



159  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS  
SATELITALES EN MEXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:**

**ENRIQUE ANTONIO RODRIGUEZ LEAL DEL REAL**



**MEXICO, D. F.**

**FEBRERO DE 1995**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

LA PRESENTE TESIS FUE  
ELABORADA BAJO LA DIRECCION  
DEL ING. HUMBERTO FLORES  
GONZALEZ.

**A mi Padre, Enrique Rodríguez Leal Vázquez, por su ejemplo y guía.**

**A mi Madre, Mercedes del Real de Rodríguez Leal, por su cariño y apoyo.**

**A mis hermanos, Gabriel y Mauricio.**

**A mi novia, Maricruz.**

**Un agradecimiento muy especial al Ing. Humberto Flores González y al Dr. Rodolfo Neri Vela, por su apoyo y asesoría en la realización de este trabajo.**

## CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	1
II.	PANORAMA GENERAL DE SATELITES	4
	1. Evolución de las actividades espaciales	
	2. Situación actual	
	3. Tipos de satélites y aplicaciones	
III.	COMUNICACIONES SATELITALES	24
	1. La era de las comunicaciones	
	2. La tecnología satelital	
	3. Subsistemas de retransmisión	
IV.	EVOLUCION DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MEXICO	45
	1. Las radiocomunicaciones nacionales	
	2. Sistemas de microondas y comunicación vía satélite	
	3. Características técnicas del Sistema Morelos	
V.	PROYECTO SOLIDARIDAD	67
	1. Gestación y desarrollo	
	2. Características del sistema	
	3. Ventajas introducidas	
VI.	CONCLUSIONES	87
VII.	ANEXOS	93

## **I. INTRODUCCION**

La tecnología de satélites ha llegado a constituir uno de los soportes principales en lo que se refiere a las telecomunicaciones a distancia, por lo que su conocimiento y comprensión son necesarios para no malinterpretar sus funciones y utilidad en el mundo actual, específicamente en nuestra nación, en donde, en los últimos años, ha aumentado considerablemente el interés y sobre todo la necesidad de recurrir a la comunicación con retransmisión satelital.

En consecuencia, se han realizado trabajos documentales relativos a la evolución de las comunicaciones espaciales en el país, sin embargo, éstos han quedado rezagados ante el vertiginoso desarrollo de la tecnología espacial y en específico de los satélites de comunicaciones.

Es objetivo fundamental del presente trabajo contribuir a la actualización y sistematización de información referente al desarrollo de las radiocomunicaciones y de la tecnología espacial en México, analizando los sistemas satelitales, en específico las innovaciones que introduce el sistema Solidaridad y que colocan a nuestro país a la vanguardia en comunicaciones satelitales.

Para ello se pretende:

1. Definir la importancia de los sistemas satelitales en la comunicación a distancia.
2. Describir la evolución de las actividades espaciales y su impacto a nivel internacional.
3. Presentar el desarrollo de la tecnología en radiocomunicaciones, en especial de los satélites de comunicaciones.
4. Describir las características y funcionamiento de los sistemas satelitales.
5. Presentar el desarrollo de las radiocomunicaciones y tecnología espacial en México.
6. Analizar la gestación, lanzamiento y características técnicas de los sistemas de satélites Morelos y Solidaridad.
7. Describir a detalle las innovaciones tecnológicas que introduce el sistema Solidaridad a la infraestructura nacional, así como su impacto en la evolución del país.

A manera de síntesis el trabajo comprende:

En el capítulo II, el proceso evolutivo de las actividades espaciales como antecedente de los satélites artificiales. Se presenta también la situación actual a nivel internacional, para poder así compararla con el grado de avance tecnológico espacial en México, ubicando de manera objetiva nuestros propios logros. En ese mismo capítulo se muestra una clasificación completa de satélites artificiales, en donde los de comunicaciones ocupan una parte importante de dicho esquema, y si nos referimos a satélites de tipo civil, éstos pasan a ser los de mayor aplicación actual.

La tecnología espacial en lo que se refiere a enlaces via satélite es también resultado del desarrollo que ha tenido la tecnología de las radiocomunicaciones en forma general, la cual a su vez no habría podido avanzar sin la evolución de la electrónica. Los satélites de comunicaciones se encuentran en la encrucijada de ambas tecnologías y es por ello que el tercer capítulo de este análisis se enfoca al desarrollo de las radiocomunicaciones en el presente siglo, definiendo así el entorno en el que aparecen los sistemas de comunicación espacial.

Se presenta también una pequeña descripción de otras tecnologías en el ámbito de las radiocomunicaciones que permiten compararlas con el tema objeto del presente análisis, logrando así plantear ventajas propias de la comunicación satelital. Se toca también lo referente a ondas electromagnéticas, utilización del espectro de radiofrecuencias, relevancia de los satélites en cuanto a capacidades de transmisión y alcance, y órbita geostacionaria.

En el mismo capítulo se indican las características de los satélites de comunicaciones, sus principales subsistemas y los proyectos que se encuentran en proceso de investigación. Se describe de manera detallada todo lo referente al subsistema de comunicaciones, tanto en su fisiología como en técnicas de modulación, acceso, conmutación y en general cualquier punto relacionado con el manejo de frecuencias en los transpondedores.

El siguiente capítulo (IV), se enfoca ya a nuestra nación, mostrando como fueron penetrando los avances, tanto de las radiocomunicaciones como de la tecnología espacial, en el desarrollo de nuestra historia durante el presente siglo. El uso de las redes de microondas y las primeras aplicaciones de la comunicación satelital, hasta la adquisición de un sistema de satélites propio que vino a marcar una nueva etapa en las comunicaciones nacionales. Es así como, con estos importantes antecedentes, se describe detalladamente el Sistema de Satélites Morelos, desde el método utilizado para su lanzamiento y puesta en órbita, hasta las

características del subsistema de comunicaciones. También se habla de sus aplicaciones y alcances, así como de sus límites y la necesidad de utilizar nuevos sistemas de telecomunicación ante la siempre creciente demanda de servicios y mayores capacidades.

Es así como el quinto capítulo se refiere al nuevo proyecto de satélites Solidaridad presentando su gestación, lanzamiento, puesta en órbita y las características más específicas del subsistema de comunicaciones, tomando como base la descripción que se hizo de los Morelos para poder realizar una comparación entre ambos sistemas.

El presente trabajo se realizó con base tanto a investigación de campo como a investigación documental; y aborda un tema de gran actualidad, cuya importancia estriba en la demostración del proceso evolutivo de la tecnología satelital, haciendo un análisis de las ventajas que introducen los Solidaridad a la infraestructura actual. Por lo que dicho estudio y sus conclusiones constituyen un antecedente importante para todos los usuarios de las telecomunicaciones nacionales e internacionales, así como un apoyo a la docencia en las asignaturas relacionadas y por último la base de futuros trabajos sobre el tema.

## **II. PANORAMA GENERAL DE SATELITES**

### **1. EVOLUCION DE LAS ACTIVIDADES ESPACIALES\_\_\_\_\_**

#### **1.1 Antecedentes de la era espacial**

El uso de satélites tuvo inicio en la primera etapa de actividades espaciales, obviamente en un principio con fines experimentales; desde el lograr colocar un satélite en órbita terrestre, experimentando en el diseño, construcción, lanzamiento y control en vuelo de dichos sistemas; hasta el llevar a un ser humano al espacio exterior, pasando por una gran cantidad de mediciones, pruebas y misiones llevando animales a bordo para estudiar su comportamiento en un ambiente de ingravidez y vacío, así como los efectos de la aceleración.

En forma paralela, desde un inicio se fueron gestando las tecnologías espaciales de gran trascendencia económica, encontrándose, a través de esta evolución, nuevas aplicaciones para cada éxito obtenido. Desde los primeros satélites de telecomunicación que lograron resolver problemas tecnológicos de comunicación terrestre, hasta satélites con objetivos militares.

Sin embargo, para que todo esto fuera posible, fue necesario un factor fundamental: el desarrollo de la tecnología de lanzamiento y puesta en órbita de satélites y naves espaciales, fruto a su vez del avance en la tecnología de cohetes bélicos. Puesto que ciertas versiones de misiles balísticos intercontinentales, pudieron ser alteradas para usarse en actividades aeroespaciales.

Ya desde fines del siglo pasado, un científico ruso, Tsiolkovski, considerado por algunos como padre de la conquista del espacio, estableció los principios para los sistemas de propulsión de cohetes de estadios múltiples volando en el vacío del espacio y sugirió la posibilidad de satélites orbitando la Tierra. Más tarde en 1903, en el mismo año en el que los hermanos Wright lograron el primer vuelo con un aparato más pesado que el aire, propuso el uso de cohetes con combustible líquido, el cual tiene mayor eficiencia que el sólido. También habló de ciertas medidas necesarias para la presencia del hombre en el espacio, como la utilización de cámaras de descompresión y trajes presurizados.

## 1.2 Sistemas de propulsión

Así, los cohetes, que ya habían sido utilizados por los europeos siglos atrás y que más aún, tuvieron su origen en China con la invención de la pólvora y el uso de las llamadas "flechas de fuego volador", continuaron evolucionando en las primeras décadas de este siglo, al igual que otras ciencias y tecnologías que finalmente dieron origen a la era espacial.

En los Estados Unidos, el Dr. Robert Goddard desarrolló en 1919 un método para alcanzar altitudes extremas y más tarde, en 1927 lanzó el primer cohete con combustible líquido. Así también, los alemanes Hermann Oberth, Max Valier y el ruso Sergei Korolev desarrollaron trabajos pioneros en sistemas de propulsión y actividades aeroespaciales.

En la década de los treinta, se empezaron a formar las primeras sociedades e institutos de viajes espaciales en Alemania, Estados Unidos y Rusia. Más tarde, en la segunda guerra mundial, los cohetes bélicos tuvieron un gran desarrollo, como los Peenemunde alemanes y los proyectiles V\_2 con los que Alemania bombardeó a Inglaterra. Así, al final de la guerra quedó definido el marco en el que se desarrollarían las actividades espaciales en las próximas décadas, destacando la Unión Soviética y los Estados Unidos, quienes entrarían más tarde en una competencia política y militar, que fue el detonador de los primeros logros aeroespaciales. Cabe mencionar aquí la participación del científico alemán Wernher Von Braun, quien al final de la guerra pasó a formar parte del grupo de investigación aeroespacial norteamericano.

## 1.3 Primeras actividades en el espacio

De julio de 1957 a diciembre de 1958 se conmemoró el "Año Geofísico Internacional", durante el cual científicos de todo el mundo se enfocaron al estudio de la Tierra, el Sol y sus relaciones mutuas, y sorpresivamente la Unión Soviética lanzó con éxito el primer satélite llamado "Sputnik I", el cual fue puesto en órbita el 4 de octubre de 1957, permaneciendo ahí tres meses; iniciándose con este acontecimiento, la era espacial, que en un principio estuvo fuertemente marcada por la rivalidad entre ambas potencias. Esta nueva era trajo consigo implicaciones económicas, científicas, culturales y jurídicas, que poco a poco se fueron haciendo notar.

En menos de un mes, el 3 de noviembre del mismo año, la URSS lanzó su segundo satélite "Sputnik II", el cual fue considerado como un satélite biológico por llevar a bordo un animal e instrumentos de telemetría. Los Estados Unidos se quedaron un poco atrás en el inicio de estas actividades, sobretodo al fracasar su primer satélite "Vanguard", en diciembre del 57. Sin embargo, el 31 de enero de 1958 lograron poner en órbita su primer vehículo espacial "Explorer I", el cual a pesar de su pequeño tamaño, permaneció casi cuatro meses en órbita y realizó el importante descubrimiento de unos cinturones de radiación que están formados por

partículas arrastradas por el viento solar y atrapadas por el campo magnético de la Tierra, los cuales recibieron el nombre de "anillos de Van Allen". Dicho descubrimiento dió empuje al programa espacial norteamericano y en octubre del mismo año se formó la "NASA" (National Aeronautics and Space Administration) para desarrollar todos los proyectos del gobierno norteamericano.

Estos logros trajeron consigo los primeros intentos por reglamentar las actividades en el espacio y en diciembre de 1958 fue fundada, en las Naciones Unidas, la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNCOPUOS) con dos subcomisiones, la Jurídica Y la Científico-tecnológica. El primer trabajo de dicha comisión sería, un poco más tarde, en 1962, elaborar un tratado sobre los principios jurídicos que debían regir las actividades en el espacio, el cual quedaría listo en 1967. En el mismo mes en que fue fundada la UNCOPUOS, aparecieron los satélites de comunicaciones, cuando los Estados Unidos enviaron al espacio el "Score", primer sistema pasivo, puesto que no podía retransmitir señales, sólo transmitir un mensaje que llevaba grabado.

Así, se siguieron lanzando satélites y naves espaciales con instrumentos de telemedición para proporcionar datos sobre temperaturas, presiones, radiaciones, densidad de gases, composición química de la alta atmósfera, etc. Llevándose a cabo las primeras exploraciones del espacio circumterrestre que nos dieron una nueva perspectiva de la Tierra y poco a poco fueron ampliando nuestro concepto del Universo.

#### **1.4 Carrera hacia la Luna y aplicaciones tecnológicas**

En enero de 1959, la Unión Soviética envía la sonda espacial "Luna I", siendo el primer vehículo en liberarse de la atracción terrestre, cuya misión fue realizar un sondeo de la Luna. Poco después se lanzó la nave "Luna II", llamada sonda de impacto, debido a que su función consistió en mandar fotografías de la superficie lunar poco antes de desintegrarse al chocar con ella.

Se siguieron haciendo pruebas y en 1960 la UNESCO presentó a la comunidad internacional una serie de principios para regir la transmisión de televisión vía satélite, ya que en el mismo año los norteamericanos enviaron con éxito el primer satélite pasivo para retransmisión de señales, llamado "Echo 1", el cual consistía en una esfera cubierta de una película metálica que reflejaba las señales. También enviaron el primer satélite activo con el sistema de mensajes "store-and-forward", que recibía las señales, almacenándolas para ser retransmitidas posteriormente.

En agosto de 1960 la Unión Soviética logró la primera recuperación de animales vivos en el "Sputnik V", mientras los Estados Unidos hacían también este tipo de pruebas, todas encaminadas a llevar al ser humano al medio espacial. Por fin, en abril de 1961, el soviético Yuri Gagarin se convirtió en el primer astronauta, volando durante casi dos minutos en una

órbita elíptica con una altura máxima de 327 km, en el "Vostok I".

Por su parte, los Estados Unidos, no tardaron en responder al reto de la Unión Soviética, al presentar, el presidente John F. Kennedy, al Congreso de su país, el programa espacial que permitiría llevar al hombre a la Luna y regresarlo a salvo a la Tierra en el transcurso de esa década; lo cual parecía difícil, tomando en cuenta que aún no habían puesto siquiera un hombre en órbita terrestre, cuando unos meses después el segundo astronauta soviético, Gherman Titov, permaneció más de un día terrestre completando 17 órbitas en la nave "Vostok II".

Ya en mayo de 1961 Alan Shepard había logrado el primer vuelo espacial de Estados Unidos en el "Freedom 7", aunque sin completar una órbita; y no fue, sino hasta febrero de 1962, que John Glenn logró el primer vuelo orbital norteamericano en la nave "Mercurio 6", que cubrió 3 órbitas completas en un tiempo de casi 5 horas. De ahí en adelante, ambas potencias fueron realizando diversas hazañas, mientras se desarrollaban las primeras aplicaciones tecnológicas de estos sistemas. Se puede observar que los Estados Unidos dieron mayor énfasis a este último punto, puesto que ya para fines de este año, habían lanzado 120 satélites y entre ellos el primer satélite activo de comunicaciones en tiempo real "Telstar 1", así como 6 sondeos al espacio lejano, mientras que la URSS había puesto en órbita sólo 33 satélites y llevaba lanzados 4 sondeos espaciales. Ante este desarrollo, los Estados Unidos fundaron, también en 1962, el consorcio norteamericano de satélites "Comsat" para organizar y explotar la tecnología de los satélites de comunicación, funcionando desde un inicio como intermediario entre la industria norteamericana de comunicaciones (ATT, ITT, RCA, GT, etc.) y el gobierno.

El subsistema de comunicaciones de los satélites fue necesario desde un principio, para mantener un enlace desde Tierra, en donde se transmitían señales de comando, datos telemétricos e información sobre la exploración espacial, lunar o planetaria y, más tarde, para mantener contacto con la tripulación. Sin embargo, como ya se mencionó, se diseñaron satélites destinados exclusivamente a las comunicaciones, como el "Telstar 1", ya mencionado, que además estableció el primer enlace televisivo entre Europa y los Estados Unidos, apareciendo las primeras generaciones de satélites activos que en el transcurso de los sesenta lograron resolver problemas de comunicación terrestre, entlazando telegráfica, telefónica y televisivamente regiones separadas por océanos, mares, desiertos, selvas y montañas.

En 1963 los norteamericanos enviaron el primer satélite geoestacionario activo, esto es, fijo con respecto a la Tierra, llamado "Syncom II", que transmitió telefonía, teleimpresión y facsimil entre Estados Unidos y Europa. Dicha órbita geoestacionaria fue concebida por el novelista Arthur Clarke, 18 años atrás, la cual a partir de ese momento se fue poblando de una gran cantidad de satélites debido a su mayor eficiencia operacional en relación, por ejemplo, con órbitas polares o elípticas. Este punto constituye una de las actividades aún sin un adecuado régimen jurídico que las reglamente, al igual que las misiones militares, que ya desde entonces iban tomando forma con las primeras pruebas de destrucción de satélites en órbita con misiles lanzados desde la Tierra, inclusive impulsados por cohetes y más tarde con los llamados "satélites-asesinos". Sin embargo, ya en este año, hubo un tratado que prohibía las explosiones nucleares en el espacio y un acuerdo para mantener continuamente dos enlaces

satelitales directos entre EUA y la URSS, llamado de "hot line".

En 1964 se fundó el primer consorcio comercial internacional de comunicaciones llamado "INTELSAT" bajo los auspicios de la Unión Internacional de Comunicaciones, el cual proporcionaría a los países miembros servicios de comunicación internacional y nacional mediante satélites geoestacionarios del mismo nombre. Y en el año siguiente se lanzó el primer satélite "Intelsat 1", también conocido como "pájaro madrugador", de servicio internacional. Mientras los soviéticos lanzaban sus primeros satélites de comunicaciones, los "Molnya", los cuales eran de órbita elíptica inclinada, debido a la posición geográfica de la Unión Soviética. Por ello, posteriormente tuvieron que usar varios en forma de relevos para evitar retransmisiones intermitentes.

Mientras tanto, seguían avanzando las misiones de ambas potencias encaminadas a llevar al ser humano a la Luna. La Unión Soviética logró el primer vuelo en grupo y la primera caminata espacial; en 1966 la nave rusa "Luna IX" aterrizó en la Luna, claro que sin tripulación. Ya también en estos años, se enviaban las primeras sondas exploratorias a Venus; las "Mariner" y "Pioneer" norteamericanas y unos años después, las "Venera" soviéticas.

En el año siguiente, los rusos empezaron a experimentar con sus primeras naves de carga con acoplamiento "Soyuz", mientras que en los Estados Unidos se retrasaba el programa "Apolo" debido a un accidente en el que murieron tres astronautas antes de viajar en el primer lanzamiento tripulado de dicho programa. Sin embargo, por fin, el 21 de julio de 1969 el astronauta Neil Armstrong pisó el suelo lunar, dando término al programa propuesto por el presidente Kennedy. Viajaba en la nave "Apolo XI" junto con los astronautas Aldrin y Collins, que fué impulsada por un gigantesco cohete Saturno V de varias etapas.

Las inversiones realizadas tanto por la Unión Soviética como por los Estados Unidos en sus respectivos programas espaciales habían sido muy altas, pero estaban redituando ya con grandes frutos para la humanidad, mediante los satélites de investigación científica y de aplicaciones tecnológicas, como los utilizados para las predicciones meteorológicas y para estudios geodésicos, así como los satélites de comunicaciones.

## **1.5 Exploración y desarrollo espacial**

Se habían logrado ya las primeras exploraciones del espacio circumterrestre, de la Luna, y de los planetas interiores como Mercurio, Marte y Venus; en 1970 los soviéticos consiguieron aterrizar una sonda en Venus, la "Venera VII", la cual enviaría sus fotografías unos años después. De ahí en adelante, además de continuar dichas exploraciones, se ampliarían las misiones al espacio interplanetario exterior y a los planetas exteriores.

Sin embargo, también se inician programas enfocados a la ocupación del espacio cercano. La URSS envía, en 1972, su primer prototipo de estación espacial "Salyut" que se puede considerar como un laboratorio, aunque con una cantidad limitada de equipos de investigación. Y en los próximos años, siguen enviando otros módulos de estaciones espaciales Salyut con el fin de adquirir experiencia en operaciones prolongadas en el espacio.

También los Estados Unidos desarrollan su proyecto "Skylab", el cual es un laboratorio en el que se realizan importantes experimentos, entre ellos, observaciones astronómicas, alcanzándose hasta tres meses de ocupación permanente en estado de ingravidez. Para ello siguen utilizando sus naves Apolo. Al mismo tiempo se lanzan los primeros satélites de percepción remota. En 1972 EUA lanza el "ERTS1" y unos años después construirían la serie "Landsat", colocada en órbitas quasipolares. Continúan las exploraciones y se envía la primera sonda espacial destinada a salir del sistema solar, el "Pioneer X" que más tarde enviaría fotografías de Jupiter y Saturno.

Los norteamericanos logran colocar la sonda "Viking" en Marte, en 1976, mientras los soviéticos adquieren experiencia en la creación de estaciones espaciales con relevos de tripulación, y unos años más tarde, de 1978 a 1981 logran ocupar, casi sin interrupción, el módulo "Salyut VI". También, ya para estos años, la India, que es el único país subdesarrollado con gran avance en materia espacial, coloca en órbita sus dos satélites de percepción remota "Bakshara" y la Unión Soviética experimenta su primer satélite de exploración de recursos naturales, seguido de un programa, a mayor plazo, de percepción remota mediante su serie de satélites "Kosmos".

Todas estas exploraciones; tanto las observaciones desde laboratorios, como las investigaciones hechas por sondas enviadas al espacio; cambiaron nuestra concepción del Universo y revolucionaron todo lo relacionado a la física espacial. Desde las primeras incursiones en Venus, Marte y Mercurio, hasta naves como las "Pioneer" y "Voyager", que han sido enviadas para explorar los planetas exteriores del Sistema Solar, buscar los límites de la heliósfera y, eventualmente, perderse en el espacio interestelar.

## **1.6 Sistemas de transporte y ocupación permanente del espacio**

Ya a fines de esta década, se marcan dos tendencias que predominarían en los ochentas. La primera tiene por objetivo el conseguir hacer cosas en el espacio; para ello los instrumentos necesarios serían un sistema de transporte reutilizable y plataformas o estaciones espaciales; la segunda tendencia es la militarización creciente del espacio. Es así como los Estados Unidos desarrollan a fines de los setentas y principios de los ochentas la tecnología de transbordadores, vehículos tripulados de gran capacidad de carga que transportan al espacio desde satélites hasta laboratorios. Su plataforma funciona como base de lanzamiento y puesta en órbita de los satélites transportados a bordo. También se utilizan como base en la que se realizan experimentos científicos, militares e industriales, expuestos al medio ambiente

espacial. Los transbordadores estadounidenses son orbitadores de gran versatilidad, pues son lanzados como un cohete y al llegar a una altura aproximada de 350 Km se quedan girando en torno a la Tierra durante varios días, maniobrando en el espacio como una nave y regresando a la Tierra planeando y aterrizando como un avión en una pista.

Las dos potencias trabajan en la línea de ocupar y explotar el espacio cercano, pero con diferentes objetivos a corto plazo. EUA con el apoyo de otros países, como, Canadá y la Agencia Espacial Europea buscan conseguir un acceso y un retorno fácil y económico entre la Tierra y el espacio, y realizar una serie de salidas científicas frecuentes. Por su lado, la URSS trata de desarrollar primero un módulo pequeño de estación espacial con el fin de adquirir experiencia prolongada en operaciones espaciales.

En abril de 1981 se lanza con éxito el primer transbordador llamado "Columbia" y después saldría al espacio el "Challenger". Para ello, la NASA tuvo que abandonar casi por completo todos los otros proyectos espaciales, como es la exploración de los planetas y las investigaciones aeronáuticas, debido a la gran inversión que hizo en el sistema de transporte espacial. Además, empezó a interesar a otros países en empresas cooperativas, para poder continuar con sus programas.

La URSS continuó trabajando con sus bases "Salyut" y en 1982 los cosmonautas del "Salyut VII" batieron el record de permanencia continua en el espacio. Un año después, los soviéticos anuncian que en tres años pondrían en órbita una estación espacial que sustituiría a los módulos "Salyut". Estaría compuesta por una cápsula para vivienda con cuatro módulos especializados acoplados a ella. También dicen que se le daría servicio con naves tipo "Soyuz".

Por otro lado, Reagan presentaba su discurso conocido como de la "Guerra de las Galaxias" al plantear todo un programa de defensa estratégica que incluiría armas de vanguardia, como son los rayos laser de alta energía y los haces coherentes de partículas aceleradas, así como todo tipo de satélites militares. Esto iniciaría una carrera de armamentos espaciales que desestabilizaría a ambas naciones erosionando su seguridad, además de vulnerar su economía. Por ello, se produce gran ansiedad y varias organizaciones nacionales e internacionales, desde el senado de EUA hasta la ONU y la URSS, promueven tanto nuevas reglamentaciones como el fortalecimiento de tratados internacionales existentes, para conservar el espacio exterior exclusivamente para fines pacíficos.

En 1984, Reagan anunció que para mediados de la década de los noventas, estaría lista la estación espacial permanente "Freedom" con cuatro módulos y dos plataformas no tripuladas para instrumentos. También tendría grandes paneles solares y naves espaciales como transporte entre los diferentes componentes. Se colocaría en órbita baja, a unos 320 Km sobre el nivel del mar y sus componentes se llevarían con transbordadores para ser ensamblados ahí. Para ello, el gobierno empieza a promover el uso comercial del espacio y una mayor participación de la iniciativa privada.

A fines de este año, el último orbitador del sistema de transportación espacial de la NASA, llamado "Discovery" logra una nueva hazaña al rescatar los satélites de comunicaciones Westar VI y Palapa B2 que se encontraban a 300 Km de altura. Sin embargo, a pesar de los éxitos obtenidos, y cuando ya la NASA contaba con cuatro transbordadores en su flotilla, una tragedia, en 1986, viene a detener durante casi dos años y medio todos los vuelos programados, al explotar el orbitador "Challenger" un minuto y unos segundos después del despegue, perdiendo la vida en su interior siete astronautas.

En febrero de 1986, según lo previsto, la URSS lanza al espacio, a 350 Km de altura, la primer estación orbital de la serie "MIR", la cual está compuesta por múltiples módulos, laboratorios, talleres y cabinas para la tripulación. Puede albergar un máximo de seis cosmonautas, y cuenta con sistemas de acoplamiento automático y manual para seis naves de carga de la nueva serie "Progreso", con capacidad de dos toneladas, o para las naves "Soyuz TM", destinadas a la tripulación. Pocos meses después, en la última nave tripulada de la serie "Soyuz T", se lleva a cabo la primer transferencia de tripulación de una estación a otra, al realizar maniobras entre la estación "Salyut VII" y la recién lanzada estación espacial "Mir".

Por fin, en 1988 se reinician las actividades de la NASA con dos misiones exitosas del "Discovery" y poco después el "Atlantis". Para reponer el orbitador perdido, la compañía "Rockwell International" empezó a construir, por encargo de la NASA, uno similar, pero incorporando en lo posible nueva tecnología. Al siguiente año se lanzó, también con éxito, la cápsula espacial "Magallanes" con un orbitador de la NASA y, finalmente en 1992 se completó la flotilla de orbitadores con el "Endeavor".

Durante esta década, se lograron también grandes avances en el desarrollo de tecnología en el espacio, como la elaboración de mejores cristales para circuitos integrados y muchas otras aplicaciones. Esto ha sido desarrollado principalmente por los Estados Unidos, la Unión Soviética, Japón, Francia y Alemania Occidental. Para realizar estas investigaciones se ha utilizado, por lo que respecta a los países occidentales, el laboratorio espacial o "SPACELAB", diseñado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en colaboración con la NASA. Este laboratorio es una especie de cilindro que puede ir montado dentro del compartimiento de carga de los orbitadores de la NASA, y en donde se han llevado a cabo misiones de más de una semana en estado de ingravidez y vacío.

Como se puede ver, ambas potencias fueron trabajando en líneas paralelas, pero con diferentes estrategias; mientras los satélites daban ya diversos frutos en multitud de áreas, como son las comunicaciones, la navegación, meteorología, cartografía, vigilancia del medio ambiente, etc., así como una gran variedad de subproductos, resultado de la tecnología espacial.

## **2. SITUACION ACTUAL**

---

### **2.1 Delineamiento de actividades en la presente década**

Es así como, a fines de la década de los ochentas, después de más de 30 años de la era espacial, se habían lanzado al espacio, aproximadamente, 3000 vehiculos llevando a bordo una o más sondas o satélites. De estos vehiculos, 120 llevaron tripulación. La Unión Soviética lanzó 2000 artefactos, y los Estados Unidos poco menos de 900. Los restantes habían sido lanzados principalmente por China, Japón y la Agencia Espacial Europea. Asimismo, la URSS había realizado 64 vuelos tripulados, todos alrededor de la Tierra, con cerca de 140,000 horas-hombre, mientras que los Estados Unidos llevaban 57 vuelos tripulados; 48 de ellos alrededor de la Tierra y los 9 restantes en misiones lunares, acumulando aproximadamente 43,500 horas-hombre en el espacio.

A principios de la presente década había 1700 satélites orbitando la Tierra a diferentes alturas sobre el nivel del mar, de los cuales 1000 pertenecian a la URSS, 530 a Estados Unidos, 34 a Japón, 16 a Francia, 14 a Canadá, 9 al Reino Unido, 7 a la India, 3 a Australia, 2 a México y 2 a Brasil, así como algunos más de otros países y organizaciones. Actualmente son cada vez más los países que están comprando satélites para diferentes aplicaciones, así como algunos que están fabricando sus propios modelos, como es el caso de México que para fines de este año espera tener en órbita el primer satélite de tecnología nacional.

Sin embargo, el número de satélites orbitando la Tierra, no es ilimitado, y sobretodo en la órbita geoestacionaria, la cual está ya saturada en ciertas regiones. Por ello, la tendencia actual, sobre todo en lo que respecta a satélites de comunicaciones, es aumentar sus capacidades para manejar y retransmitir información, es decir que deben utilizar el espectro de frecuencias asignado y la potencia eléctrica disponible con la mayor eficiencia posible. Además de tomar en cuenta que hay que estarlos reemplazando cada determinado número de años, de acuerdo a su vida útil, es decir, al tiempo que dure su combustible.

Entre los primeros logros de esta década, está el lanzamiento del telescopio espacial Hubble de la ESA en combinación con la NASA, el cual se llevó a cabo en abril de 1990. Después de algunos ajustes, el telescopio inició su funcionamiento con energía propia, sin embargo el despliegue de los dispositivos solares provistos por la ESA se realizó mucho más lento de lo previsto, puesto que el cuerpo del telescopio se calentó demasiado; por lo que, desde un inicio, el Hubble no ha tenido el éxito esperado, pero aún así, ha aumentado la profundidad y el volumen alcanzable del Universo a través de observaciones de la radiación ultravioleta emitida por las estrellas, proporcionando datos importantes acerca de su origen y evolución. Cabe señalar que se tiene prevista una misión de la NASA en 1994 para dar servicio a dicho telescopio.

