



34

28

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**"ARAGON"**

FALLA DE ORIGEN

**DESARROLLO DE LAS TECNOLOGIAS DE  
COMUNICACIONES A NIVEL MUNDIAL POR  
MEDIO DE REDES ESPECIALES MEDIANTE  
SATELITES DE ORBITA BAJA**

T E S I S  
Que para obtener el Título de:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICO**  
P r o p o s i t a :  
**JOEL HERNANDEZ VALDEZ**

**Asesor: Ing. Raul Roberto Briblesca Correa**

San Juan de Aragón, Edo. de Méx.

1995



## **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 está 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.

***Dedico este trabajo de tesis  
con todo mi cariño a mis padres:***

***Aarón Hernández García,  
y  
Teresa Valdés Pérez.***

***A mis hermanos:***

***Gabriela Hernández Valdés.***

***Uriel Aarón Hernández Valdés.***

***y***

***Zaira Lizeth Hernández Valdés.***

***Por toda la confianza, el cariño y el apoyo brindado  
durante todos estos años.***

***"Gracias"***

***Agradezco:***

***A la Escuela Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL), por las facilidades prestadas para la realización de la presente tesis, y en especial al Ing. Luis Angel García Jurado por su valiosa ayuda y cooperación.***

***A Euridice Flores Ocegüera:***

***Por que gracias a su confianza,  
cariño y amor pude llegar a concluir  
satisfactoriamente una meta que ahora  
es una realidad.***

***Gracias.***

***“Te amo”***

**DESARROLLO DE LAS TECNOLOGIAS DE  
COMUNICACIONES A NIVEL MUNDIAL POR MEDIO DE  
REDES ESPACIALES MEDIANTE  
SATELITES DE ORBITA BAJA**

# ÍNDICE

## PROLOGO

### I INTRODUCCION

1.1	Satélites artificiales.	1
1.2	Estructura de un sistema celular.	5
1.3	Sistema de comunicación via satélite.	7
1.3.1	Bandas de frecuencia para satélites.	10
1.4	Sistemas de comunicaciones móviles via satélite.	11
1.4.1	Clasificación de los sistemas de comunicación móvil via satélite.	13
1.5	Sistema de comunicación personal por satélite.	16
1.5.1	Definición del servicio.	16
1.6	Implementación del sistema MAGSS.	17
1.7	La M-HEO: Orbita Elíptica Multiregional altamente inclinada en el contexto del programa ARCIHMEDES.	19
1.8	Asignación de frecuencias para los satélites de Orbita Baja.	23

### 2 EVOLUCION DE LAS REDES

2.1	Introducción de los servicios móviles por satélite.	26
2.1.1	Comunicaciones con satélites no geostacionarios.	26
2.2	Desarrollo de las redes fijas.	29
2.2.1	Red digital de servicios integrados (ISDN).	29
2.2.2	Servicios ISDN.	32
2.2.3	Atributos.	34
2.3	Red Inteligente.	35
2.3.1	El concepto de la IN.	35
2.3.2	Arquitectura de la IN.	37
2.3.2.1	Conmutación del servicio.	37
2.3.2.2	Control del servicio.	37
2.3.2.3	Creación del servicio.	37
2.3.2.4	Manejo del servicio.	38
2.3.3	Servicios avanzados.	39
2.4	Desarrollo de las redes móviles.	40
2.4.1	Primera generación: Sistema analógico.	41
2.4.2	Segunda generación: Sistemas celulares digitales.	42
2.4.3	Tercera generación: Sistemas microcelulares.	43
2.4.4	Sistemas de telecomunicación móvil terrestre público del futuro.	44
2.5	Redes móviles por satélite.	45
2.5.1	INMARSAT-A.	46

2.5.2	INMARSAT-B.	46
2.5.3	INMARSAT-C.	47
2.5.4	El sistema-p de INMARSAT.	47
2.6	Señalización.	48
2.6.1	Señalización por canal asociado (CAS).	49
2.6.2	Señalización por canal común (CCS).	51
2.6.2.1	Estructura básica.	52

### **3 POLITICAS Y NORMAS**

3.1	Normalización internacional.	55
3.1.1	Estandarización.	56
3.1.2	Regulación.	56
3.1.3	Organización.	57
3.2	Comisión federal de comunicaciones (FCC).	57
3.3	Propuestas para el servicio MSS en LEO.	58
3.4	Proceso de negociación Rulemaking.	60
3.5	Servicio telefónico público con aeronaves.	61
3.5.1	Aspectos generales de operación.	61
3.5.2	Técnicas del servicio telefónico móvil público con aeronaves.	63
3.5.3	Aeronaves comerciales en E.U. y Canadá.	64
3.5.3.1	Aspectos técnicos.	64
3.6	Procedimiento de normalización internacional.	66
3.6.1	INMARSAT.	69
3.6.2	MARATHON.	69
3.7	Normas de Europa.	69
3.7.1	Recomendaciones de la CEPT.	70
3.8	Características técnicas y de explotación para los servicios móviles por satélite.	70

### **4 TECNOLOGIA DE TERMINALES MOVILES**

4.1	Diseño de la terminal móvil de la serie 1000 Westinghouse.	74
4.1.1	Procesamiento de señal digital (DSP).	76
4.1.2	La antena de la unidad.	77
4.1.3	Interfase con el usuario.	78
4.2	Terminal BLQS-CDMA.	80
4.2.1	Red empresarial de comunicación móvil por satélite (MSBN).	80
4.2.2	Objetivos del ensayo.	82
4.2.3	Configuración el ensayo.	83
4.2.4	Desempeño del enlace sincronizado RTN.	85
4.3	Terminal móvil ACTS.	87
4.3.1	Satélite ACTS.	87

4.3.2	Sistema de tracción de la antena.	88
4.3.3	Sistema de recepción móvil.	90
4.4	Antenas de terminales móviles.	92
4.4.1	Antenas de bajo costo para aplicaciones vehiculares MSAT.	92
4.4.2	Antena reflectora de vehículos móviles por satélite en las bandas K y Ka para la terminal móvil ACTS de la NASA.	98
4.4.3	Arreglo de antenas en banda K y Ka para terminales móviles ACTS de la NASA.	102
4.4.4	Antena monopulse microbanda para aterrizar comunicaciones móviles.	109
4.4.5	Antenas de anillos supercuadráticas acopladas y aisladas para aplicaciones en comunicaciones móviles.	116
4.4.6	Antenas de terminales móviles para helicópteros en banda-L.	123
4.4.5	Controlador de antena aeronáutica usando un sensor de campo magnético.	128
4.5	Altitud orbital.	135

## **5 AVANCE DE LA TECNOLOGIA SATELITAL EN LAS COMUNICACIONES MUNDIALES**

5.1	Aplicaciones del sistema celular terrestre.	142
5.2	Puertos para portadores.	144
5.3	La tecnología llena vacíos y baja costos.	145
5.3.1	Diferencias entre países en vías de desarrollo y países industrializados.	145
5.3.2	Recomendaciones a los proveedores del servicio móvil vía satélite.	148
5.3.3	Recomendaciones a los organismos reguladores y de políticos de los países en vías de desarrollo.	150
5.4	Confección de arquitectura del sistema ELLIPSO.	152
5.5	El sistema LEO adopta la tecnología CDMA.	155
5.6	Asignación de frecuencias para los satélites de órbita baja.	156
5.7	Futuras redes de sistemas móviles satelitales en órbita baja.	166
5.7.1	Proyecto IRIDIUM.	157
5.7.2	Proyecto ELLIPSO.	171
5.7.3	Proyecto GLOBALSTAR.	172
5.7.4	Proyecto ARIES.	173

## **CONCLUSIONES**

## **ACRONIMOS**

## **BIBLIOGRAFIA**

## PRÓLOGO

## PRÓLOGO

El principal objetivo de este trabajo de tesis, es el de conocer el desarrollo actual y futuro de las comunicaciones por medio de satélites de órbita baja, con la tendencia a desarrollar criterios sobre las características y arquitectura conveniente de operación y de desarrollo tecnológico en México.

Es relevante hacer resaltar la importancia que tiene y ha tenido la comunicación, así como sus medios de transmisión a través de la evolución del hombre. Desde su aparición sobre la faz de la Tierra, la especie humana siempre ha tenido la necesidad de expresar sus ideas y la forma de llevarlas a cabo. Gradualmente, a medida que los hombres tuvieron más y más cosas que comunicarse, elaboraron maneras cada vez más perfectas de hacerlo, hasta que sus gritos se convirtieron en habla o lenguaje.

Cuando los hombres aprendieron a comunicarse unos con otros a través del habla, habían recorrido largo camino hacia la ruptura de las limitaciones de la comunicación. Si se quería decir algo a un hombre que se encontraba a un kilómetro de distancia, tenía que ir hasta allá o enviar a alguien que transmitiera el mensaje; además el proceso era muy lento.

Después de un tiempo los hombres hallaron la manera de superar la dificultad, y utilizaron otros medios para comunicarse como son: señales de humo, tambores, etc.

Posteriormente se desarrolló la escritura, la cual era y es una forma de transmitir más concreta, actualmente se usan periódicos, teléfono, radio, televisión y sus diferentes medios de transmisión, como son cable coaxial, fibra óptica, microondas, satélites; siendo éste último el que adquiere especial interés para nuestro estudio.

Los satélites de comunicación han capturado el interés de muchos sectores. Donde gracias al desarrollo de la tecnología espacial, existen satélites que permiten a los pueblos más alejados tener contacto con ciudades importantes.

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

En general, todos los satélites artificiales funcionan bajo el mismo principio y constan de varias partes comunes, independientemente de su objetivo en órbita alrededor de la Tierra. Existen algunas diferencias fundamentales entre ellos, pero de cualquier forma todos necesitan, una cantidad de celdas para alimentarse de energía, antenas para transmitir su información a ciertos puntos del planeta y también, para recibir instrucciones, así como medios de propulsión para corregir su órbita, posición u orientación con respecto a la Tierra.

Los satélites integran una gran familia, y parte de ella la constituyen los que están abocados específicamente a los servicios de comunicaciones; dentro de estos últimos, existen algunas variantes, pero los geoestacionarios son los que más se utilizan en la actualidad. Con ellos es ahora posible comunicar lugares muy alejados e inaccesibles, la cantidad y la variedad de la información que transmiten y/o reciben es sorprendente. Por ejemplo, se puede ver en vivo un programa de televisión que se estén transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo aun en el caso que sea una embarcación que surca en altamar, transmitir todas las páginas de un periódico -incluyendo fotografías- a un lugar remoto para que éste se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, transmitir cursos de actualización y de entretenimiento, efectuar diagnósticos médicos a cientos o miles de kilómetros de distancia, realizar transacciones bancarias, actualizar ó consultar bancos de datos de computadoras y muchas cosas más que contribuyen a la dinámica evolutiva de la sociedad moderna.

El primer ensayo de un servicio móvil por satélite, se efectuó con el Syncom II, un satélite norteamericano puesto en órbita en 1963, y fue seguido por los realizados por la serie ATS. En 1969, el TACSAT, del departamento de defensa de los E.U. se suministró un servicio de banda estrecha en ondas decimétricas para usos militares.

La Corporación de Comunicaciones Móviles por Satélite (COMSAT) puso en órbita el satélite Marisat, que inicialmente estaba destinado inicialmente a las comunicaciones militares, pero éste también llevaba un equipo de banda L para proporcionar servicios a usuarios comercialmente importantes. en el mismo año las naciones marítimas adoptaron el convenio y acuerdo de explotación de la Organización de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite. INMARSAT arrendó capacidad en los tres satélites Marisat, a fin de dar servicio a un número creciente de usuarios marítimos. La conferencia internacional que condujo a la formación de INMARSAT, recomendó también que se estudiase la posibilidad de suministrar comunicaciones aeronáuticas.

Actualmente el único sistema móvil civil vía satélite del mundo, que ofrece cobertura mundial es el ofrecido por INMARSAT, el cual consiste en una red que es utilizada por más de cinco mil barcos.

La Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), constituyó un grupo técnico de expertos denominados ASTRA (Application of Space Technology to Aviation) para desarrollar los posibles usos de la tecnología de los satélites y formular planes para la introducción de las técnicas especiales de la aviación civil.

Los primeros trabajos del grupo ASTRA, dieron buen resultado aunque acabó siendo víctima de un deseo de ahorrarse demasiado, sin darse cuenta de las repercusiones económicas que tenía para los usuarios del espacio.

De esta forma puede verse, por que una industria de alta tecnología como la aviación civil no abordó en forma inmediata la aplicación de los servicios vía satélite. En la época del grupo ASTRA y actualmente.

El servicio móvil terrestre por satélite se encuentra todavía en una fase de estudios preliminares, pero puede representar una forma eficaz de dar cobertura a zonas muy amplias o aisladas. Las primeras aplicaciones de este servicio se realizaron con equipo de comunicaciones móviles INMARSAT norma A, como el que opera en los barcos desde los centros de operación de rescate.

En Noviembre de 1984, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los E.U. publicó su "Notificación de Disposición Proyectada", relativa a la atribución del espectro para un servicio móvil terrestre vía satélite y el establecimiento de este servicio. Al vencer el plazo previsto la FCC había recibido doce solicitudes. En las que se proponían un suministro de una variedad de servicios de mensajes unidireccionales y bidireccionales en el marco de los servicios móviles terrestres, marítimos y aeronáuticos vía satélite. Algunos de los solicitantes preveían un mercado de más de un millón de usuarios para los primeros años del decenio de 1990.

El Servicio Móvil Satelital (MSS) tiene como objetivo principal proporcionar servicios de telefonía móvil, radiocomunicaciones y telefonía rural.

Los servicios de radio terrestre, tales como la radio móvil privada y la celular, están limitadas en alcance, prácticamente por la altura de la antena y por los efectos de propagación que producen el desvanecimiento del multirayecto.

El MSS esta llegando a ser un mercado viable para los que tienen dificultades de alcance, también se espera un desarrollo a paso rápido debido a que este servicio puede satisfacer necesidades de un gran número de usuarios, así como prever ciertos servicios los cuales no serían posibles o serían demasiado caros por la vía alterna terrestre. Los atributos de MSS se derivan de la geometría de los servicios de comunicaciones de los satélites geoestacionarios.

Es así, como un satélite puede casi cubrir el hemisferio entero y puede cubrir fácilmente todo el continente. Así, los MSS pueden proporcionar un servicio con un gran alcance de la señal que abarca el satélite.

Los sistemas pueden proveer todos los servicios que proveen los sistemas terrestres, llámese servicio de voz, incluyendo radio, telefonía y despacho de voz, datos de banda ancha, mensajería de paquetes, localización de posición y búsqueda de vehículos. A diferencia del sistema terrestre actual, los satélites pueden proveer todos estos servicios en una área, una capacidad de servicio grande.

El capítulo 1 menciona la estructura básica de los satélites artificiales, las bandas de frecuencias utilizadas del espectro electromagnético para las comunicaciones por satélite además de sus características principales. Presenta también un panorama sobre la clasificación de los sistemas de comunicación móvil vía satélite y una reseña sobre el sistema MAGSS para comunicaciones móviles.

El capítulo 2 se refiere a la evolución que han tenido las redes fijas como la ISDN y el concepto de la futura red Inteligente, su arquitectura, conmutación y control del servicio a brindar. Se habla de el desarrollo de las redes móviles en su primera, segunda y tercera generación, así como los principales sistemas que proporciona INMARSAT y su conectividad con la red telefónica pública.

El capítulo 3 describe los criterios de Organismos Internacionales como lo son la UIT y la FCC, para determinar la asignación de frecuencias y la expedición de licencias en la explotación de los Sistemas Móviles Satelitales (MSS). También se refiere a los estándares y las características técnicas de los equipos móviles así como la normatividad a que están sujetos.

El capítulo 4 desarrolla lo referente a los enlaces entre la estación terrestre y los usuarios móviles; sistemas como el MSBN del cual se proporciona un ensayo en el que se describe el satélite, la estación de monitoreo y el equipo MES y FES. Se menciona una variedad de antenas para usos móviles para vehículos y helicópteros. Además algunas características de las antenas del satélite.

El capítulo 5 menciona algunos proyectos financiados por compañías privadas como: Motorola en sus sistema IRIDIUM, TRW en su sistema ODYSSEY, Ellipso en su sistema ELLIPSAT, Loral/Qualcomm en su sistema GLOBALSTAR y la Compañía de Comunicaciones Constellation en su sistema ARIES; que pretenden ofrecer servicios de comunicaciones móviles satelitales de órbita baja, conocidos como LEOS (Satélites de Órbita Baja).

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# 1 INTRODUCCION

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

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

Los satélites integran una gran familia, y parte de ésta la constituyen los que están abocados específicamente a los servicios de comunicaciones, dentro de estos últimos, existen algunas variantes, pero los geostacionarios son los más importantes y los que más se utilizan en la actualidad. Con ellos es ahora posible comunicar lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que transmiten y reciben es sorprendente. Por ejemplo, se pueden ver en vivo programas de televisión que se estén llevando a cabo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, etcétera.

## 1.1 SATELITES ARTIFICIALES

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto de vista sobre la superficie de la tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificó años más tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas. Además, casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo 3 satélites colocados en esa órbita tan especial (fig.1.1.1).

La tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas; si se coloca un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

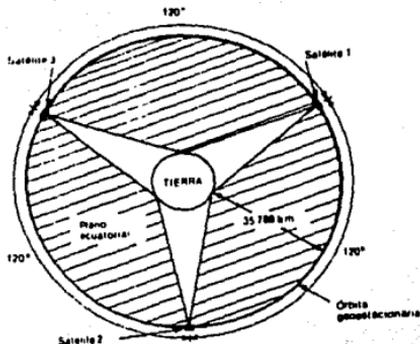


Figura 1.1.1 Clarke indicó que con solamente tres satélites en órbita geoestacionaria sería posible intercomunicar por radio a casi la totalidad del mundo.

La idea de Clarke era muy buena y debían cumplirse varios requisitos para que el satélite fuese en verdad fijo con respecto a la tierra, es decir, geoestacionario. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completase una vuelta cada 24 horas, debía estar aproximadamente 36 000 Km de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3 075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra (fig.1.1.2).

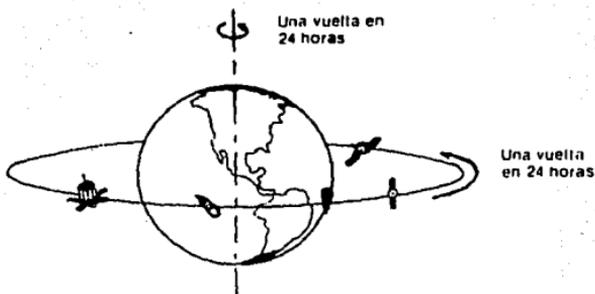


Figura 1.1.2 Los satélites geoestacionarios giran alrededor de la tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas.

