistemas de Satélites Nacionales de la Dirección General de Telecomunicaciones
6. **Solidaridad Training Program**
Hughes Communications International Inc.
7. <http://informatica.aragon.unam.mx/satelite/tecno.html>
8. <http://www.tele-satellit.com/tse/online/prog-solidaridad-car.html>
9. <http://www.hughespace.com/601prods.html>
10. http://www.tele-satellit.com/tse/online/sat_morelos_1.html
11. <http://eee.stek.com/satellite/anatomy.html>