También en octubre del mismo año, se lanzó la sonda espacial "Ulises" en la misión llamada solar-polar, la cual está ya realizando un viaje nunca antes hecho. Hasta ahora, todas las sondas han recorrido el Sistema Solar en el plano imaginario ecuatorial del Sol, llamado eclíptica, muy cerca de la cual giran todos los planetas, alrededor de él. Pero ahora, Ulises sobrevolará los polos del Sol, incursionando en un plano distinto en el espacio, en zonas jamás exploradas. Es decir que proporcionará la primer visión tridimensional de nuestro Sistema Solar. Esta sonda pasó ya por la órbita de Jupiter y se dirige hacia un punto por debajo del polo sur del Sol, al cual se espera que llegue en 1994 para dirigirse luego al lado contrario, es decir, sobre el polo norte solar hacia septiembre de 1995.

## **2.2 Nuevas potencias en actividades espaciales**

En la época actual, con la caída del socialismo y la consecuente disminución en las actividades espaciales soviéticas, se va terminando también la rivalidad que había marcado dichas actividades en los años precedentes y van apareciendo en el escenario nuevas potencias espaciales con novedosos proyectos, pero aún con mucha experiencia por adquirir.

Esto se ve principalmente en la tecnología de lanzamientos, en donde Japón y China, que cuentan con una larga experiencia, están desarrollando importantes proyectos.

En el Japón, existen dos poderosos organismos involucrados con el desarrollo de las actividades espaciales: NASDA e ISAS. La primera (Agencia Nacional de Desarrollo Espacial del Japón) es responsable de desarrollar satélites de aplicación, como los de telecomunicaciones, así como de lanzarlos al espacio y rastrearlos. La segunda (Instituto de Astronáutica y Ciencias Espaciales) lleva a cabo la creación de satélites científicos y también de sus propios sistemas de lanzamiento.

El ISAS lanzó el primer satélite japonés desde 1970, el "Oshumi", y han construido y lanzado al espacio una veintena de satélites, para aplicaciones muy diversas, como telecomunicaciones, radiodifusión directa de televisión, estudios de las capas de la atmósfera y fenómenos meteorológicos y en 1985 lanzaron su primera sonda interplanetaria, la "Sakigake", que interceptó al cometa Halley y más tarde la "Suisei". Para ello utilizan sus cohetes M. Por su parte, la NASDA cuenta con el poderoso cohete H-I, cuyo primer vuelo fué en agosto de 1986 y tiene capacidad para colocar un satélite de 550 Kg en órbita geoestacionaria; y actualmente se está poniendo en marcha la segunda generación de lanzadores, los H-II, con una capacidad extraordinaria de colocar en la misma órbita hasta dos toneladas de carga.

Como se puede apreciar, Japón construye desde el equipo necesario para una estación terrena, hasta satélites, sondas espaciales y cohetes; y aún más, participarán, dentro de pocos años, con un módulo experimental acoplado a la Estación Espacial Internacional, el

cual se llamará "JEM". Para adquirir experiencia en este tipo de actividades, planean utilizar un orbitador de la NASA para montar un laboratorio de procesamiento de materiales y ciencias biológicas en el compartimiento de carga; el proyecto se denomina "FMPT" y es similar a un Spacelab; tendrá una duración de siete días alrededor de la Tierra, con la participación de un primer astronauta japonés.

Los Chinos iniciaron su programa espacial desde 1956 y en 1960 lanzaron con éxito su primer cohete, desde entonces, han desarrollado diversos tipos de cohetes. Hasta ahora, el más grande y poderoso es el CZ-3 o también conocido como "Gran Marcha 3" que puede colocar hasta una tonelada y media en órbita geoestacionaria. Estos cohetes han colocado en órbita baja un gran número de satélites experimentales, conocidos como "SKW", así como satélites de comunicaciones en órbita geoestacionaria, de nombre "STW".

Sin embargo, el más fuerte competidor de la NASA en el mercado occidental de lanzamientos es la agencia europea Arianespace, la cual cuenta con varias versiones de cohetes Ariane. Esta agencia también tuvo contratiempos en la misma época en que explotó el "Challenger", reiniciando sus actividades en septiembre de 1987. Esta situación propició la creación de nuevas agencias, como es el sistema de lanzamiento "Energía" de la URSS y la creación de tres compañías privadas norteamericanas: General Dynamics, Martin Marietta y McDonnell Douglas.

La URSS cuenta también con el poderoso cohete "Protón", el cual ha lanzado las estaciones espaciales Salyut y MIR, muchos satélites geoestacionarios y varias sondas espaciales. Sin embargo, el lanzador Energía es el más poderoso que tienen, con capacidad de colocar hasta 100 toneladas en órbita baja. Asimismo, a fines de 1988 lanzó su primer orbitador "Bola de Nieve" en forma totalmente automática, convirtiéndose así en el segundo país que cuenta con este tipo de vehículos espaciales.

### **2.3 Resultado del desarrollo espacial**

Además de las aplicaciones comerciales y científicas de la tecnología espacial, consideradas beneficios directos, existen multitud de beneficios indirectos, es decir, tecnología que se desarrolló primordialmente con fines espaciales para posteriormente ser aplicada a otros campos. A esto se le conoce también como subproductos de la tecnología espacial.

Se pueden citar muchos ejemplos. El sistema de telemetría biológica inventado para los astronautas se utiliza ahora en los hospitales para el control del corazón. En medicina se han introducido nuevos métodos quirúrgicos que utilizan la congelación y los microinstrumentos. En la industria se usan nuevos materiales, como metales resistentes al frío y al calor, y nuevas aleaciones. En conexión con las actividades espaciales se han abierto campos completamente nuevos, como es la biónica, o sea, el uso de circuitos electrónicos dentro de organismos vivos, o la manufactura de organismos cibernéticos. Se han introducido también tecnologías derivadas del espacio en la tecnología de plasmas, equipos automáticos y de

seguridad para aviación, nuevos sistemas de radar, sistemas magneto-hidrodinámicos y otras formas de generar electricidad.

Los científicos soviéticos dan énfasis a la importancia que han tenido las actividades espaciales en la tecnología del electrovacio, instalaciones de energía atómica y en las industrias químicas, especialmente en el campo de nuevos materiales plásticos.

Aún en productos de uso cotidiano se puede ver la influencia de esta tecnología, como en componentes para receptores de radio y televisión, alimentos sintéticos, indumentaria especial para el cuerpo de bomberos, y hasta el teflón que recubre los sartenes.

En cuanto a satélites, son muchos los avances que se están logrando actualmente, algunos están en etapa de diseño y algunos otros ya en funcionamiento. Van apareciendo nuevas generaciones con tecnologías cada vez más avanzadas. Tenemos, por ejemplo, las nuevas generaciones de satélites INTELSAT que ya se encuentran en su séptima versión, los satélites europeos "Eutelsat II F1" y los "TDF 2", así como los "TDRSS" usados por la NASA. Otro ejemplo es el satélite "Olympus" de la ESA, que tiene la tecnología más avanzada en telecomunicaciones y el "ACTS" de la NASA que se puso en órbita en septiembre de 1993.

## **2.4 Proyectos en desarrollo**

El principal proyecto en desarrollo actualmente es la "Estación Espacial Internacional". Esta será un inmenso laboratorio que por su complejidad y grandes dimensiones tendrá que construirse por partes, es decir, en forma modular, utilizando para ello materiales durables y resistentes, pero al mismo tiempo, ligeros. Los trabajos de construcción los realizarán astronautas especializados, con herramientas también especiales. Además de los EUA, en la construcción y operación de la estación participarán la Agencia Espacial Europea, Japón y Canadá. Básicamente, la estación tendrá cuatro cilindros presurizados de trabajo, cada uno con aproximadamente 13 metros de largo y 4 metros de diámetro; uno de ellos formará parte del programa Columbus de la ESA y otro será el módulo experimental japonés JEM. Canadá, por su parte, estará a cargo de construir y operar el centro de servicio móvil de la estación, empleando una nueva generación de tecnología en robótica espacial.

La estación girará alrededor de la Tierra a una altura de 400 kilómetros sobre el nivel del mar, en una órbita circular, inclinada  $28.5^\circ$  con respecto al plano ecuatorial. Tendrá una capacidad total para que ocho personas trabajen en ella simultáneamente, ya sea estudiando los recursos naturales de la Tierra, desarrollando nuevos procesos de manufactura, observando el Universo para entender mejor su origen y evolución, o realizando investigación básica en ciencia y tecnología.

Como ya se ha ido mencionando, la Agencia Espacial Europea (ESA) es uno de los principales organismos en el desarrollo de tecnología espacial. Esta compuesta por trece países europeos, además de Canadá que coopera sin pertenecer oficialmente a ella. El principal programa que está desarrollando la agencia es llamado "Columbus" que consta de cuatro elementos.

En primer lugar está el módulo presurizado (A.P.M.) que forma parte de la estación espacial. Es un laboratorio para ciencias en la microgravedad y aplicaciones que requieren de atención casi continua.

En segundo lugar tenemos el módulo autónomo visitable (M.T.F.F.), el cual es también un laboratorio, aunque automático y autónomo para ciencias y aplicaciones de la microgravedad que requieren de largos periodos de tiempo y ausencia de perturbaciones, especialmente adaptable para el crecimiento de cristales y experimentación con materiales. Recibirá mantenimiento en órbita por parte de la tripulación del "Hermes".

También está la plataforma europea recuperable "Eureca", que será una plataforma automática para misiones de microgravedad durante seis meses. Será recuperable por medio de los transbordadores espaciales y recibirá servicio en Tierra.

El cuarto elemento es la plataforma polar (P.P.F.), la cual estará en una órbita polar heliosíncrona y servirá para el desarrollo de nuevos instrumentos en la observación de la Tierra.

La ESA utilizará, además de la infraestructura en Tierra y los cohetes Ariane, la nave espacial "Hermes" ya mencionada. Este es un vehículo hipersónico que está en desarrollo y que orbitará la Tierra a una altura de 400 Km en una trayectoria circular inclinada 30°, con respecto al plano ecuatorial y con un máximo de seis astronautas. Sus aplicaciones serán similares a las de los orbitadores de la NASA.

También la NASA, por su parte, tiene planes avanzados para el diseño y construcción de una nave hipersónica, llamada X-30 que comenzará a surcar el espacio a principios del siglo XXI. Despegará horizontalmente y alcanzará velocidades de 25 veces la velocidad del sonido, o sea, Mach 25, y además de realizar operaciones propiamente espaciales, podrá utilizarse para transportar pasajeros de un lugar a otro de la Tierra en cuestión de minutos.

Al mismo tiempo, Gran Bretaña tiene diseñada una nave ultra rápida de nombre "Hotol", que tendrá un sistema de propulsión diseñado por la Rolls-Royce, y el contorno especial de sus alas y fuselaje hará que la temperatura registrada alrededor de ella durante su reingreso en la atmósfera sea menor que la que se produce actualmente en los orbitadores de la NASA (1500°C). El Hotol alcanzará una altura aproximada de 300 Km, pero su principal innovación será que despegará horizontalmente, además de aterrizar de igual forma. Podrá colocar satélites y otros objetos en órbita, pero también transportará gente, como en el caso del X-30.

## 2.5 Perspectivas a corto y largo plazo

El ambiente del espacio es único, y por ello tiene grandes atractivos para la investigación científica y los procesos de manufactura especializada. Es así como las estaciones espaciales que estarán orbitando la Tierra en pocos años, tomando en cuenta la estación soviética MIR que ya lleva varios años funcionando, permitirán desarrollar procesos industriales por parte de los científicos e ingenieros que las habitarán permanentemente y que se irán reemplazando por grupos, como relevos, por medio de viajes en orbitadores.

Los viajes no servirán únicamente para llevar nueva tripulación, sino que también serán aprovechados para traer a la Tierra todos los productos generados en el espacio, como los cristales con alto grado de pureza, medicamentos altamente eficaces, o bien, aleaciones de metales casi perfectas, de gran resistencia y duración.

Otra de las aplicaciones importantes de dichas estaciones será la teledetección de la Tierra y por último la exploración científica del espacio con observaciones astronómicas y astrofísicas de alta precisión.

No escasean los planes y las visiones de desarrollo futuro. Las plataformas y estaciones espaciales tripuladas en profusión de diseños y funciones, serán el antecedente de verdaderos centros espaciales de operación, con paneles solares, módulos para vivienda y trabajo, tanques de combustible y hangares para las naves espaciales. Finalmente se habla de colonias en el espacio que serán en forma de rueda, donde vivirán decenas de miles de personas.

Se habla también de satélites para la canalización de la energía solar, que, según afirman, resolverían todos nuestros problemas energéticos. Se considera que el transporte por el espacio a bajo costo es la clave que permitiría la construcción en órbita terrestre de un nuevo continente de grandes riquezas. Se ha propuesto extraer minerales de la Luna y acercar los asteroides a la Tierra para facilitar los trabajos. Hay incluso quien alberga ideas grandiosas sobre la construcción de fábricas en el espacio, donde se procesarían las materias primas con más eficiencia que en la Tierra. Todavía más allá aparece la idea de una tercera revolución industrial, como la consecuencia lógica de la primera, en el siglo XVII, basada en la industria de maquinaria, y la segunda, en el siglo XX, que se apoya en la electrónica. "Los pasos que llevarían a la tercera revolución industrial serían: el traslado de la mayor parte de los procesos industriales del planeta Tierra al espacio, donde se utilizarían las materias primas del Sistema Solar y la energía del Sol, y se reciclarían todos los materiales de desecho arrojándolos de nuevo al continuo del Universo".

### 3. TIPOS DE SATELITES Y APLICACIONES\_\_\_\_\_

#### 3.1 Generalidades

Hasta ahora, hemos visto como en la evolución de la tecnología espacial, fueron apareciendo satélites de diversas aplicaciones, satélites artificiales, mejor dicho, para distinguirlos de los satélites naturales, como lo son la Luna de la Tierra, o ésta, a su vez, del Sol. Vehículos con funciones cada vez más definidas que poco a poco han ido ocupando un papel primordial en el desarrollo de la tecnología y en la vida cotidiana del hombre.

Para colocar un satélite en órbita, es necesario sacarlo de las capas más densas de la atmósfera, pues el rozamiento con el aire podría reducirlo a cenizas; por ello se han desarrollado todos los métodos de lanzamiento, desde cohetes hasta los sistemas de transportación espacial con transbordadores.

La práctica ha demostrado que un satélite sólo puede mantenerse en órbita a más de 180 Km de altura; a 200 Km, el satélite tiene garantizada una vida de varias semanas y a 500 Km de la superficie terrestre puede girar durante años. Esto es debido a la fuerza de gravedad de la Tierra, puesto que para tenerlo en órbita, es necesario que su peso esté exactamente compensado por la fuerza centrífuga que actúa sobre él cuando gira alrededor de la Tierra. Esta fuerza proporcional a su velocidad, dependerá únicamente de la altura de vuelo.

Así, cuanto más alto vuele un satélite, menor será la velocidad requerida para que se mantenga en órbita. Por otra parte, la posibilidad de un choque entre satélites artificiales es mínima, a causa del gran espacio en el que se desplazan. El único peligro deriva del hecho de que la mayor parte de los satélites de comunicaciones se sitúan en la órbita geostacionaria, que al saturarse, plantea la posibilidad de un choque por proximidad o interferencias de carácter electromagnético; sin embargo, aún así, la probabilidad de una colisión es muy pequeña.

El satélite artificial es un conjunto de instrumentos sostenidos por un armazón metálico, del que sobresalen antenas, paneles y otros aditamentos; sin embargo, no requiere forma aerodinámica como muchos suponen, ya que no hay atmósfera. En general, las estructuras de los vehículos espaciales están constituidas a base de aleaciones metálicas ligeras (aluminio o magnesio), aunque se han fabricado también satélites de acero, de plástico aluminizado y de fibra de vidrio, entre otros materiales.

## 3.2 Clasificación de satélites

En la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Espacio Ultraterrestre, en 1982, se habló de las siguientes aplicaciones de la tecnología espacial: telecomunicaciones, comunicaciones móviles, comunicaciones móviles por tierra, comunicaciones marítimas, comunicaciones aeronáuticas, radiodifusión por satélite, teleobservación, meteorología, navegación y geodesia. Dentro de este contexto, lo más fácil sería comenzar clasificando los satélites en dos grandes categorías:

Satélites de observación que se usan para la recolección de datos, y cada vez más también para su procesamiento, y la transmisión consiguiente de esa información a Tierra;

Satélites de comunicación que se usan para la transmisión y distribución de la información desde diversas ubicaciones en la Tierra a otros puntos.

Los satélites de observación incluyen desde satélites de recursos terrestres y oceánicos hasta satélites meteorológicos, atmosféricos y geodésicos; por lo que en la actualidad, cuando uno de los temas de mayor relevancia a nivel internacional es un adecuado desarrollo y administración de los recursos de nuestro planeta, dicha actividad pasa a tener, después de las telecomunicaciones, una gran importancia dentro de las aplicaciones espaciales. Sin embargo, los satélites de comunicaciones constituyen la principal aplicación de la tecnología espacial y son la materia de estudio de este trabajo.

Tomando en cuenta las funciones específicas de los satélites, podemos dividirlos en los siguientes grupos:

### a. Satélites de telecomunicaciones:

Esta fue la primera aplicación que se encontró a la tecnología espacial, y actualmente es la de mayor importancia. Como vimos en la evolución de las actividades espaciales, primero aparecieron satélites pasivos y después activos, ya con la capacidad de amplificar la información para retransmitirla y, poco a poco, fueron apareciendo satélites con una mayor capacidad de manejo de la información. También se crearon los primeros satélites geoestacionarios, desde el Syncom-3 hasta los primeros satélites de organizaciones internacionales como los Intelsat del bloque occidental y los Intersputnik de los países socialistas. Poco a poco el servicio pasó a ser también parte de programas regionales y más tarde a nivel nacional. Tenemos, por ejemplo, la organización Eutelsat en Europa y la Arabsat en el Medio Oriente.

El primer método que se utilizó en la transmisión de información fué el de acceso múltiple por división en frecuencia, sin embargo las frecuencias usadas encontraron un límite debido a problemas de atenuación y se recurrió al acceso múltiple por división en el tiempo, con el cual se puede transmitir diferente información en una misma frecuencia con intervalos alternos de tiempo. Debido, en gran medida, a la saturación en ciertas regiones de la órbita geoestacionaria, se han ido desarrollando nuevas técnicas que permitan una mayor eficiencia en las comunicaciones. Así tenemos desde el uso de diferentes bandas hasta métodos de compresión de la información, utilización de diferentes polarizaciones para la reutilización de frecuencias, procesamiento de señales y conmutación a bordo y, uso de radiofaros y haces puntuales dirigibles de gran flexibilidad. Algunos de estos métodos se encuentran aún en proceso de experimentación, como es el caso del rayo láser que en unos cuantos años ocasionará una revolución en el campo de las comunicaciones espaciales.

b. Satélites meteorológicos:

La predicción meteorológica es una ciencia compleja que requiere, para su precisión, de una observación frecuente de estados de los estados de tiempo en todo el globo terráqueo, lo cual no era posible únicamente con estaciones meteorológicas terrestres. Es así como uno de los primeros usos de la tecnología espacial fue el de los satélites meteorológicos que, por su amplio rango de alcance, han permitido una observación prácticamente continua del estado del tiempo en casi toda la Tierra y, gracias a ella, se ha revolucionado el pronóstico del tiempo a corto y largo plazo y se han perfeccionado los modelos climatológicos.

Para dicha observación estos satélites utilizan el espectro infrarrojo en la noche y el visible en el día, con lo que además de la información e imágenes obtenidas, recopilan también datos relativos a los patrones de formación de nubes, de temperaturas en la superficie y en las diferentes capas de la atmósfera, de la humedad atmosférica y de la velocidad del viento; todos ellos factores esenciales para definir los fenómenos climáticos. Además de esto, también proporcionan información sobre incendios, contaminación del aire y del agua, fenómenos de auroras, tormentas de polvo y arena, cobertura de nieve, formación de hielo, corrientes oceánicas y pérdidas de energía, entre otros.

En esta disciplina se ha logrado una amplia cooperación internacional con la Organización Meteorológica Mundial que cuenta con un sistema de observaciones mundiales muy eficiente, en el cual los satélites meteorológicos, tanto geoestacionarios como polares, constituyen el pilar central.

c. Satélites de observación de recursos terrestres y oceánicos:

En la década de los 70's, gracias a la experiencia ganada con satélites meteorológicos, la tecnología aplicada a la observación de la Tierra dió un paso más al introducir técnicas de percepción remota para la exploración de recursos desde el espacio. Dichos satélites utilizan,

para sus observaciones, detectores en el visible, el infrarrojo y la microonda. Con su uso se pueden recibir y registrar propiedades de la superficie terrestre en forma de pixeles (elementos fotográficos), que se convierten en dígitos que hay que decodificar y ordenar, obteniéndose de ellos una imagen con el apoyo de la computación.

Las imágenes se obtienen en varias bandas del espectro visible, el infrarrojo reflejado y el infrarrojo térmico, lo cual es muy ventajoso, puesto que diferentes materiales terrestres absorben o reflejan selectivamente algunas de estas bandas, lo que constituye una firma espectral característica del material en cuestión. Así, los detectores reportan diversas propiedades a lo largo de una columna de observación vertical durante la trayectoria del satélite, es más, pueden reportar toda una área utilizando los llamados "barredores".

Estos sistemas son de suma importancia debido a sus múltiples aplicaciones, como son:

- Recursos naturales renovables y no renovables
- Recursos agrícolas y bióticos
- Censos de cultivos y prevención de plagas
- Uso del suelo
- Recursos hidráulicos
- Energéticos
- Minería
- Silvicultura
- Pesca
- Ecología
- Fuentes de contaminación
- Asentamientos humanos y rutas viales

Todas ellas actividades de gran reelevancia económica para un país.

#### d. Satélites científicos:

Los satélites científicos incluyen los dedicados a la geofísica exterior y, en general, al estudio de todo lo relacionado a la física espacial; así como aquellos, cuyas investigaciones, se aplican posteriormente a desarrollos tecnológicos. Actualmente hay varias áreas de la ciencia que dependen de satélites para aumentar sus conocimientos. Las ciencias de la Tierra tienen necesidad de instrumentos en el espacio para esclarecer las características de nuestro planeta y el modo en éste ha evolucionado. Los satélites geodésicos, por ejemplo, permiten estudiar tanto el movimiento de las placas continentales y su influencia en la aparición de terremotos, como lo relacionado a la vulcanología. La naturaleza física de nuestro planeta es tal que los científicos requieren del uso de satélites para que, partiendo de un estudio global, puedan comprender mejor el complejo funcionamiento de la Tierra.

Por otro lado, las capas atmosféricas están íntimamente ligadas al medio ambiente espacial; y el Sol, que continuamente envía al espacio partículas y radiaciones en el transcurso de todo su ciclo de once años, provoca cambios en la atmósfera que pueden modificar sus

características físicas e inclusive influir en el clima. Por esta razón, se han enviado una gran cantidad de satélites para estudiar esta corriente proveniente del Sol, llamada "viento solar", así como sus consecuencias. También hay otro tipo de satélites utilizados para estudiar las interrelaciones Tierra-Sol.

Sin embargo, el mayor éxito registrado para los satélites científicos se ha dado en el campo de la astronomía. Enviando satélites más allá de las capas atmosféricas que protegen a la Tierra de radiaciones peligrosas, pero que al mismo tiempo no permiten el paso de ondas electromagnéticas importantes para la astronomía, se han abierto ventanas astronómicas en diferentes bandas, como los rayos gama, los rayos X, los rayos ultravioleta y ciertas longitudes del infrarrojo.

En resumen, dentro de este grupo tenemos satélites atmosféricos, geodésicos, biológicos, de física espacial, astronómicos e, inclusive, las plataformas automáticas en las que se lleva a cabo investigación científica.

e. Satélites militares:

Un importante grupo es el de los satélites militares que cumplen con un gran número de objetivos: probar el funcionamiento de las armas; guiar los misiles, aviones y barcos que transportan armas nucleares, convencionales o de vanguardia; monitorear las "crisis"; posibilitar la "pronta alerta" y la destrucción de armas y satélites.

La mayor parte de la tecnología espacial fué probada e inicialmente utilizada en el campo militar y posteriormente transferida al sector civil. Así hay satélites de comunicaciones con fines militares, por ejemplo, para misiones de comando y control o directamente para la comunicación con bases, sedes militares de "inteligencia", barcos, aviones y submarinos militares. También se tienen satélites meteorológicos para el sondeo de posibles cambios en la trayectoria planeada de misiles, debidos a factores atmosféricos. Satélites geodésicos para la determinación del campo gravitacional y de la forma de la superficie local, así como para la localización precisa de blancos militares. Se usan satélites de navegación marina para la localización de barcos, dirección de misiles y detección de explosiones en el mar y, por último, se utilizan transbordadores también con fines militares.

Sin embargo, hay satélites diseñados exclusivamente para fines militares, como los de fotorreconocimiento para el sondeo de grandes áreas del país televigilado mediante cámaras de baja resolución, o los de reconocimiento electrónico para el monitoreo de radioseñales generadas por actividades militares ofensivas, esto mediante equipo electrónico de alta resolución. En general, este grupo de satélites, llamado de reconocimiento o vigilancia, es el de mayor uso, y dentro de ellos hay algunos con cámaras de alta resolución (unos cuantos centímetros) en la banda visible y en la infrarroja.

También hay los llamados satélites de "pronta alerta" que monitorean y detectan el lanzamiento de misiles y cohetes durante su fase de ascenso mediante sensores de radiación infrarroja. Satélites de vigilancia oceanográfica para apoyar actividades de submarinos militares y finalmente los antisatélites o "satélites asesinos" para la destrucción del comando y control de otro satélite, de su capacidad de vigilancia y reconocimiento, o del satélite mismo. Cabe mencionar también el satélite soviético "FOBS" o de bombardeo, que lleva en su interior carga explosiva que le permite funcionar como un satélite "suicida".

En general, hemos visto como la aplicación de los satélites es casi ilimitada y se encuentra en una continua evolución. A continuación nos enfocaremos al desarrollo de las radiocomunicaciones.

### **III. COMUNICACIONES SATELITALES**

#### **1. LA ERA DE LAS COMUNICACIONES \_\_\_\_\_**

##### **1.1 Historia de las comunicaciones**

Como vimos en el capítulo anterior, los satélites de comunicaciones y en general todas las actividades espaciales, no hubieran sido posibles sin los avances en los sistemas de propulsión, pero tampoco tendrían sentido sin el desarrollo de las comunicaciones.

Durante siglos la comunicación se mantuvo casi sin cambios y estuvo comúnmente ligada al transporte, pues, a excepción de algunos medios rudimentarios acústicos y ópticos, el mensaje era llevado físicamente de un lugar a otro. Desde la misma capacidad de hablar hasta la escritura y posteriormente la imprenta.

A principios del siglo pasado la comunicación de información a distancia se enfrentaba con las mismas limitaciones espaciales y temporales que habían existido desde el comienzo de la historia. Pero cuando se descubrió la electricidad las cosas cambiaron. El uso de alambres metálicos como conductores eléctricos posibilitó una de las primeras aplicaciones prácticas de la electricidad: el telégrafo.

El telégrafo, que es un sistema típicamente digital, fue el primer paso por el nuevo mundo de las telecomunicaciones. En 1834 Gauss y Weber diseñaron una de las primeras versiones de este aparato que lograba enviar mensajes a distancias significativas. Poco después, Cooke y Wheatstone anunciaron en 1837 otro sistema telegráfico y posteriormente fundaron la Compañía Telegráfica Eléctrica Británica. Inmediatamente, el telégrafo paso a ser un subsistema de comunicaciones para los ferrocarriles y así la expansión de las redes ferroviarias norteamericanas impulsó el crecimiento explosivo que tuvo este sistema, al igual que el empuje que le dió el famoso código de punto\_raya desarrollado por Samuel Morse, quien en 1844 estableció una línea entre Washington y Baltimore con un equipo telegráfico diseñado por él mismo.

Fue tal el desarrollo de la telegrafía, que en 1866 se tendió un cable submarino logrando el primer enlace permanente entre Estados Unidos y Europa; y a principios de este siglo se comercializó el equipo telegráfico automático también conocido como teleimpresor, aprovechando dos ideas que permitieron sincronizar los extremos transmisor y receptor. Estas fueron el código que Emil Baudot estructuró en Francia (1872), y la técnica de Howard Krum (1910) que identificaba el principio y el fin de cada letra o símbolo representado.

## 1.2 Transmisión de voz y utilización de ondas electromagnéticas

La invención del teléfono que hizo Alejandro Graham Bell en 1876 fue uno de los grandes pasos en toda esta evolución, al potenciar la transmisión del sonido. Así, con este aparato, que es uno de los de mayor uso en la actualidad, dió comienzo el auge de los sistemas de comunicación analógicos.

En los rudimentarios telégrafos y teléfonos había un punto en común: el empleo de corriente eléctrica para transferir información. Esto presentaba el inconveniente de que los mensajes podían viajar de un lugar a otro exclusivamente a través de un cable. La respuesta a una de las interrogantes que durante milenios torturó las grandes mentes científicas, cambiaría radicalmente la situación y daría origen a los sistemas de comunicación inalámbricos de alta capacidad (radio, televisión, microondas, etc.).

Doce años antes de la invención del teléfono, en 1864, el físico escocés James Clerk Maxwell ya había postulado matemáticamente que la luz es una manifestación de ondas electromagnéticas en su Teoría Dinámica del Campo Electromagnético, con la que conmocionó al medio científico al desarrollar las ecuaciones matemáticas ubicadas dentro de las más elevadas abstracciones que el hombre a legado a la ciencia.

La Teoría de Maxwell quedó probada cuando el alemán Enrique Rudolf Hertz demostró en 1888 con un oscilador construido por él, que las vibraciones eléctricas se propagan en forma de ondas electromagnéticas, lo cual abrió un nuevo campo de aplicaciones a desarrollar. Fue así que en 1896 el italiano Guillermo Marconi verificó experimentalmente que la telegrafía sin hilos era factible. Una vez más se dió la relación entre las comunicaciones y los transportes, puesto que, así como el ferrocarril había sido el principal usuario de la telegrafía alámbrica, fue ahora la navegación la fuerza impulsora que fomentó el uso de la telegrafía inalámbrica o radiotelegrafía.

El paso siguiente era intentar transmitir la voz humana empleando las sorprendentes ondas electromagnéticas, pues hasta entonces sólo se habían transmitido señales telegráficas; en apariencia el asunto no era complicado. No obstante, existía un inconveniente que parecía ser insuperable: la interferencia.

La voz masculina contiene frecuencias entre 100 y 8,000 hertz: si quisiéramos transmitir, radiando directamente al espacio, ondas electromagnéticas producidas a partir de los sonidos que emiten varios locutores situados en distintos puntos de una zona pequeña, sería imposible distinguir a unos de otros. Esto significaba que en apariencia sólo se dispondría de un canal para la comunicación inalámbrica.

De esta manera empezaron a aparecer las primeras aplicaciones de la telefonía sin hilos. Es característico que fué otra vez un medio de transporte el que desempeñó un papel vital en el desarrollo de este nuevo medio de comunicación: el transporte aéreo. Todos estos servicios de telecomunicación trataban de entablar contacto entre dos puntos definidos. Pero ya en 1906 se organizó en Nueva York una demostración de otro uso novedoso de la radiotelefonía (como entonces se llamaba), que fue el enviar un discurso o una canción a varios individuos, alejados unos de otros, que disponían de un receptor. Este fue el primer antecedente de lo que sería más tarde la radiodifusión.

### **1.3 Métodos de modulación y televisión**

Sin embargo, aún no se podían enviar varias transmisiones, a menos que fuera en otro lugar muy alejado, lo cual era una gran limitación, pero si por algún proceso físico se lograra que ondas de mayores frecuencias llevaran la información de la música o de la voz y, mediante una operación inversa se reconstruyeran éstas en el extremo receptor, entonces sería factible, sin utilizar cables, enviar simultáneamente cientos de señales diferentes y recuperarlas.