Se debe mencionar que en aquel entonces todavía no se lanzaba de la tierra ni siquiera el primer satélite artificial, ya no se diga en órbita geostacionaria a 36 000 Km de altura sobre el nivel del mar, sino aunque fuese a unos cuantos cientos de kilómetros de distancia. Pero llegó el día en que la era espacial se inició, en 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después de varias pruebas con algunos otros satélites en esos primeros años, al fin se colocó en órbita el primer satélite geostacionario del mundo, llamado SYNCOM. Poco después, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo.

La órbita recibe el nombre de órbita geostacionaria. En la actualidad, ésta es la órbita más congesionada alrededor de la tierra; muchos propietarios de satélites, si no todos, quieren estar ahí por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ellas se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, experimentales y de comunicaciones.

### Inyección Directa en Órbita Geostacionaria

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite realizar esfuerzos propios.

La inyección directa en órbita geostacionaria es muy costosa y sólo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a éste, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino en buenas condiciones aumenta. El cohete Titán IIIC de los E.U. es un ejemplo de un lanzador que puede emplearse con este fin.

### Inyección Inicial en Órbita Elíptica

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir, muy alargada, en la que el centro de la tierra es uno de los 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 de proceso, ya con esfuerzos propios de él mismo.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura aproximada de 200 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 (fig. 1.1.3).

## Inyección Inicial en Órbita Circular Baja

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

El orbitador despega llevando al satélite en su compartimiento de carga y entra en órbita alrededor de la tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300 Km sobre el nivel del mar (fig. 1.1.3 y 1.1.4).

En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimiento de carga, quedando de esta forma también en órbita circular baja alrededor de la tierra, aunque separado del vehículo espacial; la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojario del compartimiento de carga. La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y 45 minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende.

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

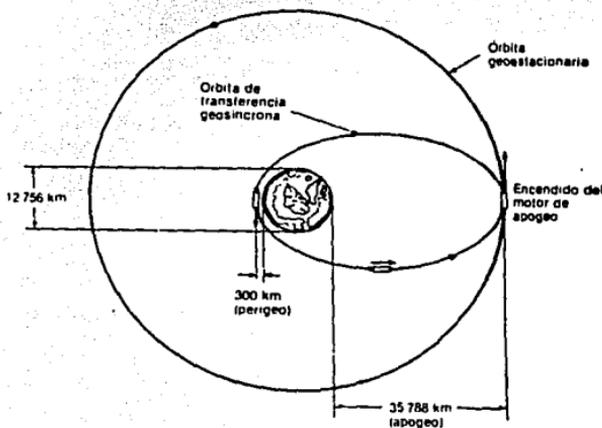


Figura 1.1.3 Algunos cohetes, como los Ariane de la Agencia Espacial Europea, colocan a los satélites geostacionarios en dos pasos. El satélite se pone primero en una órbita elíptica de transferencia geosíncrona y después de varias vueltas, en uno de los apogeos se enciende un motor que circulariza la órbita, quedando así el satélite en órbita geostacionaria.

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

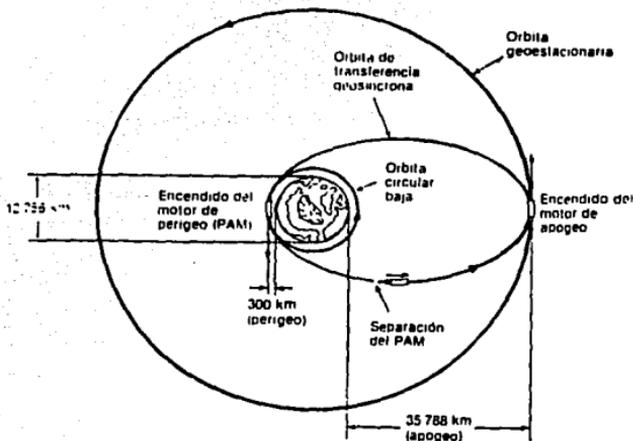


Figura 1.1.4 Los orbitadores de la NASA colocan al satélite en una órbita circular baja. Para que éste llegue a su posición geostacionaria final deben seguirse otros dos pasos, mediante el encendido de un motor de perigeo y después el de un motor de apogeo.

## 1.2 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA CELULAR

Un sistema celular consiste en un cierto número de Radio Bases (RBS) que prestan una cobertura de radio en la zona de servicio del sistema, y uno o más Centros de Conmutación de Servicios Móviles (MSC) a los que están conectadas las radio bases y de los teléfonos móviles.

El teléfono móvil puede emplearse dentro de la zona de servicio comunicando por radio con las estaciones base. Dado el número limitado de frecuencias disponibles en un sistema celular se hace necesario repetir el uso de frecuencias. La zona cubierta por un canal de radio (una célula) es limitada en área lo que permite volver a emplear las mismas frecuencias en otras células. Generalmente las frecuencias se dividen en grupos de 7, 12 ó 21 células. El plan de células se

organiza repitiendo estas agrupaciones, optimizando así la distancia entre las células que usan la misma frecuencia y reduciendo a un mínimo las interferencias de radio. Usando diferentes planes de células se llega a diferentes compromisos entre capacidad y calidad. En la fig. 1.2.1 es un ejemplo de un plan de células.

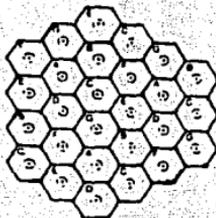


Figura 1.2.1 En una configuración de 7 células el número de frecuencias disponibles se divide en 7 grupos, A-G. Todas las frecuencias pueden usarse por lo tanto dentro de cada agrupación y las frecuencias pueden repetirse a distancias relativamente cortas con un mínimo de interferencias.

### Capacidad y Calidad, Requisitos Importantes de Diseño

Al diseñar un sistema celular deben cumplirse algunos principios básicos de operación. El principio más importante es desde luego que debe ser posible integrar el sistema con la red telefónica pública existente. Esto implica que el centro MSC debe contener muchas de las funciones de abonado que están normalmente asignadas a las centrales locales tales como enrutamiento y tasación.

El espectro de frecuencia asignado a cada sistema es limitado. Por ello es importante que el mismo diseño de sistema favorezca de por sí el uso eficiente de las frecuencias disponibles. Esto es particularmente importante en el caso del estándar MTN 450 en el que la banda de frecuencias asignadas es muy limitada. En este caso es esencial que el sistema pueda incluir todos los tipos de configuraciones de células.

La calidad del habla y el nivel del servicio prestado son factores importantes para el éxito de un sistema celular y por lo tanto, criterios vitales de diseño; la calidad del habla deberá ser alta y comparable con la de la red telefónica pública y es necesaria además una variedad de servicios de abonado.

Las centrales de conmutación de un sistema celular deben poder expedir un volumen de datos por abonado mayor que en el caso de una central local. Esto se debe al hecho de la movilidad de los abonados; en efecto, un teléfono móvil genera tráfico aunque el abonado no esté comunicado ya que el centro MSC debe actualizarse continuamente con la posición geográfica del abonado. El

establecer una comunicación con un teléfono celular es también un procedimiento más elaborado ya que el teléfono móvil está cambiando de lugar y debe ser localizado al inicio de cada llamada.

### **La Radio Base (RBS)**

La radiobase es el lugar desde donde se transmite y recibe la comunicación entre usuarios. Una gran parte del costo total del sistema recae en el equipo de las radio bases; éstas deben continuamente evolucionar incorporándoles los rápidos perfeccionamientos o avances en tecnología de componentes. En efecto, se están introduciendo continuamente nuevos componentes que son de menores dimensiones que sus predecesores, pero que poseen una funcionalidad y capacidad incrementadas. El equipo de radio base puede entonces hacerse más pequeño, un factor nada despreciable, cuando se trata de aumentar el número de emplazamientos de radio bases, especialmente en grandes zonas urbanas en las que el espacio para el equipo resulta siempre caro.

La comunicación entre la radio base y el teléfono móvil ocurre por canales de control y de voz; las llamadas se establecen normalmente usando el canal de control y después se conecta el canal de habla. Las radio bases se conectan a la central de conmutación a través de enlaces de transmisión fijos. Cada canal de radio usado para fines de habla emplea una línea de transmisión de voz entre la radio base y el MSC.

El número de canales de voz de una radio base se dimensiona de acuerdo con las demandas de tráfico pronosticadas. Con datos recolectados del sistema en operación puede modificarse el número de canales de voz así como la configuración de células para que correspondan a las demandas de tráfico en cuestión.

### **Teléfonos Móviles**

Un abonado usa el teléfono móvil casi como un teléfono estacionario normal, excepto que un abonado móvil marca primero el número y después de verificarlo en su display lo emite a la RBS, y por consiguiente al MSC. Esto reduce el grado de ocupación de la red, siempre cara. El teléfono móvil puede ser de mano, o montado en vehículo.

La interfaz entre la radio base y el teléfono móvil está totalmente especificado para todos los sistemas y permite usar el teléfono móvil de cualquier fabricante en cualquier sistema MSC siempre y cuando cumpla la especificación de la interfaz.

## **1.3 SISTEMA DE COMUNICACION VIA SATELITE**

La característica más importante de los sistemas de comunicación por satélite es la posibilidad de comunicarse en forma simultánea con un gran número de usuarios que se encuentren en la superficie terrestre. Esto es, se pueden establecer enlaces de comunicación punto-multipunto a grandes distancias. Esta capacidad es aplicable a terminales fijas en tierra o a terminales móviles que se pueden encontrar tanto en el aire como en el mar.

El sistema de satélite consiste básicamente de un satélite en el espacio, el cual enlaza varias estaciones en la superficie terrestre como se puede ver en la fig. 1.3.1. Los usuarios generan las señales en banda base, las cuales son señales asignadas dentro de un ancho de banda de la frecuencia de comunicación y se enrutan a las estaciones terrenas a través de la red terrestre (red de microondas terrestres). La red terrestre puede ser una red telefónica o un enlace dedicado a la estación terrena. En la estación terrena la señal en banda base es procesada y transmitida a través de una señal portadora de radio frecuencia RF, hacia el satélite.

El satélite puede ser visto como un gran repetidor espacial. Este recibe la portadora de RF modulada en el enlace de subida (tierra espacio), de todas las estaciones terrenas de la red, amplifica estas portadoras y las envía de regreso a través del enlace de bajada (espacio tierra), con una frecuencia de portadora de RF diferente a la del enlace de subida para evitar interferencias. La estación terrena (receptora) procesa esta portadora de RF modulada y la convierte a banda base para poder enviarla a través de la red terrestre.

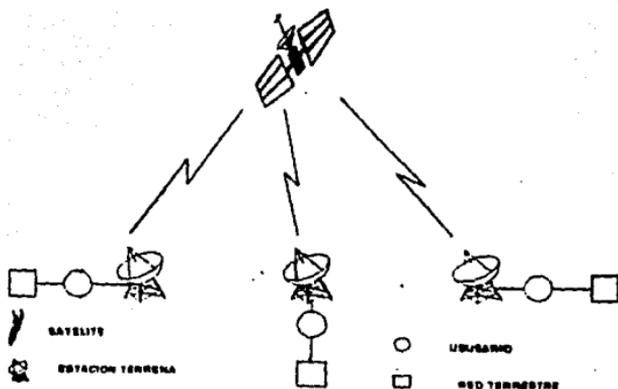


Figura 1.3.1 Sistemas de comunicaciones vía satélite.

En la fig. 1.3.2 se muestra la estructura simplificada de un satélite. Que recibe y transmite información de una estación terrena digital utilizando la misma antena. Donde se observa que la señal de entrada va de 14.0 a 14.5 GHz y la de salida de 11.5 a 12.2 GHz.

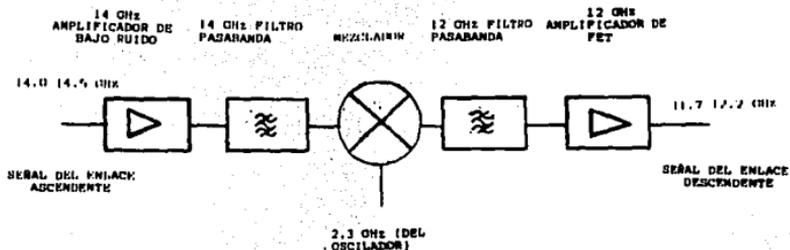


Figura 1.3.2 Estructura simplificada de un satélite.

La mayoría de los satélites comerciales en la actualidad usan un ancho de banda en el enlace de subida y bajada de 500 MHz, como ejemplos de las bandas utilizadas en este tipo de enlaces tenemos:

banda C

$f_u = 6 \text{ GHz}$

$f_d = 4 \text{ GHz}$

banda Ku

$f_u = 14 \text{ GHz}$

$f_d = 12 \text{ GHz}$

$f_u$  = frecuencia de portadora ascendente

$f_d$  = frecuencia de portadora descendente

Es de mencionarse que la asignación de las bandas depende de la región terrestre y del tipo de servicio que se va a realizar. La distribución de bandas en un transponder el cual se encarga de recibir y transmitir las señales, se puede ver en la fig. 1.3.3. Esto es cada transponder tiene un ancho de banda de 40 MHz, con 4 MHz de resguardo. La diferencia en frecuencia entre dos transponders de la misma polaridad es de 40 MHz, y entre polaridades alternas es de 20 MHz. El uso de la polaridad alternada permite la reutilización de frecuencias. Debe notarse que en cada transponder pueden ir varias portadoras, por ejemplo para canales telefónicos, pero en el caso de televisión sólo podríamos utilizar una sola portadora.

Algunos servicios que ofrece el sistema de comunicación vía satélite son:

- Meteorología
- Televisión y radio
- Radio navegación marítima y aeronáutica.

- Señales patrón de tiempo y frecuencia.
- Exploración de la superficie terrestre.
- Transmisión de datos y telefonía.
- Comunicaciones móviles, etcétera.

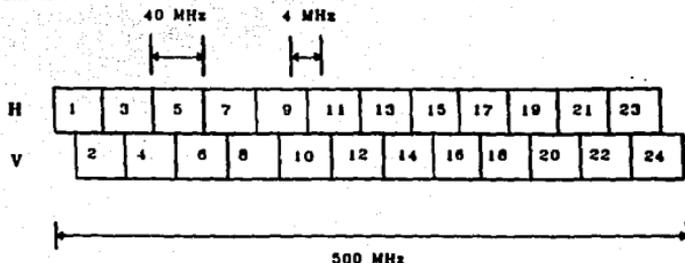


Figura 1.3.3 La distribución en bandas de un transponder.

### 1.3.1 BANDAS DE FRECUENCIA PARA SATELITE

Los sistemas de comunicaciones emplean las frecuencias del espectro electromagnético que se indican en la tabla 1.3.1. Las frecuencias utilizadas para las comunicaciones por satélite están localizadas en las super-altas frecuencias (SHF) y en las extremadamente altas frecuencias (EHF), bandas que todavía se dividen en sub-bandas, como se muestra en la tabla 1.3.2. El manejo del espectro electromagnético no sólo se aplican para las comunicaciones por satélite, sino también para otras aplicaciones en telecomunicaciones.

Frecuencia	Designación
3 Hz - 30 KHz	Muy baja frecuencia (VLF)
30 KHz - 300 KHz	Baja frecuencia (LF)
300 KHz - 3 MHz	Mediana frecuencia (MF)
3 MHz - 30 MHz	Alta frecuencia (HF)
30 MHz - 300 MHz	Muy alta frecuencia (VHF)
300 MHz - 3 GHz	Ultra alta frecuencia (UHF)
3 GHz - 30 GHz	Super alta frecuencia (SHF)
30 GHz - 300 GHz	Extremadamente alta frecuencia (EHF)

Tabla 1.3.1 Frecuencias del espectro electromagnético.

Banda de frecuencia	Rango (GHz)	
L	1 - 2	GHz
S	2 - 4	GHz
C	4 - 8	GHz
X	8 - 12	GHz
Ku	12 - 18	GHz
K	18 - 27	GHz
Ka	27 - 40	GHz
Milimétrica	40 - 300	GHz

Tabla 1.3.2 Espectro de frecuencias para satélites.

#### 1.4 SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES POR SATELITE

El primer ensayo de un servicio móvil por satélite se efectuó con SYNCOM II, un satélite norteamericano puesto en órbita en 1963, y fue seguido por los realizados con la serie ATS, con el Tacsat, el departamento de defensa de los E.U. suministró un servicio de banda estrecha en ondas decimétricas para usuarios militares.

Algunos años más tarde, en 1976, la Corporación de Comunicaciones por Satélite (COMSAT) puso en órbita los satélites Marisat, que inicialmente estaban destinados sobre todo a las comunicaciones militares, pero que también llevaban un equipo de banda L, para proporcionar servicio a usuarios comerciales importantes.

En el mismo año las naciones marítimas adoptaron el Convenio y Acuerdo de Explotación de la Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite.

La conferencia Internacional que condujo a la formación de INMARSAT, recomendó también que se estudiase la posibilidad de suministrar comunicaciones aeronáuticas.

Actualmente el único sistema móvil civil por satélite del mundo que ofrece cobertura mundial es el explotado por INMARSAT y el cual consiste de una red que utiliza más de 5000 barcos. (fig. 1.4.1).

Los medios aeronáuticos (servicios de tráfico aéreo y líneas aéreas) empezaron a mostrar interés por las aplicaciones de los servicios aeronáuticos por satélite a principios de los años sesentas. Una serie de experimentos y demostraciones permitieron ilustrar el gran potencial de dichos servicios para realizar una gran cantidad de funciones en materia de:

- Control de tráfico aéreo
- Control operacional de las líneas aéreas
- Gestión comercial de las líneas aéreas

- Servicios prestados a los pasajeros

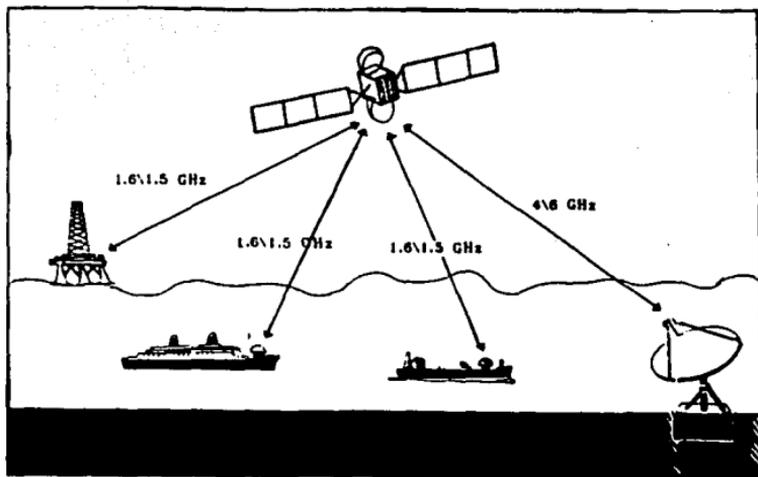


Figura 1.4.1 Con el sistema INMARSAT, en Londres es posible la comunicación de embarcaciones y plataformas marítimas con tierra firme.