Es así como a principios del presente siglo, gracias al desarrollo de la electrónica con la invención de la válvula de electrones o bulbo por Lee de Forest, al diseño de filtros básicos por G.A. Cambell y al perfeccionamiento del receptor de radio superheterodino realizado por E.H. Armstrong en 1918; aparece la primer técnica para trasladar señales desde rangos de frecuencia inferiores a rangos superiores, la modulación en amplitud, que dió origen a la radio AM.

El mismo Armstrong, poco después inventó la técnica de modulación en frecuencia o FM con la que se reducían notablemente disturbios en las señales; mientras personalidades como Nyquist, Carson y Hartley modelaban los efectos del ruido en la transmisión de mensajes. Con estos logros, el siguiente paso era tratar de enviar imágenes a través de ondas electromagnéticas.

Vladimir K. Zworykin, ingeniero de origen soviético que emigró a los Estados Unidos huyendo de la revolución rusa, se considera el inventor de la televisión por sus diversas patentes e ideas relacionadas con ella. Fué hasta 1931 que se utilizó la primer antena de televisión experimental en la cima del edificio Empire State en Nueva York.

### **1.4 Modulación digital**

Aunque ya, poco antes de la segunda guerra mundial, había en Francia sistemas de

microondas digitales, es decir, sistemas digitales de ondas en frecuencias altas, la mayoría de los sistemas eran analógicos. En 1937, Alec Reeves desarrolló la técnica de modulación por pulsos codificados o PCM, para señales digitales o "digitalizadas", lo cual reinició la incorporación de circuitos y procedimientos digitales en los sistemas de comunicación. Básicamente la modulación PCM consiste en una codificación de pulsos que quedaron modulados en amplitud (PAM) al hacer la conversión analógico/digital.

Aún cuando desde su surgimiento, esta técnica fué reconocida como la que en el futuro impondría la digitalización en los servicios de telecomunicaciones, en los años cuarenta existían dos barreras para su explotación comercial. Por un lado, requería de un número excesivo de bulbos y por el otro, la tecnología digital no tenía la madurez suficiente para manejar las altas frecuencias que demanda la PCM.

Pese a tales obstáculos, los laboratorios Bell construyeron un sistema experimental que empezó a funcionar en 1947 y un año después se inventó el transistor, el cual hacía todo lo que podía hacer el bulbo y mejor. Con él comenzó la miniaturización exactamente cuando más se necesitaba para las computadoras, los robots balísticos, la exploración del espacio y particularmente para los satélites que, como ya se vió, aparecieron a fines de los cincuentas. También en 1948, Claude E. Shannon presentó su "Teoría matemática de las comunicaciones", cuyos conceptos proporcionaron las bases para la integración posterior del cuerpo de conocimientos que actualmente se denomina "Teoría de la información".

Como se puede ver, fue necesario el desarrollo que se dió en la electrónica, como sigue sucediendo en la actualidad. Con la invención del transistor los mismos laboratorios Bell perfeccionaron el proceso de multicanalización por división de tiempo que en 1959 se materializó en un conmutador llamado Essex, precursor de la telefonía digitalizada.

## **1.5 Transmisión de datos y digitalización de señales**

La era de los medios ópticos de comunicación empezó en 1960 cuando Theodore Maiman sugirió la posibilidad de utilizar un rango de frecuencias prácticamente ilimitado, aprovechando las características del rayo láser; sin embargo, aún pasaron varios años para que se experimentara con medios de comunicación óptica. Durante esta década se hizo una realidad la transmisión de datos con alta velocidad y se diseñaron códigos para corregir y controlar errores que facilitaron la interconexión de computadoras.

En esta época los sistemas analógicos alcanzarían todavía momentos de gloria al obtenerse componentes que desatarían un auge sin precedente en los enlaces de microondas. Entre dichos componentes están los circuitos integrados que superaron en mucho a los transistores y produjeron lo que se ha llamado integración en gran escala o en muy gran escala o microminiaturización.

Como sabemos, las computadoras funcionan sobre el principio de traducir la información a formas numéricas discretas, es decir, a datos digitales. Con el equipo apropiado es posible traducir cualquier señal analógica a un código binario, o sea, a una serie de dígitos binarios que se han llamado "bits", para luego transmitirla en forma digital y reconvertirla en el lugar donde se recibe a su forma original: sonido, imagen o texto. Cuando aparecieron las computadoras y se sintió la necesidad de transmitir datos digitales por las líneas de telecomunicación, se observó que los sistemas de transmisión digital ofrecían muchas ventajas sobre los circuitos tradicionales de calidad telefónica. Es así como, con el progreso de la PCM aplicando nuevas técnicas en la digitalización, como lo es la modulación delta, fue posible la transmisión de voz e imágenes digitalizadas, lo cual se utilizó inmediatamente en los satélites.

También se fueron desarrollando otros métodos de modulación como los de corrimiento de fase (PSK) con sus variantes como las señales PSK de cuatro fases (QPSK) o las binarias (BPSK). Estos últimos son sistemas de señalización multisímbola aplicados a comunicaciones digitales, dentro de los que también se encuentra la modulación de amplitud en cuadratura (QAM). También se pueden combinar estos sistemas, y todo ello con el fin de lograr una reducción en el ancho de banda requerido para transmitir la secuencia digital de banda base. En general, estos métodos consisten en la combinación de sucesivos pulsos binarios para formar un pulso de mayor amplitud, reduciendo en consecuencia el ancho de banda requerido en la transmisión.

Así, desde 1970 a la fecha, la tendencia a la digitalización en los servicios de telecomunicaciones adquirió un impulso irreversible; y ha sido en las redes telefónicas donde el fenómeno se ha hecho más notorio gracias a los desarrollos en la microelectrónica y en los equipos PCM.

## **1.6 Medios ópticos y espectro radioeléctrico**

En 1976 los laboratorios Bell demostraron la viabilidad de producir fibras ópticas, cuyas versiones más recientes permiten la transmisión de información a velocidades de cientos de gigabits por segundo. Esto significa que por un hilo más delgado que un cordón de zapato pueden viajar simultáneamente varios millones de conversaciones telefónicas o varios miles de canales de televisión.

Las fibras ópticas son finos hilos de cristal de muy alta pureza y calidad por los que se transmite información a través de un haz de energía luminosa, la cual es también parte del espectro electromagnético pero en la gama de ondas de muy pequeña longitud. Actualmente se están aplicando en diversos campos, como son: la telefonía, la transmisión de señales de video, en la industria, en el procesamiento de datos y en el campo militar.

Una de las características de la nueva tecnología de las comunicaciones es el enorme aumento en la capacidad de generar, almacenar, procesar, transmitir y recibir información. En la transmisión de información la demanda en el espectro de radiofrecuencias se ha ido incrementando de manera importante. Las radio ondas que se propagan en las cercanías del globo terráqueo son el principal recurso natural que utilizan las telecomunicaciones, el cual es abundante pero a la vez limitado, por eso el espacio ultraterrestre surgió como un recurso nuevo aún no explorado.

La gama completa de frecuencias o longitudes de onda que se pueden usar para radiocomunicaciones ocupa un segmento que por su parte inferior comienza con las ondas extra largas y por el otro limita con la parte visible del espectro. Esta gama, que puede usarse para la radiocomunicación, se ha dividido en ocho bandas.

Bandas de radiofrecuencia:

Nº de banda	Nombre de la banda	Rango de frecuencias (excluyendo límite sup.)
4	VLF, very low frequency	3 - 30 KHz
5	LF, low frequency	30 - 300 KHz
6	MF, medium frequency	300 - 3000 KHz
7	HF, high frequency	3 - 30 MHz
8	VHF, very high frequency	30 - 300 MHz
9	UHF, ultra high frequency	300 - 3000 MHz
10	SHF, super high frequency	3 - 30 GHz
11	EHF, extra high frequency	30 - 300 GHz
12		300 - 3000 GHz

\* Y sucesivamente, la banda "N" iría de  $0.3 \times 10$  a  $3 \times 10$

El espectro de radiofrecuencias también se divide en rangos designados por letras:

Banda		Rango de frecuencias (GHz)	
P	J	0.225 - 0.39	0.35 - 0.53
L		0.39 - 1.55	
S	C	1.55 - 5.2	3.9 - 6.2
X		5.2 - 10.9	
K	Ku	10.9 - 36	15.3 - 17.25
Q		36 - 46	
V		46 - 56	
W		56 - 100	

La mayoría de los satélites utilizan frecuencias SHF, aunque también utilizan UHF en ciertos casos. Dentro de SHF la banda C es la más común, la cual se utiliza también para enlaces de microondas terrestres. Las frecuencias utilizadas en enlaces satelitales son expresadas también como 6/4 GHz (banda C), 14/12 GHz y 30/20 GHz (banda K), que corresponden al enlace de subida y al de bajada respectivamente. Al aumentar la frecuencia, se aumenta la capacidad de transmisión, por lo que se tiende a usar bandas cada vez mayores; aunque también se requiere de equipo más sofisticado y caro. Las frecuencias de UHF requieren de estaciones terrenas más pequeñas y baratas, pero de menor capacidad, por lo que se utilizan en estaciones móviles, tal es el caso de la banda L.

## 2. LA TECNOLOGIA SATELITAL

---

### 2.1 Relevancia de los satélites

Los diversos servicios de comunicaciones requieren un volumen diferente de frecuencias, o sea, de anchura de banda, según el tipo, la tasa y el volumen de la información a transmitir. Las telecomunicaciones comenzaron empleando las frecuencias bajas, que son más fáciles y menos costosas de usar, pero que sólo pueden acomodar una cantidad limitada de información. La historia de las telecomunicaciones se puede considerar como un esfuerzo constante en busca de una mayor capacidad de transferencia de información; esto se ha conseguido con el desarrollo de nuevos métodos para utilizar mejor y más económicamente las diferentes bandas de frecuencias, o bien con la apertura de gamas de frecuencias más altas.

En este desarrollo, las bandas de frecuencias bajas se vieron pronto congestionadas con los servicios tradicionales de telecomunicación, especialmente el telégrafo, el teléfono y la radiodifusión. Aparecieron pronto otros servicios que exigían una mayor anchura de banda como la televisión y la transmisión de datos a gran velocidad, y se noto una fuerte presión hacia el uso de frecuencias más elevadas. Los satélites se convirtieron así en el instrumento elegido para muchos servicios, no sólo porque con relativa facilidad pueden enviar grandes cantidades de información a zonas amplias, sino también porque se les puede hacer funcionar en gamas de frecuencias muy elevadas.

Es así como podemos ver un fuerte desarrollo en los sistemas de transmisión con un aumento considerable de su capacidad portadora. Desde el par de cables trenzados que se usa para el teléfono en todas partes y los cables coaxiales que se usan para los sistemas de televisión por cable hasta los sistemas de radiocomunicación por microondas que ocupan la gama superior del espectro de radiofrecuencias; pero aún así, sólo las fibras ópticas se considera que tienen potencial suficiente para enfrentarse con los satélites cuando se trata de desarrollar sistemas de telecomunicación de banda ancha.

Las fibras ópticas están sustituyendo rápidamente a los tradicionales medios de comunicación, sobretodo en lo que se refiere a la transmisión de señales a larga distancia, tanto en tierra como en el mar. Esto es debido a su elevada amplitud de banda que les da una gran capacidad de transmisión, y también debido a muchas otras ventajas. Entre ellas tenemos la baja atenuación en las señales, con lo que se cubren amplias distancias (cientos de Km) sin necesidad de repetidores, además de requerirse poca amplificación y regeneración en los receptores. También la inmunidad a las condiciones ambientales, a las radiaciones nucleares y a las electromagnéticas, y el aislamiento eléctrico que se presenta en sus terminales, así como la protección contra interferencias externas.

Sin embargo, a diferencia de los satélites, todas las otras técnicas exigen un trayecto de encaminamiento sobre la superficie de la tierra o cerca de ella, por lo que para ampliar la red se necesita una añadidura física en los trayectos. En cambio en una red satelital sólo es necesario establecer en el lugar deseado una estación terrena. Además, es evidente que

para las comunicaciones móviles, el aire seguirá siendo el medio de transmisión, y los satélites continuarán utilizándose para enlazar usuarios cuya posición cambie constantemente conforme viajen en automóviles, trenes, aviones o barcos. Actualmente, un complemento para las comunicaciones móviles de larga distancia en tierra firme lo constituyen las redes de radio móvil celular que se utilizan principalmente para telefonía.

## **2.2 Servicios Satelitales**

En un principio, los satélites de comunicaciones surgieron como un medio para alcanzar lugares remotos y pronto se aplicaron como una alternativa a los cables sub-oceánicos, se utilizaron en los enlaces domésticos de telefonía y televisión a grandes distancias, en la radiodifusión de televisión y radio, y en el envío de datos en redes de cómputo; hoy en día como una facilidad de acceso múltiple para transmitir todo tipo de señales.

Así, en este orden fueron apareciendo las diversas aplicaciones de los satélites, conforme mejoraba la tecnología y disminuían los costos, sobretodo en el uso de canales. En un principio se utilizaron satélites de tipo internacional y poco después se inició el uso de satélites domésticos como el ANIK canadiense y poco después los WESTAR norteamericanos. En la primer década de operación de satélites, éstos se utilizaron principalmente en el tráfico de telefonía y televisión, y poco después se usaron como el medio idóneo para la radiodifusión. Sin embargo, al evolucionar la tecnología se encontró su gran potencialidad para la transmisión de datos.

Esta potencialidad se puede entender si calculamos la capacidad de transmisión de algunos servicios, como por ejemplo en la telefonía, al digitalizar la voz en una llamada, ésta requiere de 64,000 bits por segundo (b/s), y la televisión digitalizada requiere una tasa que puede ir desde 40 a 90 millones de b/s. Sin embargo en el caso de ráfagas de datos que se están intercambiando entre dos terminales de computadora, éstas pueden llegar a requerir sólo 10 b/s de ida y lo mismo de regreso. La capacidad de transmisión de un satélite de comunicaciones en cierto caso podría ser de 500 millones de b/s, y esto suponiendo que los transpondedores no se utilizan en su máxima eficiencia; con estas cifras se puede observar la enorme cantidad de terminales de computadora que se podrían interconectar. Cabe mencionar aquí, la importancia de un adecuado método de acceso múltiple que permita optimizar más el canal, lo cual se puede hacer en el segmento espacial o, como sucede con mayor frecuencia, en el segmento terrestre.

## **2.3 Características generales**

Un satélite de comunicaciones es, en general, un receptor constituido por canales repetidores (transpondedores) sintonizados a señales que son lanzadas hacia él desde la Tierra. La información que recibe, experimenta una ganancia de potencia y es retransmitida a la Tierra dentro de toda el área que cubre.

En primera instancia, los satélites de comunicaciones se pueden dividir de acuerdo a la órbita en la que operan: en primer lugar tenemos los de órbita circular baja, después los de órbita

elíptica y por último los de órbita circular alta. Los de este último grupo se dividen a su vez en satélites de órbita geosíncrona y satélites de órbita geoestacionaria.

La órbita geoestacionaria se encuentra a una distancia aproximada de 35,788 Km de la superficie terrestre y está sobre el plano ecuatorial. Esta distancia es debido a que ahí se equilibran las fuerzas gravitacionales de la Tierra, la Luna y el Sol. Además al moverse en ella un satélite a una velocidad aproximada de 11,070 Km/h, éste completará una órbita en 24 horas, por lo que al girar en torno al ecuador, el satélite se mantendrá fijo con respecto a un punto de la Tierra. Este es el principio con el que operan la mayoría de los satélites de comunicaciones hoy en día. La órbita geosíncrona tiene las mismas características a excepción de estar ligeramente inclinada con respecto al plano ecuatorial. En este trabajo se analizarán únicamente satélites geoestacionarios.

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

Principales subsistemas de un satélite y sus funciones:

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

## 2.4 Fisiología del satélite

El subsistema de posición y orientación es quizá el más importante de todos, en el sentido de que una falla en él, puede producir la pérdida del control total del satélite, y éste no se podría aprovechar; ello se debe a que dicho subsistema tiene como objetivos principales mantener a las antenas orientadas en la dirección correcta sobre la superficie de la Tierra que se desea comunicar, así como conservar a las celdas solares orientadas hacia el Sol para garantizar una conversión eficaz de energía solar a energía eléctrica.

En primer lugar, para conocer la posición se requiere medir la distancia a la que se encuentra el satélite y en qué dirección o ángulo con respecto a algún punto de referencia sobre la superficie de la Tierra. La distancia se mide transmitiendo una señal piloto hacia el satélite que, al ser retransmitida, cambia su fase, con lo que se obtiene el trayecto recorrido por ésta. Por su parte, la dirección se puede determinar por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas, o también por la técnica de máxima recepción que consiste en orientar la antena hacia el satélite hasta obtener la máxima radiación.

Además de las técnicas de estabilización, ya sea por giro o triaxial, existen varios métodos para controlar o corregir la orientación de un satélite, pero todos operan a base de sensores, cuya información se compara con cierta referencia; el resultado de la comparación origina lo que se conoce como una "señal de error", que se utiliza precisamente para efectuar las correcciones debidas. También hay varios tipos de sensores, ya sea de mayor o menor precisión. Los más comunes son los sensores solares y los de horizonte terrestre, aunque actualmente ya se están utilizando los sensores de radiofrecuencia con el uso de radiofaros enviados desde Tierra, los cuales son mucho más precisos.

Una vez analizados estos datos con el uso de computadoras, se envían, a través del subsistema de telemetría y comando, órdenes desde Tierra, con las que se activan dispositivos de corrección o actuadores que generan lo que en mecánica se conoce como "pares". Los actuadores más comunes son los giroscopios o volantes, las bobinas y ante todo los propulsores. Estos últimos se emplean también para efectuar las correcciones necesarias de posición.

El principio bajo el cual operan los propulsores de un satélite se basa en la generación de gases a muy alta temperatura, mediante la reacción química de propelentes. Al aumentar la temperatura, se obtiene un mayor empuje. Estos gases son expulsados y acelerados a través de una tobera, y entonces se genera el impulso deseado. En la actualidad existe cada vez más la tendencia a utilizar sistemas bipropelentes, con los que no se emplea un catalizador, sino que dos propelentes distintos, un combustible y un oxidante, se ponen en contacto produciéndose una combustión instantánea sin necesidad de algún sistema de ignición; de estas sustancias, las más populares son la hidracina monometilica (combustible) y el tetróxido de nitrógeno (oxidante).

Hay también propulsores eléctricos que funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero que aún se encuentran en su etapa de prueba y desarrollo, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

En lo que respecta al subsistema de telemetría y comando, éste permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle ordenes 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, temperaturas, etc. Además de esta información, se envía también, como ya se había explicado, el o los tonos de rastreo para ubicar la posición del satélite.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación del satélite a control remoto. Normalmente éstas van codificadas y además son verificadas con el centro de control antes de ser ejecutadas. En la retransmisión de los comandos para su verificación, en las señales de telemetría y en los tonos de rastreo se utiliza un mismo canal, el cual a su vez es utilizado para otras señales de comunicación.

Por otro lado, para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. El subsistema de energía eléctrica consta de tres elementos: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último 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 principal de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares. Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares, es que su factor de eficiencia en la conversión de energía es muy bajo, aunque ya se ha mejorado al aprovechar, con nueva tecnología, 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 este último ha demostrado una mayor eficiencia.

Como ya se había mencionado, es importante que la incidencia de los rayos solares en las celdas sea lo más recta posible para que sea mayor la conversión a energía eléctrica. Es así que ciertos factores, como la distancia del satélite al Sol y el movimiento aparente de éste con respecto al satélite, ocasionan 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 hayan expuestas al Sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. Las más utilizadas son las de níquel-cadmio, aunque algunos satélites ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno que son de mejor calidad. Hay otro tipo de baterías que ya se encuentran en etapa de investigación, como las de plata-hidrógeno, litio y sodio.

Igualmente importante es el subsistema de control térmico, pues es necesario mantener cierto equilibrio térmico, sobre todo con algunos dispositivos muy sensibles. Este se logra mediante la combinación de materiales y colores, aprovechando sus propiedades de absorción y emisión de calor, y también con el auxilio de reflectores ópticos. Sin embargo, también en el caso de eclipses, es necesario aumentar la temperatura del satélite para lo que se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto.

La estructura del satélite es el 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, por lo que se utilizan materiales como el aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero y varios plásticos reforzados con fibra de carbón.

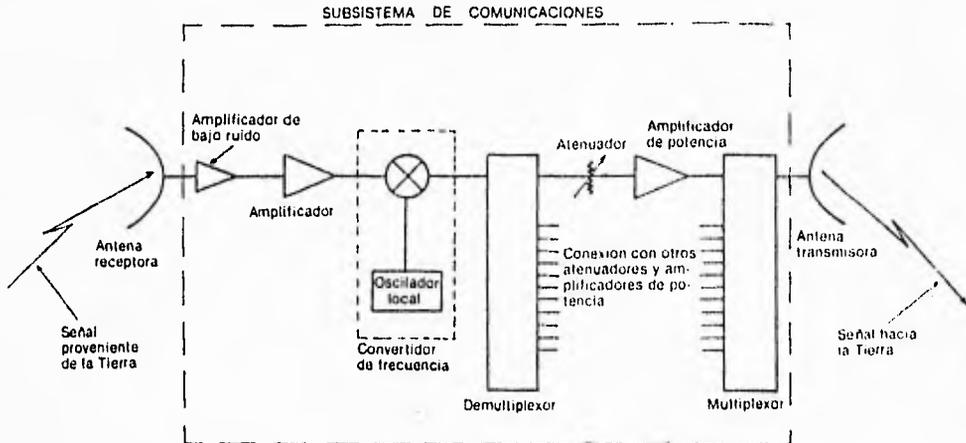
Sin embargo, para que el satélite pueda cumplir su función de retransmisor de señales se requiere ante todo de un subsistema de comunicaciones que está íntimamente ligado al subsistema de antenas, y es aquí en donde hay más desarrollo tecnológico y cada vez mejores técnicas para el manejo de frecuencias, así como patrones de radiación más eficientes.

### 3. SUBSISTEMAS DE RETRANSMISION \_\_\_\_\_

#### 3.1 Subsistema de comunicaciones

En general, este subsistema, es un conjunto de repetidores o dispositivos electrónicos que procesan las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas en el satélite a través de sus antenas, las que posteriormente se encargan de retransmitir la información. Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, según el servicio, 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 están llegando simultáneamente. El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

En el siguiente diagrama se muestra una de las posibles trayectorias o cadena de equipos que hay en un subsistema de comunicaciones típico:



A la trayectoria completa de cada repetidor se le da el nombre de transpondedor, o sea que todo el subsistema consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite. En realidad, cada cadena es más compleja de lo que se muestra en el diagrama, pudiendo haber variantes en las etapas de amplificación y conversión de frecuencia, además de la redundancia de equipos para una mayor seguridad.

Las antenas en los satélites tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente, como ya se había mencionado, en las bandas de frecuencia C y Ku. En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación, o sea el rango de frecuencias disponibles, es de 500 MHz para transmisión y 500 para recepción. Existen también satélites denominados híbridos que trabajan con ambas bandas aunque en equipos separados, duplicando así su capacidad en el número de canales pero aumentando también el consumo de energía eléctrica.

Normalmente, el ancho de banda de 500 MHz se divide en ranuras que podrían ser de 36 MHz cada una con bandas de guarda para evitar la interferencia. Cada ranura correspondería a las frecuencias de trabajo de un transpondedor, teniendo además, cada una, su frecuencia central, que sería la utilizada como portadora para transmitir los bloques de la Tierra al satélite. Lo mismo se hace para la transmisión del satélite a Tierra pero en otro rango de frecuencias. Esta división se hace debido a que en cada uno de estos bloques pueden venir servicios diferentes que necesitan ser procesados por separado en transpondedores también diferentes.

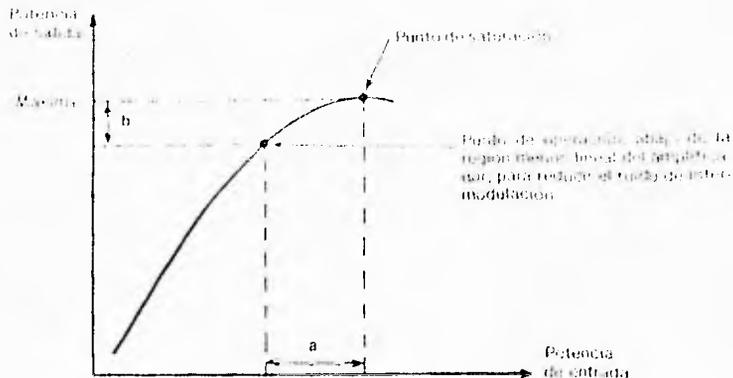
### **3.2 Operación de un transpondedor**

Si observamos el diagrama del subsistema, encontramos en primer lugar un amplificador de bajo ruido que recibe las señales de la antena receptora, las cuales se encuentran muy atenuadas debido a su largo recorrido. Este amplificador, aunque tiene poca potencia de salida, es fundamental en la calidad de la señal que se va a recibir en Tierra, debido a la relación entre la potencia de la señal amplificada y la del ruido térmico generado. Inmediatamente después se amplifica más la señal antes de ser separada en las ranuras mencionadas por medio de filtros.

Pasan así a un conversor de frecuencia que está constituido por un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente, desplazándolas a frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico. Inmediatamente después, se dividen en bloques con diferentes servicios, como ya se había mencionado, por medio de un demultiplexor. Cada bloque pasa por una o varias etapas fuertes de amplificación para ser unidas nuevamente en un solo grupo de 500 MHz por medio de un multiplexor.

Antes de cada etapa se utiliza un atenuador o resistencia variable controlada automáticamente o desde Tierra, que sirve para controlar el nivel a la salida del amplificador de potencia. Esto se hace debido a que en cada transpondedor, es decir, en cada bloque de frecuencias pueden ir varios paquetes del mismo servicio con una portadora cada uno, con lo que se produce lo conocido como ruido de intermodulación, el cual aumenta con el número de portadoras simultáneas. Este ruido se debe a la característica entrada-salida del amplificador alinear y se incrementa si el dispositivo opera en su zona de mayor curvatura pudiendo llegar hasta el punto de saturación en donde la potencia es máxima, pero también

el valor del ruido. Esto se puede ver en la siguiente gráfica:



Otra variante del esquema básico de un transpondedor sería la utilización de dos demultiplexores que procesarían canales pares e impares por separado, aumentando en consecuencia las bandas de guarda para disminuir así la interferencia entre señales.

### 3.3 Acceso múltiple

Para que no ocurra ningún tipo de conflicto entre las señales que llegan simultáneamente al satélite, se establece un orden mediante una técnica de acceso múltiple, la cual también ayuda a hacer más eficiente el empleo de los canales. Hay varios tipos de técnicas; tenemos el acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA) como el que se mencionaba al hablar del ruido de intermodulación y que es la de mayor uso.

En el FDMA existen varios bloques de información de distintas estaciones terrenas, cada uno con su propia portadora, compartiendo un transpondedor. Hay con asignación fija, como el que se vió, o con asignación por demanda (DAMA), el cual permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico. Para el DAMA se necesita una estación central que coordine el banco de frecuencias disponibles, asignando a ambas estaciones, transmisora y receptora, la portadora que utilizarán en determinado momento. Un ejemplo de este sistema es el SPADE de INTELSAT.

Como en el sistema SPADE cada ranura tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un sólo canal telefónico modulado, esta forma de transmisión se llama canal único por portadora o SCPC. Existen muchas variantes en cuanto a la forma de ranurar en frecuencia un transpondedor y accederlo u ocuparlo desde varias estaciones terrenas.

Como norma general, SCPC con asignación por demanda se utiliza para comunicar puntos con tráfico ocasional, como zonas rurales o de poco intercambio entre sí. Para enlazar puntos que generan tráfico permanente se emplea la asignación fija, y ésta puede ser SCPC cuando el tráfico es poco pero constante, o bien de portadora multicanal MCPC. Una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada, y la ranura de frecuencias necesaria para ubicarla es angosta o muy ancha, dependiendo del número total de canales que contenga; éstos pueden ser analógicos o digitales, con multiplexaje en frecuencia o en el tiempo respectivamente.

Otra técnica es el acceso múltiple por división en el tiempo o TDMA, la cual es digital. Con este tipo de acceso, varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de él, pero ahora lo hacen con cierto ancho de banda fijo y en diferentes intervalos de tiempo T. Estos intervalos, que son del orden de unos cuantos milisegundos, pueden ser diferentes entre sí y con asignación fija o variable.

Así, una sola ranura puede funcionar con TDMA o con ambas técnicas FDMA y TDMA. Estas técnicas no son más que una forma mediante la cual las estaciones terrenas comparten un transpondedor o parte de él. Independientemente del tipo de acceso que se utilice, es necesario que los canales de video, voz y datos que se van a transmitir pasen por varias etapas de procesamiento a partir de su estado de banda base (como son en su forma original), principalmente las etapas de multiplexaje y modulación de las cuales hay gran diversidad.

Además de estas técnicas que son las de mayor uso comercial, existe una tercera alternativa en la que el transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica es denominada acceso múltiple por diferenciación de código o CDMA. Al igual que el TDMA, es totalmente digital y presenta la ventaja de que puede funcionar perfectamente con antenas pequeñas y de baja ganancia, pero por el contrario, requiere de mucho ancho de banda (un transpondedor completo), pues cada bit de información se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente. Por ello es ideal para transmisiones confidenciales, puesto que cada estación sólo puede decodificar su propio mensaje, aunque esté superpuesto a todos los demás.

### **3.4 Conmutación y bandas de radiofrecuencia**

Los satélites más modernos se están construyendo con antenas de haz pincel, diseñadas para cubrir diferentes zonas geográficas con muy alta densidad de potencia; cada haz está asociado con ciertos receptores y transmisores y es posible conmutar parte de la información, o toda, de un haz a otro mediante una matriz de microondas. Este versátil y novedoso sistema es digital, con acceso múltiple TDMA; se denomina acceso múltiple por división en el tiempo con conmutación en el satélite o SS/TDMA. Esta técnica incrementa significativamente la eficiencia de un sistema, puesto que se logra la cobertura total de un

gran territorio dividido en zonas con haces de potencia altamente concentrada, en vez de hacerlo con un solo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área.

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores. Por lo que respecta 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. En las bandas C y Ku ya se han asignado otras bandas adicionales y el ancho de banda se ha incrementado de 500 Mhz a 1000 Mhz. La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales y la banda Ka se está empezando a utilizar con un ancho de banda de 3500 MHz, aunque tiene la desventaja de presentar mucha atenuación por lluvia. En la siguiente tabla se muestran las bandas reservadas para dicho servicio.

Tabla 3.1 Frecuencias asignadas por banda

Banda	Enlace ascendente (GHz)	Enlace descendente (GHz)
C:(6/4 GHz)	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 Mhz)
	5.850 - 7.075 (1225 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (1100 MHz)
X:(8/7 GHz)	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
Ku:(14/11 GHz)	14.000 - 14.500 (500 MHz)	10.950 - 11.450 11.200 - 11.700 (500 MHz)
	12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 MHz)	10.700 - 11.700 (1000 MHz)
(14/12 GHz)	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka:(30/20GHz)	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

\* El ancho de banda se muestra entre paréntesis

### **3.5 Subsistema de antenas**

Ya se ha ido mencionando al subsistema de antenas, el cual es la interfase entre la energía electromagnética que viaja por el espacio y las señales que circulan por el interior del satélite. Hay antenas muy diversas y con funciones distintas. En algunos casos, las antenas que reciben son distintas a 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 de este último para entregársela a los equipos receptores.

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, aunque con un haz mucho más angosto y por lo tanto con una mayor densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas. El mismo efecto se produce al trabajar con frecuencias mayores, se reduce el haz y se concentra la energía. Además de estas antenas también hay omnidireccionales que se utilizan principalmente para el enlace de telemetría y comando.

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.

El primero es la reutilización de frecuencias con aislamiento espacial, lo que se logra con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están lo suficientemente separados entre sí, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

El segundo es la reutilización de frecuencias con discriminación de polarización, la cual consiste en la transmisión simultánea en un mismo haz y a la misma frecuencia, de señales de polarizaciones ortogonales, que pueden ser lineales (horizontal y vertical) o circulares (derecha e izquierda).

### **3.6 Últimos avances**

Los satélites de comunicaciones, día con día, siguen aumentando su capacidad de transmisión, tanto por el aumento de la potencia generada como por el uso de mayores

frecuencias y anchos de banda, como hemos ido viendo. Con este aumento en su capacidad y tamaño, permiten una reducción también de tamaño y complejidad en los receptores en Tierra, apareciendo nuevas aplicaciones como los videoteléfonos y los receptores de bolsillo.

Estas nuevas generaciones también transmiten diversos tipos de señales, optimizando así su capacidad. Además de señales analógicas como telefonía y televisión, transmiten en forma de datos codificados todo tipo de información: datos, voz, textos, imágenes, video, etc. Esto da las bases para muchos servicios, tanto fijos como móviles, que han ido apareciendo; por ejemplo, la transmisión de datos en redes de cómputo, correo electrónico, técnicas de localización, servicio móvil terrestre, marítimo y aeronáutico, video-conferencia, télex, facsimil, etc. Y así, gracias a la variedad de aplicaciones que tienen, los satélites se constituyen en un factor fundamental de la llamada red digital de servicios integrados (RDSI) cuyo objetivo es lograr un servicio universal y completo para captar, almacenar, procesar y transportar la mayor parte de la información que la sociedad desea conservar o comunicar.

Un ejemplo de todo este desarrollo es el satélite "Olympus", propiedad de la ESA, lanzado en 1989, que está considerado como el de mayor potencia y versatilidad. El satélite de comunicaciones tiene un peso de 2532 kg y cuenta con 3.6 kW de potencia eléctrica. Tiene dos canales de 230 W para radiodifusión directa de alta potencia a 18/12 GHz con dos antenas de haces dirigibles. Un paquete de servicios especializados de cuatro canales a 14/12 GHz, con cinco haces dirigibles en grupo, para transmitir video, datos y facsimil de alta velocidad a estaciones receptoras pequeñas, todo ello con el sistema SS/TDMA. Cuenta también con dos haces puntuales dirigibles a 30/20 GHz y un paquete de radiofaros a 12/20/30 GHz para experimentos de propagación. Actualmente se están desarrollando nuevas generaciones de satélites Olympus que podrán pesar hasta 3800 kg y generar 7 kW de potencia eléctrica.

También la NASA desarrolló su propio satélite de comunicaciones de tecnología avanzada, llamado "ACTS", el cual utiliza la banda Ka, nuevos desarrollos en el procesamiento de señales y conmutación a bordo. Sus antenas producen haces que cubren simultáneamente áreas distintas a la misma frecuencia, usando el sistema SS/TDMA y reutilización de frecuencias. Posee haces fijos y dirigibles, que sólo existen durante el tiempo requerido. Asimismo el satélite cuenta con un laser de comunicaciones para pruebas de transmisión hacia Tierra y hacia otros satélites.

Esta tecnología del laser constituye uno de los mayores avances en las telecomunicaciones modernas, aunque aún está en proceso de experimentación. El laser permite la transmisión óptica de grandes cantidades de información a través del espacio y consiste en la amplificación de luz por emisión de radiación estimulada, de cuya definición provienen sus siglas. Para las comunicaciones por laser serían necesarios haces muy angostos y por lo tanto debido a las limitaciones de tamaño en las antenas, que en este caso serían más bien lentes, se requerirían frecuencias muy elevadas, como en la banda Ka (30/20 GHz) o inclusive frecuencias EHF del orden de 60 GHz.

Sin embargo, dicha tecnología presentaría muchas ventajas, como son la mayor eficiencia en

la utilización de energía eléctrica y ante todo la mayor direccionalidad de los haces. Esto permitiría en un futuro los enlaces intersatelitales (ISL) entre satélites de servicio fijo, de servicio móvil y de radiodifusión directa, formando grupos o "clusters" también intercomunicados entre si, así como la comunicación entre diferentes órbitas; todo ello con consecuencias económicas, sociales y tecnológicas que solamente el tiempo podrá demostrar.

## **IV. EVOLUCION DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MEXICO**

### **1. LAS RADIOCOMUNICACIONES NACIONALES \_\_\_\_\_**

#### **1.1 Radiotelegrafía**

Antes de las primeras aplicaciones de la radiotelegrafía en el país, ya se utilizaban el telégrafo y el teléfono, y se habían instalado redes de estos servicios en gran parte de la república. Esto dio inicio en el año de 1850 cuando se logró la primer transmisión telegráfica de Nopalucan a la ciudad de México. Pero no fué sino hasta el año de 1900 cuando el Gobierno por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas mandó traer de Francia los primeros aparatos de radiotelegrafía, con los que se iniciaron las pruebas. Se encontraron muchas limitaciones en un principio, pues sólo se podía usar un transmisor a la vez y no se llegó a transmitir información legible a más de un kilómetro.

Se siguieron haciendo pruebas y se llegó a una distancia de 113 Km pero aún con poca sincronía y potencia. Por fin en 1902 se instalaron las primeras estaciones radiotelegráficas en Sonora y Baja California, zonas que se encontraban incomunicadas por ese entonces. Los resultados fueron bastante aceptables y, con ello, el Gobierno aceptó utilizar ese nuevo medio de comunicación en parte de su servicio oficial, y aun más, lo puso al servicio público, a título de prueba.

Posteriormente se enlazaron estas estaciones a toda la red telegráfica a través de Guaymas y se regularizaron las comunicaciones en todo el país. Siguió los experimentos tanto en el sector público como en el privado, y en 1906 se instalaron nuevas estaciones que tuvieron ciertos contratiempos, pero que finalmente quedaron funcionando.

#### **1.2 Red radio nacional y comunicaciones marítimas**

Se siguió ampliando la red radiotelegráfica, sobretodo en el sureste y en 1911 la Dirección General de Telégrafos Federales (DGTF) inicia la organización y reglamentación de la Red Radio Nacional.

En 1911, después de 30 años en el poder, renuncia a la Presidencia de la República el

general Porfirio Díaz, forzado por el movimiento de Revolución, tomando posesión de la Presidencia, poco después, Francisco I. Madero, quien durante su corto mandato, anunció algunos éxitos alcanzados en dicha red, con estaciones en la zona del Golfo de México y dos enlaces internacionales a Estados Unidos y Panamá, esto gracias a las mejoras introducidas en los equipos por técnicos mexicanos. Quedó así establecido el servicio radiotelegráfico con embarcaciones, y La Secretaría de Guerra y Marina también adquirió dos estaciones de telegrafía inalámbrica. Durante la estancia de Victoriano Huerta en el poder, sólo se instaló una estación en el consulado americano de Tampico, con ciertas dificultades y también se establecieron dos estaciones particulares.

Así, en 1917, cuando se frena la lucha armada con la nueva Constitución, queda como Presidente de la República Don Venustiano Carranza, después de haber sido Presidente interino desde 1915. Es importante mencionar que en el Artículo 28 Constitucional se establece el monopolio por parte del Gobierno Federal del correo, la telegrafía y la radiotelegrafía. Es así como en estos conmovidos días, las radiocomunicaciones constituyeron el soporte de las comunicaciones, mientras las líneas terrestres eran destruidas. Durante su mandato, que terminó en 1920 con Adolfo de la Huerta, Venustiano Carranza dió un fuerte impulso a esta tecnología.

### **1.3 Radiotelefonía**

En 1920 es electo Presidente el general Alvaro Obregón, en cuya administración las radiocomunicaciones experimentan un incremento. La red radiotelegráfica sigue creciendo pero aparece una nueva tecnología con la radiotelefonía que se inaugura en el país, en 1921, durante la celebración del centenario de la consumación de la independencia de México, en sus modalidades de intercomunicación y divulgación, así como su aplicación en la aeronáutica. Al año siguiente, la Secretaría de Guerra y Marina instala la primer estación radiotelefónica de divulgación oficial en el país, difundiendo conciertos con música viva. Y se solicitan las primeras concesiones para establecer estaciones radiodifusoras.

En este periodo se hacen los primeros esfuerzos porque los conocimientos de radiocomunicación se difundan, pero al mismo tiempo el abuso en las prácticas radiotelefónicas por particulares provoca serias interferencias, por lo que el Gobierno ratifica el articulado del Decreto de 1916 y agrega importantes acuerdos y prevenciones, reglamentando la experimentación, la radiotelegrafía y la radiotelefonía.

Un año antes de la próxima renovación del poder ejecutivo, tuvo lugar el movimiento armado organizado por De la Huerta, el cual fué sofocado rápidamente, pero a pesar del breve tiempo que duró el levantamiento, las comunicaciones a cargo de la DGTF fueron seriamente dañadas por los rebeldes.

#### **1.4 Modernización de la telegrafía**

En 1924 entra al Gobierno el general Plutarco Elías Calles, quien, durante su período también da un gran impulso a la modernización de la Red Radio Nacional. En 1925 se crea el Departamento de Radio en la DGTF, y en la estación de radio de Chapultepec se inician pruebas de comunicación en onda corta, con lo que posteriormente se llevan dichos equipos a otros estados de la república.

En 1926 se promulga la Ley de Comunicaciones Eléctricas y el Gobierno suscribe un contrato para que la Compañía Telegráfica Mexicana explote, por 20 años, el servicio telegráfico internacional en nuestro país. También se introduce una modalidad en el sistema radiotelegráfico, con la transmisión y recepción automática por radio (teleimpresor), aumentando la velocidad de transmisión considerablemente.

Durante el mandato del general Plutarco Elías Calles, por presiones de algunos militares, la Constitución fue reformada, ésto en 1927, en el sentido de admitir una reelección del Presidente de la República, lo cual favoreció las aspiraciones del general Alvaro Obregón quien volvió a reelegirse, sin llegar a tomar posesión, ya que fué asesinado en julio de 1928. En estas circunstancias, el general Calles entregó la Presidencia al licenciado Emilio Portes Gil en calidad de interino, quien terminó su gestión en 1930 al ser electo el ingeniero Pascual Ortiz Rubio, quien por conflictos con el general Calles que seguía teniendo mucha influencia en el Gobierno, renunció en 1932, terminando este período constitucional el general Abelardo Rodríguez en 1934.

A todo este período se le conoce como el "maximato" y a pesar de la crisis política, la radiocomunicación continúa su desarrollo en la medida de las necesidades del servicio. Se construyen equipos de onda corta, controles para la transmisión y recepción telegráfica a altas velocidades, y una estación central radio receptora destinada a manejar todo tipo de correspondencia, nacional e internacional, para ser retransmitida automáticamente y por cable a la central de Telégrafos Nacionales. También se establecen conferencias radiotelefónicas internacionales y nacionales.

Por otro lado, se promulga la Ley de Vías Generales de Comunicación y Medios de Transporte quedando incluidas las radiocomunicaciones en el libro V. Se fusionan los servicios de Correo y Telégrafo. Cabe señalar que durante este período se le da una importancia especial a la aplicación de las radiocomunicaciones en la educación y en la cultura.

#### **1.5 Cooperación regional y centralización de las telecomunicaciones**

En 1933, el general Lázaro Cárdenas, aceptó la postulación como candidato a la presidencia

de la República, que hizo en su favor el Partido Nacional Revolucionario (PNR) fundado por Calles en 1929. En la convención de dicho partido se discutió y aprobó el proyecto del primer Plan Sexenal que sería el programa de gobierno para el período 1934-1940. Durante la administración del general Cárdenas se organizan y consolidan las máximas centrales obreras y campesinas, la Confederación de Trabajadores Mexicanos (CTM) y la Confederación Nacional Campesina (CNC). Destaca su obra agrarista, la nacionalización de los ferrocarriles y sobretudo la nacionalización petrolera de 1938. También se le dió a la educación técnica una dimensión nacional al crear el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

En materia de radiocomunicaciones sobresale la consolidación de la Red Nacional de Radiocomunicación. Y así, para el servicio de la Estación Radio Chapultepec se construyó un equipo destinado a la comunicación transoceánica y en el propio taller de Chapultepec se siguieron construyendo equipos radiotelegráficos y radiotelefónicos. Además, durante dicho sexenio se actualizó la Ley de Vías Generales de Comunicación con lo que el Gobierno otorgó una concesión de los servicios de televisión, la cual empezaba a introducirse en México.

El general Manuel Avila Camacho sucede en la presidencia de la República al general Lázaro Cárdenas en 1940, año en el que se llevan a cabo importantes cambios en el aparato administrativo de la entonces Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. Por acuerdo secretarial se crea el Departamento de Telecomunicaciones, el cual empezó a funcionar a principios de 1942. Pocos meses después se decreta la separación de los servicios de correos y telégrafos, segregándose la Subdirección de Telégrafos para incorporarse al nuevo departamento, el cual un mes más tarde es elevado de categoría, quedando como Dirección General de Telecomunicaciones (DGT).

Estos cambios y muchas otras disposiciones gubernamentales giradas para el manejo y control de las radiocomunicaciones respondieron a la necesidad de centralizar las comunicaciones eléctricas y de adoptar las medidas adecuadas al estado de guerra. Como se sabe, después de los acontecimientos de Pearl Harbour a fines de 1941, el gobierno de Estados Unidos declara la guerra al Imperio del Japón y a las otras potencias del Eje, Alemania e Italia.

México había hecho declaraciones de neutralidad en ese conflicto. No obstante, empezó a tomar medidas protectoras obligado por su ubicación tan próxima a los Estados Unidos y por la propia magnitud de la conflagración, que amenazaba con romper la frágil situación neutral de los países que se esmeraban en no tomar partido por ninguno de los bandos beligerantes. En un principio se tomaron medidas de colaboración entre los Estados Unidos y México tanto en vigilancia como en el desarrollo de tácticas conjuntas de defensa, sin descuidarse en el país aspectos legales y administrativos de soberanía nacional; pero unos meses después, en mayo de 1942, Avila Camacho declara al país en Estado de Guerra con las potencias del Eje.

Como se había mencionado, todo esto afectó directamente a las comunicaciones nacionales, pero al mismo tiempo hubo muchos avances. Se mejoraron las comunicaciones telefónicas, se efectuaron transformaciones ligando el servicio telefónico con el radiotelefónico. Se creó la Escuela Nacional de Telecomunicaciones, se cambiaron, se modernizaron y se compraron

equipos en la central de Chapultepec y en otras estaciones, se pusieron en operación una gran cantidad de estaciones radioeléctricas, tanto para servicio oficial como privado, y se concedieron varias autorizaciones para el funcionamiento de estaciones aeronáuticas pertenecientes a diferentes compañías de aviación.

## **1.6 Plan Miguel Alemán**

Ya en la Administración del Presidente Miguel Alemán Valdés (1946-1952), el Gobierno de la República inicia la ejecución de "Plan Miguel Alemán" para rehabilitar la Red Nacional de Telecomunicaciones conforme a un análisis en el que se vió la necesidad de desarrollo social y económico de la población mediante las comunicaciones. Entre los principales acontecimientos de esta etapa, esta, además de la ampliación y modernización de equipos, la nacionalización de los servicios telegráficos y la creación a fines de 1947 de la Compañía Teléfonos de México, S.A. También se inauguró una nueva estación radiotransmisora, Central Miguel Alemán en 1950 y, por último, se inauguró en México la primera estación de televisión, la XHTV-Canal 4.

Hasta aquí hemos pasado revista a los principales acontecimientos y experiencias vividas por nuestro país en el ámbito de las radiocomunicaciones y ahora toca revivir los acontecimientos que se han venido desarrollando en la segunda mitad de nuestra centuria, cuya característica, hasta la fecha, ha sido el vertiginoso desarrollo tecnológico de las comunicaciones, con el advenimiento de las microondas y, posteriormente, con las comunicaciones vía satélite.

## **2. SISTEMAS DE MICROONDAS Y COMUNICACION VIA SATELITE**

### **2.1 Sistema nacional de microondas**

Durante las últimas décadas de la historia de nuestro país, las administraciones de los presidentes de la república, a partir de la del licenciado Miguel Alemán Valdés, y luego la de Don Adolfo Ruiz Cortines y de los licenciados Adolfo López Mateos, Gustavo Díaz Ordaz, Luis Echeverría Álvarez, José López Portillo, Miguel de la Madrid Hurtado y la del licenciado Carlos Salinas de Gortari; se han caracterizado por la continua modernización de los medios de telecomunicación y por el desarrollo y establecimiento de nuevos y variados servicios, ya sean prestados por el Gobierno Federal o por particulares, bajo la modalidad de concesión, que en forma pública se ofrecen, o bien los que pueden ser establecidos por particulares mediante permisos específicos, otorgados por la Federación, para su uso privado y sin fines lucrativos.

Es así como las primeras estaciones de microondas en México, se empezaron a instalar desde 1951 y posteriormente, en 1954 la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, durante la gestión del señor Adolfo Ruiz Cortines, decide adquirir e instalar, a gran escala, el sistema de microondas en México, para mejorar, en primera instancia, el servicio telegráfico y telefónico público de larga distancia. Con equipo de microondas de manufactura francesa se realiza el primer enlace y se procede a la construcción de la ruta de microondas de occidente. Mientras se organizaban seminarios a nivel regional sobre el tema. Con los éxitos obtenidos, la SCOP decidió construir la línea del sureste y al mismo tiempo se establecieron trayectorias de propagación troposférica en la península de Yucatán y en Baja California, la cual tuvo ciertas complicaciones en un principio. Una etapa importante en el desarrollo técnico de las microondas se inició con la inclusión, ya en el siguiente sexenio, en 1963, de modernos equipos transistorizados con lo que se amplió la capacidad de algunos circuitos y se inició la construcción de una línea por la costa del pacífico y el Mar de Cortés, con lo que se llegaría a un punto de enlace con los Estados Unidos.

Por su parte, la empresa concesionaria "Teléfonos de México", desde 1953 empezó a hacer pruebas con equipos de microondas de manufactura norteamericana y en 1959 participó, con la autorización de la recién creada Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en la construcción de un tramo de la red de microondas que llegó hasta los Estados Unidos y el cual fué inaugurado por el Lic. Adolfo López Mateos en 1963. Otra empresa pionera en utilizar las microondas fue Petróleos Mexicanos la que, con autorización del Gobierno, construyó un circuito que abarcó ramales a campos petroleros y a centros de distribución y vigilancia.

## **2.2 Plan nacional de telecomunicaciones**

La infraestructura de telecomunicaciones, resultado de los proyectos ejecutados por el Gobierno Federal hasta 1964, cumplía su cometido. Sin embargo, el alto índice de crecimiento demográfico y el desarrollo industrial y económico del país aumentaban la demanda, de tal forma que la oferta real resultaba insuficiente. Por estas razones, se conformó un Plan Nacional de Telecomunicaciones que resultaba sumamente ambicioso porque incluía la instalación de enlaces de alta capacidad en todo el territorio nacional, con el fin de conformar un sistema integral de televisión, el cual incluía también la ampliación del sistema de microondas, la transmisión automática de datos, un programa nacional de radio ayudas a la navegación aérea y uno de estaciones radioeléctricas costeras, entre otros.

Este plan, cuyo monto ascendía a 7 mil millones de pesos, en primera instancia fue presentado al Presidente de la República, licenciado Gustavo Díaz Ordaz, quien lo autorizó a condición de que fuera autofinanciable a un plazo razonable. Tomando en cuenta la distribución de las zonas de concentración económica se planearon los enlaces troncales y de alta capacidad que pudieran canalizar todos los servicios de telecomunicación, incluyendo, obviamente, televisión. Además teniendo presente la problemática del servicio telefónico, se consideró prioritario actualizarlo, ampliándolo al doble tanto en capacidad como en extensión, a través de un Proyecto Nacional de Telefonía que llevaría la mayor parte de la inversión.

En 1966 ya se habían obtenido los financiamientos para el proyecto de telefonía, a base de créditos externos e internos y con el apoyo económico y material de diversos organismos nacionales; además se dieron todas las facilidades a la empresa Teléfonos de México, S.A. para que adoptara y ejecutara el mencionado proyecto.

Cuando se planteó la implementación del Programa Nacional de Telecomunicaciones se hizo con el propósito fundamental de contar con un sistema nacional de comunicaciones confiable y eficaz, para resolver las demandas del momento y establecer las bases de su desarrollo futuro; pero además prever las necesidades de los próximos 10 o 15 años. En esto consistió la gran importancia del plan, el cual se fué realizando según lo calendarizado. Sin embargo, una situación que vino a influir sustancialmente en la aceleración de la ejecución de los proyectos, fue la celebración de las Olimpiadas.

## **2.3 Consolidación de la infraestructura de telecomunicaciones**

Por su alta capacidad de canales y número de rutas que cubriría, el proyecto para establecer la Red Federal de Microondas constituyó la parte medular del Programa. El Gobierno Federal aplicó los criterios de construir enlaces de alta capacidad, establecer rutas troncales norte-sur y rutas transversales. La estrategia seguida para las instalaciones de la red fue dividir el sistema en 7 u 8 paquetes, en un concurso internacional en el que participaron muchas firmas extranjeras. La Cámara Nacional de la Industria Electrónica y de Comunicaciones Eléctricas

(CANIECE), por su parte, manifestó su inconformidad por la poca oportunidad de participar que se daba a los fabricantes mexicanos. Tomando en cuenta esta opinión, se estableció para los proveedores extranjeros y los contratistas de montaje, la obligatoriedad de contratar todas las instalaciones con empresas mexicanas.

Es así como en octubre de 1968, dos días antes de la XIX Olimpiada, al inaugurarse la red, se pusieron en funcionamiento 261 torres y 259 edificios y casetas en donde se instalaron 1756 transmisores y receptores y 557 plantas de energía eléctrica de emergencia. Ese mismo día se inauguró la Torre Central de Telecomunicaciones, sede de la DGT.

Fue altamente significativa la importancia de esta obra, no sólo como parte complementaria de la red de microondas en su carácter de estación de convergencia y de centro de conmutación, sino como elemento de soporte dentro del Programa mismo, visto éste como un sistema integral. Esta Torre contaba con espacio suficiente para alojar los sistemas modulares de los servicios de microondas, télex, telegrafía internacional, canalización múltiple de servicios, talleres, laboratorios, el Centro de Conmutación Internacional y el Centro de Control y Monitoreo de Frecuencias y su construcción se ajustó estrictamente a las normas fijadas, al igual que los demás proyectos, en el sentido de que la inversión realizada debería ser amortizable con los ingresos derivados de los servicios, sin alteración de las tarifas.

Es así como el 12 de octubre de 1968, la inauguración, y posteriormente los demás eventos de los Juegos Olímpicos pudieron ser difundidos a más de 60 países de todo el mundo. Se realizaron transmisiones de señales de televisión, radio, telegrafía y radiotelefonía. Para las transmisiones vía satélite se utilizó la estación de Tulancingo, enlazándose mediante el satélite ATS III, INTELSAT II y ATS I. Con el éxito alcanzado quedó de manifiesto la eficacia de la infraestructura y la alta capacidad de los técnicos mexicanos.

## **2.4 Nuevos servicios y saturación de la red**

Durante el sexenio del Presidente Luis Echeverría Álvarez (1970-1976), la atención se centro en la legislación, administración y explotación de la moderna Red Nacional de Telecomunicaciones, legada por la administración anterior. Por otra parte, y de acuerdo a las necesidades, se realizaron algunas ampliaciones y modificaciones a la red de microondas, además de llevar a término ciertos proyectos rezagados.

Después de algunas reuniones que se llevaron a cabo, en 1971, se inauguró el servicio telefónico directo con países de centroamérica y en general se les dió facilidades para la salida de su tráfico de telecomunicaciones. En cuanto a las comunicaciones internas del país, cuando se construyó la red de microondas, ésta se orientó principalmente a la conducción de señales de teleaudición y video, y la utilización inicial de los enlaces dedicados a telefonía fue relativamente baja, pero aumentó considerablemente la demanda de este

servicio, hasta saturarse, hacia 1974, la capacidad instalada de telefonía.

También la demanda para canalizar por microondas servicios como telefonía multicanal, télex, facsímil, telefotografía, transmisión de datos, etc., empezó a ser mucho mayor que la prevista, especialmente por lo que se refiere a la televisión y la telefonía multicanal; esta última con una gran variedad de usos, dado que casi todas las señales susceptibles de convertirse en audibles pueden conducirse por este sistema. Como resultado, al finalizar ese sexenio, el establecimiento de nuevos servicios, principalmente en el área de teleinformática, vino a agudizar el problema de saturación de la red, especialmente en los enlaces convergentes al Distrito Federal, bloqueando la utilización del resto del sistema.

Los efectos de la saturación de la Red Federal de Microondas a causa de la demanda del servicio de conducción de señales de datos y, poco después, del de procesamiento remoto de datos, se hicieron más evidentes durante la administración (1976-1982) del Presidente José López Portillo, debido a que, en su gestión, además de existir la preocupación por modernizar e impulsar los sistemas de telecomunicaciones existentes, se dió especial atención a la creación de nuevos servicios, especialmente, en el área de la teleinformática y de las comunicaciones espaciales.

Para entonces la vida útil de la red, estimada en 15 años, llegaba a su fin, aun cuando gracias a su buen mantenimiento se esperaba que pudiera dar servicio 5 años más. Ante esta situación, se tomaron varias medidas, como reacondicionar y ampliar la red de microondas para destinarla casi exclusivamente a la telefonía; ésto es, liberarla de la conducción de señales de televisión y esa capacidad dedicarla para satisfacer la demanda telefónica. Las señales de televisión se canalizarían vía satélite, al igual que la telefonía rural, con el Sistema de Comunicaciones Espaciales Domésticas, del cual se tratará más adelante con mayor detalle.

Por su parte, Teléfonos de México instaló los primeros enlaces digitales de microondas en la banda de 11 GHz y el Sector telecomunicaciones comenzó a utilizar amplificadores de estado sólido de mayor capacidad que los tubos de ondas progresivas anteriores e introdujo cada vez más sistemas digitales.

Con este desarrollo se logró satisfacer la demanda de la población, claro que con el complemento indispensable de las comunicaciones vía satélite, que llegaron en el momento en que más se necesitaban. En la actualidad, La Red de Microondas se utiliza principalmente para servicio telefónico y telefonía multicanal, y enlaza las principales poblaciones del país proporcionando servicios tanto a particulares como al Estado. Entre los usuarios que destacan por la cantidad de frecuencias que utilizan están: Teléfonos de México, Petróleos Mexicanos y Ferrocarriles Nacionales.

## **2.5 Primeras actividades espaciales**

Como ya se había visto con anterioridad, en octubre de 1957, los soviéticos pusieron en órbita el primer satélite artificial, el Sputnik I. Este acontecimiento produjo interés en las cuestiones espaciales, en muchos países, entre ellos México, en donde se inició la experimentación con cohetes, como punto de partida en lo que se refiere a las comunicaciones espaciales.

Siendo aun Presidente Adolfo Ruiz Cortines, el ingeniero Walter C. Buchanan con la debida autorización del Gobierno, puso en marcha el proyecto con cohetes de combustible líquido Tonatiuh (Sol) o SCT, y el propio ingeniero Buchanan desarrolló un método gráfico para determinar las características de vuelo en sentido vertical, con base en las informaciones técnicas que se tenían sobre las bombas V-2. La construcción del primer cohete, SCT-I, se inició en forma sencilla en un modesto taller y la totalidad de los materiales empleados fueron adquiridos en el país, lo cual dio al proyecto la característica de auténtica "mexicanidad". Se construyó también la estructura de lanzamiento y después de innumerables pruebas y correcciones, en octubre de 1959 se lanzó, en Guanajuato, el SCT-I, de oxígeno líquido, el cual alcanzó una altura de 4000 metros.

La experiencia fue sumamente provechosa: se detectó cierta falla en el diseño del funcionamiento del acumulador y se comprobó la efectividad del combustible. Ante los resultados, el ingeniero Buchanan ordenó la construcción del cohete SCT-2 y se propuso estabilizar la combustión, utilizar helio en estado líquido y mejorar la estabilidad del cohete. Esto se logró, en octubre de 1960, alcanzándose en esta ocasión 25000 metros de altura.

Para fines de 1960 continuaron los estudios para la construcción de un cohete, que utilizaría turbinas de gas y bombas centrifugas de inyección, en vez de un acumulador de presión. Además de esto, se consideraba la posibilidad de dotarlo con sistemas de operación a control remoto y de proveerlo de las características adecuadas para los momentos en que rebasara la barrera del sonido y encontrara mayor resistencia. Se planeaba también la construcción de un cohete de varias etapas.

## **2.6 Investigación y desarrollo espacial**

Por otro lado, siendo todavía Presidente el licenciado Adolfo López Mateos, y siendo titular de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el ingeniero Walter C. Buchanan, se creó la "Comisión México-Estados Unidos para Observaciones en el espacio relativas al proyecto Mercurio". Con ello se inauguró, en 1961, una estación rastreadora en Empalme-Guaymas, en la que participaron técnicos mexicanos bajo las instrucciones y coordinación de personal norteamericano, tanto en su instalación como en su operación. Estos tuvieron a su cargo empleos en prácticamente todas las secciones, desde comunicaciones terrestres y calibración de aparatos electrónicos, hasta manejo de teletipos y producción de energía eléctrica de

precisión, labores administrativas, etc. Con ello adquirieron gran experiencia y conocimientos, trabajando en una de las estaciones seguidoras de vuelos tripulados que apoyaron, fundamentalmente, el proyecto Apolo, al lograse en una nave Mercurio el primer vuelo de un astronauta norteamericano.

Mientras este proyecto se llevaba a cabo, se fundó en la UNAM, el ahora departamento de Estudios Espaciales (DEE) del Instituto de Geofísica, que se dedica a la investigación espacial, tanto teórica como experimental. Este departamento continuó con las investigaciones sobre rayos cósmicos que se venían realizando en la Universidad y ha realizado gran cantidad de estudios sobre geofísica exterior, relación Sol-Tierra, física lunar, planetología, medio interplanetario y física solar. También ha colaborado con diversos organismos, tanto nacionales como a nivel internacional y por último ha promovido la formación de recursos humanos en la materia, así como la difusión de estos temas.

En agosto de 1962, se creó, dependiente de la SCT, la Comisión Nacional del Espacio Exterior (CONEE) como un organismo técnico especializado encargado de controlar todo lo relacionado con la investigación, explotación y utilización con fines pacíficos del espacio exterior. Ante las múltiples posibilidades de la tecnología espacial, la CONEE escogió como prioritarias la meteorología, la percepción remota, el uso de cohetes sonda y la investigación de la alta atmósfera, para lo cual desarrolló y construyó diversos cohetes como el Tototl, los MITL, el Hulte I y el Tlaloc; y también destaca el énfasis concedido al establecimiento de relaciones con organismos internacionales especializados en la materia, la capacitación del personal y, finalmente, su participación en la regularización del Derecho Espacial. A pesar de sus logros, la CONEE no terminó todos sus proyectos y quedó disuelta al inicio del Gobierno del licenciado José López Portillo, quedando sus funciones perfectamente delimitadas en la SCT.

## **2.7 Utilización de las comunicaciones espaciales**

Como ya se había mencionado al hablar del Plan Nacional de Telecomunicaciones, en los años sesenta, cuando se consolidaba la experiencia de la comunicación espacial, al país urgían nuevos cauces para el desahogo de su comunicación al exterior; las vías internacionales en uso (cable submarino, radiocomunicaciones, etc.), resultaban insuficientes ante la demanda que día a día se incrementaba, por el crecimiento demográfico y el aumento de actividades comerciales, industriales y financieras, características de aquellos años. Esto hizo que las autoridades de la SCT decidieran la incorporación de México a INTELSAT, lo cual se realizó en octubre de 1966, y se acordó entonces la adquisición de una estación terrena que sería el medio para establecer la comunicación espacial.