La razón principal de la falta de interés de algunos de los usuarios del espacio aéreo, residía en la justificación económica para la provisión de dichos servicios, que se consideraban más costosos que los métodos usuales de comunicación y, por la ausencia aparente de incentivo económico para realizar la inversión necesaria en capital y para sufragar los costos de exportación correspondientes.

Poco después la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) constituyó un grupo técnico de expertos denominado Aplicación de la Tecnología Espacial Relativa a la Aviación (ASTRA) para desarrollar los posibles usos de la tecnología de los satélites y formular planes para la introducción de las técnicas espaciales en la explotación de la aviación civil.

La industria de la aviación civil no abordó de forma inmediata la aplicación de los servicios por satélite. En la época del grupo ASTRA e incluso posteriormente, durante los primeros pasos del grupo de Futuros Sistemas de Navegación Aérea (FANS), los estudios se centraban de forma casi exclusiva a los servicios relacionados con la seguridad del tráfico aéreo. Cada vez que se consideraba la utilización de satélites las propuestas terminaban deteniéndose, ya que no se veían

los beneficios económicos a corto plazo que compensaran las grandes inversiones necesarias para equipar a la aviación.

El servicio móvil terrestre por satélite representa una forma eficaz de dar cobertura a zonas muy amplias o aisladas. Las primeras aplicaciones de este servicio se realizaron con equipo de comunicaciones móvil INMARSAT Norma A, similar al que opera en los barcos y en los centros operacionales de rescate; empleándose como consecuencia del terremoto en la ciudad de México en 1985 y en el desastre causado por la erupción volcánica en Colombia.

Desde principios de la década de los 70, se anticipa a nivel mundial, la necesidad de un servicio móvil por satélite que fuese el equivalente espacial de los servicios móviles terrestres convencionales. A partir de entonces, se han logrado importantes avances en el establecimiento de este nuevo servicio.

El servicio móvil por satélite permite aumentar y ampliar las comunicaciones públicas y privadas limitadas por factores físicos y geográficos; permitiendo además el establecimiento de nuevos servicios en seguridad pública, de transportación terrestre, marítima y aérea con los que pueden cubrirse extensas zonas geográficas aisladas.

En el servicio móvil por satélite se consideran tres posibles aplicaciones: experimentación, explotación y emergencia.

- **Experimentación:** permite identificar los servicios de explotación por medio de los cuales el satélite puede constituir una alternativa, un complemento o una expansión lógica y económicamente eficaz del servicio móvil terrestre convencional.
- **Explotación:** el servicio móvil terrestre por satélite puede resultar el medio más viable para cubrir eficientemente zonas rurales aisladas. El satélite puede facilitar la extensión geográfica de los servicios móviles convencionales de voz o proporcionar nuevos servicios. Una aplicación adicional son las comunicaciones de datos para vehículos.
- **Emergencia:** debido a la flexibilidad del sistema, a lo práctico y económico que puedan resultar los equipos en los móviles, el servicio en banda L, puede asegurar las comunicaciones nacionales en caso de emergencia, desastres o catástrofes naturales, aún en lugares remotos e inaccesibles para otros medios.

#### 1.4.1 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACION MOVIL VIA SATELITE

Dentro de los sistemas de comunicación vía satélite más importantes debemos mencionar los siguientes :

- Sistema Terrestre
- Sistema Marítimo
- Sistema Aereo

## Sistema Terrestre

Recientemente los satélites han tenido poco uso en las comunicaciones móviles terrestres. Los modelos portátiles del sistema INMARSAT-A, tienen la capacidad de ser transportados como un equipaje de viajero, y se encuentran disponibles; pero su uso principal es en donde las comunicaciones convencionales no son accesibles debido a desastres naturales o bien porque no existen. Los gobiernos, organizaciones de ayuda y medios de información han sido los principales usuarios de terminales INMARSAT-A terrestres. Sin embargo un aumento del número de negocios y empresarios privados, que empleaban otros sistemas están cambiando a terminales INMARSAT-A, sumándose a los más de 2000 que se encuentran activos en servicios comerciales terrestres.

El desarrollo de terminales INMARSAT-C de bajo costo y tamaño reducido que proporciona servicio de datos, abrieron un nuevo mercado para las comunicaciones móviles terrestres por satélite. Una gran cantidad de estas terminales están siendo instaladas en medios de comunicación de larga distancia, permitiendo dos vías de comunicación a lo largo de un viaje, frecuentemente a través de varios países. Con ayuda de equipo de navegación simple sobre el tablero de un vehículo, es posible rastrear continuamente su posición, lo cual es una característica invaluable para muchos usuarios de transportes terrestres. INMARSAT-C proveerá una oficina portátil a millones de viajeros de negocios internacionales, en áreas que carecen de un desarrollo de infraestructura en telecomunicaciones. Esto también sirve como un dispositivo de bajo costo en ferrocarriles y autobuses de pasajeros, como una forma de control para el operador. Por ejemplo, más de 1000 terminales INMARSAT-C están en uso en sistemas terrestres.

El bajo costo y la mayor portabilidad de la comunicación telefónica móvil vía satélite continuará dentro de los próximos años. Las nuevas normas INMARSAT que permitirán los servicios telefónicos de vehículos de carga y de pasajeros están siendo desarrolladas, y el equipo entrará en servicio dentro de los próximos años. Estos servicios intentan complementar el sistema telefónico celular. Ellos deben suplir las necesidades de aquellos viajeros que se encuentren en áreas menos desarrolladas donde los sistemas celulares no están disponibles por razones económicas o por algunas otras causas.

Los servicios también se adecuarán a aquellos usuarios que viajan por todo el mundo y son los que podrían tomar ventaja de los equipos que cumplen con una sola norma. De este modo, los usuarios terrestres tendrán acceso al mismo servicio que está disponible tanto para viajeros marítimos como para los aéreos (el servicio telefónico desde cualquier parte del mundo).

## Sistema Marítimo

El principal propósito de INMARSAT es la asistencia de las comunicaciones en caso de desastres, seguridad de la vida y para mejorar la eficiencia y administración de barcos, además de proveer o suministrar servicios de correspondencia pública; el más útil de los servicios para viajeros.

El soporte del servicio de la comunicación marítima suministrado por INMARSAT, es INMARSAT-A. Cuando se introdujo originalmente ofreció sólo servicios básicos de voz y telex, pero ahora se ha expandido para proporcionar un amplio rango de servicios incluyendo fax y

datos de alta velocidad (56/61 kbps). INMARSAT sirve al 90% del mercado que representan los barcos cruceros en todo el mundo. Este mercado incluye unos 300 barcos cruceros especialistas que transportan aproximadamente 4.5 millones de pasajeros al año. La mayoría de la comunicación de los pasajeros es por teléfono; la demanda ha traído como consecuencia que sistemas múltiples o multicanal estén siendo instalados en diversos barcos cruceros. La primera terminal de cuatro canales entró en operación en el crucero Noruego Norway en Abril de 1988.

Algunas otras aplicaciones de la comunicación móvil vía satélite tienen un impacto inmediato en la seguridad y comodidad de los pasajeros. Un periódico se retransmite diariamente por satélite a los barcos, la información del clima se encuentra disponible las 24 horas cubriendo el globo terrestre, se dispone de consulta médica inmediata. En el caso de una situación de mayor emergencia, las comunicaciones vía satélite alertan rápidamente a los centros de coordinación de rescate, los cuales toman las medidas apropiadas las comunicaciones satelitales necesarias se pueden mantener con las embarcaciones que se envían para proporcionar asistencia.

Los propietarios de yates privados también han reconocido los beneficios de estar en comunicación continua con el resto del mundo. Más de 900 yates han sido equipados con terminales INMARSAT-A. Esto tiene un costo inicial de aproximadamente 30 000 dólares, lo cual representa entre el 1 y el 5 % del costo total de un superyate, lo que constituye una inversión rentable para su propietario.

Este servicio está disponible para miles de propietarios de embarcaciones de pesca y yates pequeños. Muchas de estas embarcaciones se encuentran lejos de tierra y podrían beneficiarse con las comunicaciones vía satélite, sus necesidades son satisfechas por un sistema de comunicación de datos de bajo costo, una terminal INMARSAT-C tiene un costo de dos tercios del precio de una terminal INMARSAT-A, y sin el complicado mecanismo de posicionamiento de antena requerido para una adecuada recepción de transmisiones de voz. INMARSAT-C ha llegado a ser rápidamente un favorito de los propietarios de barcos pequeños, además de suministrar almacenamiento y transmisión de paquetes de datos a 600 bps, también es particularmente conveniente para telex, llamadas de datos, correo electrónico, y alguna otra forma de comunicación de datos, donde no se requiere una conexión directa.

## Sistema Aereo

Por más de 25 años la aeronáutica ha sido objeto de estudio, análisis, prueba y demostración de las comunicaciones por satélite. En 1964 se demostró que la comunicación vía satélite podría usarse para transmitir desde una aeronave en vuelo. Actualmente, la comunicación aeronáutica satelital ha crecido y los servicios de datos están disponibles en todo el mundo. Uno de los servicios más comunes es la disponibilidad de comunicación telefónica desde el espacio aéreo, facilidad que previamente estuvo disponible sólo en algunas partes de Norte América. Ahora es posible comunicarse telefónicamente desde una nave aérea a más de 180 países.

Las primeras experiencias con grupos de pasajeros y tripulación de acrolíneas demostraron las ventajas del servicio telefónico y como consecuencia diferentes compañías comenzaron a instalar estos equipos. Otro servicio que demostró exitosamente que pronto estará disponible es la transmisión de fax. Cuando ésta se encuentre acoplada al servicio de telex y a la comunicación de

computadora a computadora, será posible llevar a cabo lo esperado durante tanto tiempo por la gente de negocios que viaja continuamente " oficinas en el aire ".

Muchas características ayudarán a hacer los viajes aéreos más placenteros y productivos; al recibir la transmisión de eventos deportivos, boletines informativos, datos actuales del clima, e información financiera. Mediante un directorio será posible confirmar vuelos, hacer reservaciones para viajes, hoteles y renta de automoviles. De mayor importancia aunque menos obvio para los pasajeros, como resultado de la introducción a la comunicación satelital.

Actualmente el tráfico aeronáutico en algunas regiones (por ejemplo sobre el Atlántico Norte) comienzan a congestionarse tanto como una autopista en horas pico. La comunicación satelital incrementará el número de aviones que pueden volar a lo largo de trayectorias definidas sin disminuir la seguridad de los pasajeros, y así, se reduce el número de retardos de vuelos que ocurren en horas pico. La mejora en comunicaciones ayudará a la identificación del mal estado del clima y permitirá una rápida y eficiente localización de rutas.

## **1.5 SISTEMA DE COMUNICACION PERSONAL POR SATEITE**

Las comunicaciones personales y el servicio de audio difusión digital son dos nuevos servicios que la Agencia Espacial Europea (ESA) está investigando para el futuro de los Sistemas Globales de Satélites Móviles en Europa. La ESA está promoviendo activamente estos servicios en varias de sus misiones opcionales incluyendo sistemas de satélites no-geoestacionarios y geoestacionarios. En este capítulo se describe un Sistema Global de Satélites de Altura Media. (MAGSS) para comunicaciones personales globales en banda L, S, y otro de Orbita Elíptica Altamente Inclínada Multiregional (M-HEO) para radiodifusión digital multiregional en banda L. Ambos sistemas están siendo investigados por la ESA en el contexto de programas futuros, semejantes al "ARCHIMEDES", en los cuales se intenta demostrar los nuevos servicios y desarrollar la tecnología para el futuro de las comunicaciones móviles y radio difusión por satélites no-geoestacionarios.

### **1.5.1 DEFINICION DE SERVICIO**

Los sistemas de satélites móviles en escala global o regional emplean satélites geoestacionarios que operan en la banda L. Estos sistemas apoyan los servicios marítimos tradicionales y recientemente comenzaron con la adición de los servicios aeronáuticos, se están introduciendo nuevos servicios móviles de tierra (voz-datos) para usarlos en equipos con terminales relativamente pequeñas. Estas terminales se pueden instalar en vehículos, o transportarse en portafolios o también en una instalación fija o en locaciones móviles.

Contemporáneamente a la evolución de los servicios móviles por satélite, los servicios móviles terrestres tienen además pocos años de experimentarse y una rápida progresión hacia la implementación comercial de vocco, mensajería, servicio de telefonía utilizando aparatos portátiles muy compactos y ligeros (transceptores). El progreso es posible principalmente al desarrollo tecnológico y comercial de los circuitos integrados digitales y de microondas de baja potencia.

Una clara desventaja inherente del sistema celular digital terrestre es la cobertura limitada, la cual estará restringida para las grandes ciudades del mundo industrializado y a la interconexión de carreteras y redes de ferrocarriles. Para ofrecer completa capacidad de fluidez es la meta del futuro sistema de Telecomunicaciones Personales Universales (UPTs). Dicho sistema puede solamente ser implementado por complementación e interconexión del sistema celular terrestre con una (global) o varias (regionales) para cubrir los sistemas de comunicación personal por satélite, con esto se extiende el servicio para el área rural y áreas lejanas.

Dentro de este contexto, se proponen algunos sistemas de comunicación personal por satélite entre los que se pueden citar: IRIDIUM, ODISSEY, GLOBALSTAR, ELLIPSO, CONSTELACION, y el AMSC sus características principales se presentan en la tabla 1.8.1 y otros que se empiezan a definir como, el proyecto 21 de INMARSAT, y el ARCIIMIDES de la ESA.

La dificultad técnica principal que se presenta con estos nuevos sistemas satelitales está contenida desde la portabilidad requerida hasta el satélite terminal del usuario, la cual tiene que estar eventualmente integrada dentro del terreno de la llamada del celular. Esto impone muy severas restricciones para la potencia de transmisión de RF y la ganancia de la terminal de la antena, el cual traslada dentro, bajos valores PIRE y G/T. Tales instrucciones difíciles se encuentran con sistemas utilizando satélites en órbita Geostacionaria (GEO) a menos de que se instalen antenas de gran despliegue y repetidores de alta complejidad. Esto hace que emerjan por parte de las entidades que proponen el estudiar una constelación de los satélites usando órbitas intermedia (Media) (ICO) o baja (LEO). La ESA estudia actualmente los aspectos del sistema de satélites de comunicaciones semejantes, basados en constelaciones de satélites GEO, ICO, LEO o HEO.

## 1.6 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA MAGSS

En la implementación del sistema MAGSS se consideran los siguientes puntos:

- Diseño de la terminal del usuario.
- Constelación de satélites.
- Diseño de carga útil y la capacidad del satélite.

### Diseño de la Terminal del Usuario

En el diseño de una terminal móvil para comunicaciones personales los principales requisitos son reducir su tamaño y costo al mínimo (por lo tanto complejidad), el diseño de la terminal puede ser a la medida de diferentes requerimientos de los usuarios en términos de movilidad y grados de cooperación y ofrece un servicio compatible con estos, provisto por el sistema terrestre. Se proponen tres tipos de terminales de satélites: una terminal de mano (HM) la cual podrá llevarse en el bolsillo de la chaqueta, una terminal portátil (PT) que se puede transportar en una bolsa de mano o en un portafolio o también se puede instalar en un lugar semipermanentemente, y una terminal montada en un vehículo (VM). Una descripción técnica de estas terminales se encuentra en la tabla 1.6.1. Mientras las terminales PT y VM pueden ser consideradas una versión miniatura de diseños de terminales terrestres portátiles montados en vehículos (operando con satélites GEO), las

terminales HH representan un significativo desafío tecnológico, en particular, lo concerniente al diseño de la antena y la miniaturización de la circuitería de RF de principio a fin y la eficiencia del HPA. Se evalúan varios diseños de antenas, todos proveen muy poca ganancia (0 a 3 dBi) a fin de minimizar los puntos requeridos. La terminal HH está equipada con un transmisor de baja potencia (abajo de 500 mW) con la finalidad de reducir la radiación a la que está expuesto el usuario y el tamaño de las baterías requeridas.

Tamaño	De mano bolsillo	Portable laptop	Vehículo antena + set
Ganancia de antena	0 - 3dBi	+7dBi	+4dBi
Tx RF de potencia	<500mW	1W	2W
PIRE (dBW)	-3 - 0	+7	+7
G/T (dB/K)	-24 - -21	-17	-20

Tabla 1.6.1 Características de la terminal del usuario.

## Constelación de Satélites

El sistema MAGSS tiene una mejor visibilidad individual, a través de una constelación formada por 14 satélites. La constelación MAGSS se selecciona entre otras porque ésta provee la posibilidad de empezar a dar servicio a todo el mundo desplegando solamente siete satélites, acabando con un ángulo mínimo de elevación cerrado de 10° y más de 30° para más del 70 % del tiempo.

La constelación completa reabastecida de 14 satélites acaba entonces con un ángulo mínimo de elevación global de 28.5° y más de 40° para más del 90% del tiempo. Las características de la constelación MAGSS son 10,354 Km. de altura, 6 horas de órbita circular, y 56° de inclinación de órbita plana, la máxima cobertura termina en la región localizada entre 30 y 60 grados de latitud.

## Diseño de Carga Útil y Capacidad del Satélite

De acuerdo con la frecuencia asignada, por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (WARC'92), el MAGSS opera con una carga útil de 1.6 GHz. y 2.5 GHz. para enlaces móviles altos o bajos, respectivamente. La alimentación del enlace está dada en la banda Ka, aunque debido a la complejidad y costo de esta opción, se están investigando el uso de bandas de frecuencias más bajas (bandas Ku y C). La fig. 1.6.1 muestra un haz de cobertura típico de 37 haces que alcanza las regiones de África y Europa desde uno de los satélites MAGSS-14. Cada haz tiene una ganancia de cobertura de borde de 24.5 dBi y está generada por transmisión (TX) y recepción (RX) antenas de arreglo de fase. La carga transmitida de 300 Watts de potencia de RF en banda S, resultando dentro un total de PIRE de 48 dBW. La masa total de carga útil, incluyendo la banda Ka. la alimentación del enlace transponder está estimada en 320 Kg, y la carga útil en cd de consumo de potencia es de 1200 Watts. Por encima de la carga útil mandará la capacidad total del satélite de 930 circuitos de voz dobles (2.4 Kbit/s) de la terminal tipo HH o el

equivalente de 4650 para terminal tipo PT, asumiendo un enlace de calidad destino requerida de 39 dBHz. La capacidad del satélite se puede demostrar si es compatible con la provisión en todo el mundo del servicio de comunicación personal para aproximadamente un millón de usuarios equipados con teléfonos portátiles para llamadas por satélite.