La estación denominada Tulancingo I (TU-I) fue ubicada en el valle de Tulancingo, Estado de Hidalgo, tomando en cuenta muchos factores geográficos, y se inauguró junto con la Torre Central de Telecomunicaciones, la Red Federal de Microondas y el enlace espacial, dos días antes de los XIX Juegos Olímpicos, en 1968, como ya se había señalado. Para transmitir las

imágenes de la olimpiada, se había destinado al satélite Intelsat III-F1, sin embargo falló su lanzamiento y se tuvieron que realizar ajustes de última hora para emplear el satélite de la NASA ATS-3, con lo que se cumplieron los objetivos previstos.

También debido a esta falla de Intelsat, el servicio internacional de telefonía y telegrafía vía satélite se inició hasta 1969, y a partir de entonces, las comunicaciones internacionales vía satélite iniciaron un progreso creciente en nuestro país, tanto en su demanda como en su tecnología. Destaca en la década de los años setenta, el establecimiento de la modalidad del Servicio de Asignación por Demanda conocido como SPADE, del cual ya se habló.

Entre tanto, a mediados de la década de los setenta, el sistema de microondas que cubría casi todo el territorio nacional, estaba por saturarse, por lo que después de ciertos estudios y, tomando en cuenta que el período de 10 años de vida activa de la antena TU-I estaba por concluirse, se decidió instalar una segunda estación terrena TU-II que vendría a evitar la triangulación que todavía existía con países latinoamericanos que, por insuficiencia de la TU-I, se veían obligados a operar a través de los "carriers" internacionales. De esta manera, la estación terrena Tulancingo II fue inaugurada y puesta en operación en junio de 1980, por el Presidente José López Portillo. Después de adecuar técnicamente el funcionamiento de la TU-I, particularmente en lo que se refiere a su interfase con satélites futuros, ambas estaciones se complementaron en la prestación de los servicios internacionales vía satélite.

Un mes antes de dicha inauguración, se puso en operación la estación terrena TU-III, de mucho menor diámetro que las dos anteriores y como respuesta a una inquietud de la Industria de la Radio y la Televisión Mexicana, de ampliar su radio de acción más allá de nuestras fronteras. Sus primeras transmisiones fueron a los Estados Unidos a través del satélite Westar III y cabe mencionar que en su instalación participaron únicamente técnicos mexicanos.

## **2.8 Tecnología espacial para las comunicaciones nacionales**

Con fines experimentales y de estudios técnico-económicos y operativos de comunicaciones nacionales o domésticas, en 1974 la DGT preparó una prueba de comunicación vía satélite, de telefonía, facsímil y télex, entre las isla de Cedros, B.C. y la capital. Para ello se utilizó el primer satélite para comunicaciones domésticas de Estados Unidos, el Westar I, y el experimento fue demostrado públicamente durante el Primer Congreso Internacional de la Asociación Mexicana de Ingenieros en Comunicaciones Eléctricas y Electrónicas (AMICEE), con lo que se comprobó sus ventajas para la comunicación doméstica. Por otro lado, la misma DGT concedió una importancia determinante a la capacitación del personal, por medio de diversos cursos impartidos por profesores nacionales y extranjeros. En esto colaboró Japón, impartiendo cursos en la Escuela Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL) y con una estación terrena doméstica inaugurada en marzo de 1980. Con todo esto se iban preparando las bases para la utilización de un sistema de satélites domésticos nacionales.

Como ya se había mencionado, a finales de los años setenta, la infraestructura de telecomunicaciones estaba saturada, principalmente por la gran demanda en servicios telefónicos; y también por otro lado, la expansión de las cadenas de televisión, tanto comerciales como estatales, demandaban medios para cubrir regiones del país a las cuales aún no podían atender. En esa época, también se había iniciado el Plan Nacional de Telefonía Rural para el que se pensaron 3 alternativas: línea física, radio enlace de baja capacidad y la comunicación vía satélite, determinándose la más adecuada para cada punto.

Como se dijo con anterioridad, las rutas de microondas se liberarían de la conducción de señales de televisión, y la capacidad desocupada se dedicaría a la conducción de señales de voz; o telefónicas en altas capacidades; por lo que la DGT decidió buscar capacidad espacial para la televisión y las señales de telefonía que lo requirieran. Por lo que respecta a la capacidad del segmento espacial, se decidió utilizar el satélite Intelsat IV-A reubicado para dicho fin. Este satélite sería reemplazado en 1982 por otro Intelsat (V-F8), que se mantendría en esa posición hasta 1985. Esto fue considerado como una solución intermedia a la demanda satelital, ya que, aunque solucionó las necesidades de ese momento, finalmente la solución definitiva sería el que México contara con su propio sistema de satélites domésticos.

Consecuentemente con la decisión de establecer estaciones terrenas para iniciar el relevo de la Red Federal de Microondas por el de un satélite para la conducción de señales de televisión, se inició la instalación de una Red Nacional de Estaciones Terrenas, cuya primera etapa fue inaugurada en abril de 1981 por el Presidente José López Portillo en un acto que se llevó a cabo en el Conjunto de Telecomunicaciones (CONTEL), ubicado en Iztapalapa, D.F. En esa etapa la red quedó constituida por 36 estaciones terrenas destinadas a la distribución nacional de la red de Canal 2 haciendo uso del satélite Westar III y, posteriormente, se continuó con su expansión paulatina.

## **2.9 Adquisición de un sistema propio**

Ante la conveniencia de que México contara con un satélite de comunicaciones, las autoridades de la DGT iniciaron, en 1979, los trámites ante la UIT, a efecto de obtener una posición en el arco orbital, donde ubicar tal satélite. Inicialmente se pensó en la red satelital SATMEX, pero no se pudo llegar a ningún acuerdo con la IFRB en cuanto a las posiciones orbitales. Mas tarde, la SCT propuso una red de satélites domésticos, a la que se denominó ILHUICAHUA, que constaba de tres satélites, dos activos y uno en reserva, que se pondrían en servicio en 1985; sin embargo no determinó ninguna posición orbital. Por ello, se llevaron a cabo reuniones con los Estados Unidos y Canadá para coordinar dichas posiciones y por fin en junio de 1982, se llegó a un acuerdo trilateral en el que se reconocieron para México las posiciones orbitales 113.5°W y 116.8°W, a ser ocupadas por satélites híbridos, esto es, satélites que pudieran operar tanto en la banda C como en la Ku.

Paralelamente a las negociaciones anteriores y considerando la importancia de que México tuviera algunas posiciones orbitales adicionales, en abril de 1982 se determinó la conveniencia de solicitar dos posiciones orbitales más, que ocuparían los satélites Ilhuicahua III y IV para ser utilizados en 1986 y 1987; sin embargo esto nunca se llevó a cabo, aunque posteriormente se le asignó a México una posición geostacionaria adicional. Así en octubre de 1982, después de haber enviado los resultados del acuerdo trilateral y los datos necesarios a la IFRB sobre los Ilhuicahua, se firmó un convenio entre la SCT y la empresa Hughes Communications International subsidiaria de Hughes Aircraft Company, con el que se dió inicio a la construcción de los satélites mexicanos Ilhuicahua.

Estando en proceso las gestiones citadas, en febrero de 1983, siendo ya Presidente de la República el licenciado Miguel de la Madrid Hurtado, fue concedida la autorización para designar al sistema mexicano de satélites con el nombre de MORELOS, siervo de la nación, y de cuyos sentimientos nacionalistas el sistema de satélites debía ser vehículo, en lugar de Ilhuicahua, palabra náhuatl que significa el dueño del cielo. Un año después, se constituyó en la DGT la Subdirección de Explotación de Satélites Nacionales para coordinar todo lo referente al nuevo sistema.

Durante la administración del Presidente Miguel de la Madrid Hurtado se llevó a cabo la fabricación de los satélites y del Centro de Control y Seguimiento Terrestre del Sistema de Satélites Morelos, el cual fue inaugurado, siendo Secretario de Comunicaciones y Transportes el ingeniero Daniel Díaz Díaz, en una significativa ceremonia efectuada en el CONTEL, y a partir de ese momento se le denominó Centro de Control Walter Cross Buchanan, en homenaje al distinguido ingeniero mexicano.

El 17 de junio de 1985 fue lanzado al espacio el satélite MORELOS I desde Cabo Cañaveral, Florida, USA, en el transbordador Discovery, el cual entró oficialmente en operación el 29 de agosto del mismo año con una comunicación de imagen y sonido establecida de Morelia a la Torre Central de Comunicaciones. Dicho satélite comenzó su servicio público el 1º de septiembre, al transmitir a toda la nación el tercer informe de gobierno del Presidente Miguel de la Madrid.

Posteriormente, el 26 de noviembre de dicho año, el transbordador espacial Atlantis puso en órbita el satélite MORELOS II, el que se ubicó en la posición de 116.5°W en una órbita llamada de almacenamiento para ahorrar combustible, llegando finalmente a su posición definitiva a finales de 1989. En este viaje del transbordador Atlantis, participó el primer astronauta mexicano, doctor Rodolfo Neri Vela, quien, en los siete días que duró la misión, además de captar imágenes del territorio nacional, realizó cuatro experimentos propuestos por la comunidad científica nacional.

De esta manera, México entra de lleno a la era de los satélites artificiales de comunicaciones, que en la actualidad han pasado a formar el pilar fundamental de todo el sistema de radiocomunicaciones nacionales, integrando a toda la república y siendo, al mismo tiempo, un eslabón del complejo sistema de comunicaciones internacionales que ha llevado al mundo

a una globalización en todas las áreas y, en consecuencia, a una nueva concepción de la humanidad.

### **3. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SISTEMA MORELOS\_\_\_\_\_**

#### **3.1 Lanzamiento y colocación en órbita**

Aunque los dos satélites Morelos se iban a fabricar conforme al diseño estándar de barra colectora del HS 376, su construcción a representado un hito en la historia de Hughes, pues según las especificaciones del contrato, la SCT requería que Hughes construyera dos satélites híbridos HS 376 que funcionaran tanto en banda Ku (14/12 GHz) como en banda C (6/4 GHz), lo cual no se había hecho aún a nivel comercial.

Una vez construidos y meses antes de su lanzamiento, los satélites Morelos I y II fueron llevados al Centro Espacial Kennedy, en Florida, EUA, donde se sometieron a una serie final de pruebas electromecánicas para asegurar que todas sus partes estuvieran en condiciones óptimas. Después de pasar estas pruebas, se colocaron dentro del orbitador, llegado el momento del lanzamiento (junio y noviembre de 1985, respectivamente), los motores principales del propulsor del vehículo de la NASA se encendieron y se inició el despegue del orbitador con su valiosa carga.

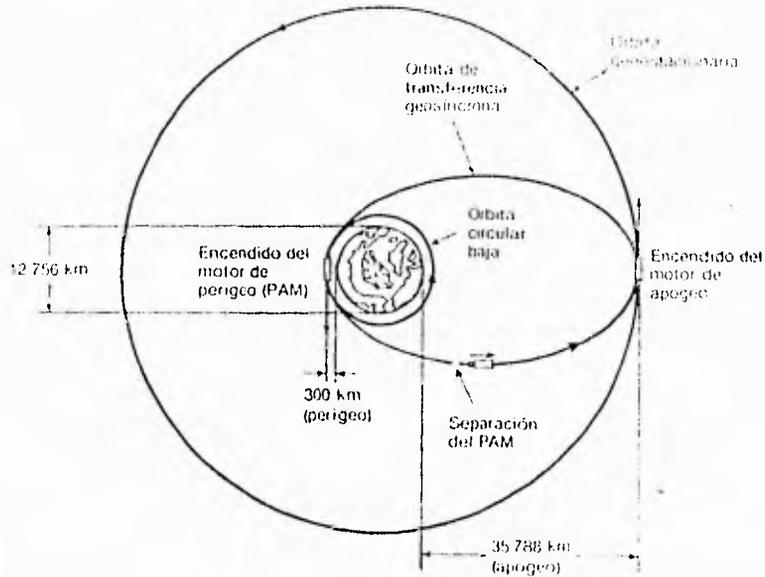
La técnica empleada por el Sistema de Transportación Espacial de la NASA se llama de "inyección inicial en órbita circular baja" y consta de tres etapas. En la primera, el orbitador despega llevando al satélite en su compartimiento de carga y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km sobre el nivel del mar, el plano de la órbita de vuelo forma un ángulo de 28.5° con respecto al plano ecuatorial. En una de la muchas vueltas que da la nave, después de ser cuidadosamente revisado, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga con una velocidad relativa de 1 m/s y con una velocidad de rotación de 55 revoluciones por minuto aproximadamente, quedando éste también en órbita circular baja alrededor de la Tierra y con la misma inclinación.

El procedimiento que se utiliza para llevar al satélite a su posición final se basa en los trabajos que el científico alemán Walter Hohmann desarrolló en los años veinte y cuyo objetivo es realizar los cambios de órbita y plano de desplazamiento con el menor consumo posible de energía. Para ello se pasa a una órbita elíptica muy alargada cuyo perigeo está a la altura de la órbita circular baja y con su apogeo a la altura de la órbita final. Esta elipse recibe el nombre de órbita de transferencia geosíncrona o de Hohmann.

Es así que, para lograr dicha transferencia, 45 minutos después de haber sido liberado el satélite, se enciende, en el cruce con el plano ecuatorial, el motor de perigeo (PAM) durante 80 segundos, para ser arrojado posteriormente al espacio. El satélite, ya con la suficiente inercia adquirida, continúa ascendiendo por sí solo hasta alcanzar el apogeo de su nueva órbita e iniciar después su descenso hacia su perigeo. A continuación se le rastrea durante varias vueltas elípticas para determinar sus condiciones físicas y orientarlo adecuadamente

antes de iniciar el tercero y último paso.

Esta órbita está también inclinada  $28.5^\circ$  con respecto a dicho plano y es evidente que dos de los puntos de intersección entre ambos planos, son el de perigeo y el de apogeo, por lo que en este último, cuando la velocidad del satélite es menor, se "circulariza" la órbita y se entra al plano ecuatorial por medio del encendido a control remoto de un motor más pequeño llamado de apogeo (AKM) que le da la velocidad y dirección necesarias para mantenerlo en órbita geostacionaria sin perder altura. Después de esto, se realizan todavía varias maniobras correctivas para "circularizar" la órbita lo mejor posible. En la siguiente figura se muestra dicho proceso.



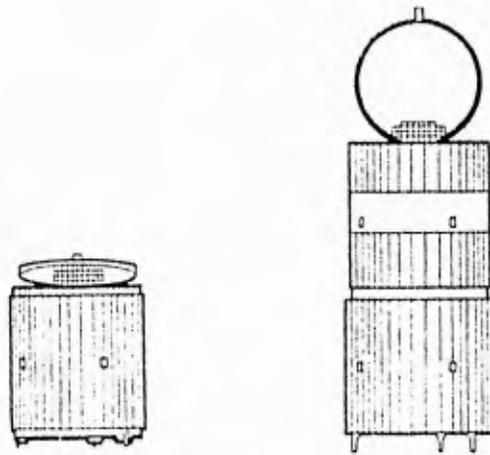
Y en el anexo 1 se muestra el proceso tomando como referencia al satélite.

### 3.2 Características generales

El Morelos I, localizado a  $113.5^\circ$  de longitud oeste, se encuentra operando desde agosto de 1985 y en el caso del satélite Morelos II, éste fue colocado en una órbita de almacenamiento a fin de permitir que alcanzara su posición orbital nominal de  $116.8^\circ$  W aprovechando su deriva natural, con un gasto mínimo de combustible, alargando así su vida útil; por ello fue puesto en operación hasta el 1º de septiembre de 1989.

Ya una vez que se han llevado a la órbita geostacionaria, para el caso del sistema Morelos, los satélites son operados desde el territorio nacional a través del Centro de Control, Telemetría, Rastreo y Comando, ubicado en CONTEL, Iztapalapa. Esto ya con la participación de ingenieros y técnicos mexicanos exclusivamente.

Los dos satélites son de características idénticas, son cilíndricos con diámetro de 2.16 m y altura de 6.60 m con las antenas y el panel solar desplegados. Su masa inicial en órbita es de 666 Kg, de los cuales 145 son de hidracina (combustible). Su estabilización es por giro, y están cubiertos por celdas solares que constituyen su fuente primaria de alimentación de energía eléctrica. Dichas celdas generan 777 Watts de corriente directa y además cuentan con baterías de respaldo a bordo, capaces de generar 830 Watts para casos de eclipse o de escasa iluminación.



En los anexos 2 y 3 se muestran las diversas secciones del diseño.

Las dos partes principales de ambos satélites son: La sección de giro, en la que se alojan los subsistemas de control de orientación, propulsión y energía eléctrica principalmente; en tanto que la sección de "desgiro" consiste en una plataforma cuyas funciones fundamentales son proveer una unidad de soporte y transferencia de energía y señales para los subsistemas de comunicaciones, telemetría, rastreo y comando. Cabe mencionar que el subsistema de control térmico está alojado en ambas secciones porque cuenta con diversos componentes.

Cada satélite cuenta con dos sensores de horizonte terrestre inclinados  $5^\circ$  con respecto al ecuador para monitorear el apuntamiento este-oeste y dos sensores de sol que sirven para determinar la inclinación del satélite y su velocidad de giro. En cuanto a las correcciones de

posición y orientación, existen cuatro propulsores. Dos radiales para correcciones este-oeste y para el aumento o disminución de la velocidad de giro, y dos axiales para corregir la inclinación norte-sur.

### 3.3 Subsistema de comunicaciones

El subsistema de comunicaciones de microondas de los satélites Morelos está constituido por 22 canales repetidores de conversión simple (transpondedores) que operan tanto en la banda C de 6 y 4 GHz como en la banda Ku de 14 y 12 GHz. La parte correspondiente a la banda C utiliza el concepto de reuso de frecuencia, lo que permite una capacidad de 12 canales de banda angosta (36 MHz) y 6 de banda ancha (72 MHz). Por lo que respecta a la banda Ku se utiliza una sola frecuencia y se cuenta con cuatro canales o transpondedores de 108 MHz de ancho de banda. Las frecuencias y el plan de polarización correspondientes se muestran en los anexos 4 y 5.

Los dos parámetros más importantes de un satélite, desde el punto de vista de comunicaciones, son la potencia de transmisión y el ancho de banda de sus transpondedores, los que determinan la cantidad de información, con calidad aceptable, que puede enviarse.

Por lo que toca a la potencia de transmisión, los transpondedores en la banda C utilizan tubos de onda progresiva TWT de 7 a 10.5 Watts, que agregados a la alta ganancia producida por la antena parabólica del satélite, producen una señal de transmisión con potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) de 36 y 39 dBW en el contorno del país, para los transpondedores de banda angosta y banda ancha, respectivamente, en polarizaciones cruzadas. Los transpondedores de la banda Ku emplean amplificadores TWT de 19.4 Watts que considerando la ganancia de la antena a esa frecuencia, transmiten señales con una PIRE de 44.3 dBW.

En términos de equivalencia a transpondedor estándar, la capacidad total por satélite es de 36 transpondedores de 36 MHz en virtud de que 72 MHz es el doble de uno con 36 MHz y a su vez 108 MHz es el triple. Esto significa que un satélite Morelos tiene la capacidad de conducir 36 canales de televisión simultáneamente o su equivalente aproximado de 36 mil canales telefónicos (18 mil conversaciones simultáneas).

Un transpondedor de 36 MHz estándar se puede utilizar para transmitir una señal de televisión, aunque en ciertos casos se pueden transmitir dos señales. La diferencia radica en que si se transmite sólo una señal por canal, en tierra puede ser captada con antenas de menor diámetro que si se manejan dos señales. El hecho de utilizar la técnica de reuso de frecuencia en banda C, por medio de la polarización cruzada, permite que pueda ser transmitida el doble de información en el mismo ancho de banda.

### 3.4 Operación del subsistema y antenas

En el anexo 6 se muestra un diagrama funcional del subsistema de comunicaciones. En dicho esquema las señales electromagnéticas de 6 GHz son recibidas por el reflector parabólico y concentradas en los alimentadores, estas señales, convertidas a su forma eléctrica, pasan por un receptor encargado de trasladar la frecuencia a 4 GHz; una vez que estas señales salen del receptor, se canalizan por separado en los multiplexores de entrada por medio de filtros paso banda, cada canal pasa posteriormente a través de un atenuador de posición, comandado desde tierra, con pasos de atenuación de 0, 3, 6 y 9 dB.

Después de que la señal sale del atenuador de posición se enruta a un amplificador de potencia TWTA. En los canales de banda angosta se tienen 14 amplificadores, siendo dos de ellos redundantes, uno para los canales pares y otro para los impares. Para los canales de banda ancha, se cuenta con 8 amplificadores, y también dos de ellos son redundantes, uno para los canales pares y otro para los impares.

El enrutamiento que sigue la señal en banda Ku es similar al de banda C, sólo que a la salida del atenuador la señal se amplifica por medio de un amplificador de manejo que eleva el nivel de la señal a un punto adecuado para excitar el TWTA, el cual entrega un nivel de potencia máximo de 20 Watts. Para este caso se cuenta con 6 TWTA y con 6 preamplificadores correspondientes, de los cuales dos son redundantes.

Los TWTA pueden habilitarse para usarse por medio de conmutadores que están a su entrada y salida, los cuales pueden operarse desde el centro de control en tierra, cuando así se requiera. Los multiplexores de salida combinan los diferentes canales y los enrutan para su transmisión a través de la antena parabólica.

El subsistema de antenas para comunicaciones es en realidad un arreglo de varias antenas, con las que se forman seis diferentes haces de radiación y tres haces para rastreo. El corazón de este subsistema 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 en 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 cobertura, en lo que se refiere a transmisión, se muestran en las figuras del anexo 7.

### 3.5 Modulación y técnicas de acceso

El Sistema de Satélites Morelos (SSM) utiliza, para los enlaces de telefonía troncal, de mediana y alta capacidad, la técnica FDM/FM con portadoras que varían entre 432 y 1092 canales telefónicos. Para enlaces de baja capacidad se utiliza la técnica SCPC/FM; en particular para redes del orden de 24 canales telefónicos.

En los enlaces de radio se usa la técnica SCPC/FM, posibilitando la transmisión de canales de radio de 7.5 y 15 KHz. Para FM estereo se utilizan dos canales SCPC. Para la televisión se utiliza la técnica tradicional FM, pudiéndose transmitir una señal de televisión a transpondedor completo de 36 MHz o a medio transpondedor de 18 MHz de acuerdo a la calidad deseada.

La transmisión de datos se realiza a través de canales digitales SCPC a bajas y altas velocidades, por ejemplo 4,800 bps o bien 64,128,256 bps. También se utiliza la técnica TDM/TDMA para diferentes velocidades con portadoras de 512 y 256 kbps. Para el caso unidireccional, se utiliza la técnica CDMA.

### 3.6 Alcances y aplicaciones

Al empezar a operar el Morelos I, la red terrena alcanzaba ya un total de 231 estaciones, 198 para la banda C y 35 para la banda Ku, contemplando que la televisión se manejaría en las dos bandas, la telefonía interurbana en la banda C, y la telefonía rural y la transmisión de datos en la banda Ku. No fue sino hasta 1987 que la SCT autorizó la implantación de redes privadas vía satélite, con lo que se inició una creciente demanda de canales para diversos servicios.

De esta manera para 1990 se contaba en el segmento terrestre con aproximadamente 400 estaciones terrenas públicas y privadas. En cuanto al segmento espacial se tenían 21 transpondedores activados ocupando un 89.04 % de la capacidad total del satélite Morelos I y proporcionando la conducción de los siguientes servicios: televisión permanente, televisión ocasional, telefonía SCPC y multicanal, pública, privada, rural y telefonía digital, teleaudición y transmisión de datos para redes privadas. La banda Ku se utilizaba principalmente para las redes de usuarios privados, televisión y telefonía rural, y los demás servicios canalizados por banda C.

En el caso del Morelos II se tenía una ocupación de un 70 % en banda C utilizada para las señales de televisión del Instituto Tecnológico de Monterrey, Televisa, SETEC, el gobierno del estado de Yucatán y para eventos especiales de televisión. Y en cuanto a la banda Ku, ésta se encontraba totalmente asignada.

El sistema Morelos cubrió casi en su totalidad los aproximadamente dos millones de kilómetros cuadrados que comprende el territorio nacional; siendo uno de los logros tecnológicos más importantes, la disponibilidad de la señal en cualquier punto, claro que teniendo el equipo adecuado. Dicho sistema opera la prestación de servicios fijos por satélite (SFS) y también del servicio de radiodifusión por satélite (SRS), cuya capacidad se limita a sólo 3 ó 4 canales de televisión, debido a su mayor requerimiento de potencia y en consecuencia su mayor costo. Por otro lado existe también la red pública de distribución de datos vía satélite que utiliza la nueva tecnología VSAT y que se puso en operación a mediados de 1991.

Para 1991 el satélite Morelos I se encontraba totalmente saturado y el Morelos II presentaba una oferta mínima en la banda C. Por lo que respecta a la banda Ku, existe una demanda insatisfecha en los servicios prestados, puesto que, como se había dicho, dicha capacidad se vendió totalmente desde los primeros años de servicio. Aún, a pesar de la instalación de la "Red Superpuesta" por parte de TELMEX que complementa los servicios de telecomunicación con el concepto de RDSI, la demanda de servicios satelitales sigue en aumento, debido a que muchos de los usuarios privados utilizan dicha red como un respaldo y no como el soporte principal de sus comunicaciones.

Se estima que en los próximos años seguirá incrementándose la cobertura educativa y televisiva, y la SCT continuará con su programa de telefonía rural. Por lo que las telecomunicaciones, que constituyen un apoyo y en ciertos casos un sustituto del transporte, seguirán aumentando en demanda. Por otro lado, la vida útil del satélite Morelos I llegó a su fin a principios de marzo de 1994, al ser sacado de su posición orbital, aunque el Morelos II seguirá operando hasta fines de 1988.

Debido a esto y a que se cuenta con una tercera posición orbital en 109.2° de longitud Oeste, se efectuaron los estudios necesarios para la adquisición de una nueva generación de satélites.

## **V. PROYECTO SOLIDARIDAD**

### **1. GESTACION Y DESARROLLO**

---

#### **1.1 Concepción del proyecto**

Gracias al SSM, la televisión llega a rincones insólitos, la banca se ha hecho más eficiente, se logró la telefonía rural y la educación secundaria por televisión ha llegado a muchos mexicanos. Muestra de que las comunicaciones vía satélite han cumplido con sus objetivos; sin embargo, como se señalaba en el capítulo anterior, existía una demanda insatisfecha en la banda Ku (de por lo menos el 50% de otro satélite similar), principalmente en servicios de voz/datos y en lo que se refiere a señales digitales integradas. Esto se ha presentado por diversas causas identificables y continuará aumentando en los próximos años.

Por otro lado, en septiembre de 1989 se llevó a cabo una reunión de ministros del área de telecomunicaciones del entonces "Grupo de los Ocho" (América Latina), en donde México adquirió el compromiso específico de construir un satélite regional que enlazaría a los pueblos latinoamericanos, motivando con ello a los países involucrados a conformar un sistema de satélites regional.

Es así como el nuevo proyecto satelital surge ante una necesidad del país de dar continuidad al SSM y atender la creciente demanda en servicios, así como del compromiso de establecer un sistema regional. Este proyecto fué llamado "Sistema de Satélites Solidaridad" (SSS), de acuerdo a la política social instrumentada en esta administración. Ante este reto, se integró un grupo de trabajo en el que participó todo el sector de Comunicaciones y Transportes, el Instituto Mexicano de Comunicaciones, la Dirección General de Recursos Financieros y, por supuesto, Telecomunicaciones de México (TELECOMM).

#### **1.2 Especificaciones preliminares**

Debido a que la segunda generación de satélites mexicanos debía, inicialmente, entrar en operación a fines de 1993, el grupo de trabajo, en especial Telecomm, inició los estudios y el diseño de dicho sistema en 1990, para determinar, en el transcurso de ese año, las características tanto del segmento espacial como del terrestre, así como también los requerimientos del lanzamiento y aspectos de capacitación y asistencia técnica para asegurar la transferencia tecnológica al país.

En un principio se elaboraron las especificaciones preliminares que contenían las características a considerar en las primeras reuniones técnicas con proveedores de satélites y servicios, con el objeto de que éstos entregaran información sobre sus productos.

En los primeros análisis se estimó que los satélites serían lanzados en 1993 y en 1997, debido a que los Morelos tenían desfases de cuatro años entre sí. Se habló de una vida útil de 9 a 10 años, lo cual se compararía con otras alternativas, al igual que la potencia disponible, optimizando la masa. La estructura de ambos satélites podría ser de geometría cilíndrica o de estabilización triaxial, y con una cobertura nacional y regional.

En cuanto a la carga útil, se señalaron los siguientes aspectos en cada una de las bandas.

#### BANDA C

Ampliar la configuración de 12 canales de 36 MHz y 6 de 72 Mhz, así como utilizar la banda inferior de 3.7 MHz. Incrementar el PIRE y G/T dentro del territorio nacional y Centroamérica, observando la coordinación de interferencias con los satélites canadienses vecinos. Mejorar la cobertura hacia el sur, deformando el haz, de tal manera que cubriera Centroamérica y el norte de Sudamérica. También se deberían tener haces dirigidos hacia la periferia de la zona de cobertura para atender países de Centro y Sudamérica, con la propiedad de que pudieran ser conmutados desde el centro de control.

#### BANDA Ku

Ampliar el sistema a 8 o más transpondedores con ancho de banda menor a 108 MHz, incluyendo la reutilización de la banda por polarización. Mejorar significativamente el PIRE y G/T, particularmente en su cobertura hacia norteamérica, ampliando los patrones de radiación. Las zonas sur y sureste del país deberían recibir mayor intensidad de señal, para compensar la atenuación por lluvias. Por otro lado también hay interés por conocer el grado de complejidad al tener conmutación entre canales de las bandas C y Ku.

#### BANDA L

Se desea contar con una carga útil pequeña para estimular el crecimiento del tráfico en los servicios móviles, así como evaluar su mercado potencial.

#### DBS-Ku

Cabe señalar que se considerarían propuestas para incluir canales de difusión directa en la banda 12.2 a 12.7 GHz, adyacente a la actual banda Ku para servicio fijo (11.7 a 12.2 GHz). Los haces se dirigirían a cuatro zonas del país: Distrito Federal y Zona Metropolitana, Monterrey, Guadalajara y Tijuana. Con ello podrían prestarse nuevos servicios como la televisión de alta definición y la radiodifusión digital.

El documento también señala que se requiere complementar la estación actual en CONTEL, Iztapalapa, así como instrumentar la estación de respaldo en el noroeste del país. Estos centros de control con capacidad para el manejo de dos o más satélites simultáneamente. En cuanto al entrenamiento se mencionan programas de capacitación integrados a la estructura de la ENTEL además de la asistencia técnica por parte del proveedor, que permita llegar a la autosuficiencia con nuestros propios técnicos. Por último, se estima que la masa del Solidaridad será del orden de 2,500 Kg, que serían considerados en la selección del vehículo lanzador.

### **1.3 Sistema "BEACON" (Radiofaro)**

A mediados de 1990 se implementó un sistema de control de potencia por medio de una señal de radiofaro utilizando instrumentación e infraestructura ya existentes en las instalaciones del Centro de Control de Satélites. A continuación se describe su funcionamiento.

Se genera una portadora sin modular desde la ciudad de México, la cual debe mantenerse con un alto grado de estabilidad, aún bajo condiciones de lluvia. Cualquier estación que "mire" hacia el satélite, recibirá siempre la portadora sin modular con un nivel constante. Cuando dicha estación sufra condiciones locales de lluvia, detectará una atenuación en la portadora sin modular (radiofaro), directamente relacionada con la cantidad de precipitación.