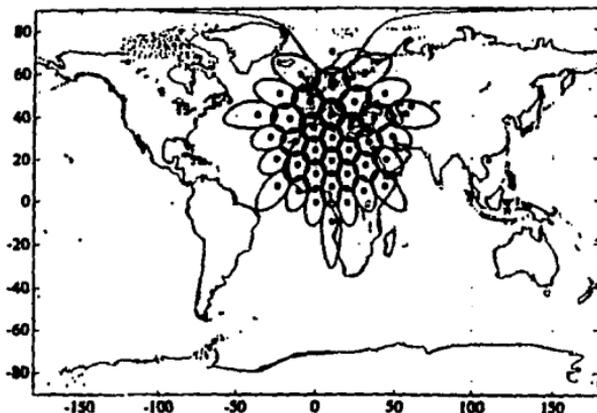


Figura 1.6.1 Cobertura típica de los haces de los satélites MAGSS-14.

## 1.7 LA M-HEO: ORBITA ELIPTICA MULTIREGIONAL ALTAMENTE INCLINADA EN EL CONTEXTO DEL PROGRAMA ARCHIMEDES

Los sistemas basados en órbitas circulares tienen la ventaja de proveer una cobertura global al costo razonable de una gran constelación de satélites. Un enfoque alternativo el cual reduce drásticamente el tamaño de la constelación se basa en el uso de órbitas elípticas altas (HEO). Los sistemas HEO se usan con éxito desde 1966 por primera vez en la URSS para la sociedad receptora de televisión y comunicaciones de emergencia. Más de 100 satélites en órbita elíptica han sido lanzados.

Las constelaciones HEO están trayendo servicios regionales o multiregionales. Un satélite en HEO da una falsa lectura en un plano el cual inclinado aproximadamente  $63^\circ$  con respecto al plano ecuatorial. Esto da a los satélites la ventaja de ser vistos en un alto ángulo de elevación en el norte (o región sur). Esta ventaja se compensa por el alto rango de inclinación en comparación con los sistemas LEO o ICO y hacen uso de satélites HEO trayendo servicio de buena comunicación personal y radiodifusión en latitudes norte. De hecho esto permite una alta disponibilidad de señales sin penalizar el sistema de economía mediante la imposición de un gran margen de enlace. La otra ventaja de los satélites HEO es que cuando usuario-receptor-antena tiene poca ganancia

como en el caso de receptores personales, en latitudes norte se pueden lograr grandes ganancias (2-3 dBs o más) en comparación con satélites geostacionarios.

En una constelación HEO los satélites no son estacionarios y por lo tanto se usan en la órbita de arco alrededor del apogeo cuando estos presentan un comportamiento casi Geostacionario. El número de áreas de servicio es igual al número de puntos de apogeo en la pista de la tierra. Las órbitas HEO con más de una área de cobertura son llamadas órbitas multiregionales. El número de satélites para una constelación determinada está dado en su lugar por el número de áreas del servicio, multiplicado por el término orbital y dividido por la duración escogida del arco activo. La ESA está estudiando las órbitas Tundra y Molniya para cobertura de Europa con altos ángulos de elevación, recientemente se enfocó la atención en órbitas M-HEO (8) y M-HEO (16). Las órbitas M-HEO ofrecen la posibilidad de promover una amplia cooperación internacional lo cual implica economías de escala en el sistema de desarrollo y en la parte de reducir costos.

El sistema M-HEO (8) es particularmente interesante y satisface los servicios semejantes a las comunicaciones personales y radiodifusión, de hecho esto puede ofrecer:

- Alta disponibilidad y servicio continuo de 24 horas justo para cubrir las tres áreas más importantes del mercado mundial Europa, Lejano Este y Norte América.
- Un número mínimo de satélites para cobertura continua de éstas tres áreas de servicio.
- El apogeo en 26,000 Km. permite ahorros de energía en comparación con otras alternativas HEO o satélites geostacionarios. La altitud del apogeo bajo ofrece también una ventaja considerable sobre los otros HEOs en términos de órbita de masa que puede lograrse por un lanzamiento dado.

En la estructura del proyecto ARCHIMEDES, la ESA desea hacer un seguimiento de la utilización de la constelación HEO para servicio multiregional personal y radiodifusión de sonido. En el programa ARCHIMEDES la ESA intenta llegar al desarrollo de un satélite experimental que demuestre la viabilidad operacional de posteriores sistemas. La constelación M-HEO para comunicaciones personales intenta llegar a algunos servicios objetivos del sistema MAGSS-14 pero en regiones básicas.

### El Sistema M-HEO para Radiodifusión de Audio Digital

La facilidad de la radio difusión directa por satélite (DBS-R) se basa en la posibilidad de recibir la señal del satélite donde se use un pequeño radio de mesa, un radio personal y un receptor móvil. El bloqueo de la línea de visión del satélite y efectos múltiples degradarían servicios DBS-R a un nivel no aceptable. Esto se traduce en el requisito de altos ángulos de elevación y una alta densidad de flujo de potencia recibida sobre áreas amplias. La importancia de los ángulos de elevación del satélite se demuestra en la estructura de varios campos a medida que se hace campaña en las bandas L y S. Este problema es de particular relevancia en toda la región norte de la tierra. Una órbita geostacionaria basada en servicios deberá incluir un margen de propagación sobrante de 10 dB para servir a esas regiones, esto implica una solución de diseño basada en un

satélite de alta potencia con un sistema grande y complicado de antenas resultando en un alto costo (e inaceptable) para los servicios de telecomunicaciones.

En la configuración básica del sistema M-HEO (8) está compuesto por una constelación de 6 satélites en 8 horas de órbita elíptica. Los 6 satélites del sistema M-HEO (8) facilitan al usuario y al receptor la señal de radio siempre visible desde el satélite con altos ángulos de elevación. El área de cobertura del sistema M-HEO (8) incluye todo el continente Europeo cuando garantice el mínimo ángulo de elevación 100% del tiempo es de más de 45°. Las otras áreas de cobertura son Japón, China, Asia (India) y Canadá, E.U., México cuando el ángulo de elevación sea mayor de 40° que está garantizado el 100% del tiempo.

El sistema M-HEO (8) en su configuración básica provee servicio de integración radiodifusión digital con la posibilidad de interactuar con el usuario como sigue:

- Radiotextos básicos y noticias.
- Noticias bilingües y música estereo, radiotextos básicos.
- Noticias en varios idiomas y música estereo en alta fidelidad, radiotextos de color completos.
- Noticias en varios idiomas y música estereo de discos compactos, realizar el radiotexto o los receptores de televisión de bolsillo.
- Vocen y servicio de mensajería.
- Servicios interactivos proveen al usuario con un bajo porcentaje de canal de respuesta. El máximo porcentaje es de alrededor de 50 b/s.
- Servicio de navegación integrado con datos meteorológicos de radiodifusión.

Con el fin de entregar la densidad de flujo necesaria para proveer estos servicios a pequeños receptores multihaz es necesaria la cobertura de la antena en las tres áreas de servicio. La cobertura M-HEO (8) provee el uso de un sistema de antena reconfigurable, proporciona en cada área de servicio unos 5 haces de cobertura, cuatro puntos y un haz global. Los cuatro puntos de haz están colocados en las tres zonas de servicio con el fin de satisfacer sus limitaciones lingüísticas y geográficas. Cada punto de haz provee 28 dBi de directividad y 3 dB de contorno. El haz global intenta proveer 20 dBi de ganancia y los 3 dB de contorno.

Los transponders intentan proporcionar una parte flexible de recursos acordando el mercado y las necesidades populares del usuario. El transponder se puede configurar y proveer servicios de distribución con diferente calidad y nivel de potencia. Es fundamental que la modulación y la técnica de multiplexión seleccionada permita tal asignación flexible de ancho de banda y la potencia de reserva. Aproximadamente 1000 W de potencia de cd son destinados para la carga. Con la finalidad de simplificar el diseño de los satélites no hay reutilización de frecuencias para una área de servicio dada, pero a fin de minimizar, los requerimientos globales de frecuencia del sistema, la frecuencia es reutilizada en diferentes regiones. Obsérvese que gracias a los altos

ángulos de elevación la coordinación de frecuencia está simplificada en ambos con respecto a satélites geostacionarios y enlaces de radio terrestres.

En una estación terrena equipada con una antena de seguimiento de 5 m tienen lugar enlaces altos de programas de radio. Cada satélite es de rastreo independiente. Un enlace alto localizado por encima de 58° puede dirigirse a Europa, Lejano Oriente y Norte América girando algún tiempo con un ángulo mínimo de 5° en un satélite. Dan por hecho que las antenas de enlace alto, nunca cruzan el arco geostacionario, se puede usar la banda C sin problemas de coordinación con respecto a los satélites GEO.

El servicio de radiodifusión de sonido se intentó para una diversidad de usuarios en las tres áreas de servicio. Los usuarios están equipados con terminales que pueden dividirse en tres clases principales:

- Tipo 1 :  $G/T = -12$  dB/K radios de mesa equipados con antenas direccionales con elevación y azimuth ajustable.
- Tipo 2 :  $G/T = -15$  dB/K receptores móviles instalados en carros con ganancia media de antena con modelo omniazimuthal.
- Tipo 3 :  $G/T = -19$  dB/K receptores personales portátiles con baja ganancia de antena con modelo omniazimuthal.

Se revisaron los requerimientos del usuario y la implementación del sistema para los sistemas de satélites móviles en el futuro para comunicación personal y radiodifusión digital de audio, usando las nuevas bandas de frecuencia recientemente asignadas por la WARC'92. El sistema MAGSS-14 ha sido descrito como una manera de proveer una cobertura de capacidad mundial a usuarios equipados con teléfonos portátiles tierra-satélite. El sistema MAGSS que se describió está basado en 14 satélites en órbita circular intermedia el cual muestra el compromiso que hay entre la complejidad del satélite requerido y los satélites equivalentes GEO y el gran número de satélites requeridos LEO.

Los satélites del MAGSS-14 se han dimensionado para servir hasta un millón de usuarios en todo el mundo equipados con una terminal portátil ofreciendo los servicios de voz, datos, mensajes y servicio de voceo como complemento al servicio celular y de radio terrestres. En el contexto del programa ARCHIMEDES de la ESA, los sistemas de satélites utilizan una órbita elíptica que se está investigando para proveer servicios de comunicaciones personales y radiodifusión de sonido.

La M-HEO (8) órbita elíptica altamente multiregional abre un nuevo mercado a la aplicación de radiodifusión de audio digital con datos auxiliares y servicios de navegación en tres áreas claves de negocios del mundo, Europa, Norte América y el Lejano Oriente. Los satélites de radiodifusión son atractivos para el usuario exigente del servicio de radio internacional de alta calidad. El radiodifusor tiene también que mostrar un agudo interés en la radiodifusión por satélite y apreciar la alta disponibilidad y calidad que los sistemas HEO pueden entregar, pero claro fundando una constelación completa que iría más allá de sus posibilidades. Los fabricantes también están interesados en radio vía satélite pero están esperando los planes de implementación para concretar

el segmento espacial. Como un resultado de estos bien difundidos intereses es evidente que la investigación y desarrollo y la construcción inicial de una constelación HEO para radio por satélite tiene que ser dado a través de una iniciativa pública. La ESA intenta promover esta nueva oportunidad de desafíos, para comunicaciones por satélite mediante la misión experimental Archimedes con el fin de dar un soporte sustancial a estos fascinantes esfuerzos técnicos.

## **1.8 ASIGNACION DE FRECUENCIAS PARA LOS SATELITES DE ORBITA BAJA**

Las nuevas tecnologías y servicios satelitales fueron el punto de mayor importancia en la WARC'92, las comunicaciones personales por satélite tendrán para enlaces mediante satélites móviles en la banda L, en un rango de frecuencias de 1610 a 1626.5 MHz. y para enlaces de satélites móviles en la banda S en un rango de frecuencias de 2483.5 a 2500 MHz. Otras conclusiones importantes fueron la asignación de una frecuencia de alrededor de 1.5 GHz. para servicio de radiodifusión directa por satélite (DBS-R). Uno de los principales desafíos técnicos de estos nuevos servicios está representado por el hecho de que la órbita geostacionaria no es la más apropiada para una mayor penetración de las comunicaciones personales y los servicios de radiodifusión.

La ESA está viendo con más interés la explotación de nuevas órbitas alternativas semejantes a la órbita circular baja terrestre (L-EO), la órbita circular intermedia (ICO) y las órbitas elípticas multiregionales altamente inclinadas (M-HEO). También la ESA tiene un proyecto experimental llamado " ARCHIMIDES " que tiene el propósito de explorar estos canales poniendo en órbita uno o más satélites experimentales para el año de 1998 que será representativo del futuro de las comunicaciones personales y radiodifusión de sonido, aquí se resume la definición de dichos estudios que dirán como llevar a cabo la formulación de dos misiones, personal y radiodifusión de sonido, que van a representar las bases técnicas para el futuro del comercio exterior en el programa " ARCHIMIDES ". En particular se representarán dos sistemas en detalle: el MAGSS-14 con una órbita ICO alrededor de 10 000 Km de altitud para comunicación personal y la M-HEO (8) que se encuentra a 8 horas de la órbita elíptica multiregional altamente inclinada para radiodifusión.

Las aplicaciones para servicios de voz por medio de satélites de órbita baja, entre los que se incluyen MOTOROLA, LORAL/QUAL.COM, TRW INC., CONSTELLATION Y ELLIPSAT, podran proceder con sus planes de implementar sistemas que proporcionen telecomunicaciones de voz por medio de aparatos portátiles a través del mundo, sujetos a ser aprobados por la Comisión Federal de Comunicaciones y obtener los acuerdos de operación necesarios. Además de los sistemas L-EO, la conferencia asignó espectro adicional para ser implementados en los próximos 20 años del servicio satelital móvil geostacionario, incluyendo aquellos a ser proporcionados por la AMSC, INMARSAT y otros sistemas móviles satelitales regionales y domésticos (ver tabla 1.8.1).

Características del sistema	Loral/ Qualcomm Globalstar	Motorola Iridium	TRW Odyssey	Constellation Aries	Ellipsat Ellipso	AMSC
Número de satélites	48	66	12	48	24	4
Altitud de constelación (km)	1390	852	10370	1020	3272 426	35560
Características especiales	Transponder	Onboard Processing	Transponder	Transponder	Transponder	Transponder
Capacidad de llamada (US)	6500	3835	4600	100	1210	3600
Modulación de señal	CDMA	TDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Control del segmento terrestre	6	2	2	5	6	1
Puerto de entrada	Banda C	Nueva banda Ka	Nueva banda Ka	Banda C	Banda C	Banda Ku
Cobertura	Global	Global	Global	Global	Hemisf. Norte	EUA, Canadá
Costo de desarrollo del sistema (en US\$ miles de millones)	1.6	3.4	1.2	0.4	0.3	0.4
Vida del satélite (años)	7.5	5.0	10	5	5	10 a 12
Tasa de suscriptor por minuto (US\$)	\$0.30	\$3.00	\$1.00	Desconocida	Desconocida	\$1.80
Costo unitario por suscriptor (US\$) estimado	\$750	\$3500	Desconocido	Desconocido	Desconocido	\$2000
Costo (US\$) por circuito/año	\$15.9K	\$168.2K	\$29.3K	\$800K	\$55K	Desconocido

Tabla 1.8.1 SEIS PROYECTOS DE COMUNICACIONES MOVILES.

Fuente: Globalstar

**CAPITULO 2**  
**EVOLUCIÓN DE LAS REDES**

## 2 EVOLUCION DE LAS REDES

Entre los múltiples atributos de los humanos destacan la capacidad para desplazarse a grandes distancias y su habilidad para comunicarse.

En años recientes se ha enfatizado la importancia del estudio de las interacciones entre transportes y telecomunicaciones, tanto desde el punto de vista de las tecnologías, como del efecto de éstas en diferentes sectores sociales. Resultados de estas investigaciones permiten identificar interacciones de los tipos: sustitución de transporte por telecomunicaciones, complementariedad y aumento, dependiendo del tipo de servicios que se consideren.

Existe un considerable interés entre los servicios móviles por satélite y su relación con las redes terrestres, para proporcionar una red global universal. Con tal relación los abonados serán provistos con una serie de servicios comunes, tal como los planeados para la Red de Conmutación Telefónica Pública (PSTN), la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN), y la Red Inteligente (IN), en la fig. 2.1, se muestra la interacción entre redes móviles por satélite, redes móviles terrestres y redes de servicios fijos.

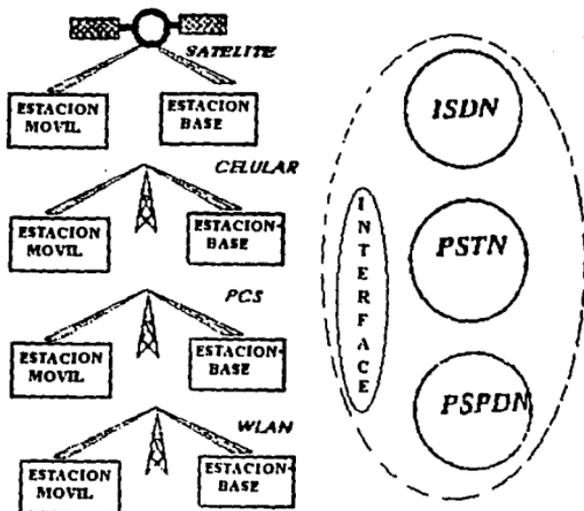


Figura 2.1 Interacción entre redes móviles por satélite, redes móviles terrestres y redes de servicios fijos.