Al detectar atenuación en el radiofaro, la estación interpretará una condición de lluvia e instantáneamente aumentará su potencia de transmisión en proporción a la cantidad de atenuación observada. Este sistema permite que los enlaces en banda Ku operen sin potencia extra permanente correspondiente al margen de lluvia, convirtiéndola en potencia adicional disponible para transmisión de información (otros enlaces), aumentando considerablemente la capacidad de los transpondedores.

De esta manera, las portadoras de comunicación en banda Ku se tendrán con un PIRE constante radiado por el satélite, aun en condiciones de lluvia. Como parte de este sistema se tiene un control que mide la atenuación ascendente en la ciudad de México para mantener constante el nivel del radiofaro en el satélite, lo que se logra aumentando automáticamente la potencia de transmisión. Este sistema se aplica actualmente en el Morelos II y se aplicará posteriormente en los Solidaridad.

### **1.4 Definición del sistema**

A fines de julio de 1990 se abrió la convocatoria para la construcción de los Solidaridad, aunque el concurso se iniciaría hasta que la dirección técnica terminara todos sus estudios. Por esas fechas ya se tenía contacto con cinco empresas, con lo que se iban definiendo más, las características del sistema de satélites.

Las señales serían de mayor intensidad, lo cual facilitaría la instalación de estaciones terrenas con antenas de menor tamaño, incluyendo el perfeccionamiento de su direccionabilidad para evitar fallas. El sistema de baterías sería de menor peso y no necesitaría reacondicionarse periódicamente, sólo lo requeriría una o dos veces durante su vida.

Sus amplificadores serían de estado sólido y más confiables; esto aumentaría al doble su calidad de subsistencia y duración. Se estimó su vida útil entre doce y quince años, dependiendo de su tamaño y peso. Por otro lado, se señaló que algunos fabricantes mexicanos podrían desarrollar algunos componentes para construcción, mientras se elaboraba ya un programa de especialización en industria aeroespacial para técnicos mexicanos en universidades extranjeras.

También se señalaron algunas otras características en cada una de las bandas de frecuencia.

#### BANDA C

Ampliar la cobertura geográfica a los países del Caribe y Centroamérica, incluyendo algunos del sur, como Bolivia, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Radiar la menor potencia al mar. Mejorar las características de transmisión dentro del territorio mexicano aumentando la potencia de los transpondedores. Aumentar proporcionalmente el número de transpondedores de 36 MHz, con respecto a los de 72 MHz, para mejorar las condiciones de operación de los canales de televisión. Contar con flexibilidad en la asignación de capacidad entre los distintos haces, de tal forma que facilite la interconexión de canales, transfiriéndolos de un haz a otro.

#### BANDA Ku

Ampliar la cobertura geográfica para incluir, además del territorio de México, las ciudades norteamericanas de Chicago, Dallas, Los Angeles, Houston, Miami, Nueva York, San Francisco, Tampa y Washington. Radiar la menor potencia al mar y reutilizar frecuencias mediante polarización cruzada. Incrementar en 6 dB la densidad de potencia por ancho de banda unitario a fin de aumentar la disponibilidad de los enlaces, reducir el diámetro de las antenas receptoras terrenas (de 1.2 a 1.8 m) y, aumentar la capacidad de información binaria por ancho de banda unitario. Mejorar la distribución de potencia dentro del territorio mexicano. Contar con suficiente flexibilidad para realizar la interconexión entre haces y reducir el ancho de banda de los transpondedores a la mitad para mejorar la calidad de transmisión de los enlaces.

#### BANDA L

Establecer servicios móviles por satélite en una banda exclusiva. Cubrir el territorio nacional, el mar patrimonial (200 millas náuticas) y las zonas que lo rodean.

## 1.5 Ventajas tecnológicas adicionales

En general, los satélites Solidaridad, tendrían mejoras en todos los subsistemas, destacando, entre otras, las siguientes:

Mejor relación G/T en los receptores de los satélites.

Baterías de níquel-hidrógeno con mejor desempeño.

Mayor flexibilidad para la utilización de los amplificadores de redundancia.

Transpondedores de mayor potencia.

Menor sensibilidad a los efectos de intermodulación.

Como ejemplo concreto del significado que tendrían las mejoras señaladas, se puede indicar la aplicación que se daría al incremento de 6 dB de potencia por unidad de ancho de banda en Ku, que entre otras cosas permitiría la reducción en el tamaño de antenas (2 a 3 dB), modificaciones de FEC y de modulación (1 a 2 dB) y aumentos de disponibilidad de los enlaces (3 a 5 dB), siendo esto último la ventaja que más aprovecharían los usuarios al ser transferidos al sistema Solidaridad.

Por otro lado, parte de este mismo aumento en la densidad de potencia podría emplearse para llevar la tasa binaria de información por unidad de ancho de banda, que como resultado de los cambios en tendencias de velocidades binarias y tipos de modulación en portadoras y, de la conveniencia de modificar la redundancia para corrección de errores, se ha observado un aumento en la velocidad binaria agregada por unidad de ancho de banda. De acuerdo con estas tendencias y posibilidades, se ha estimado que el rendimiento en bits por segundo por Hertz, pasará de 0.39 en el sistema Morelos a 0.58 en el sistema Solidaridad, o sea un incremento de cerca del 50%.

Se estimó el costo de la construcción y lanzamiento de los satélites en 300 millones de dólares, en donde el 15% sería cubierto por el Gobierno Federal, mientras que la cantidad restante sería aportada por los diversos fabricantes que ofrecieron financiamientos atractivos.

## 1.6 Proceso para el suministro del SSS

En diciembre de 1990 se lanzó la convocatoria a empresas especializadas en construcción de satélites para el suministro del sistema Solidaridad. En ella se indicó que los satélites serían iguales entre sí, con estabilización triaxial y con una vida útil mínima de 10 años, proponiéndose dos versiones de acuerdo al subsistema de comunicaciones:

**Versión A:**

Dos satélites, cada uno con 18 transpondedores activos en la banda de 6/4 GHz (Banda C), 12 transpondedores activos en la banda de 14/12 GHz (Banda Ku), operando con esquemas de re\_uso múltiple de frecuencias con polarización lineal ortogonal, y un transpondedor activo en la banda de 1.6/1.5 GHz (Banda L), con polarización circular derecha; y sus respectivos respaldos.

**Versión B:**

Dos satélites, cada uno con 18 transpondedores activos en la banda de 6/4 GHz y 14 transpondedores activos en la banda de 14/12 GHz, operando con esquemas de re-uso múltiple de frecuencias con polarización lineal ortogonal; y sus respectivos respaldos.

También se señalaron características de los centros de control, de un laboratorio de pruebas de carga útil y simulación dinámica, indicaciones sobre la transferencia de tecnología y mantenimiento de los centros de control, así como los requisitos a llenar por los licitantes. Cabe señalar que se optó por dos satélites lanzados con poca diferencia de algunos meses, para asegurar la continuidad del servicio en caso de falla del primer lanzamiento.

Las bases de licitación con características más detalladas sobre los satélites se entregaron unos días después, y no fue sino hasta febrero de 1991 que se hizo el registro de licitantes y la apertura de ofertas. Entre las empresas interesadas en la licitación, se tenían las siguientes: "Matra Espace", "Hughes Aircraft" y "General Electric" quienes tendrían que ajustarse al presupuesto de 300 millones de dólares. En cuanto al lanzamiento, se estimaron 65 millones de dólares, incluyendo los seguros requeridos en dicha operación.

Esta inversión es considerable comparándola con los 150 millones de dólares invertidos en todo el programa del SSM, sin embargo se estima que será redituada en un corto plazo por las ganancias que implicará la prestación del servicio, si se piensa en lo que significarán las necesidades de transmisión de datos, información e imágenes en el mercado más grande del mundo. Y por otro lado, permitirá la continuidad y el desarrollo de México en el campo de las telecomunicaciones y aeronáutica espacial, impulsando paralelamente la capacitación y adiestramiento de investigadores y científicos, permitiendo además, posibilidades reales de actualización tecnológica para estar a la vanguardia mundial; razones por las cuales el proyecto fue considerado altamente rentable.

En el concurso por la construcción de los satélites participaron las empresas de mayor experiencia a nivel mundial. Entre ellas, Matra Espace, la cual es un consorcio que reúne a cuatro grupos internacionales de Europa y Norteamérica, encabezados por la misma Matra Espace, especializada en electrónica a bordo y control de satélites, la cual es parte de la empresa industrial Matra, controlada por el grupo privado francés "Lagardere". Las empresas inglesas "Marconi Space Systems" enfocada a banda L y Ku, y "British Aerospace" que proporcionaría elementos mecánicos y de propulsión y, por último, la canadiense "Spar Aerospace" avocada a carga útil, banda C y antenas. El consorcio tiene experiencia sumada de 80 programas espaciales y alrededor de 30 satélites en órbita.

Por otro lado, participó "Hughes Aircraft Company", la cual es un brazo de "General Motors Company", destacándose como la operadora de satélites privada más grande del mundo, debido a que opera y le pertenecen 15 satélites, así como las instalaciones terrestres relacionadas. Se fundó en 1950 y fué la responsable de la construcción del primer satélite de comunicaciones a nivel mundial, y actualmente ha construido la mitad del total de los satélites que existen en el mundo, tanto civiles como militares (más de 50). Esta empresa desarrolló un nuevo modelo de satélite que integra los avances tecnológicos más recientes en el ámbito de las telecomunicaciones, este es el modelo HS-601, el cual, finalmente, fue elegido en el fallo sobre las propuestas para la construcción, en marzo de 1991.

## **1.7 Contrato para el lanzamiento**

Posteriormente, en mayo del mismo año, se lanzó la convocatoria para los servicios de lanzamiento de los satélites Solidaridad, con el registro de licitantes y la apertura de ofertas al mes siguiente. Las propuestas presentadas fueron las de "Arianespace", "China Great Wall Industry Corporation" y "General Dynamics Commercial Launch Services".

Tras el análisis y evaluación de las propuestas, Telecomm consideró que la más adecuada y conveniente era la de "Arianespace" por tener una alta calificación desde el punto de vista técnico, ofrecer los servicios a un menor precio, y por ofrecer compatibilidad entre los satélites y sus plataformas, construídos por Hughes. El fallo se dió a conocer en julio de 1991.

Cabe mencionar que en ambos concursos se contó con la participación de las empresas "Comsat" y "Telesat" en su carácter de consultores externos.

Es importante hacer notar que las comunicaciones vía satélite son consideradas como sector estratégico en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, por lo que el Estado se ha reservado en forma exclusiva su explotación, fomentando la participación de los sectores social y privado, como se ha venido dando. Es decir, invirtiendo más capital privado que conlleva una disminución en dicha participación del Estado, sin dejar de fortalecer su papel regulatorio. Dentro de esta política sobresale la desincorporación de "Telmex" y la venta de la Red Federal de Microondas, así como la inversión privada en las comunicaciones vía satélite, siendo Telecomm, organismo descentralizado del gobierno, administrador de la infraestructura correspondiente y de todos los servicios relacionados.

## **2. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA**

### **2.1 Lanzamiento y colocación en órbita**

Tanto el satélite Solidaridad I como el II, fueron lanzados en la Guyana francesa, en donde tiene su base de lanzamiento Arianespace, comercializadora de los lanzadores "Ariane" de la Agencia Espacial Europea, los que, al igual que los cohetes Delta y Atlas\_Centauro de los E.U., entre otros, operan bajo los principios de la técnica denominada "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 dos focos. Una vez ahí, el 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 en forma independiente.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona 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 geosíncrona a la circular geostacionaria.

Como se aprecia en el diagrama, el SSS será puesto en órbita en sólo dos pasos, primero se pone el satélite en una órbita elíptica de transferencia geosíncrona y después de varias vueltas, en uno de los apogeos, se circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

Específicamente en el caso de los lanzadores Ariane, la secuencia de las maniobras realizadas para colocar un satélite en órbita geostacionaria se enumeran paso a paso como sigue:

- a) Despegue
- b) Separación de la cofia protectora
- c) Reorientación y giro
- d) Separación del satélite
- e) Telemetría y comando

- f) Orientación hacia el Sol
- g) Despliegue parcial del arreglo solar
- h) Primer apogeo de la órbita elíptica
- i) Preparativos antes del eclipse
- j) Eclipse
- k) Orientación y referencia con la Tierra
- l) Calibración de los giroscopios
- m) Orientación y referencia con la Tierra
- n) Reorientación
- o) Encendido del motor de apogeo
- p) Fin de la maniobra de apogeo
- q) Reorientación hacia el Sol
- r) Satélite en órbita geoestacionaria con sus paneles solares totalmente extendidos

Los lanzadores Ariane 1 y Ariane 3 han sido descontinuados desde 1989, y ahora sólo se comercializa el Ariane 4 en sus diferentes versiones. La versión que lanzó al SSS es la "44L", cohete de tres etapas del tipo no recuperable (ELP), que utiliza propelente líquido y un sistema de dirección inercial. Es el de mayor capacidad de carga con un máximo de 4.4 toneladas en configuración compartida. El lanzamiento del satélite Solidaridad I se llevó a cabo, con éxito, el 19 de noviembre de 1993 y el correspondiente al Solidaridad II se efectuó, también con éxito, el 7 de octubre de 1994.

## 2.2 Características generales

Durante varios años México estuvo coordinando con Canadá y los Estados Unidos una tercera posición orbital que se ubica en los 109.2° de longitud Oeste, previendo un espaciamiento de 1.9° con respecto a los satélites canadienses, debido a la alta ocupación de la órbita geoestacionaria. La disminución en el espaciamiento entre los satélites y su mayor potencia y cobertura, dificultan la coordinación operativa, particularmente con Canadá. Este espacio fue ocupado por el Solidaridad I, y el Solidaridad II quedó en el lugar que ocupaba el Morelos I, esto se puede ver en el anexo 8.

El SSS consta de dos naves espaciales Hughes modelo "HS-601" del tipo de estabilización en tres ejes, con infraestructura más amplia, para hacer más eficaz la comunicación y para captar mayor energía solar y ahorrar combustible. Cada satélite con 11 m de reflector a reflector y 25.5 m con paneles desplegados. Un peso de 2,754 Kg, correspondiendo 1,489.4 Kg al combustible, el cual asegura una vida útil de 14 años.

En cuanto al segmento terrestre, se ha llevado a cabo la ampliación del centro de control primario (CCP) y el establecimiento de uno alterno (CCA) ubicado en Hermosillo, Sonora. Ambos centros realizaron las funciones asociadas a todas las fases de puesta en órbita y tienen a su cargo las funciones principales para el mantenimiento en órbita geoestacionaria de los

satélites.

El CCP es capaz de controlar tanto al SSM como al SSS, por lo que se previó la mayor compatibilidad y convivencia entre ambos sistemas. Este centro cuenta además con un sistema de monitoreo tal, que permite el control, verificación de parámetros técnicos, y el desarrollo de diversas pruebas de las diferentes señales de comunicaciones.

El CCA, para poder cumplir con la función de respaldo del CCP, cuenta con toda la infraestructura necesaria para realizar las mismas funciones que el primario, además de tener con el mismo un contacto constante y directo, tanto con el propósito de efectuar una medición de rango más precisa, por triangulación, como para poder tomar el control total de ambos sistemas en cualquier momento, ya sea por casos de contingencia o por alguna actividad planeada que así lo amerite.

### 2.3 Subsistema de comunicaciones

Dicho subsistema, conocido también como carga útil, es el que finalmente determina el tamaño del satélite y su costo para una vida útil dada. Sus parámetros básicos se muestran en la siguiente tabla:

PESO DE LA CARGA UTIL		CONSUMO ELECTRICO DE LA CARGA UTIL	
ANTENA	148.276 Kg.		
BANDA C	103.330 Kg.	BANDA C	622,2 Watts
BANDA Ku	117.813 Kg.	BANDA Ku	1408.6 Watts
BANDA L	42.766 Kg.	BANDA L	384.2 Watts
PESO TOTAL	412.185 Kg.	CONSUMO TOTAL	2415.0 Watts

El subsistema de comunicaciones de microondas de los satélites Solidaridad está constituido por una sección de antenas y 35 transpondedores que operan tanto en la banda C de 6 a 4 GHz como en la banda Ku de 14 a 12 Ghz. También se tiene un transpondedor en la banda L de 1.6 a 1.5 GHz. La distribución de canales para las bandas C, Ku y L se muestran en el anexo 9.

La banda C está compuesta por el mismo número de transpondedores que se tenía en los satélites Morelos, sin embargo es importante hacer notar que aún cuando las polarizaciones

de subida y bajada no han variado, se ha tenido que efectuar un corrimiento de 20 MHz hacia abajo en los transpondedores angostos y 20 MHz hacia arriba en los anchos, para mejorar las condiciones de coordinación de tráfico con los satélites canadienses. Asimismo, 8 de los 12 transpondedores angostos pueden tener cobertura regional, no así los 4 restantes ni los transpondedores anchos, que sólo pueden transmitir y recibir en la Región 1.

Analizando detenidamente el plan de frecuencias y polarización del anexo 10, se puede observar que los canales de los transpondedores angostos 1 al 12 pueden ser seleccionados individualmente para recepción de las regiones R1, R2 ó R3. Los canales 5, 7, 9 y 11 pueden ser seleccionados para transmisión en las regiones R1 ó R3, y los canales 6, 8, 10 y 12 pueden ser seleccionados para transmisión en las regiones R1 ó R2. En adición, enlaces de subida de R2 + R3 pueden ser seleccionados para transmisión en los canales 11 y 12, los cuales acomodan los enlaces de bajada en cualquiera de las tres regiones.

Aunque en la banda C se tendrá el mismo número de canales, la capacidad de manejo de datos aumentará debido a la mayor potencia de transmisión, PIRE mínima de 35 a 40.5 dBW y G/T mínima de 0 a 3 dB/K. Esto hará más eficiente el servicio de las empresas que así lo requieran, reduciendo trabajos administrativos. Este aumento también influirá en otros servicios que se prestan por esta banda, como son la televisión comercial, la televisión por cable y la radiodifusión.

En relación a la banda Ku, ésta ha sido completamente rediseñada, teniendo un total de 16 transpondedores de 54 MHz en dos polarizaciones, con lo que se aumenta al doble la capacidad en ancho de banda, así como la potencia, con PIRE mínima de 47 dBW y G/T mínima de 2 dB/K.

Con respecto a las dos áreas de cobertura de la banda Ku, R4 y R5, hay cuatro posibles vías de transmisión, por lo cual se puede configurar un transpondedor de banda Ku como sigue:

- Via A: R4 ascendente ---> R4 descendente
- Via B: R4 ascendente ---> R5 descendente
- Via C: R5 ascendente ---> R4 descendente
- Via D: R5 ascendente ---> R5 descendente

Este diseño permite que el transpondedor 6 sea operado en las vías A, B, C y D y el transpondedor 8 sólo en las vías A y C, con lo que se tendrían 2 transpondedores dirigidos a los Estados Unidos, como se verá adelante en las gráficas de cobertura correspondientes a cada región. El plan de frecuencias y polarización se puede observar en el anexo 11.

Este aumento en la capacidad de transmisión de banda Ku aumentará la posibilidad de abrir un número mayor de canales por cable o sistemas de circuito cerrado, que son utilizados por grandes empresas en sus interiores. También permitirá un incremento en la transmisión de datos. Servicios que serán aprovechados por casas de bolsa, empresas privadas, bancos, instituciones educativas y de gobierno, y, como se había mencionado, seguirán aumentando

en demanda a un ritmo estimado del 20% anual, lo cual está previsto en el SSS.

La banda L es la tercer banda en la que operarán los satélites Solidaridad, la que es utilizada para comunicaciones móviles por satélite también llamadas "celulares via satélite", cuyo ancho de banda fué ampliado de 29 a 34 MHz en la "Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones". La zona que se expandió es la de (1,525 - 1,530 MHz), lo cual contribuye a aliviar los problemas de coordinación con otros prestadores de servicios móviles por satélite. Su plan de frecuencias y polarización se muestra junto con los anteriores en el anexo 12, y tendrá una PIRE mínima de 45 dBW y una G/T mínima de -1.5 dB/K. Por otro lado debido a las características de propagación de esta banda, su coordinación es sumamente difícil, por lo que únicamente se podrá operar en ciertas partes que se encuentran coordinadas con los demás sistemas.

Son dos los servicios que se pueden prestar con esta banda, por un lado la radiodeterminación o radiolocalización y por el otro los radios móviles. Estos servicios se podrán proporcionar al autotransporte tanto de carga como de pasaje, a las embarcaciones de cabotaje y también a la aviación, mejorándose con ello el control del tráfico, aumentando la eficiencia de los servicios de transporte.

## **2.4 Antenas y cobertura**

El model HS-601 consta de dos reflectores parabólicos montados a este y oeste del cuerpo del satélite, un arreglo de antenas dipolares para banda L y una antena omnidireccional, que en su conjunto cubren una zona que se puede dividir en 6 regiones. Pasando a ser un sistema regional y no sólo doméstico como lo es el SSM. Esta cobertura se extiende a Estados Unidos, Centro, Sudamérica y el Caribe; así como a ciudades entre las que se pueden mencionar Chicago, Dallas, Houston, Los Angeles, Miami, Nueva York, San Antonio, San Francisco, Tampa y Washington. Al mismo tiempo se enviarán spots a Asunción, Buenos Aires y Santiago de Chile. Cabe señalar que se cubrirán también ciertas regiones aún incomunicadas en Latinoamérica.

En los anexos 13, 14y 15 se muestran los patrones de radiación correspondientes a cada una de las bandas, con la siguiente cobertura por región:

R1

México, zona sur de E.U. (frontera con México) y parte de Centroamérica

R2

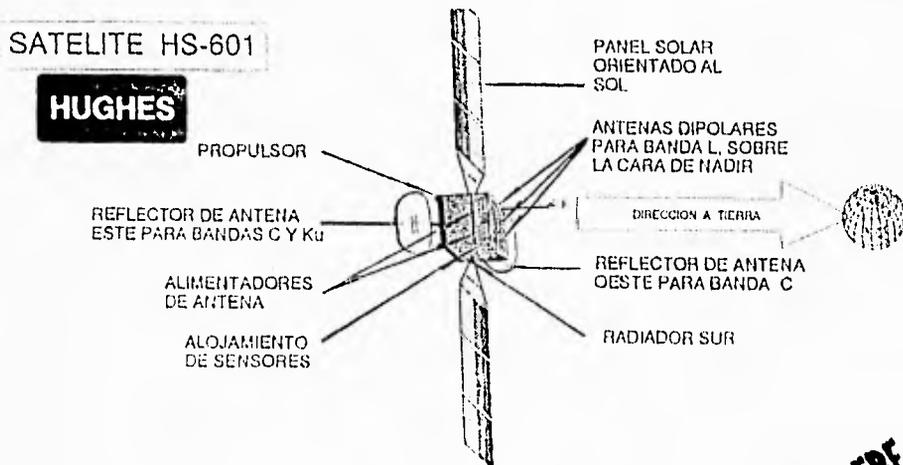
Lo mismo que R1 más Florida, islas del mar Caribe, Venezuela, Colombia y el resto de Centroamérica

- R3 Resto de Sudamérica excepto Brasil
- R4 México
- R5 Las ciudades de Chicago, Nueva York, Washington y las principales ciudades de los estados de California, Texas y Florida
- R6 Territorio continental de México y mar patrimonial de 200 millas náuticas

## 2.5 Subsistemas del satélite

Los subsistemas que constituyen al satélite son el de comunicaciones, el de antenas, el de propulsión, el subsistema térmico, el de energía eléctrica, el de orientación y el subsistema de telemetría y comando.

A continuación se muestra un croquis del diseño.



**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Las "alas", o arreglo de paneles solares, están localizadas en el lado norte y sur del cuerpo del satélite y están compuestas de tres pares de paneles solares; este arreglo contiene en total 56 circuitos de celdas solares de silicón K4-3/4, proporcionando 2,500 W de potencia al satélite hasta el final de su vida útil.

En las cuatro esquinas de la superficie más lejana del satélite con respecto a la Tierra, hay cuatro paquetes de baterías, cada uno diseñado en su parte N-S con calentadores y disipador a base de espejos, los cuales proveen el control térmico para las baterías independientemente del sistema de control de temperatura.

Las caras norte y sur del cuerpo del satélite se aprovechan como radiadores directos de alta potencia, con tubos de transferencia de calor fijos para la distribución eficiente del calor producido por los amplificadores de alta potencia, a través de la superficie del radiador.

Del cuerpo del satélite se pliegan sus paneles solares y antenas a fin de lograr una estabilización de giro pasivo durante la órbita de transferencia, por tanto, las "alas" del arreglo de paneles solares y los reflectores para comunicaciones, son contraídos para permitir al satélite adaptarse a las restricciones del vehículo lanzador.

Hasta ahora se han descrito las principales características técnicas del SSS, desde el lanzamiento hasta los diversos subsistemas del diseño, con lo que en el siguiente capítulo se analizarán los aspectos más relevantes de dichos adelantos tecnológicos. Sin embargo, antes de terminar lo referente a características técnicas, se tocará un punto fundamental en el proceso de cambio tecnológico.

## 2.6 Transición

Por último haremos referencia al reacomodo del tráfico entre ambos sistemas. En los primeros meses del presente año se transfirieron todas las comunicaciones cursadas por el Morelos I al Solidaridad I, así como a la capacidad restante en banda C del Morelos II. Personal de Telecomm con apoyo de la compañía Telesat de Canadá, desarrolló el plan de transferencia necesario para las actividades mencionadas.

Para dicho fin, se efectuó una reunión con proveedores de equipo para conocer lo relativo a la transición y a las características técnicas de los nuevos satélites, a fin de poder dar un apoyo más efectivo a los usuarios que así lo desearan.

Durante la transición, para reducir al mínimo posible el tiempo de afectación, los dos centros de control estuvieron atendiendo a los usuarios, los cuales contaban ya con un documento con los nuevos parámetros operativos de cada una de las redes.

Para la transición se han considerado las características de las diferentes redes. Sin embargo, debido a que los nuevos planes de frecuencia en los transpondedores de banda C y Ku son diferentes a los de los Morelos, no se pudo evitar que existieran cambios en algunos equipos, así como el remplazo de ciertas estaciones terrenas.

### **3. VENTAJAS INTRODUCIDAS**

#### **3.1 Comparación general**

Como se ha ido señalando, existe una notable diferencia entre ambos sistemas, debido a que en el SSS se emplea lo último en tecnología de telecomunicaciones a nivel comercial. Desde su estructura y tipo de estabilización, hasta los diversos equipos electrónicos con que cuenta; por lo que ésta nueva generación tendrá una mayor vida útil, más potencia y cobertura, con una mayor calidad y confiabilidad.

En el anexo 16 se muestra un cuadro comparativo de los dos sistemas, en donde resalta la gran diferencia en el peso total de las naves, lo cual influye directamente en la etapa de lanzamiento. Sin embargo, esto se debe a que casi 1,500 Kg del modelo HS-601 son de combustible, es decir, 10 veces más que en el SSM, incrementándose notablemente su vida útil. También tiene una estructura muy amplia que, entre otras cosas, permite una gran conversión de energía solar a eléctrica, cuatuplicando su potencia, lo que resulta en una mejor transmisión de información en cantidad y en calidad.

#### **3.2 Consideraciones sobre el tipo de estabilización**

El objetivo de un satélite de comunicaciones es recibir señales radioeléctricas desde alguna parte de la Tierra y retransmitir hacia otra a través del subsistema de antenas direccionales, que por supuesto deben estar permanentemente 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.

Retomando el caso del SSM, 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 funcionalidad al ir evolucionando las generaciones de satélites, y hoy sólo una parte de su cuerpo gira mientras que el resto de la estructura, que incluye a las antenas, se mantiene fija; 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 eje de rotación de la Tierra, se vuelve menos vulnerable a las fuerzas que lo perturban en el espacio.

Los satélites con estabilización triaxial, como es el caso del SSS, no giran, y aparentemente permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la Tierra. Dicho método simplifica aspectos relacionados a la operación del satélite y a la orientación de las antenas. 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. Estos volantes de reacción también se llaman giroscopios, y el par correctivo que mantiene al satélite con la orientación adecuada, se logra con un cambio en su velocidad de rotación.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, existen varias fuerzas perturbadoras que 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 cual es la orientación exacta de su cuerpo, lo cual se logra básicamente con el uso de sensores.

### **3.3 Avances en el subsistema de energía eléctrica**

La conversión de energía solar a energía eléctrica depende en gran medida de la estructura del satélite y por tanto del tipo de estabilización que utilice. Los satélites estabilizados por giro son cilíndricos y llevan las celdas solares montadas sobre la mayor parte de su superficie, envolviendo casi totalmente su perímetro. En cambio, los satélites con cuerpo fijo y estabilización triaxial no tienen una geometría cilíndrica sino que se asemejan a un cubo, y normalmente emergen dos largos y planos paneles solares de sus costados, en forma de alas.

En el caso de los satélites estabilizados por giro o rotación, no todas las celdas solares están expuestas al Sol en todo momento, y solamente se aprovecha una parte de ellas para efectuar la conversión a electricidad; de hecho, el porcentaje aprovechado en cada instante es de aproximadamente un tercio, a consecuencia de la parte oculta al Sol y la pared curva del cuerpo cilíndrico del satélite, sobre el cual están montadas las celdas.

Por lo que respecta a los satélites de cuerpo fijo con estabilización triaxial, los paneles solares cuentan con un mecanismo para orientarse constante y óptimamente hacia los rayos del Sol; esto permite aprovechar al máximo las celdas, y todas al mismo tiempo, ya que la eficiencia de conversión es función del ángulo de incidencia de los rayos del Sol sobre ellas. Por tal razón, los satélites con este tipo de estabilización brindan mayor capacidad de generación de energía eléctrica que la de los estabilizados por rotación, e invariablemente se opta por ellos cuando los requerimientos de potencia lo exigen; tal es el caso de los satélites de radiodifusión directa de televisión que necesitan varios kilowatts de potencia para operar eficaz y económicamente.

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, como es el caso de los Solidaridad, 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 2,000.

### **3.4 Subsistema de comunicaciones**

Analizando la evolución del proyecto se pueden encontrar algunas especificaciones que no se incluyeron en el diseño final. Como son la utilización de la banda inferior de 3.7 MHz o el aumento relativo del número de transpondedores de 36 MHz con respecto a los de 72 Mhz, esto en banda C. Tampoco se optó por la banda DBS-Ku para difusión directa de radio y televisión de alta definición, así como por la conmutación entre canales de diferentes bandas entre sí. Sin embargo otros aspectos se cubrieron totalmente.

Por ejemplo, en el caso del plan de polarización y frecuencias de banda Ku, el número de transpondedores fué, finalmente el doble. Se quería mayor capacidad, reduciendo el ancho de banda de los transpondedores, lo que se logró al incluir 16 canales de 54 Mhz, en comparación a los 4 canales de 108 MHz que se tenían. Esta reducción permitirá hacer un uso más eficiente del recurso ancho de banda/potencia, con un aumento aproximado de 6 dB, como ya se había analizado, que entre otras cosas permitirá el uso de antenas con diámetros inferiores a 2.4 metros. También cabe mencionar que se conserva la polarización cruzada en ambas bandas, haciendo un uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

Considerando además el aumento de PIRE (1.5 dbW en banda C y 10 dbW en banda Ku), debido tanto a características de radiación de la antena, como al aumento de potencia en los amplificadores de estado sólido, las señales radiadas a la Tierra tendrán mayor intensidad y direccionalidad, lo cual permitirá reducir, en ciertas aplicaciones, aún más el diámetro de las antenas terrestres, a 1.8 o 1.2 metros. Estas antenas se podrían utilizar tanto en empresas como en el campo educativo, ya que por medio de ellas y con un costo de aproximadamente 300 dólares, se podría conectar a varios centros educativos, y crear así cursos de capacitación y clases vía satélite para miles de personas en todo el país.