## 2.1 INTRODUCCION DE LOS SERVICIOS MOVILES POR SATELITE

Los Servicios Móviles por Satélite (MSS), fueron introducidos por primera vez por INMARSAT y sus signatarios en 1979 para comunicaciones marítimas, posteriormente las aplicaciones móviles se extendieron a tierra y aire. En la actualidad se tiene una cobertura mundial a través de satélites. Australia es el primero en ofrecer servicio doméstico con el lanzamiento de AUSSAT B1 en 1992 y Norteamérica ha sido el primero en tener un sistema móvil por satélite regional, con los sistemas TMI de Canadá, el sistema QUALCOMM y AMSC de E.U. y el sistema SOLIDARIDAD de México. Todos estos sistemas están basados en el uso de satélites geostacionarios.

### 2.1.1 COMUNICACION CON SATELITES NO GEOESTACIONARIOS

Las comunicaciones móviles con satélites no geostacionarios para terminales de mano (hand-held), están siendo propuestos por: ODYSSEY, CONSTELACIÓN, INMARSAT, ARIES, ELLIPSAT, IRIDIUM, GLOBALSTAR y ESA para entrar en operación a fines de 1997. Todas estas propuestas tienen como deseo común interactuar con las redes terrestres tanto fijas como móviles estableciendo una serie de servicios y características comunes. Como las Telecomunicaciones Universales Personales (UPT).

Además, mientras que el enfoque actual en redes móviles es proporcionar una terminal móvil existe interés para proporcionar un servicio personal móvil, como es el servicio UPT. Terminal móvil se refiere a la capacidad de la Red para seguir y comunicar al usuario mientras la terminal este en movimiento. Mientras con el servicio personal móvil se remueve la asociación del usuario con una pieza específica de equipo.

En esta interacción se requiere que las redes reconozcan, coordinen y enruten las llamadas entre ellas. Además de requerirse de acuerdos bilaterales entre prestadores del servicio terrestres y de satélites para facturación y transferencia de fondos. Otro punto importante en la interrelación del sistema satelital móvil con los sistemas terrestres es la gestión de las comunicaciones.

Un sistema típico satelital consiste de un haz de cobertura sencillo, una población de Terminales móviles (MT), una Estación de Control de Red (NCS) y una Interface de Red (GW). (fig. 2.1.1).

La NCS controla y administra la red, además de asignar los canales, el GW es la interface de la red hacia la PSTN. Un sistema más completo sería donde el satélite tiene diversos haces de cobertura. Aquí la interface a la PSTN puede ser:

- 1) Un GW que pueda comunicarse con todos los haces de cobertura.
- 2) Una red de GWs distribuida entre los puntos de los haces del satélite, reduciendo con esto el respaldo terrestre.
- 3) Un nivel más complejo sería un sistema que usa diversos haces del satélite para proporcionar una capacidad total, una cobertura mundial. Aquí en cada área de cobertura de los satélites los

GWs, localizados en diversas ciudades proporcionan acceso a la PSTN vía troncales internacionales.

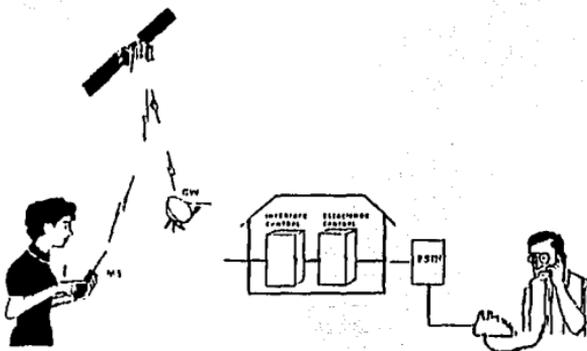


Figura 2.1.1 Sistema típico satelital.

Los dos tipos de llamadas inter-red, la originada por la MT (MTO) y la originada por la PSTN (PSTNO), difieren de sus requerimientos de interacción. Para una llamada MTO, la MT señalará la NCS (o el GW deseado si las funciones de la NCS son delegadas al GW) para establecer la llamada. Mientras la NCS realiza el manejo de la movilidad dentro de su red, en este caso no hay necesidad de un manejo de movilidad entre los sistemas satelital y el terrestre. El GW coordinará el establecimiento de la llamada con la PSTN basado en un número de abonado de destino. Para una llamada de la PSTNO, es necesario:

- 1) Indicar a la PSTN que la llamada será hecha a la red del satélite.
- 2) Establecer la ubicación de la MT para definir el adecuado acceso a GW y enrutar entre la PSTN y el GW.

El manejo de la movilidad de los abonados entre las redes es facilitado por:

- 1) Un código único que identifica una base de datos conteniendo la localización de los móviles.
- 2) Señalización entre redes.
- 3) Base de datos entre abonados.

En un ambiente móvil estas bases de datos incluirán una descripción de los servicios de abonado además de registros de localización. Con un arreglo de acceso único a la red del satélite, la llamada de inicio no necesita conocer la localización del destino móvil, las redes reconocerán que la llamada es para el sistema satelital y coordinará el enrutamiento apropiado.

Aunque los sistemas móviles tanto celulares como de satélite pueden operar autónomamente existe un considerable interés en proporcionar una interrelación de vagabundeo (roaming) entre tales redes. Esto permitirá al abonado usar los servicios de uno o más proveedores de red. La red móvil en la cual el abonado está normalmente registrado con frecuencia se conoce como sistema de casa mientras que otras redes se consideran como sistemas visitados. Para que un abonado pueda pasar de un sistema a otro se requiere que la red móvil:

- 1) Detecte la presencia y determine la localización actual en la red de este abonado.
- 2) Que identifique su autenticidad.
- 3) Obtener su grupo de categorías propias.

Estas funciones requieren el desarrollo de registros de localización (base de datos) y el uso de señalización por canal común entre redes.

Los esfuerzos están directamente encaminados para proporcionar el servicio intercelular/MSS para el paso de una red a otra, equipando al abonado con una terminal de modo dual. El modo normal de operación es a través del sistema celular con acceso al sistema satelital cuando el abonado vaya más allá de la cobertura celular.

En general se puede decir que la evolución de las redes tiende hacia una completa interrelación del sistema satelital con las redes terrestres fijas y móviles. (Tabla 2.1.1) donde a partir de la tercera generación se va a depender de la demanda de los servicios.

	PRIMERA GENERACION	PRIMERA SEGUNDA TRANSICION	SEGUNDA GENERACION	TERCERA GENERACION	EVOLUCION
REDES FIJAS PUBLICAS	SEÑALIZACION ANALOGICA EN BANDA	MULTI DIGITAL ACCESO ANALOGICO SEÑALIZACION POR CANAL COMUN	MULTI DIGITAL ACCESO DIGITAL SEÑALIZACION POR CANAL COMUN	EN BANDA RED INTELIGENTE INTELIGENTE	SERVICIO UPI
SISTEMAS MÓVILES TERRESTRES	SEÑALIZACION CELULAR ANALOGICA EN BANDA ROAMING MANUAL	ACCESO ANALOGICO MISC Y BS DIGITAL CONEXION DIGITAL	ACCESO DIGITAL DISTRIBUCION RED INTELIGENTE BASE DE DATOS SEÑALIZACION FUERA DE BANDA ROAMING AUTOMATICO CD, NAC, INT	IPRATIS EMIS/ACCESO UNIVERSAL UNIVERSAL	
SISTEMAS MÓVILES POR SATELITE	SATELITES GEOESTACIONARIOS ANALOGICOS GRANDES TERMINALES MÓVILES	SATELITES GEOESTACIONARIOS DIGITALES ANALOGICOS TERMINALES MÓVILES MÓVILIZADAS	SATELITES GEOESTACIONARIOS DIGITALES TERMINALES MÓVILES MÓVILES CORRIGIDO DE ACCESO UNICO	SATELITES GEOESTACIONARIOS DIGITALES TERMINALES MÓVILES MÓVILES DE MANO	

Tabla 2.2.1

## 2.2 DESARROLLO DE LAS REDES FIJAS

La red pública fija ha evolucionado bajo los principios básicos de servicio telefónico a una sofisticada característica de flexibilidad y ancho de banda.

La ISDN se ha implementado en varios países con una arquitectura que soporta voz, datos e imagen a través de interfaces normalizadas, desde la simple línea telefónica hasta interfaces digitales con características de señalización y protocolización. En el sistema digital se han planeado dos servicios: velocidad básica (BRI) de 64 Kbps y 16 Kbps y otra velocidad primaria (PRI) para 24 y 30 canales (1544 y 2048 Kbps). Las redes ISDN planean desarrollar anchos de banda con abonados que trabajan desde 32 hasta 138 Mbps.

La IN es una infraestructura que permite mejorar los servicios, como por ejemplo: tarjeta de llamada automática, redes privadas virtuales que permiten desplegar rápidamente sin modificaciones de hardware, amplios y nuevos servicios. La estructura típica de una red IN se muestra en la fig. 2.2.1.

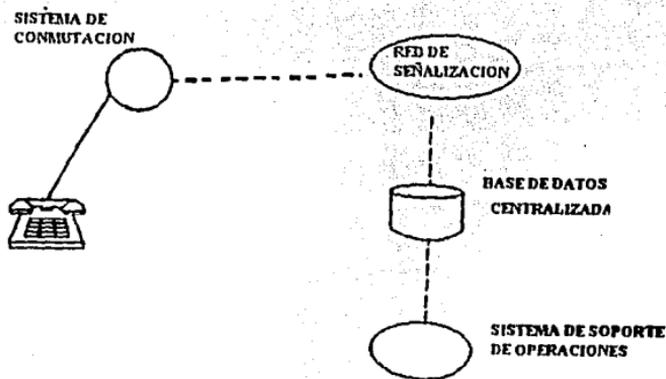


Figura 2.2.1 Estructura típica de la IN.

### 2.2.1 RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (ISDN)

La ISDN es definida por CCITT como sigue: Una red que proporciona una conectividad digital que soporta un amplio rango de servicios, incluyendo servicios de voz y datos. Para el cual los usuarios tienen acceso por un número limitado de interfaces estándares multipropósito.

La ISDN está basada en la digitalización de la red telefónica llamada Red Digital Integrada (IDN) e incluye:

- Líneas ordinarias de abonado de dos hilos.

- Estructura de enlace PCM de 32 o 24 canales.
- Sistema de señalización número 7.

La red soporta tanto servicios de voz como de datos. Un usuario conectado a la red puede usar una combinación de servicios, mientras tenga una interface y un número de directorio. La interface entre el usuario y la red proporciona un poderoso sistema de señalización que lleva la información relacionada en cada llamada. La información que lleva incluye, por ejemplo, el tipo de servicio que el usuario necesita para la llamada, el tipo de terminal conectada (si es servicio de datos) y el número de directorio del abonado que llama y al que se llama. Un usuario final puede ser abonados de negocios o residenciales tales como un PABX, una Red de Área Local (LAN) o una base de datos.

Actualmente existen redes dedicadas para la transmisión de voz y varias formas de datos. Los abonados necesitan accesos separados para las diferentes redes y servicios (fig. 2.2.2). La ISDN da al abonado acceso integrado o combinado a estos servicios. El acceso integrado implica que el cliente ISDN tiene acceso a ambos servicios de voz y de datos a través de una simple línea de abonado (fig. 2.2.3). La ISDN también funciona como una interface a otras redes específicas, tal como la red de paquete de datos y la red telefónica, (fig. 2.2.4). La ISDN puede estar esparcida sobre una comunidad entera o tener un rango limitado a una localidad.

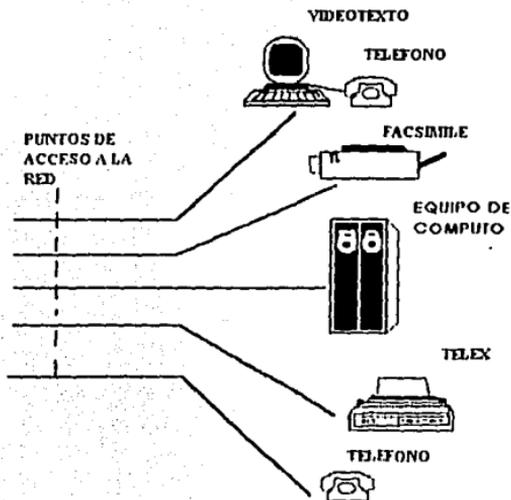


Figura 2.2.2. Accesos separados para los diferentes tipos de redes

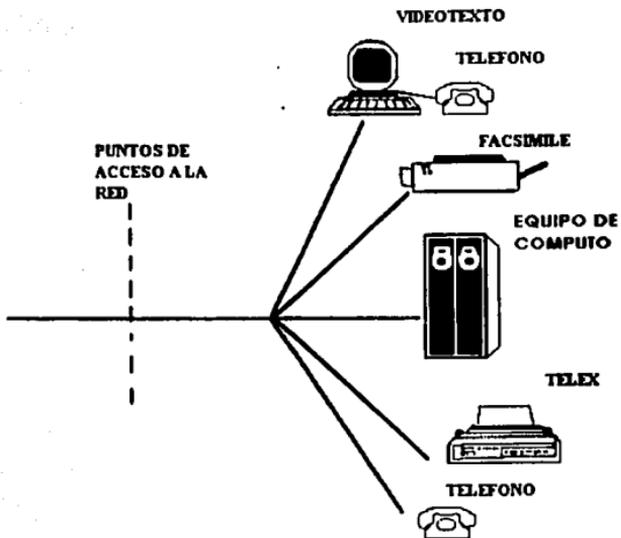


Figura 2.2.3. Acceso integrado a través de una simple línea de abonado.

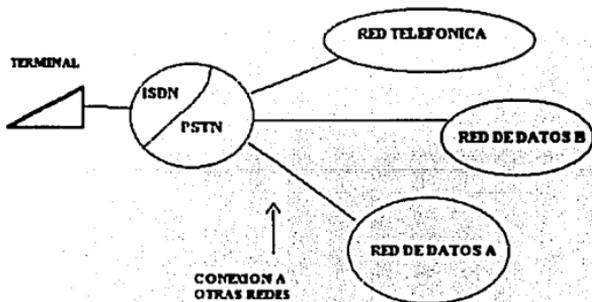


Figura 2.2.4. La ISDN sirve también como interfaz a otras redes específicas.

La interface usuario-red consiste de un canal de señalización (el canal-D) y un número de canales de tráfico (canales-B). El número estandarizado de canales-B en una interface es de 2 o 30 (en algunas ciudades es de 23). Una interface que tenga 2 canales-B es conocida como Rango de Acceso Básico o 2B+D; una interface teniendo 30 canales-B se conoce como Rango de Acceso Primario o 30B+D. La velocidad de señalización en el canal-D depende del número de canales-B de la interface. La velocidad de señalización para el rango básico y primario es de 16 Kbit/s y 64 Kbit/s respectivamente.

Los canales-B se usan para comunicación mientras que los canales-D se usan para señalización. El propósito principal de los canales-D es llevar información de señalización referente al control de la conexión de los circuitos de conmutación a través de la ISDN. El canal-D lleva información entre la terminal y la central ISDN local en ambas direcciones. En la central la información de la señal es dirigida hacia las funciones de control de la misma central. Aunque la señalización tiene una alta prioridad en el canal-D hay capacidad para permitir otro tipo de información. Mensajes usuario-usuario también son enviados en el canal-D, son mensajes cortos enviados entre dos terminales de usuario, estos mensajes pasan por las funciones de control de la central pero no son procesados sino que pasan directamente a la terminal receptora. El canal-D también se usa para la transmisión de un limitado aumento de paquete de datos destinados para conmutación a través de la ISDN hacia un manejador del paquete en la red de paquete de datos. Información de Telemetría también puede ser transportada por el canal-D.

El canal-B se emplea para llevar una amplia variedad de información digital entre la terminal y la central ISDN en ambas direcciones. El canal-B se extiende desde la central local ISDN transparentemente a través de la red hacia otras centrales y finalmente la terminal de destino. Ejemplos de la información transportada por el canal-B son codificación PCM, datos y voz digitales.

Los canales-B tienen una velocidad de 64 Kbits/s, mientras que para el canal-D hay dos velocidades. Cuando el canal-D es usado como canal de señalización, la velocidad de acceso básico, 16 Kbits/s es suficiente para manejar la información de señalización para los dos canales-B y un limitado aumento en la información usuario-usuario.

Un canal de velocidad de acceso primario puede tener hasta 30 canales-B y consecuentemente requiere una alta capacidad para la señalización, el canal D requiere una velocidad de 64 Kbits/s. Nótese que ambos tanto el canal-B como el D son canales full-duplex.

### 2.2.2 SERVICIOS ISDN

La ISDN es una red de comunicación que integra diferentes servicios de telecomunicaciones dentro de la misma red. A través de la ISDN un abonado es capaz de acceder una gran variedad de servicios, incluyendo servicios de voz y datos así como nuevos servicios de telecomunicaciones recientemente desarrollados.

Para hacer más fácil la definición y estudio de los diferentes servicios de telecomunicaciones CCITT ha dividido los servicios dentro de dos principales categorías :

- Transferencia de mensajes.
- Teleservicios.

La tarea de los servicios de transferencia de mensajes es llevar conversación, datos, texto o imágenes como información digital en la red entre interfaces de usuarios. Esto se deberá hacer en tiempo real, sin alteración de la información contenida. La Fig. 2.2.5 muestra como se ha implementado un servicio de transferencia en la ISDN entre dos interfaces de usuario a los puntos de referencia.

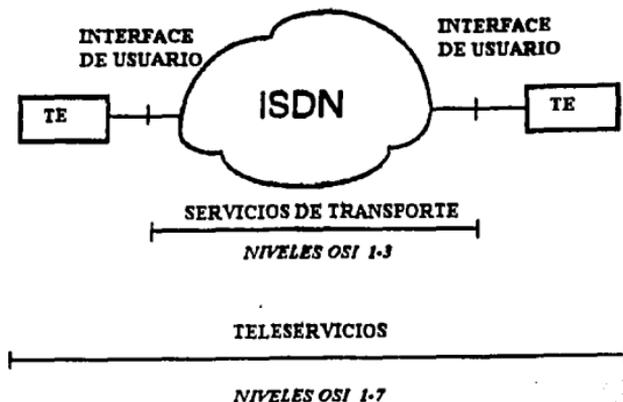


Figura 2.2.5. Relación de los servicios de transferencia y los teleservicios con el modelo OSI.

Las funciones de los servicios de transferencia corresponden a los niveles OSI 1-3 para enrutamiento y salvaguardar la información del usuario a través de la red desde el emisor hasta el receptor.

Un teleservicio es un servicio de comunicación completo entre dos usuarios y combina la transferencia de comunicación de un servicio de transferencia con algunas funciones terminales tales como el procesamiento de información. Consecuentemente, un teleservicio corresponde a los niveles OSI 1-7. Algunos teleservicios están ligados a algún servicio de transporte especial, mientras que otros pueden utilizar diferentes de estos servicios.

El teleservicio de telefonía está siempre ligado a la PSTN, el teleservicio telex está ligado a la red de telex, mientras que la versión más moderna puede usar diferentes redes de comunicación, tales como la PSTN o diferentes redes de datos. Videotexto, telefax (fax) y telemetría son otros ejemplos de teleservicios.

Los servicios de transferencia y los teleservicios son divididos en servicios básicos y servicios suplementarios. Los servicios básicos pueden ser incrementados por uno o diversos servicios suplementarios. Generalmente los servicios suplementarios proporcionan una capacidad adicional para emplearse junto con los servicios de telecomunicaciones, esto depende de los correspondientes servicios básicos, y pueden nunca ser usadas como funciones aisladas. El mismo tipo de servicio suplementario se puede usar junto con diversos servicios básicos de telecomunicaciones.

La telefonía es un teleservicio básico. La marcación abreviada (ADI) es un servicio suplementario que puede ser usado junto con la telefonía para dar a los usuarios una facilidad adicional.

A un abonado se le permite el acceso a los servicios de telecomunicaciones cuando satisface ciertas condiciones tales como: que el abonado tenga suscripción a los servicios básicos de telecomunicaciones y si es necesario suscripción a los servicios suplementarios. Que las terminales sean compatibles, que la interrelación de los sistemas de señalización sean capaces de llevar la información requerida.

Dentro de cada uno de los servicios de telecomunicaciones hay un número específico definido por la CCITT. Para caracterizar y describir los diferentes servicios de transporte y los de teleservicio se han definido una serie de atributos.

### 2.2.3 ATRIBUTOS

#### Servicios de transferencia

Un servicio de transferencia proporciona la capacidad para transferir información entre dos interfaces de usuario en los puntos de referencia S/T.

- Atributos de transferencia de información.
- Atributos de acceso.
- Atributos generales.

#### Teleservicios

Un teleservicio proporciona capacidad para una comunicación completa entre dos terminales de usuario incluyendo tanto a las red como a las funciones terminales y corresponde a las siete etapas del modelo OSI.

- Atributos de etapa baja.
- Atributos de etapa alta.
- Atributos generales.

La red de señalización dentro de la ISDN esta basada en CCITT No 7 sistema de señalización por canal común. La red de señalización por canal común consiste de una Parte de Transferencia de Mensaje (MTP) y una apropiada parte de usuario, tal como la Parte de Usuario de Telefonía (TUP). En la ISDN estos son proporcionados por la Parte de Usuario de Servicios Integrados (ISUP) y una Parte de Control de Conexión de Señalización (SCCP). La ISUP es un poderoso sistema de señalización por canal común que transfiere lo relacionado a los servicios soportados por la ISDN. El SCCP permite transferir información sobre la red de señalización.

La ISDN proporciona al usuario canales de 64 Kbit/s que se puede utilizar para un gran número de servicios. El usuario utiliza los canales para transmitir voz o tráfico de datos variando la velocidad hasta 64 Kbit/s. Para tráfico de datos, entre la ISDN y otras redes de telefonía, la velocidad de transmisión está determinada por el equipo terminal de abonado. La interrelación entre la ISDN y redes de telefonía se maneja por Unidades de Interrelación (IWU) y módem. Los módems pueden únicamente comunicarse con otros módems de la misma velocidad.

### **2.3 RED INTELIGENTE (IN)**

La complejidad de las redes de telecomunicaciones se intensifican y con esto se adicionan nuevas tecnologías continuamente. Al mismo tiempo el potencial de la red como recurso de comunicación se incrementa a través del creciente número de terminales y abonados. La necesidad de un enfoque de una red orientada que reemplace la red fija existente ha venido incrementándose. La competencia existente entre las diferentes compañías operadoras y entre redes privadas y públicas, las demandas de los consumidores para nuevos servicios de red, además de la posibilidad de que la industria de las telecomunicaciones se beneficie de los avances en la industria de la computación, definiendo posibles interfaces entre las funciones de control y transporte hacen que el campo de las telecomunicaciones sea de interés a nuevas categorías de personas, tales como políticos u otros importantes tomadores de decisiones, gente quien no había sido tocada por los desafíos de los asuntos de las telecomunicaciones. La IN ha venido y permanece como uno de los conceptos más interesantes en esta materia.

#### **2.3.1 EL CONCEPTO DE LA IN**

Los conceptos asociados con el desarrollo e implementación de una Red Inteligente (IN) ha recibido una atención creciente en los últimos tiempos. En un ambiente cada vez más competitivo ha levantado expectativa por el nuevo nivel de flexibilidad en el rápido y económico abastecimiento de servicios de red.

Una Red Inteligente es un ambiente de red dentro del cual los servicios se pueden proporcionar en forma lógica independientemente de la estructura física de la red. La red deberá ser capaz de ofrecer servicios de telecomunicaciones de una manera transparente. El abonado no deberá percibirse de como o en que parte de la red los servicios se proporcionan. El proveedor del servicio deberá ser capaz de optimizar esta partición, como y cuando el servicio es proporcionado.

En términos generales los objetivos de la IN se pueden expresar como:

- Rápida introducción de servicios con disponibilidad.
- Operación de servicios uniforme en un ambiente multi-proveedor.
- Fácil programabilidad para servicios definidos por software.
- Características de portabilidad a través de diferentes nodos de la red.
- Control del cliente de los servicios de la red.

Es necesario distinguir entre lo que son los servicios de información y lo que se conoce como servicios de red, ver fig. 2.3.1. Aquí los servicios de red son definidos en relación a la suscripción acordada por una compañía operadora de administración de telecomunicaciones y el cliente. La suscripción es un contrato legal que especifica condiciones técnicas y económicas para proporcionar los servicios de red, la parte técnica declara las condiciones para el establecimiento transparente de la información destino/destino, canales entre puertos de la red, terminales o individuos. Las condiciones incluyen los métodos de conexión y desconexión, el ancho de banda proporcionado, hasta que punto el suscriptor puede modificar el servicio y que información el abonado recibe del servicio: como quien es el abonado que llama, el número llamado, estadísticas y datos básicos de tasación. La lista puede hacerse grande sobre todo si el suscriptor es una compañía grande. Por otro lado, para el abonado doméstico las condiciones técnicas tienden a ser muy simples. De acuerdo a la definición anterior el concepto de servicios de red no tiene nada que ver con los servicios de información. Estos últimos se refieren a la información llevada por la red entre suscriptores y como es manejada. El concepto común es que un suscriptor de la red actúa como un proveedor de servicios de información la cual se entrega a sus clientes vía la red de telecomunicaciones.

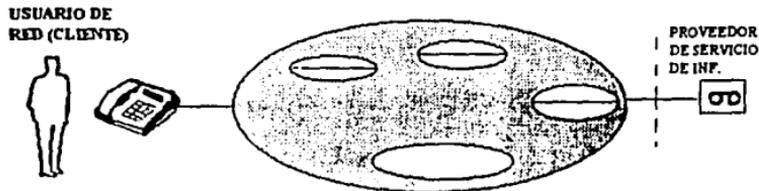


Figura 2.3.1. Servicios de información.

## 2.3.2 ARQUITECTURA DE LA IN

La característica más importante de la arquitectura de la Red Inteligente es hacer el servicio lógico independiente de la implementación de la red de transporte. La red se puede realizar con tecnología digital o analógica, los abonados pueden estar conectados vía radio o circuitos físicos. La disociación del servicio lógico, hace posible crear servicios rápida y fácilmente por medio de programación y también para ejecutarlo a cualquier nivel de la red. La disociación requiere la identificación de los elementos funcionales esenciales y las condiciones para su interrelación. Los componentes funcionales consisten de funciones normales ejecutadas en la red y las cuales, cuando se enlazan en forma conveniente para el servicio, produce el deseado servicio. Así que la arquitectura de la red deberá ser lo más disociada posible de la lógica del servicio. Los elementos que juntos forman la arquitectura son: Conmutación del Servicio (SS), Control del Servicio (SC), Manejo del Servicio (SM), Suministro de Información y Creación del Servicio, (SCE). Fig. 2.3.2.

### 2.3.2.1 CONMUTACION DEL SERVICIO

La introducción de los servicios de la IN requiere de Puntos de Disparo (TP). Los TPs serán definidos en el proceso de llamada normal, cuando se encuentra un TP se hace una llamada al nivel de control del servicio donde la lógica de éste se ejecuta. Se puede definir un número determinado de TPs pero entre más sean, más grandes las posibilidades de conexión a la nueva lógica y al patrón básico del control del servicio, con la llamada desde un TP el nivel SC puede tomar el control total del proceso de llamada. Los resultados de la ejecución de la lógica de la llamada en el nivel SC se transfieren al nivel del Punto de Conmutación del Servicio (SSP), en la forma de Componentes Funcionales (FC). Los FCs individualmente no son servicios dependientes, pero la elección de estos y la orden de cuales de ellos se enlaza determina que servicio recibirá el suscriptor. La designación común de la funcionalidad de conmutación del servicio es el SSP.

### 2.3.2.2 CONTROL DEL SERVICIO

El nivel del SC es el que se separa completamente del servicio de conmutación asíncrono en tiempo real a través de la creación de una plataforma de servicio IN, vease la fig. 2.3.3. Un módulo de la lógica del servicio, característica del programa, ve únicamente los TP y se comunica externamente vía los FCs. Un nodo independiente que lleva a cabo funciones de control de servicio se denomina Punto de Control de Servicio (SCP) se usa un protocolo de acuerdo para la comunicación entre SSP y SCP. Hasta ahora se ha utilizado la Parte de Aplicación de Capacidades de Transacción (TCAP), en el sistema de señalización por canal común No 7 de CCITT.

### 2.3.2.3 CREACION DEL SERVICIO

El hecho de que el proceso de conmutación sea asíncrono se oculta por el programador de acuerdo con la plataforma IN. Esto también oculta el mecanismo en el nodo que maneja el servicio. El único contacto que el programador tiene con el proceso de la llamada es limitado para controlar un modelo de conmutación simple con la ayuda de un grupo de FCs y limitado a un número de TPs. La programación de un nuevo servicio viene a ser un simple procedimiento.

Esto motiva a los diseñadores a desarrollar la plataforma de la IN, lo cual a su vez habilita a los proveedores del servicio para tomar alguna responsabilidad para la creación de nuevos servicios.

### 2.3.2.4 MANEJO DEL SERVICIO

La introducción de los nodos de la IN no es suficiente para hacer que los nuevos servicios estén disponibles para todos los clientes rápidamente. Se requiere una arquitectura completa del manejo. Esto posibilitará la creación de nuevos servicios usando programación que lo hace independiente del equipo usado para la construcción de la red. La arquitectura deberá también incluir una interface hacia el cliente y oficinas de ventas en las cuales los nuevos suscriptores se pueden definir. Además debe permitir la distribución del servicio y los datos requeridos para su ejecución a través de la red de una manera efectiva. El propósito es orientar la solución de los problemas administrativos centralizando la lógica del servicio a un nodo SCP.

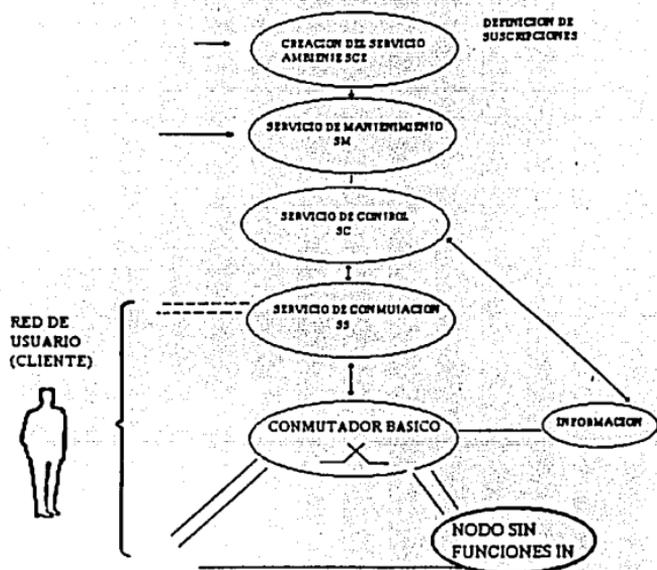


Figura 2.3.2. Elementos que juntos forman la arquitectura de la IN.

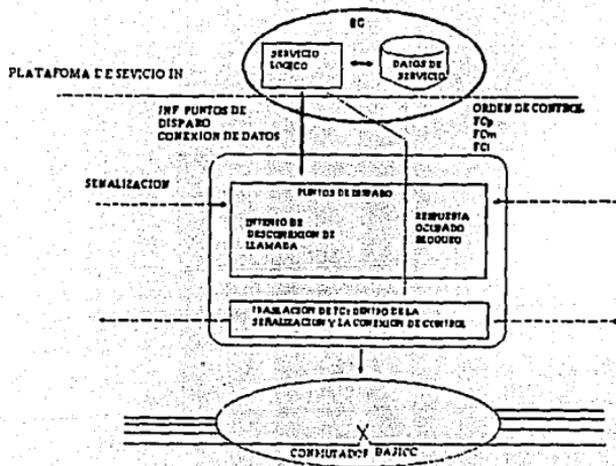


Figura 2.3.3. Plataforma de servicio IN.

### 2.3.3 SERVICIOS AVANZADOS

La IN es una Red Pública de Telefonía normal con funciones especiales, las cuales se comunican en forma tal que hacen posible incrementar el número de llamadas telefónicas exitosas cuando se realiza una conexión. Este es uno de los puntos que hace atractiva a la IN.

Sin embargo, esto implica únicamente llamadas que hacen uso de un código especial de entrada, el cual da acceso a lo que se denomina Servicios Avanzados. Las llamadas normales no son afectadas por la IN.

Un Servicio Avanzado típico puede iniciar con un anuncio pregrabado ofreciendo a la persona que llama una gama de posibilidades a escoger. Presionando el dígito de su elección la persona que llama puede obtener la conexión deseada. Cuando el software y los datos del Servicio Avanzado se almacenan en una central dentro de la red, el servicio se puede cambiar fácilmente.

Estos servicios pueden realizarse como programas modulares con atributos específicos. CCITT introdujo el nombre de Bloques de construcción de Servicio-Independiente (SIB) para estos bloques.

Un SIB tiene siempre una entrada aunque puede tener un número variable de salidas. Además de:

- Diversos módulos que juntos forman un Servicio Lógico (programa).
- Un Guión de servicio que consiste de un Servicio Lógico con Datos conectados a él.
- Un Servicio avanzado que puede consistir de dos o más Guiones de Servicios.

Algunos servicios similares a los Servicios Avanzados se pueden ofrecer aun sin la Red Inteligente, normalmente como programas de código implementado dentro de:

- 1.- PBAX (centrales privadas automáticas) de un complejo de Negocios.
- 2.- Una o más centrales PSTN.

Sin embargo, la ventaja de usar programas basados de SIBs son:

- Un incremento en la flexibilidad de los servicios (SIBs individuales pueden ser adicionados o cambiados o removidos).
- Rápida introducción de los servicios requeridos (Los SIBs únicamente tienen que ser seleccionados, arreglados y más tarde conectados a los datos requeridos).
- Una amplia disponibilidad de servicios (los servicios de abonado no necesitaran equipo especial como en PBAX).
- Menos presión a la red. Los nodos activos durante una llamada la IN ocuparan las líneas PSTN menos tiempo, ya que usan un tipo especial de comunicación.

## **2.4 DESARROLLO DE LAS REDES MOVILES**

El aumento constante del número de abonados a sistemas celulares es la más firme indicación de la creciente necesidad de comunicación móvil. Los sistemas celulares de la actualidad se especificaron y diseñaron durante la década de los 70 y principios de los 80 como resultado de trabajos efectuados más o menos en paralelo por diferentes organismos. Esto ha dado como resultado varios estándares o normas de sistema, cuatro de los cuales dominan el mercado. Básicamente estos cuatro estándares emanan de dos especificaciones fundamentalmente diferentes.

El estándar de Telefonía Móvil Nórdica 450 (NMT 450 ) fue especificado a finales de la década de los 70 por las administraciones de telecomunicaciones de Dinamarca, Noruega, Finlandia y Suecia; desde 1981 ha sido el estándar más extendido, como sistema en operación en todo el mundo.

En 1983 se pusieron en servicio los primeros sistemas diseñados de acuerdo con el estándar de la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA), el estándar EIA basado en una licencia de la

Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), y el sistema experimental Servicio Telefónico Móvil Avanzado (AMPS) han sido primariamente adaptado para su uso en Estados Unidos y Canadá.

El estándar del Sistema Comunicación de Acceso Total (TACS) se basa en la especificación de la asociación EIA citada pero incluye algunas modificaciones impuestas por el departamento de industria y comercio británico. El primer sistema de esta clase fue puesto en servicio a principios de 1985.

Al diseñar el sistema nórdico NMT 450 la demanda resulto ser mayor que lo previsto de forma que las administraciones nórdicas se vieron en la necesidad de instalar un segundo sistema, NMT 900, en paralelo con el NMT 450. Estos dos sistemas están íntimamente relacionados. Los países nórdicos fueron los primeros en usar el sistema NMT 900 a finales de 1986.

Al comparar los sistemas que siguen los diferentes estándares se advierte claramente que fueron especificados con puntos de vista sobre la telefonía celular algo diferentes, no sólo en cuanto a especificaciones técnicas, sino que también existen diferencias funcionales. El estándar EIA por ejemplo especifica un escenario con dos empresas de explotación de red competidoras, que explotan sistemas limitados geográficamente en paralelo. Los estándares NMT por otra parte están previstos para una cobertura internacional a cargo de una sola empresa de explotación por cada país. El estándar TACS incluye funciones de ambos estándares citados tales como registro automático del desplazamiento y competencia libre entre empresas de explotación.

## 2.4.1 PRIMERA GENERACION: SISTEMAS ANALOGICOS

Los sistemas de radio celular están basados en tecnología de radio analógico como se muestra en la fig. 2.4.1 un sistema típico de cuatro elementos:

- 1.- La terminal móvil (MT) o terminal personal (PT).
- 2.- La estación base (BS).
- 3.- El centro de conmutación de móviles (MSC).
- 4.- Los elementos de conectividad.

Las MTs tienen acceso a las RBSs vía radio y las RBSs están controladas por el MSC dentro de un área celular asignada. Las RBSs asignan canales de radio a las MTs que hacen o reciben comunicación de acuerdo a la señalización y administración celular.