También se tendrían señales más potentes de TV en banda Ku y se eliminaría la necesidad de coexistencia de canales de televisión dentro de un mismo transpondedor en banda C. En general, el SSS estará en condiciones de transmitir más de 50 mil llamadas telefónicas a la vez (25 mil conversaciones simultáneas), o más de 50 señales de televisión y datos a muy altas velocidades, con la suficiente flexibilidad de carga útil.

Y esto sin mencionar el cambio de un sistema doméstico a uno regional, en el que se tendrá conmutación de canales en las regiones ya mencionadas, pero sólo en una misma banda.

Con el SSS se prevé satisfacer la demanda regional a corto y mediano plazos.

Como se ha venido señalando, el satélite cuenta con un transpondedor en banda L, que tiene un ancho de banda de 34 MHz. Esta banda es típicamente empleada para el servicio de comunicación móvil, cuyo uso se está incrementando día a día. Hasta ahora, los medios convencionales de transmisión en onda corta y media son poco confiables, están sujetos a interferencias e interrupciones, y su alcance es bajo, así como la telefonía celular que presenta también ciertas limitantes, además de transmitir sólo voz. Es así como los satélites de comunicación ofrecen un servicio completo de mayor calidad y alcance, con distancias a cubrir de cientos o miles de kilómetros. Además su eficiencia no es alterada por las condiciones ambientales y sus señales se reciben prácticamente con la misma potencia en puntos cercanos o separados miles de kilómetros entre sí, aunque cabe indicar que cada tecnología tiene su campo de aplicación, y que en algunos casos se pueden complementar entre sí.

Estas características hacen de los satélites de servicio móvil un medio de comunicación cada vez más aceptado mundialmente, con sistemas que prestan exclusivamente este servicio, como son el Marecs, More, Inmarsat, Intelsat MCS, Avsat, Zenon, Sat\_Mobile, M\_Sat y el modelo Hughes MSS; aunque también hay sistemas con un porcentaje de comunicaciones móviles, como el Intelsat V y VI, el Insat, el TDRS y obviamente el modelo Hughes HS-601 al que pertenecen los Solidaridad.

Las redes de comunicaciones móviles por satélite surgieron años después de las de servicio fijo y la mayor parte aún se encuentra en su etapa de diseño o construcción. El servicio todavía no pertenece a una industria tan firme y lucrativa como la del servicio fijo, pero ya es toda una realidad y tiene un gran potencial de desarrollo y utilización en el futuro. Por lo que es el momento adecuado para incursionar en este campo y permanecer a la vanguardia en lo que respecta a tecnología satelital.

Cabe mencionar que debido al éxito en el lanzamiento del Solidaridad I y al desfazamiento en vida útil que hay entre los Morelos I y II, se optó por lanzar al Solidaridad II a finales de 1994, y esto debido fundamentalmente a la disponibilidad de canales que se tenía proyectada para este año y los próximos, lo cual se puede ver en el anexo 17. Es decir, que durante 4 años se tendría una sobreoferta de transpondedores, por lo que se pudo retrasar dicho lanzamiento e inclusive colocar al satélite en una órbita de almacenamiento, como se hizo en el caso del Morelos II.

### **3.5 Perspectivas del SSS**

Los satélites y la nueva reglamentación de las telecomunicaciones en México dieron como resultado un estímulo sin precedente a esta industria. Es por ello que el presidente Lic. Carlos Salinas de Gortari incluyó a las comunicaciones satelitales dentro del "Plan Nacional de Desarrollo" otorgándoles el carácter estratégico que les corresponde, como la herramienta más moderna para acelerar el proceso educativo del país y para apoyar el nuevo desarrollo estatal.

Por otro lado, según un estudio sobre telecomunicaciones mexicanas, el mercado de la red pública del satélite no ha sido lo suficientemente eficiente debido al servicio de Telmex, forzando a muchas compañías privadas e instituciones a instalar su propia red privada sobre la línea del satélite Morelos. Sin embargo, como Telmex continúa con su proyecto de extensión digital y como el propósito de Telecomm es su programa multiusuario, la demanda de apertura de terminales pequeñas se espera descienda.

Es así como el mercado debe cambiar una vez más; la mayoría de la construcción futura descansa en el lado de la red pública, y las instalaciones privadas deben disminuir. A través del SSS, Telecomm tendrá dos redes públicas, "Acceso Múltiple por División en el Tiempo" (TDMA) y "Servicios de Transmisión de Voz y Datos" (VSAT), destinadas a dar servicios a usuarios medianos y pequeños con tarifas accesibles. Por lo que sólo empresas grandes podrán contar con redes privadas. De esta manera, empresas como NEC y Scientific Atlanta, líderes en los mercados de redes públicas, tendrán un fuerte desarrollo en los próximos años.

Estos servicios propiciarán circunstancias equivalentes para pequeñas, medianas y grandes empresas, cuyas necesidades tecnológicas se incrementaran conforme se vaya aplicando el "Acuerdo Trilateral de Libre Comercio" (TLC), el cual, entre otras cosas, tendrá ingerencia en el desarrollo de los servicios de telecomunicaciones en el país.

La tendencia mundial es la globalización de la economía, y las telecomunicaciones son fundamentales en el comercio internacional, constituyéndose en un pilar esencial de la economía mexicana y mundial, por lo que dichos servicios, en México, requerirán ser competitivos y eficientes.

En otras palabras, el crecimiento del comercio y la economía en los próximos años demandará un sistema de telecomunicaciones muy eficiente y de alta calidad; y por el otro lado el carácter regional del SSS lo llevará a competir con sistemas internacionales, como Intelsat y Panamsat, que prestan servicio regional en el continente americano.

Estas consideraciones justifican los avances tecnológicos que se introducen con el SSS y, en consecuencia, la inversión requerida. Por lo que este nuevo sistema llega en el momento más oportuno para apoyar el proceso de desarrollo económico, social y político que ha emprendido, en forma admirable y sobresaliente, nuestra nación.

## VI. CONCLUSIONES

1. En el presente estudio se pudo ver que los satélites de comunicaciones son resultado del desarrollo tanto en la tecnología espacial como en la de radiocomunicaciones, y que muchos de los avances se lograron gracias a intereses de tipo militar, resultado de la carrera armamentista entre las principales potencias del mundo.

2. Al analizar los tipos de satélites que existen en la actualidad se observa que los de comunicaciones son sólo una de las tantas aplicaciones que se les puede dar, sin embargo, al investigar la información al respecto, se pudo notar la importancia otorgada a este grupo dada la cantidad de bibliografía que trata el tema, lo cual ya era de esperarse puesto que los satélites que ocupan la mayor parte de las órbitas en uso son precisamente los de comunicaciones.

3. El desarrollo de la tecnología espacial a nivel mundial ha sido impresionante, simplemente en el breve lapso de una generación, hemos pasado del lanzamiento del primer satélite artificial hace 37 años a los siguientes beneficios directos de la tecnología espacial:

- Vuelos espaciales tripulados
- Poner hombres y robots sobre la superficie de la Luna
- Aparatos que aterrizan automáticamente en Marte y Venus
- Misiones más allá de Júpiter y Saturno
- Vehículos espaciales reutilizables
- Estaciones espaciales que orbitan la Tierra
- Sistemas espaciales de comunicación doméstica
- Sistemas de comunicación internacional
- Sistemas de radiodifusión desde el espacio
- Sistema global de observaciones meteorológicas
- Sistemas de navegación y comunicaciones marítimas
- Sistemas de teleobservación

La descripción que, al respecto, se realizó en el presente trabajo permite ubicar de manera objetiva el avance que, en la materia, ha alcanzado nuestra nación. Y en general se observa poco retraso con respecto a los países industrializados, obviamente concretándonos a la aplicación y utilización de los sistemas de comunicaciones, puesto que generalmente se adquirieron del exterior y se adaptaron a nuestras propias necesidades; esto sin dejar a un lado lo que fue concebido y desarrollado íntegramente por investigadores, técnicos e ingenieros mexicanos que, aunque con resultados limitados, dió un gran impulso a las telecomunicaciones en el país.

4. Los satélites de comunicaciones tomaron un papel relevante desde el inicio de las actividades espaciales en base a su rentabilidad, ya que recién iniciada la era espacial se buscó de inmediato un uso comercial a la tecnología que iba apareciendo, respondiendo con ello a las necesidades planteadas por la sociedad. Actualmente el auge que están teniendo dichos sistemas se debe a que en los últimos años se ha dado un proceso irreversible de globalización que abarca desde la transmisión cultural, social y tecnológica hasta la apertura de mercados y unificación de economías. Esto ocasiona, tanto a nivel regional como internacional, un intercambio constante de información, mercancía de gran valor para la sociedad contemporánea.

5. Del análisis realizado en el presente trabajo se concluye que los satélites son básicamente sistemas espaciales para retransmisión de microondas, aunque con un alto grado de complejidad, si nos referimos a su estructura y subsistemas. De dicho análisis se desprende que las características fundamentales de los mismos son las siguientes:

- a) Amplitud en anchos de banda que proveen una alta capacidad de transmisión.
- b) El costo de la transmisión es independiente de la distancia, lo cual es una ventaja al aumentar o modificar una red ya instalada.
- c) La señal enviada a un satélite es retransmitida a todos los receptores que queden en el rango de cobertura de la antena, también conocido como patrón de radiación. Así, a diferencia de un enlace terrestre, el satélite "radia" información. Debido a esto es importante tener ciertos mecanismos de seguridad para la exclusividad de los mensajes.
- d) También debido a esta propiedad de radiodifusión, se pueden emplear técnicas para la asignación dinámica de canales que aumenten la eficiencia de los transpondedores.
- e) Permite la aplicación a todo tipo de señales y a nuevos métodos digitales de transmisión, dando también la posibilidad de numerosos servicios que han ido apareciendo en los últimos años.
- f) Una estación transmisora puede recibir su propia señal, monitoreando así la retransmisión del satélite, lo cual se puede aplicar en ciertas formas de control.
- g) Un enlace satelital presenta un retraso de propagación de 270 milisegundos aproximadamente, lo cual puede ser perjudicial en ciertas aplicaciones.
- h) Por último los satélites posibilitan lo que se conoce como comunicaciones móviles.

6. Considerando estas propiedades y haciendo una comparación con los otros medios de comunicación (cable común de cobre, cable coaxial, sistemas terrestres inalámbricos, sistemas terrestres de microondas y fibras ópticas), se pueden definir sus aplicaciones particulares, dadas las ventajas que ofrece en determinados servicios, como lo son la transmisión de telefonía y televisión a través de distancias considerables, la radiodifusión de televisión y radio, y la transmisión de datos en redes de cómputo, ofreciendo en general facilidad de acceso múltiple para transmitir todo tipo de señales. Se puede afirmar que en muchos de estos servicios, la tecnología satelital seguirá siendo el instrumento idóneo. Aún más, se constituirá en el factor fundamental de la llamada "Red Digital de Servicios Integrados" (RDSI) que será la base tecnológica del concepto conocido como "Multimedia", el cual revolucionará la comunicación personalizada en las próximas décadas.

7. En México, las telecomunicaciones han pasado a ocupar un papel clave, y al revizar su evolución, se observa como cada una de las administraciones del país las ha incluido, con un carácter estratégico, dentro de sus programas de gobierno, consecuencia de la necesidad de transmitir cada vez un mayor número y tipo de señales ante los servicios que ha demandado la sociedad.

8. La demanda siempre creciente de capacidad para comunicación ha ido obligando al país, a utilizar los últimos avances a nivel comercial. Los Morelos tienen la característica de ser los primeros satélites híbridos en incluir en una misma plataforma las bandas C y Ku, solucionando problemas de saturación y dando independencia a México en este rubro. Cabe mencionar que, a nivel mundial, el SSM ha sido considerado como el de mayor eficiente ocupación en la asignación y uso de sus transpondedores.

9. En general, podemos concluir que el sistema de satélites Morelos trajo consigo importantes beneficios a la sociedad mexicana conduciendo señales de telefonía y televisión a todos los rincones de la accidentada geografía del país, incrementando la variedad, capacidad y calidad de los servicios públicos a nivel nacional, aumentando la eficiencia de todo tipo de empresas e instituciones con la transmisión de datos en redes de cómputo y, posibilitando la transmisión de señales integradas, abriendo con ello las puertas de la modernidad en lo que respecta a telecomunicaciones.

Una medida representativa del incremento en telecomunicaciones gracias al SSM sería el número de estaciones terrenas conectadas al mismo. En los primeros años del sistema se tenían 783 estaciones, para llegar a un total de 2,646 en 1993, con un incremento notable en las estaciones de tipo público.

10. En el estudio realizado se observa como la adquisición del nuevo sistema de satélites Solidaridad surge por la necesidad de aumentar la oferta de transpondedores, principalmente en banda Ku, y por otro lado para dar continuidad al sistema de satélites Morelos, principalmente al satélite Morelos I, cuya vida útil llegó a su fin hace poco más de un año.

11. Analizando la descripción detallada del sistema de satélites Solidaridad realizada en el quinto capítulo y, tomando como punto de comparación las características del sistema de satélites Morelos, podemos concluir que el SSS presenta, en forma general, las siguientes ventajas:

- a) Sistema de tipo regional.
- b) Aumento de 5 años en su vida útil debido al incremento y optimización de su combustible.
- c) Mejor tecnología de estabilización.
- d) Mayor y más eficiente conversión de energía solar.
- e) Uso de baterías Niquel-Hidrógeno con un mejor desempeño.
- f) Mayor complejidad en el subsistema de antenas que permite una mejor cobertura con conmutación de canales.
- g) Flexibilidad en la carga útil.
- h) Amplificadores de estado sólido de mejor calidad y potencia.
- i) Menor sensibilidad a efectos de intermodulación.
- j) Mayor flexibilidad en amplificadores de redundancia.
- k) En banda C se tiene mayor potencia y posibilidad de conmutación de canales por región.
- L) Por último, en banda Ku se duplica la capacidad en ancho de banda y se incrementa la potencia, incluyendo transpondedores configurables en las regiones de cobertura 4 y 5.

En el anexo 18 se muestra un cuadro comparativo de mejoras tecnológicas entre ambos sistemas, con mayor detalle.

12. Son muchos los beneficios tecnológicos que aporta el sistema de satélites Solidaridad, con lo que México se coloca de nuevo al frente en tecnología satelital; resaltando el hecho de que los Solidaridad son los primeros satélites híbridos en llevar sobre una misma plataforma las bandas C, Ku y L.

13. Dada su cobertura, el SSS incrementará, en los próximos años, el proceso de integración latinoamericana posibilitando un mayor intercambio educativo y cultural, respondiendo ante todo a la necesidad de modernizar y ampliar las telecomunicaciones en México para que nuestras relaciones comerciales sean más provechosas, apoyando la competitividad de nuestras empresas, industrias e instituciones, por lo que concierne al comercio exterior.

14. La aportación fundamental de este trabajo es, por un lado, presentar una recopilación actualizada de toda la información dispersa que existe sobre los satélites de comunicaciones y sus antecedentes; y por el otro, analizar y evaluar la evolución de los mismos en el desarrollo tecnológico del país, y en específico describir en forma detallada las innovaciones que aporta el sistema de satélites Solidaridad y, el significado y alcance de dichos adelantos.

15. Finalmente se puede concluir que, dado lo anterior, se han cubierto los objetivos planteados al inicio, con lo que se han podido comprender a profundidad todos los aspectos relacionados con los sistemas espaciales de telecomunicaciones y se ha demostrado que, al menos, en lo que respecta a uso y control de los mismos, México se encuentra a la vanguardia a nivel mundial.

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**

## BIBLIOGRAFIA

- Blonstein, L. Communications Satellites. Haisted Press. 1986.
- Caprara, G. The Complete Enciclopedia of Space Satellites. U.S.A. Portland House, 1986.
- CONACYT. Científica y Tecnológica. Volumen 13, No. 182. Noviembre de 1991.
- Davidoff, M. The Satellite Experimenter's Handbook. De. The American Radio Relay League, Inc., 1990.
- El Día (diario). Significativo avance de México con los Satélites SOLIDARIDAD, señaló el I.M.C. 11 de febrero de 1991
- El Financiero (diario). Tres empresas en el concurso para construir SOLIDARIDAD I y II. 5 de febrero de 1991.
- El Financiero (diario). Con el satélite SOLIDARIDAD, México quedará en el centro de las telecomunicaciones de América Latina: SCT. 6 de febrero de 1991.
- El Nacional (diario). Lo último en tecnología se utilizará en la construcción de SOLIDARIDAD I. 7 de febrero de 1991.
- El Nacional (diario). Mayor eficiencia en telecomunicaciones alcanzará México con el SOLIDARIDAD I. 8 de febrero de 1991.
- El Nacional (diario). Registran hoy a interesados en construir los satélites SOLIDARIDAD. 11 de febrero de 1991.
- El Nacional (diario). Presentó la empresa Matra Espace oferta para construir los satélites SOLIDARIDAD. 12 de febrero de 1991.
- El Nacional (diario). Enlaza Telmex a 23 ciudades del país con moderna red nacional de telecomunicaciones. 23 de junio de 1993.
- El Sol de México (diario). México puede ingresar al primer mundo de las telecomunicaciones: Lorillo. 5 de febrero de 1991.
- El Sol de México (diario). Integración Cibernética. 5 de febrero de 1991.
- El Sol de México (diario). Telecomunicaciones, integración vía satélite. 5 de febrero de 1991.
- El Universal (diario). Contará DHL con una línea privada conectada con el satélite MORELOS. 8 de febrero de 1991.
- El Universal (diario). Reciben hoy ofertas para construir los satélites SOLIDARIDAD. 11 de febrero de 1991.

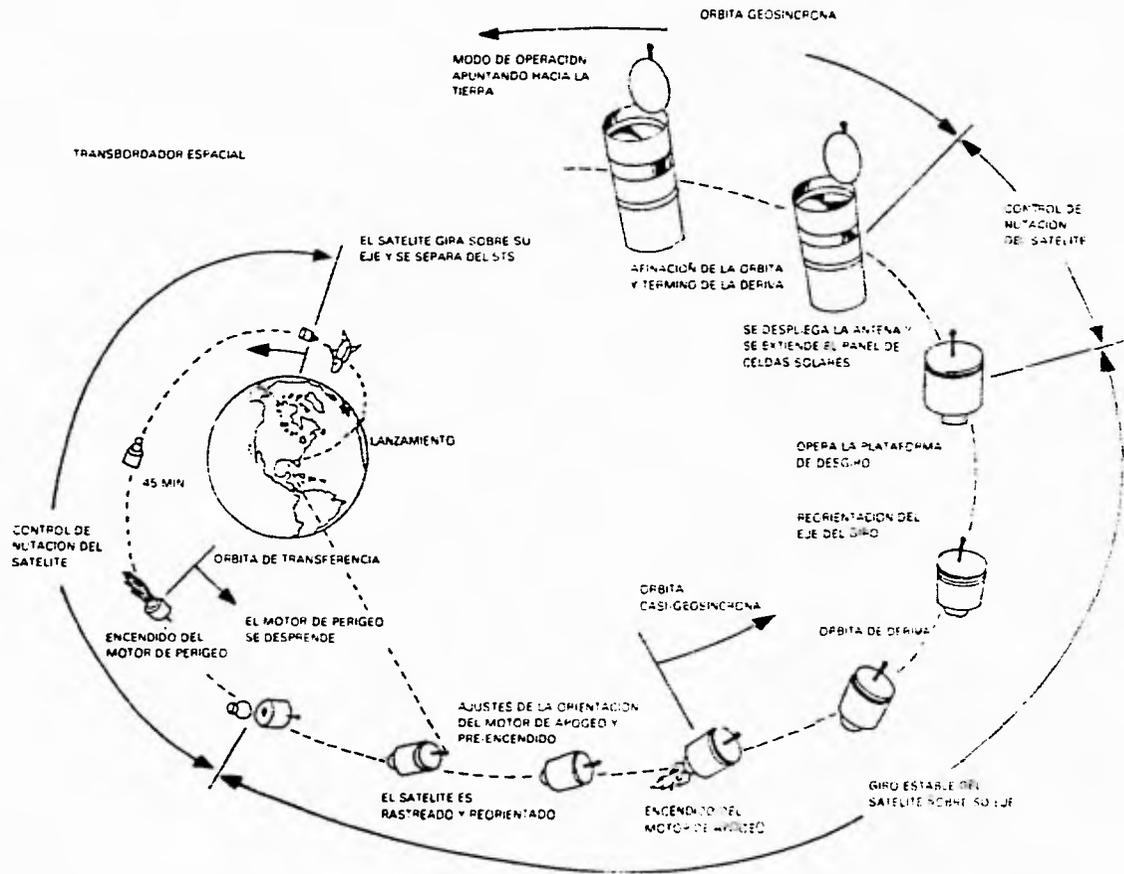
- Excelsior (diario). El grupo Matra concursa por el programa del satélite SOLIDARIDAD. 12 de febrero de 1991.
- Excelsior (diario). Comenzó la recepción de ofertas para la fabricación de nuevos satélites: SCT. 12 de febrero de 1991.
- Excelsior (diario). Se invertirán 103 mil millones de pesos más en los nuevos satélites SOLIDARIDAD. 15 de febrero de 1991.
- Excelsior (diario). La empresa Arianespace lanzará en 1993 y 1994 los satélites SOLIDARIDAD de México. 20 de julio de 1991.
- Excelsior (diario). La expo "Américas Telecom '92" en Acapulco del 6 al 11 de abril. 8 de marzo de 1992.
- Excelsior (diario). México, sede mundial de las telecomunicaciones. 5 de abril de 1992.
- Excelsior (diario). Telecomm moderniza su infraestructura de comunicaciones. 12 de abril de 1992.
- European Space Agency. Columbus. Boletín Informativo. 1987.
- Fernández, J. A. Sistema de Satélites Morelos. Tesis para optar por el grado de Lic. en Comunicación. Universidad Iberoamericana, 1985.
- Freeman, R. L. Telecommunications System Engineering. U.S.A. Ed. Wiley, 1989.
- Gall, R. Las actividades Espaciales en México. México. Fondo de cultura Económica, 1986.
- Hughes. Space and Communications Group. Boletín informativo "Satélites de Comunicaciones Morelos". 1984.
- Landeros, S. y Neri Vela, R. Sistema Morelos de Satélites Domésticos Mexicanos. Teledato Epoca III No. 29, Marzo de 1984.
- Landeros, S. El sistema de satélites Morelos. Mexcom 85, Febrero de 1985.
- Long, M. World Satellite Almanac. U.S.A., CommTeck Publishing company, 1985.
- Martin, J. Communications Satellite Systems, U.S.A. Prentice Hall Inc., 1978.
- Martin, J. Future Developments in Telecommunications. U.S.A. Prentice Hall Inc., 1977.
- Mecánica Popular. TV vía satélite. Volumen 46, No. 5. 1993.

- Neri Vela, R. La exploración y Uso del Espacio. México. Conacyt, 1989.
- Neri Vela, R. Satélites de Comunicaciones. México. McGraw Hill, 1989.
- Nigossian, A. E. Medical attention in NASA's space development program. Conferencia presentada en el International Symposium "Space technology applied to the Health Sciences". México, D. F., Marzo de 1992.
- Novedades (diario). El satélite SOLIDARIDAD cubrirá la mayor parte de Sudamérica. 5 de febrero de 1991.
- Novedades (diario). Tiene grandes posibilidades de éxito el lanzamiento de más satélites SOLIDARIDAD. 16 de febrero de 1991.
- Ovaciones (diario). En días de elección el fabricante del nuevo satélite SOLIDARIDAD. 13 de febrero de 1991.
- Ovaciones (diario). Verán el 19 quién lanzará los satélites de Telecomm. 11 de julio de 1991.
- Ploman, E. Satélites de Comunicación. México. De. G. Gili, 1985.
- Pujos, M. Telescience and telemedicine. Conferencia presentada en el International Symposium "Space technology applied to the Health Sciences". México, D. F., Marzo de 1992.
- Ruelas M., A. L. Las telecomunicaciones mexicanas, retos de la integración económica con E.U.A.. Conferencia presentada en el Seminario "Universidad, telecomunicaciones y sociedad". México, D.F., Marzo de 1992.
- San Esteban, J. E. Space development and its contribution to the improvement of health. Conferencia presentada en el International Symposium "Space technology applied to the Health Sciences". México, D. F., Marzo de 1992.
- Sánchez, D. A. Fibra Optica. Revista Decisión BIT. Marzo de 1990.
- Schwartz, M. Transmisión de Información, Modulación y Ruido. U.S.A. McGraw Hill, 1983.
- Scott, J. C. Infrastructure and requirements for telemedicine. Conferencia presentada en el International Symposium "Space technology applied to the Health Sciences". México, D. F., Marzo de 1992.
- S.C.T. Dirección General de Telecomunicaciones. Sistema Nacional de Satélites Morelos. México, 1986.
- S.C.T. Telecomunicaciones. Historia de las comunicaciones y los transportes en México. 1988.
- Serrano P., A. Telecomunicación y Desarrollo. Nuevos usos y aplicaciones a las telecomunicaciones. Conferencia presentada en el Seminario "Universidad, telecomunicaciones y sociedad". México, D.F., Marzo de 1992.

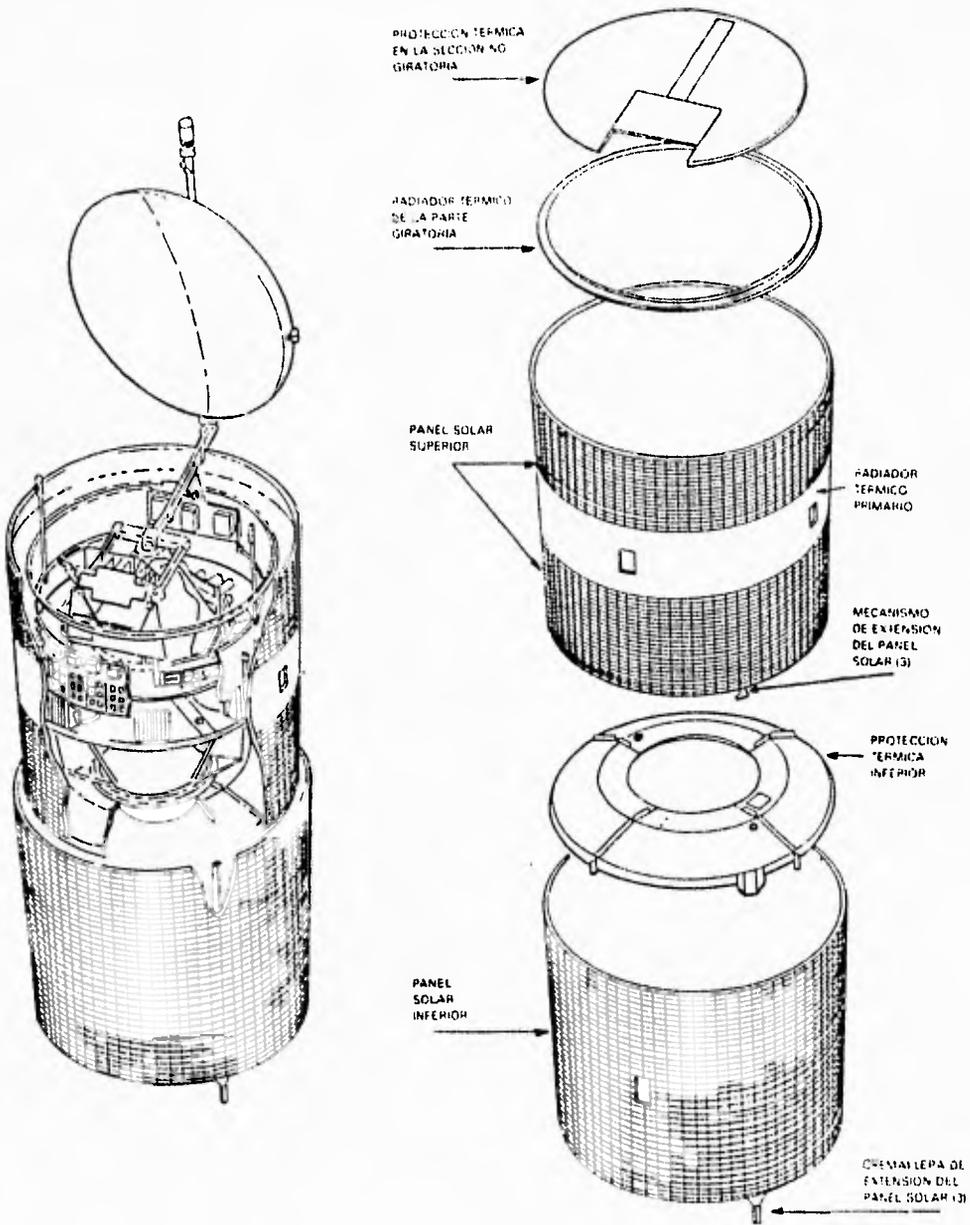
- Sion, E. domestic Satellite Communications for latin America. U.S.A. Hughes A. C. 1983.
- Soberón, K. R. y Neri Vela, R. El ingeniero en electricidad y electrónica, ¿qué hace? Alhambra Mexicana, 1984.
- TELECOMM, SCT. Segunda Generación de Satélites mexicanos de telecomunicaciones SOLIDARIDAD. Enero de 1991.
- TELECOMM, SCT. Transición de servicios del satélite Morelos I al satélite Solidaridad I. Junio de 1993.
- TELECOMM, SCT. Conferencia de telecomunicaciones. Mejoras tecnológicas en el sistema de satélites SOLIDARIDAD. Inédito. 1992.
- TELECOMM, SCT. Informa. Año 2, No. 6. Marzo de 1991.
- TELECOMM, SCT. Teledato. Año 18, No. 52. Otoño de 1990.
- TELECOMM, SCT. Teledato. Año 19, No. 53. 1991.
- TELECOMM, SCT. (comunicado). Dictamen del fallo sobre las propuestas para la licitación pública internacional TM-ADQ 24/P.I.C. para los servicios de lanzamiento de los satélites SOLIDARIDAD. 19 de julio de 1991.
- TELECOMM, SCT. (comunicado). Sistema de satélites SOLIDARIDAD. Convocatoria Licitación Pública Internacional No. TM-ADQ 37/90 P.I. 3 de diciembre de 1990.
- UNAM. Curso de Telecomunicaciones vía Satélite. México. división de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería, 1988.

## ANEXOS

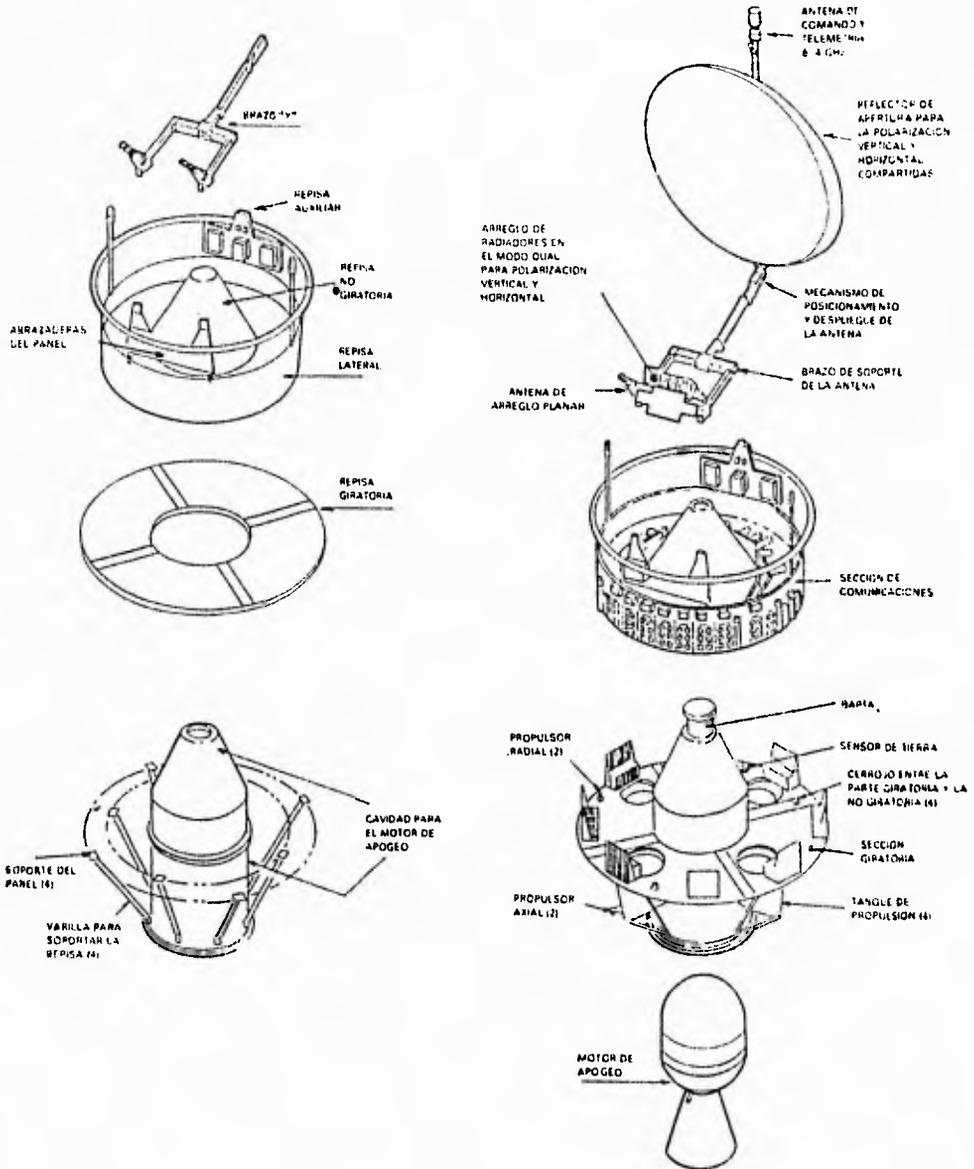
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100



## Anexo 2

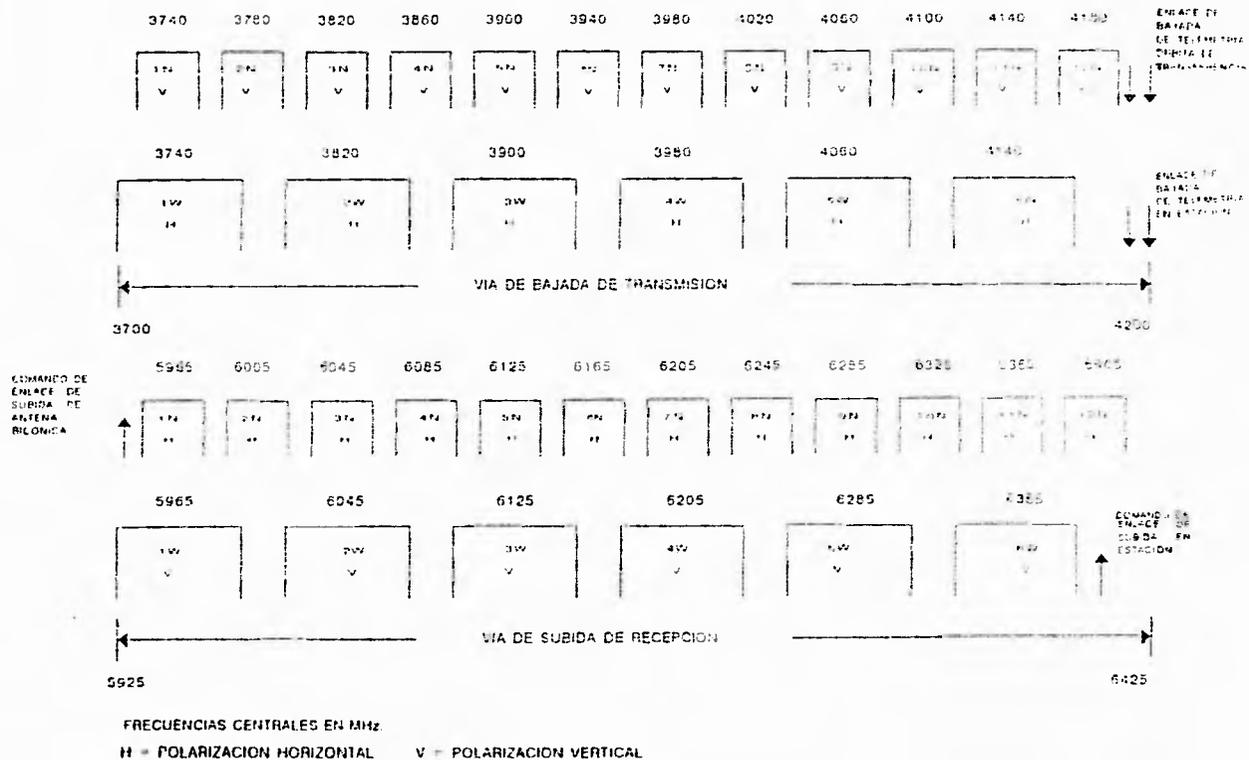


### Anexo 3



PLAN DE POLARIZACION Y FRECUENCIAS

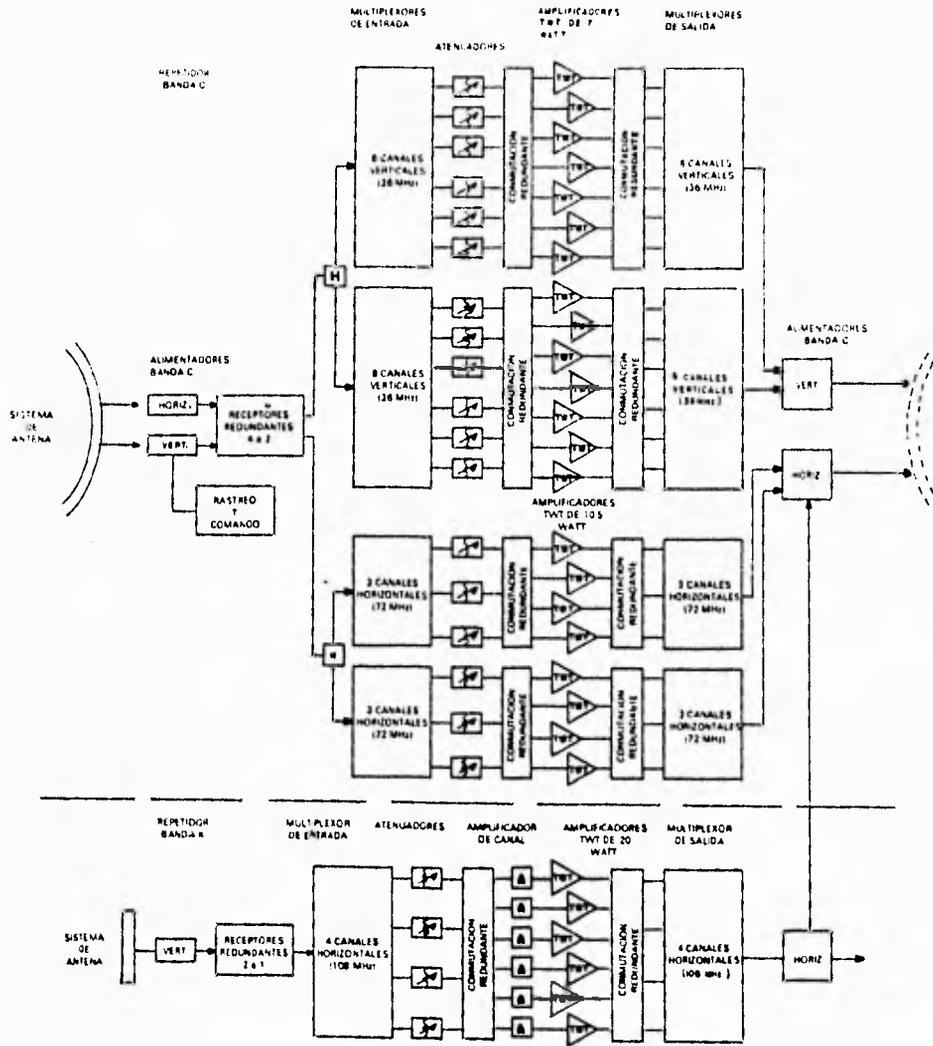
BANDA C



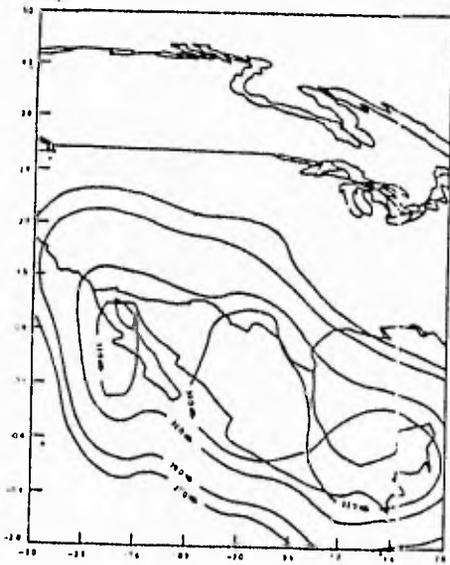
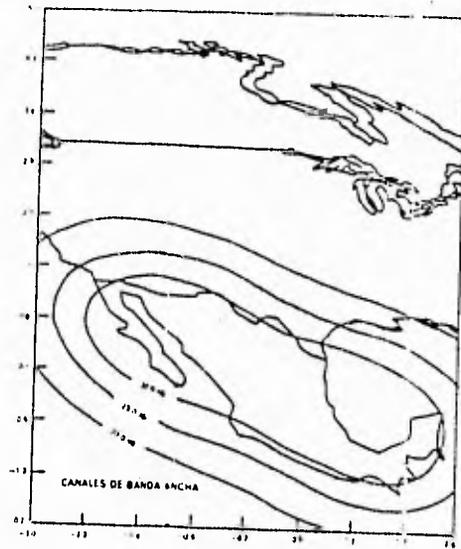
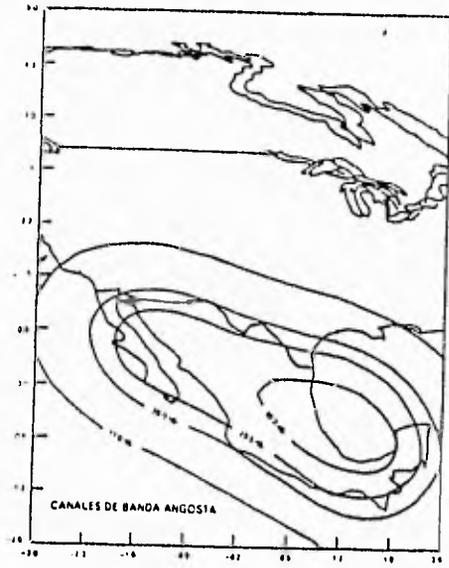
ANEXO 4



# Anexo 6



Anexo 7



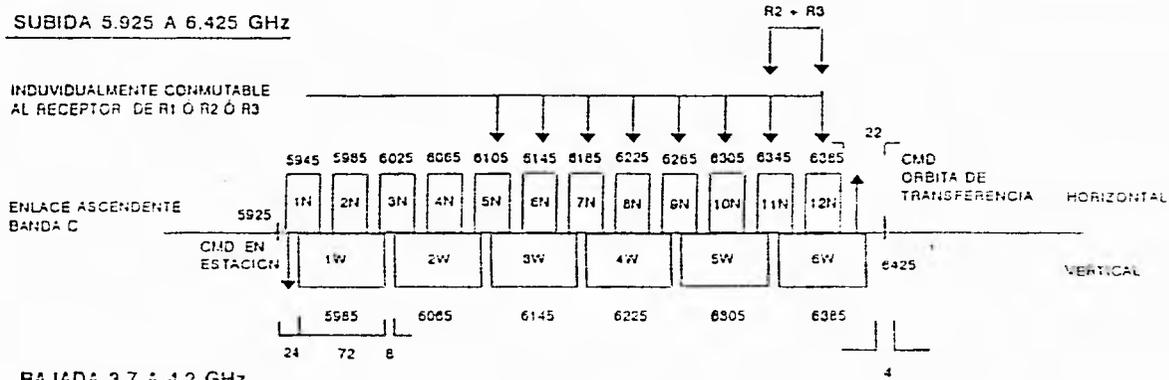


CARGA UTIL	BANDA C		BANDA Ku	BANDA L
	POLARIZACION		POLARIZACION	POLARIZACION
	VERTICAL	HORIZONTAL	LINEAL ORTOGONAL	CIRCULAR DERECHA
TRANSPONDEDORES ACTIVOS	12	6	16	1
ANCHO DE BANDA  (MHz.)	36	72	54	ND

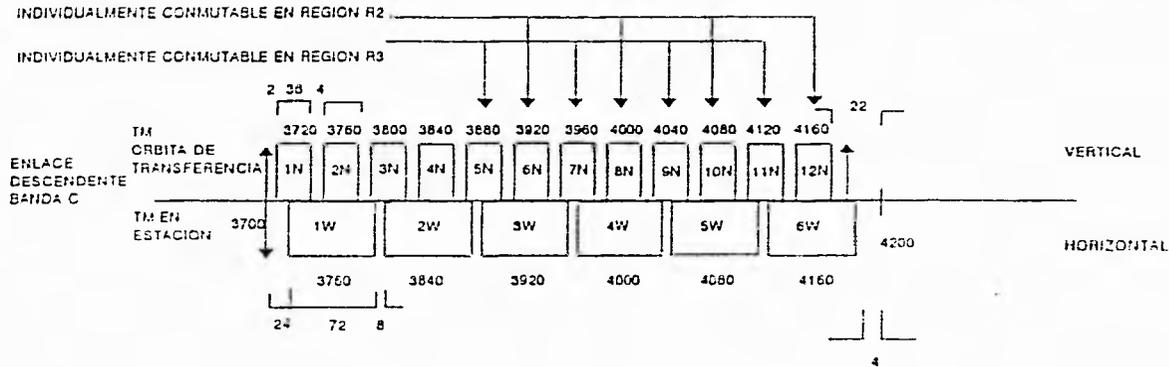
Anexo 9

# PLAN DE FRECUENCIA BANDA C

## SUBIDA 5.925 A 6.425 GHz

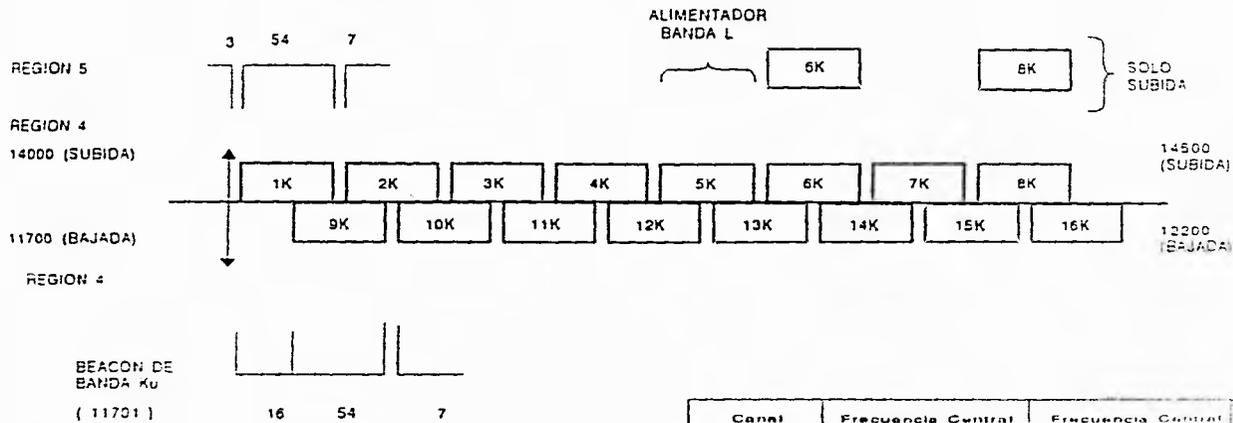


## BAJADA 3.7 A 4.2 GHz



# PLAN DE FRECUENCIA BANDA Ku

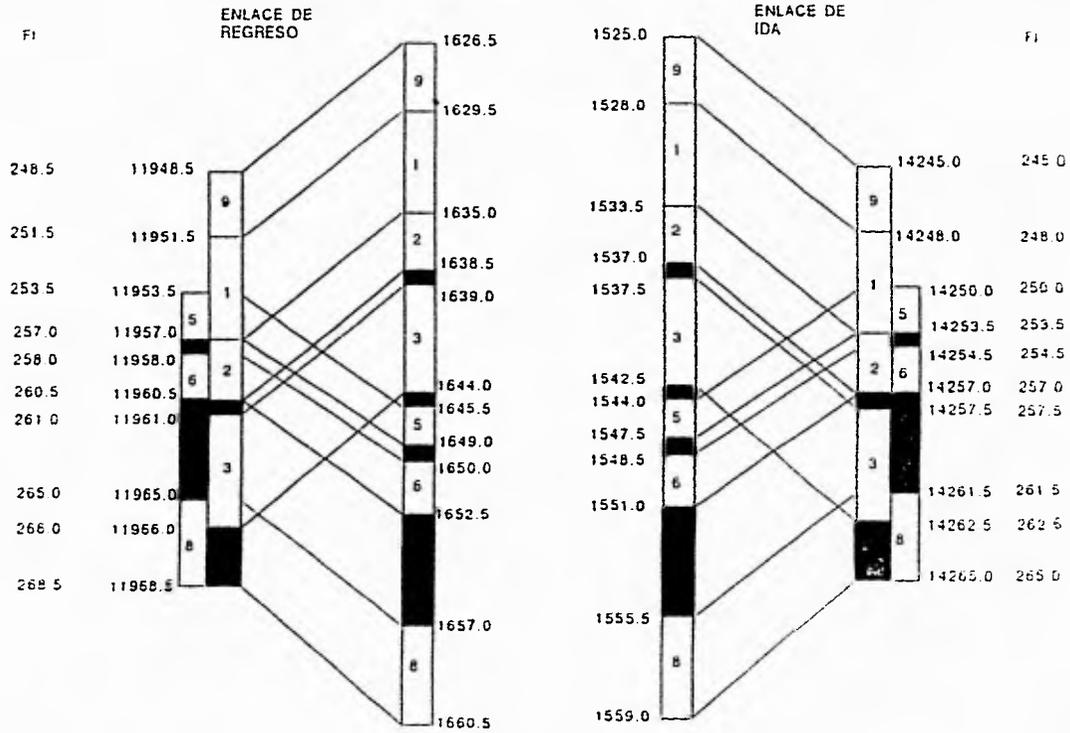
ENLACES ASCENDENTES VERTICAL Y DESCENDENTES HORIZONTAL



ENLACES ASCENDENTES HORIZONTAL Y DESCENDENTES VERTICAL

Canal No.	Frecuencia Central Descendente, MHz	Frecuencia Central Ascendente, MHz
1	11730	14030
2	11761	14061
3	11852	14152
4	11913	14213
5	11974	14274
6	12035	14335
7	12096	14396
8	12157	14457
9	11743	14043
10	11804	14104
11	11865	14165
12	11926	14226
13	11987	14287
14	12048	14348
15	12109	14409
16	12170	14470

# PLAN DE FRECUENCIAS BANDA L MHz



# SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD

COBERTURA BANDA "C"



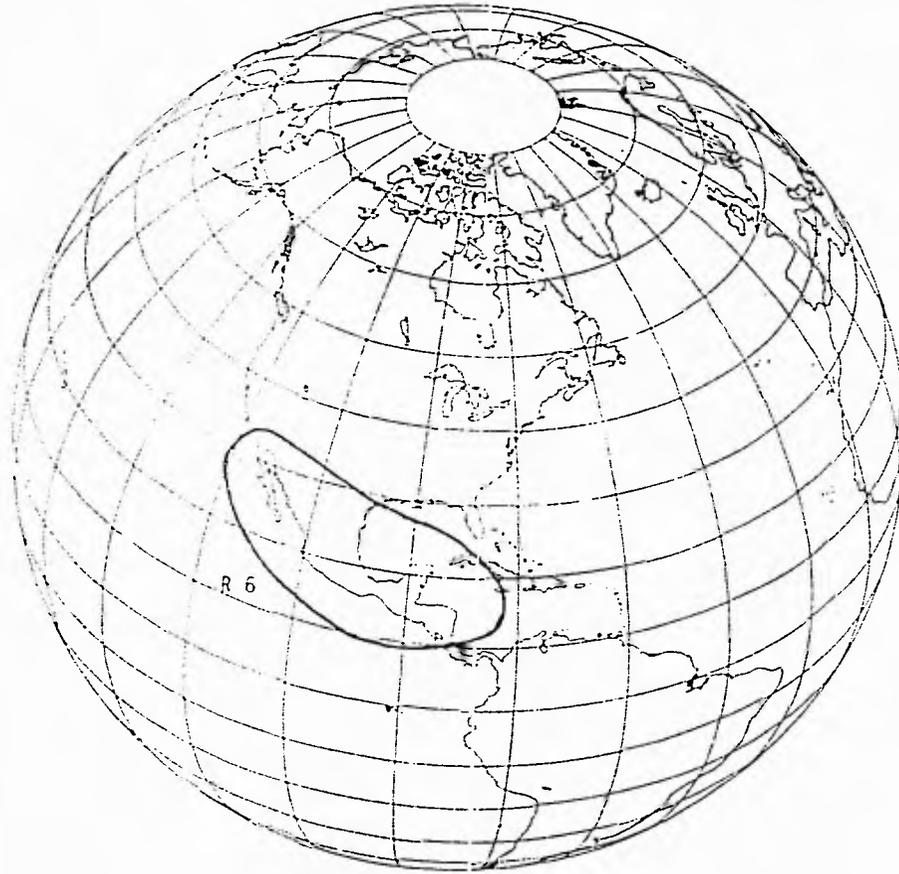
# SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD

COBERTURA BANDA "KU"

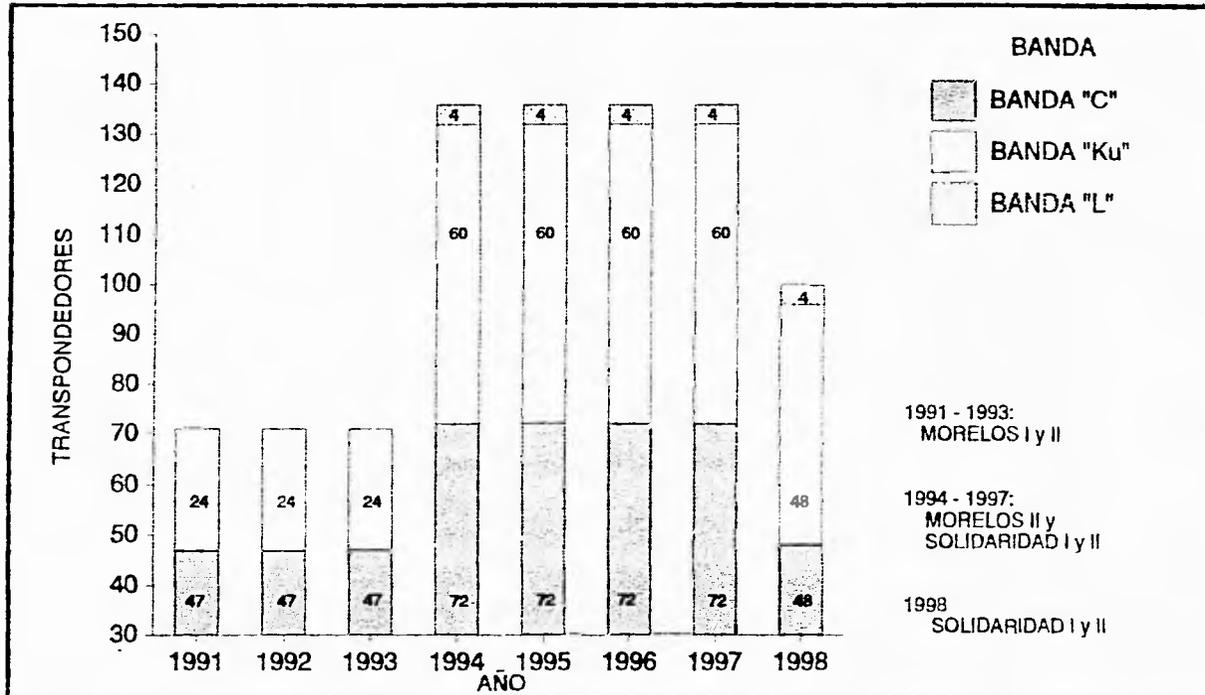


# SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD

COBERTURA BANDA "L"



	ESTABILIDAD	PESO	POTENCIA	VIDA UTIL	DIMENSIONES
MORELOS 	ROTACION GIRATORIA	666 Kg	800 Watts	9 AÑOS	2.17 x 6.61 mts
SOLIDARIDAD 	TRIAxIAL	2754 Kg	2500 Watts	14 AÑOS	11.0 x 25.5 mts



Anexo 18

CUADRO COMPARATIVO DE MEJORAS TECNOLOGICAS  
DEL SISTEMA SOLIDARIDAD vs. MORELOS

SISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACION

MORELOS

- ESTABILIZACION POR GIRO
- MODOS DE CDNTRDL :  
PRIMARIO: RASTREO BEACON RF, 2 EJES  
RESPALDO: SENSOR DE TIERRA (SOLO AZIMUT)  
ALTERNOS: RATE Y PSEUDOTIERRA
- SENSORES DE REFERENCIA INERCIAL DOS DE TIERRA Y DOS DE SOL.
- SENSOR DE NOTACION :2 ACELEROMETROS
- ERROR DE APUNTAMIENTO (MODO PRIMARIO CON MANIOBRAS)  
NORTE - SUR 0.049°  
ESTE - OESTE 0.047°  
ROTACION DE BEAM 0.14°

SOLIDARIDAD

- ESTABILIZACION POR CUERPO
- PROCESADOR DE CONTROL DEL SATELITE
- OPERACION AUTOMATICA SIN COMANDOS DE TIERRA ENTRE MANIOBRAS
- CAPACIDAD DE OPERACION EN ESTADD SEGURO CON IMPULSORES DESHABILITADOS
- MANIOBRAS DE CONSERVACION DE LA POSICION ORBITAL CON IMPULSORES DE 5 Lb/1 QUE SON BREVES Y EFICIENTES.
- LOGICA DE PROTECCION DE FALLA AUTOMATICA QUE SALVA AL VEHICULO SIN EMPLEO DE IMPULSORES.
- CONTROL DE MODO AUTOMATICO PARA LA ADQUISICION DE TIERRA.
- CONTROL DEL BIAS DE MOMENTO EN ORBITA DE OPERACION.
- ACTUADOR DE RUEDA DE MOMENTO CON BALANCINES DOBLES EN ESTADO FIJO.
- CONTROL DE MOMENTO ROLL/YAW POR TORQUE MAGNETICO; IMPULSORES NO REQUERIDOS.

SUBSISTEMA DE POTENCIA

MDRELOS

SOLIDARIDAD

POTENCIA 777 W

POTENCIA 3370 W

BATERIAS

NIQUEL - CADMIO

2 BATERIAS:

32 CELDAS POR PAQUETE

NIQUEL-HIDROGENO

1 PAQUETE DE 8 CELDAS

1 PAQUETE DE 7 CELDAS

2 PAQUETES DE 6 CELDAS

CAPACIDAD DE 23.5 A-Hr

CAPACIDAD DE 160 A-Hr

VOLTAJE PROMEDIO EN ECLIPSE DE 39.6V  
(BOL)

VOLTAJE PROMEDIO EN ECLIPSE DE 33.5V  
(EOL) (CONTROL DE DESCARGA AUTOMATICO)

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

BANDA C: TWTA

Txp 36MHz - 7Watts

BANDA C: SSPA

Txp 36MHz

R1 10.3 Watts

R2 16 Watts

R3 10.3 Watts

Txp 72 MHz-R1 14.4 Watts

Txp 72MHz - 10.5Watts

BANDA Ku: TWTA

Txp 108MHz - 19.4 Watts

BANDA Ku: TWTA

Txp 54 MHz - 43.6 Watts

BANDA L: SSPA

Txp 27 MHz 21.6 Watts

BANDA C: G/T

Txp 36MHz 6.12 dB/°K

Txp 72MHz 4.49 dB/°K

BANDA C: G/T

Txp 36 MHz

R1 = +2.7dB/°K

R2 = 0.0 dB/°K

R3 = +2dB/°K

BANDA Ku: G/T

Txp 108MHz 0.82 dB/°K

BANDA Ku: G/T

Txp 54 MHz-

R4 = +2.5dB/°K

R5 = +2.5dB/°K

BANDA L: G/T

Txp 27 MHz-R6 = -1.5dB/°K

COBERTURA

MEXICO

BANDAS:  
C y Ku

PIRE BANDA C  
T<sub>xp</sub> 36 MHz 36dBw

T<sub>xp</sub> 72 MHz 39 dBw

BANDA Ku  
T<sub>xp</sub> 108 MHz 44.3 dBw

TRANSPONEDORES:  
BANDA C y Ku  
NOMINALES

REFLECTOR:  
BANDA C (T<sub>x</sub>,R<sub>x</sub>) y Ku. (T<sub>x</sub>):APERTURA DUAL

TAMAÑO : 1.8034m  
LONGITUD FOCAL: 1.524m

POLARIZACION: LINEAL, VERTICAL Y HORIZON-  
TAL

BANDA Ku (R<sub>x</sub>)

ARREGLO PLANAR

COBERTURA

MEXICO,CENTROAMERICA, EL CARIBE,  
SUDAMERICA Y LAS CIUDADES MAS IMPOR-  
TANTES DE LOS ESTADOS UNIDOS

BANDAS:  
C, Ku y L

PIRE BANDA C  
T<sub>xp</sub> 36MHz  
R1=37.5 dBw  
R2=37.0 dBw  
R3=37.0 dBw

T<sub>xp</sub> 72MHz 40.5 dBw

BANDA Ku  
T<sub>xp</sub> 54MHz  
R4=47.0 dBw  
R5=46.4 dBw

BANDA L  
T<sub>xp</sub> 27MHz  
PIREA=45.5 dBw

TRANSPONEDORES:  
BANDA C CONMUTABLES

REFLECTOR:  
BANDA C y Ku (R<sub>x</sub> y T<sub>x</sub>): X-WING

TAMAÑO: 1.83m x 2.44m  
LONGITUD FOCAL: 2.03m

POLARIZACION: LINEAL, VERTICAL Y  
HORIZONTAL

REFLECTOR ESTE CON:RPM

BANDA L:

26 DIPOLOS DE COPA

#### SUBSISTEMA DE PROPULSION

DOS MEDIOS SISTEMAS REDUNDANTES DE  
HIDRAZINA

NUM. DE IMPULSORES:  
2 RADIALES 5.7 lbf c/u  
2 AXIALES 5.8 lbf c/u

SISTEMA BIPROPELANTE INTEGRAL

NUM. DE IMPULSORES  
12 DE 5 lbf  
1 DE 110 lbf

ESTRUCTURA : MODULAR

EL SISTEMA DE MEDICION DE PROPELANTE  
PROPORCIONA UNA DETERMINACION EXACTA  
AL FINAL DE LA VIDA UTIL.

#### SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO

DISEÑO PASIVO: RECHAZO DE CALOR  
PRIMARIO RADIAL Y CALENTADORES

DISIPACION DE CALOR DE CARGA UTIL

CARGA SOLAR VARIABLE MINIMIZADA

HARDWARE DE EQUIPO Y PROPULSION LIMITADO  
EN BAJA TEMPERATURA

EQUIPO TERMICAMENTE SENSITIVO ESTRECHA-  
MENTE CONTROLADO