El MSC es el centro de control y conmutación para todas las llamadas entre la red pública de conmutación telefónica (PSTN) y las MTs incluso entre MT y MT. El MSC monitorea el estado de colgado o descolgado de los MTs y el cambio de una célula a otra. Además de facturar el costo de las comunicaciones de los usuarios, diferente a las normas de Europa, el Servicio Telefónico Móvil Avanzado (AMPS) adoptó una simple norma analógica para Norteamérica, alcanzando un alto grado de penetración en el mercado, al grado de que ahora esta al limite de su capacidad.

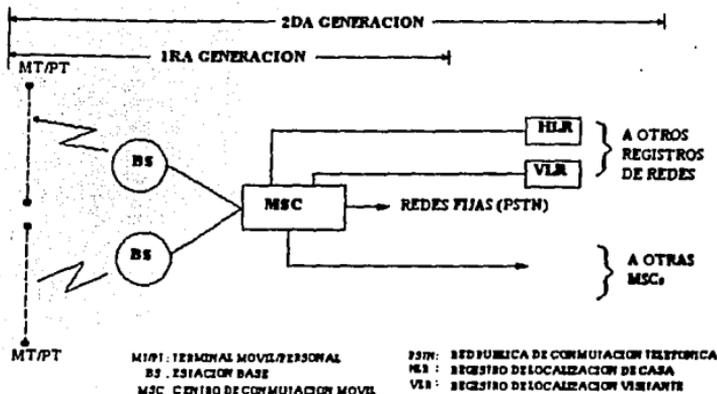


Figura 2.4.1. Primera y segunda generación, sistemas celulares.

## 2.4.2 SEGUNDA GENERACION: SISTEMAS CELULARES DIGITALES

Los sistemas celulares actualmente están produciéndose con tecnología digital en sus equipos y en la porción de radio de la red (fig. 2.4.1), para hacer más eficiente el uso del espectro, además del uso de señales de voz digital comprimida, sistemas inteligentes distribuidos en la red, implementación de la base de datos y normalización de interfaces de red.

Una asignación estratégica del cerebro de la red (por ejemplo la base de datos) permite la centralización de la información más relevante del usuario errante para soportar el acceso y localización celular e intercelular nacional e internacional.

El despliegue de capacidades digitales en el corazón de las redes celulares junto con canales de señalización común entre los MSCs permiten conocer la información de la localización del usuario errante (MT) para establecer la ruta y en forma automática efectuar la conmutación en tiempo real del cambio, esta característica es debida a la asignación de un Número de Directorio (DN) sin necesidad de distinguir el número del errante (MT). Se asigna un DN a un MT para suministrar el servicio celular, los bloques de DNs están asociados a un MSC para que interactúe con la PSTN y efectúe el enrutamiento de la llamada celular. El MSC digital también ofrece servicios de espera de llamadas, señal de llamada, mensajes de voz, etc.

Los sistemas de la segunda generación incluyen las siguientes funciones:

- 1.- Información estable de usuarios registrados normalmente en un área.
- 2.- Información dinámica de usuarios que visitan el área.
- 3.- Autenticación de los datos del usuario errante MT.

Cuando el servicio es solicitado en un área. El MSC tiene acceso a los registros de la información actualizada de los MT's propios y visitantes. Las técnicas de señalización del canal común soportan el control de la llamada y las características de los servicios asociados.

Los sistemas de la segunda generación también soportan los servicios de telefonía y datos, señalización fuera de banda de las MT, celular a celular sin la intervención humana para servicio de datos, características de la ISDN como: identificación de la línea que llama, finalización de la llamada para abonados ocupados.

La evolución esperada en la tecnología digital ha sido muy lenta en Norteamérica en la primera mitad de los 90 debido a que hay muchas terminales analógicas en servicio. Una estrategia de transición será un doble modo de servicio analógico/digital como terminal (MT) de acuerdo a la especificación TIA- IS.54.

En Europa y en algunas partes de Asia, las normas de la primera generación son reemplazadas por las normas TDMA de la segunda generación del sistema global para telecomunicaciones móviles (GSM), en Norteamérica se hace lo mismo con la norma TIA-IS.41 y se implementan pruebas con CDMA y otros.

### 2.4.3 TERCERA GENERACION: SISTEMAS MICROCELULARES

La tercera generación esta en una etapa relativa de definición y estará disponible para el año 2000, cuando se espera alcanzar la total capacidad de la segunda generación.

La tercera generación contempla arquitectura de red con norma física, interface de protocolo, especificaciones de equipo que asegure el interworking con diferentes servicios, eficiente interface del espectro para todo tipo de terminales y una técnica sofisticada para administración de suscriptores móviles en pico, micro y macrocelular. Se puede esperar que la señalización y el control de tráfico requieran de las más altas capacidades, de mejores y más rápidos protocolos de empaquetamiento y de redes asociadas, vease la fig 2.4.2

A diferencia de los servicios telefónicos alambreados de la segunda generación y las grandes restricciones de los servicios de la primera generación telefónica de puntos fijos públicos y domésticos, los sistemas basados en las Redes de Comunicación Personal (PCN), sobre la arquitectura de las redes inteligentes permiten soportar MT's ubicuas con opción a dos caminos de llamada en las redes. Estas terminales operarán en bandas de frecuencia muy alta y serán extremadamente pequeñas, lo que garantiza alta calidad y capacidad de la red, además de que estas terminales cada vez serán: más baratas, portátiles y con un número único.

#### 2.4.4 SISTEMA DE TELECOMUNICACION MOVIL TERRESTRE PUBLICO DEL FUTURO

En la Conferencia Administrativa Mundial de Radio (WARC'92) se especificaron las bandas de 1855 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz para el Sistema de Telecomunicación Móvil Terrestre Público del Futuro (FPLMTS) lo que viene a ser una ampliación de las bandas asignadas para el MSS que van desde 1980 a 2010 MHz y 2170 a 2200 MHz.

En 1988 la RACE (Investigación Avanzada para Comunicaciones de Europa) se enfocó un programa para la creación de la tercera generación Sistemas de Telecomunicación Universal Móvil (UMTS) para implementarse a finales de los 90.

El UMTS tendrá servicios de voz celular, servicios ubicuos con una tarjeta inteligente para ser usada en llamadas directas, exhibidor de llamadas, contestación a más de una línea. En Europa se reconoce la necesidad de unificar normas, esta es una actividad paralela al CCIR que incluirán servicios de voz, vídeo, datos y soportarán servicios de la ISDN.

En Japón se está implementando una red de tercera generación con características similares a las de Europa y América llamada Red de Comunicación Digital Móvil Inteligente (IDMN).

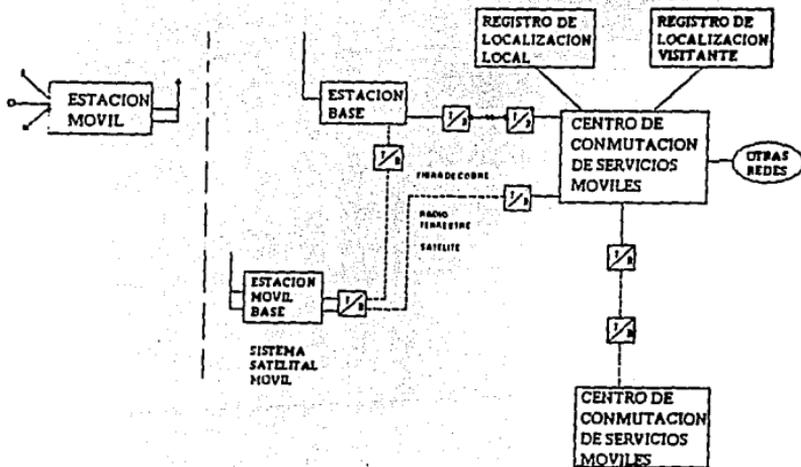


Figura 2.4.2. Tercera generación, sistemas celulares.

## 2.5 REDES MOVILES POR SATELITE

El uso de satélites, tanto para las comunicaciones mundiales como para las domésticas se ha extendido sobre manera en los últimos años. El tráfico telefónico (voz) se envía ahora en forma rutinaria, aumentando las comunicaciones telefónicas internacionales, que eran anteriormente posibles solamente usando los cables submarinos tendidos en el fondo de los océanos del mundo. La transmisión del tráfico de datos vía satélite ha tenido también un incremento en todo el mundo.

Los primeros servicios móviles por satélite se ofrecieron a barcos en altamar en los años 70. Desde entonces los servicios móviles por satélites han crecido continuamente y hasta hace relativamente poco eran patrimonio exclusivo de la comunidad marítima, sin embargo, esta situación está en plena evolución, debido al gran aumento de proveedores y clientes de este tipo de servicio.

La Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite (INMARSAT) tiene proporcionando servicios de comunicación por satélite para aplicaciones móviles terrestres por más de una década. Habiendo iniciado con el sistema de voz y telex INMARSAT-A, INMARSAT está obligado a que los servicios evolucionen hacia una comunicación global personal, con terminales de mano. Cada año, los usuarios han sido beneficiados por la evolución de las tecnologías, incrementando la amigabilidad y portabilidad de terminales con un decremento en los costos de operación.

Desde su inicio INMARSAT ha sido una gran fuerza en comunicaciones móviles. Proporcionando comunicaciones satelitales móviles vía satélites geostacionarios, los cuales en virtud de su gran área de cobertura y rápida interconexión hacia redes públicas de conmutación, han tenido un papel importante en las comunicaciones internacionales. INMARSAT es el principal proveedor de comunicaciones en caso de desastre y emergencia y de una gran variedad de aplicaciones móviles y de transporte. Los servicios móviles terrestres de INMARSAT se pueden caracterizar como proveedores de una extensión de redes públicas o proporcionando comunicación a usuarios móviles.

A pesar del incremento de la infraestructura de telecomunicaciones, hay muchas áreas donde INMARSAT es la única solución factible por razones geográficas, demográficas o económicas.

La generación actual de los sistemas móviles por satélite incluyen aquellos que están en operación por INMARSAT, la red doméstica de Australia y la Red Regional de Comunicación Móvil por Satélite (MSAT) previstas para 1994 en Norteamérica, con estas tres redes se ofrece una cobertura mundial. INMARSAT a implementando 3 sistemas:

- INMARSAT-A para alta calidad de voz y datos.
- INMARSAT-C para almacenamiento y manejo de datos y para servicios de voz y datos aeronáuticos.
- INMARSAT-B para reemplazar al sistema A.

## 2.5.1 INMARSAT-A

INMARSAT-A es un sistema telefónico analógico. Opera en un simple canal por portadora básica usando modulación en frecuencia y proporcionando un canal lineal soportando operaciones full duplex. En operación normal los companders de voz son conmutados para mejorar subjetivamente la calidad del enlace.

El sistema INMARSAT-A comprende cuatro redes de comunicación independiente (regiones oceánicas de satélite), cada red esta formada por un satélite en operación y uno de reserva, Estaciones Móviles de Tierra (MESHs), una Estación Coordinadora de Red (NCS), y Estaciones Terrenas (LESs).

La estación fija terrestre actúa como una interface entre la PSTN y el segmento espacial de INMARSAT, estas son asignadas como responsables de las líneas terrestres de conexión hacia la PSTN, cada LESs tiene una antena parabólica con un diámetro entre 10 y 13 mts para transmisión hacia y desde los satélites. El enlace es en banda C e incluye un sistema de Compensación Automática en Frecuencia (AFC). Los servicios de la NCS de INMARSAT son proporcionados para una determinada LES en cada una de las 4 regiones de red. Cada NCS es conectada mediante enlaces terrestres al Centro de Control de Red (NCC) en Londres. La NCS juega un papel importante en la red y es responsable de coordinar el acceso para los canales de comunicación entre las LESs y las MESHs dentro de la red asegurando una conectividad total. Las principales funciones de la NCS incluyen procesamiento de llamada SCPC, monitoreo de datos y administración propia.

INMARSAT-A ha estado en operación por más de 10 años y durante este tiempo ha evolucionado tanto en el servicio que proporciona como en el diseño de terminales. Además de los servicios primarios, voz y telex, se ha aumentado el número de servicios. Datos y fax son dos del los servicios más recientes usando canal telefónico. El grupo de operación III de CCITT es soportado. Se han determinado para la conexión terrestre las siguientes velocidades de línea (2400, 4800, 9600 bits/seg.).

Otros dos servicios que fueron introducidos son Alta Velocidad de Datos (HSD) 56 Kbits/s - 64 Kbits/s y Alta Velocidad de Datos Dúplex (DHSD). Las interfaces eléctricas típicas para HSD son CCITT V.35 y RS-422. La señal HSD es enviada a una de las diversas LESs que proporcionan la conexión automática o semiautomática hacia la PSTN.

Para la operación de DHSD completamente automática un número simple de marcación ha sido adoptado. El DHSD inicia la llamada como un circuito de grado de voz dúplex, hasta que el MESH es conmutada al modo de datos.

## 2.5.2 INMARSAT-B

INMARSAT-B es la versión digital del sistema INMARSAT-A. Es también capaz de operar con haces de 3 satélites INMARSAT. Creando un sistema digital avanzado, hay una reducción en los requerimientos de recursos en el segmento espacial y por lo tanto una reducción en los cargos al

usuario final. Este hecho será particularmente bienvenido por un gran número de usuarios así como por nuevos que ven la barrera económica para convertirse en usuarios de INMARSAT. El sistema proporciona llamadas de grupo de fax, datos, voz y telex. La tasa de calidad de voz es proporcionada usando un algoritmo de codificación de voz de 16 Kbits/s.

El INMARSAT-M es un complemento del sistema B, que permitirá compartir el control común y el sistema de señalización como una alternativa para voz comprimida a baja velocidad y bajo costo, con opción a fax para pequeñas estaciones móviles.

### 2.5.3 INMARSAT-C

El sistema INMARSAT-C fue diseñado como un sistema de mensajería de datos compactados, de bajo costo para operación en el mar y para un amplio rango de aplicaciones terrestre móviles.

El sistema ha estado en operación comercial desde 1991. El sistema opera básicamente en la transmisión de paquetes sobre el satélite INMARSAT, el cual es capaz de ser la interface para sistemas de mensajería terrestres incluyendo Telex, X.25, datos de banda de voz, y varios servicios de correo electrónico.

El sistema INMARSAT-C proporciona almacenamiento y envío de mensajes, reportes de posición y datos, servicio de llamadas de grupo de reace y votación. El modo de almacén y envío de mensajes proporciona al usuario un medio confiable de envío de datos o mensajes de texto entre terminales móviles y abonados de redes fijas vía satélite y servicios tanto públicos como privados.

El protocolo de envío de datos permite al usuario enviar mensajes cortos de hasta 32 bits por canales especiales. El canal puede operar en una base reservada donde la terminal envía un reporte de datos en tiempos predeterminados o en una base no reservada cuando es enviado aleatoriamente. Una señal de reconocimiento de liberación es siempre provista. El servicio de poleo se usa para iniciar la transmisión de un reporte de datos desde una terminal móvil. La señal de poleo define como y cuando la terminal deberá responder y pueda direccionar una o múltiples terminales y opcionalmente pueda ser limitada a una determinada área geográfica.

El servicio de Llamadas de Grupo Realizado (EGC) es una parte fundamental del sistema INMARSAT-C y proporciona la capacidad para transmitir mensajes a móviles de una manera muy flexible. La función de alerta móvil terrestre es un tipo especial de paquetes de reporte de datos usado para alertar las LIS y/u otros proveedores de servicios acerca de una emergencia (o un mensaje de alta prioridad) vía una terminal de INMARSAT-C.

### 2.5.4 EL SISTEMA-P DE INMARSAT

Estaciones terrenas transportables, todos estos sistemas tienen intercomunicación con la red telefónica pública a través de los GWs instalados en la tierra y la costa.

El INMARSAT 1 y 2 usan satélites de haces globales y durante 1995 serán lanzados los tres satélites INMARSAT que operaran con haces angostos. INMARSAT está en el proceso de

definir su SISTEMA-P para terminales hand-held (aparato de mano). El SISTEMA-P representa la evolución natural de los sistemas M y C, como: el sistema de voceo y localización mundial por satélite. INMARSAT ha adoptado una filosofía del interworking que la hace independiente de las especificaciones del satélite y de la tecnología usada en la red.

En el SISTEMA-P, esta contemplado la FPLMTS de acuerdo a las recomendaciones de interworking del CCIR.

La tendencia de INMARSAT es lograr que los suscriptores posean un handset (estación de mano) compacto con servicio ubicuo, sea un usuario errante, y con acceso universal para redes fijas y móviles.

## 2.6 SEÑALIZACION

Señalización significa todo el proceso de generación y manejo de información necesario para el establecimiento de conexiones en los sistemas telefónicos. En efecto con el objeto de establecer las conexiones apropiadas se debe manejar previa información que implica la producción, transmisión, reconocimiento e interpretación de señales, todo esto en un proceso que da por resultado la conexión específica a través del sistema de conmutación.

Es decir en el contexto de telefonía, señalización quiere decir el paso de información e instrucciones de un punto a otro punto relevante, para el establecimiento o supervisión de una llamada telefónica. Pudiendo hacer una división en dos grupos principales:

- Señalización entre Central y abonado.
- Señalización entre Centrales.

### Señalización entre central y abonado

Primero la información que se ha de transferir desde el teléfono a la central :

- 1.- Información de la condición de la horquilla (descuelgue).
- 2.- Información del número de B requerido.
- 3.- Información de la cantidad de dinero depositada (en ciertos aparatos de alcancía).
- 4.- Información del estado de la horquilla cuando la llamada ha finalizado (cuelgue).

En la dirección de la Central hacia el abonado A:

- 5.- Información de que la Central esta lista para recibir el número del abonado B.

- 6.- Información de que si el abonado B esta libre u ocupado.
- 7.- Señales de congestión o intercepción.
- 8.- Señales de Tarificación para algunos medidores privados o teléfonos de alcancía.

De la Central al abonado B generalmente solo se requiere una señal:

9. La señal de campana para atraer la atención del abonado B.

## Señalización entre Centrales

La señalización entre Centrales es la información involucrada principalmente para hacer el establecimiento o desconexión de una llamada. Durante la llamada misma la necesidad de señalización es mínima y generalmente es transferencia de pulsos de tasación. Puede dividirse en dos grupos Señalización por Canal Asociado (CAS) y Señalización por Canal Común (CCS).

### 2.6.1 SEÑALIZACION POR CANAL ASOCIADO (CAS)

La CAS incluye los sistemas de señalización tradicionales, para ser correctamente llamado canal asociado, debe haber una asociación permanente con el canal que lleva la llamada. Señalización y voz viajan a lo largo de las mismas rutas a través de la red. Aquí hay un número de formas diferentes de transferir las señales (cd, tonos etc.). Algunas de estas variantes pueden ser:

- La señalización es hecha en el mismo canal que la voz (ej. señalización cd en banda).
- La señalización es hecha en la misma conexión de voz, pero en otra frecuencia (fuera de banda)
- La señalización se lleva en la trama 16 donde cada canal de voz tiene su canal de señalización fijo asignado y periódico. (señalización PCM.).

La forma en la cual las señales se transfieren varía, dependiendo del tipo de circuitos por ejemplo:

- Señalización cd.
- Señalización en frecuencia.
- Señalización digital.

De acuerdo al método de señalización empleado hay un número de señales las cuales deben ser transferidas, ver Fig. 2.6.1.

Algunas de las limitaciones de los sistemas CAS:

- a) Relativamente lentos.
- b) Limitada capacidad de información.
- c) Limitada capacidad para cubrir información que no este relacionada directamente con la llamada.
- d) Incapacidad de algunos sistemas para enviar información hacia atrás para la finalización de la llamada.
- e) Incapacidad de algunos sistemas para proporcionar la suficiente información para detallar la facturación de la llamada.
- f) Sistemas tendientes a ser caros porque cada circuito tiene que ser equipado independientemente.

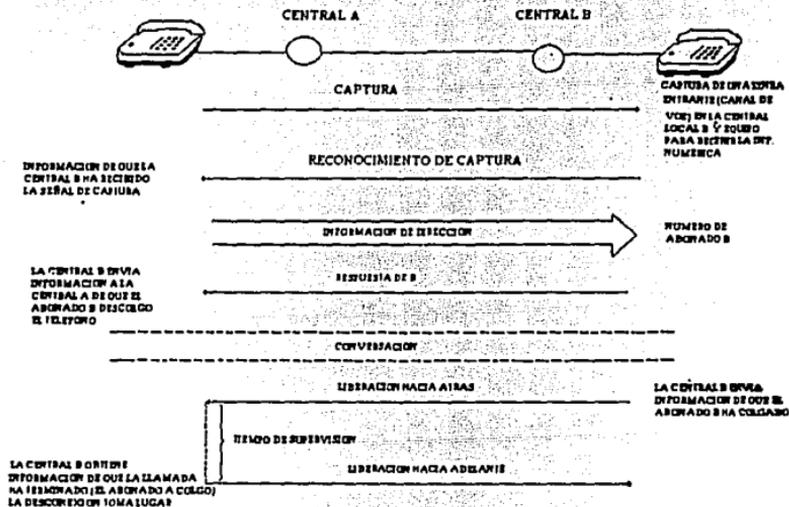


FIGURA 2.6.1 Señalización entre centrales

## 2.6.2 SEÑALIZACION POR CANAL COMUN (CCS)

El creciente uso de centrales Controladas por Programa Almacenado (SCP) han permitido la introducción de un concepto completamente diferente de señalización. En lugar de que la señalización sea llevada en los circuitos de voz., esta se concentra sobre rápidos enlaces de datos entre las Centrales SPC concernientes. Dejando que los circuitos de voz lleven solamente la conversación. La señalización para numerosos circuitos se puede manejar por un sistema sencillo de enlace de datos. La señalización se ejecuta en ambas direcciones con un canal en cada dirección.

La señalización por canal común tiene grandes ventajas, no solo en términos de capacidad. Comparado con el tiempo promedio de llamada, el tiempo total para la señalización es muy corto. Esto indica que se puede dejar un solo canal de señalización para varios cientos de llamadas, y todo el tráfico puede manejarse por un dispositivo de señalización común, por lo que no es necesario que cada línea de conexión tenga su propio equipo de señalización, evitando con esto los grandes aumentos de equipo.

Sin embargo, con la CCS viene un incremento en la necesidad de señalización. La razón principal es el incremento en la variedad de servicios, en CCS se pueden enviar rápidamente una selección ilimitada de señales entre las unidades de la red.

Las características de CCS se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Economía
- Rapidez
- Confiabilidad
- Gran capacidad
- Flexibilidad

CCITT ha recomendado 2 sistemas estándar para la señalización por canal común. El primero es el CCITT No. 6, producido por el año de 1968, se diseño para trafico internacional. El segundo es el CCITT No. 7, especificado entre 1979 y 1980. El No. 7 se destinó primeramente para redes digitales, donde la alta velocidad de transmisión (64 Kbits/s) se puede explotar pero también se usa en líneas analógicas.

El estandar No. 7 especifica señalización entre centrales en redes digitales nacionales, además de centros de operación y mantenimiento y PBAXs. El No. 7 también es aplicable a la red digital de servicios integrados ISDN (para telefonía y datos).

## 2.6.2.1 ESTRUCTURA BASICA

El estandar No. 7 se puede considerar como una simple red de caminos que se usa completamente independiente por diferentes grupos de usuarios, la tarea de esta red de caminos es proporcionar un sistema de transporte confiable para todos los grupos de usuarios.

En el No. 7 tiene diferentes grupos de usuarios, denominados Parte de Usuario (UP) , la UP para telefonia es llamada Parte de Usuario de Telefonía (TUP). Hay otras UPs como por ejemplo datos, operación y mantenimiento los cuales usan la misma red de caminos para comunicación conocida como Parte de Transferencia de Mensaje (MTP). Fig. 2.6.2

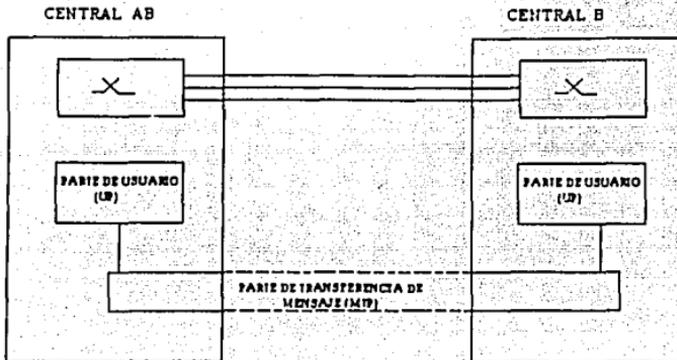


Figura 2.6.2. Parte de transferencia de Mensaje.

## Modelo OSI para comunicación

El Sistema de Interconexión Abierto (OSI) es un modelo de referencia para comunicación de datos, este es un modelo teórico el cual no está ligado a ningún proyecto o sistema de comunicación. La ayuda es crear un modelo general para estandarizar descripciones de diferentes casos de transferencia de información que está estructurado en etapas bien definidas y específicas, las cuales son completamente independientes unas de otras.

### Niveles en el estándar No. 7

El No. 7 en forma similar al modelo OSI, está estructurado en niveles, donde los niveles No. 1-3 (MTP) corresponden a las etapas No. 1-3 en el modelo OSI, y el nivel 4 (UP) a las restantes etapas No. 4-7.

Nivel 1: El nivel físico. En el No. 7 es la interface para el transporte de información, para la red de señalización que esté definida.

Nivel 2: Manejo de fallas. Aquí se encuentran funciones para separación de mensajes, detección y corrección de errores, detección de fallas de enlace de señalización, etc.

Nivel 3: Direccionamiento, el manejo de mensajes contiene funciones para asegurar que los mensajes vayan a la central correcta así como funciones para el chequeo de la red y capacidades para transmisión.

Nivel 4: Parte de usuario. El No. 7 está diseñado para que los diversos usuarios sean capaces de usar la misma red de señalización. Las reglas y funciones que aplican para los respectivos usuarios son definidas aquí.

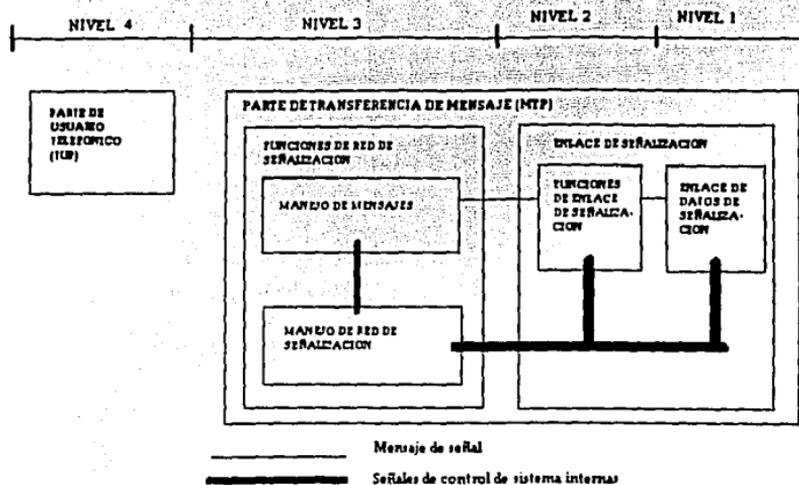


Figura 2.6.3. Niveles de la MTP.

### El mensaje de señal

La transferencia de señales en el No. 7 se lleva como un mensaje de señal de un procesador en una central a otro, como un intercambio de cartas, donde el contenido es el mensaje mismo, la UP contiene la información actual que ha de transmitirse.

La MTP está dividida en tres niveles. El nivel 1 es el enlace de señalización físico, y el nivel 2 es la terminal de señalización (ST), el cual comprende el mensaje de señalización con campos para detección y corrección de errores. El nivel 3 realiza las funciones para el manejo del mensaje y manejo de la red de señalización, ver. fig. 2.6.3.

El mensaje (MSU) está estructurado como se ve en la fig. 2.6.4.

- BANDERA                      Un bandera de inicio de 8 bits. Indica que un mensaje viene, también actúa como una bandera de cierre para el mensaje previo.
- CHEQUEO                    Verificación de bits. Asegura que los MSUs han sido recibidos en el orden correcto y solicita retransmisión en caso de error.
- LONGITUD                    Tiene 2 funciones: indica la longitud del mensaje y el tipo de mensaje.
- INF. DE SERVICIO        2 funciones. Asegura que la UP correcta reciba el mensaje, también indica si el mensaje es para tráfico nacional o internacional.
- INF. DE SEÑAL            Es el campo con la información de señalización. Puede tener entre 3 y 63 bytes en longitud.
- CHEQUEO                    Chequeo de bit para detección de errores.
- BANDERA                    Bandera de cierre (o de inicio para el siguiente mensaje).

De esto la parte más importante es el campo de información de señal SIF es la parte que contiene el mensaje de señal.

El SIF comprende junto con el mensaje mismo, una etiqueta dividida en tres partes:

- DPC (código del punto de destino) da el número del punto de destino.
- OPC (código del punto de origen) define el número del que envía.
- CIC (código de identificación de circuito) Define el enlace de comunicación y número de conexión (circuito de voz).

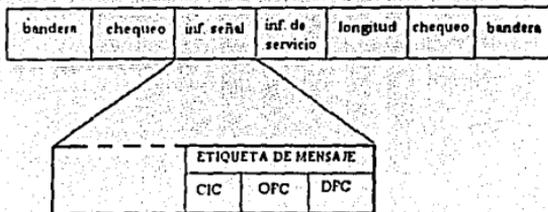


Figura 2.6.4. Estructura del MSU.

**CAPITULO 3**  
**POLÍTICAS Y NORMAS**

### 3 POLITICAS Y NORMAS

En lo referente a las comunicaciones móviles por satélite, las políticas parten de las propuestas, tal es el caso de la NASA que en 1982 presentó ante la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) establecer la red de Servicio Móvil por Satélite (MSS) y la expedición de una o más licencias. En 1985 la FCC en respuesta a la petición de la NASA, propuso los servicios de MSS y la asignación de una frecuencia con el espectro para dichos servicios. En 1986 la FCC asignó la frecuencia de 28 MHz de la banda L para el uso de las comunicaciones móviles y sugirió una estructura regulada para el nuevo servicio. En la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para los servicios Móviles WARC MOB'87 a pesar de los esfuerzos de Canadá, E.U. y México, no pudo ser adoptado el servicio móvil por satélite y en particular E.U. no aceptó las propuestas de hacer la banda L más flexible.

En 1989, la FCC dio la primera licencia para el sistema MSS, después de las decisiones tomadas por la Corte de Apelación de los E.U. de ahí quedan intactas las acciones para la expedición de licencias de la FCC.

#### 3.1 NORMALIZACION INTERNACIONAL

La necesidad de establecer una normalización internacional en los sistemas de telecomunicación mundial, ayuda a fomentar la competencia y el desarrollo de mejores servicios así como la capacidad de éstos. La falta de normas produce ineficiencia en los servicios de telecomunicaciones y la división de mercados, lo que repercute en una deficiencia financiera mundial de los sistemas. Es de gran importancia la formulación de normas para abatir costos en la investigación, el desarrollo y la manufactura.

Los negocios demandan nuevos servicios sofisticados y confiables para todo el mundo, de estos se busca interconectividad global, interoperabilidad y movilidad, favoreciendo el punto exacto en sus actividades, para poder incrementar su propiedad y tener control en las redes de comunicación, como un complemento lleno de servicios y que garantice el nivel de calidad y operación del servicio.

Las tecnologías y servicios ofrecerán compatibilidad con las redes IN y proporcionaran una variedad de servicios. El ancho de banda era anteriormente un factor limitante, y ahora se ha convertido en una comodidad; como consecuencia la competencia se ha globalizado como un sistema establecido por los operadores en busca de técnicas y relaciones que les permitan el continuar sirviendo a sus clientes existentes, conforme a las necesidades en todo el mundo. Las compañías operantes tradicionales han sido reestructuradas en respuesta a la desregularización.

Los sistemas MSS se proponen proveer servicios a algunos mercados de mayor importancia para complementar las redes de telecomunicación tradicionales, pero aun no se han integrado a estas redes mundiales. Sin embargo, la excelencia en el mercado más adecuado para sí mismo es insuficiente en la sobrevivencia a largo plazo.

Con excepción de la Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite INMARSAT, los sistemas MSS están organizados para proveer servicios mundiales. Pero para

poder dar servicio mundial los proveedores de sistemas tienen que enfrentar un reto en tres etapas: estandarización, regulación y organización.

### 3.1.1 ESTANDARIZACION

La falta de estándares, ha sido obstáculo en el desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones mundiales. La estandarización promueve la competitividad en el mercado mientras ayuda a enfocar el desarrollo de experimentos para el mejoramiento del servicio. El no tener estandarización, es ineficiencia en la entrega de servicios de telecomunicaciones en los mercados. Si los estándares se demoran, los empresarios están obligados a adaptar sus productos conforme al estándar que surge más tarde, a un costo que nadie quiere aceptar.

La compatibilidad global de los sistemas mejora el equipo que eligen los clientes y los proveedores promueven compatibilidad más grande de servicios entre los fabricantes y proveedores, esto asegura la producción de equipos terminales que resultan ser menos costosos en la escala de la economía.

La Corporación de Satélite Móvil Americano (AMSC) y la Incorporación Móvil Telesat (TMI), han definido sus sistemas estándar en su región. Los otros servicios adoptan la variedad de su técnica de no vender sus avances técnicos a la provisión de sus servicios, todos con estándares definidos, mientras no se haga una estandarización entre los propietarios, no se podrá facilitar la interoperabilidad o interconectividad global.

### 3.1.2 REGULACION

La regulación en todo el mundo, cuenta con un pequeño y actualizado mercado de datos el cual busca distribuir adecuadamente el espectro asignado. Además, los avances tecnológicos pueden disminuir la necesidad de un espectro adicional. La regulación por medio de las autoridades nacionales, es quizás, el desafío más significativo de los proveedores de Correo, Telegrafía y Telefonía (PTT) en telecomunicaciones que pertenecen al gobierno. De hecho, cuando no tienen un monopolio completo, el PTT controla sus frecuencias nacionales de radio y así también controlan las operaciones de su competencia. Esta estructura define las condiciones bajo las cuales un operador puede proveer un servicio MSS en la nación. Los países desarrollados están privatizando sus sistemas de telecomunicaciones, o de otra manera, permitir algunas formas de competencia interna.

Muchos gobiernos mantienen un alto grado en el control del servicio que proveen en telecomunicaciones y protegen vigorosamente sus empresas nacionales. El MSS proveerá con más respaldos a estas empresas privatizadas como entidades nacionales similares al PTT. Siendo ésta la entidad autorizada para proveer servicios en una nación en particular, los proveedores del MSS deben lograr acuerdos favorables con cada gobierno, con PTT y cualquier otra entidad designada por el gobierno. Si ellos no lo hacen, no estarán autorizados para proveer sus servicios en esa nación.

### 3.1.3 ORGANIZACION

Los sistemas son literalmente capaces de alcanzar a cada uno de los usuarios en todo el mundo. Sus operadores deben tener capacidad para servir a sus suscriptores en cada país que requiera el "Roaming Universal".

Para su éxito, el sistema de operadores MSS debe superar las diferencias políticas, culturales y costumbres para la relación estructural da cada país para permitir la provisión del servicio.

Dentro de las características para una buena organización, se destaca: la clasificación de mercado (para hallar estratégicamente los socios adecuados), costos para formular, negociar y formalizar la estructura de la organización institucional creada para monitorear y supervisar la entrega de los servicios y el funcionamiento de la nueva organización con el fin de adaptar la organización a nuevas tecnologías y desafíos del mercado.

Los proveedores del sistema MSS de todo el mundo deberán estar organizados para tomar ventaja sobre las organizaciones pequeñas que cuentan con: agilidad, fácil acceso para la dirección, alta calidad de servicios y habilidad para satisfacer las demandas de los negocios.

Se requieren organizaciones que entreguen sus servicios eficientemente y al mismo tiempo respondan a los requerimientos individuales de los países a los cuales proveerán sus servicios.

### 3.2 COMISION FEDERAL DE COMUNICACIONES (FCC)

La FCC, es un organismo del gobierno de los E.U. que se encarga de reglamentar y tomar decisiones en la concesión y prestación de servicios de telecomunicaciones de acuerdo a las políticas, en especial las del uso de espectro y es hasta 1989 que la FCC da la concesión al sistema MSS sujeto a la apelación de la corte del gobierno.

En 1991 la FCC acepta nuevas aplicaciones del MSS por satélite no geostacionario y el Servicio de Satélite por Radio Determinación (RDSS) en las bandas de UHF y VHF, en 1992 la FCC reglamenta el sistema MSS no geostacionario. Las bandas asignadas al MSS fueron adoptadas por la mayor parte del mundo en la WARC'92.

El proceso para asignar frecuencias en el espectro por la FCC comienza con el llenado de una solicitud que especifica el reglamento, la frecuencia deseable y los servicios que prestará. La FCC emitirá un aviso público de la propuesta que presenta la idea, la técnica, los parámetros de operación para invitar al público a presentar comentarios sobre la propuesta, de no haberlos, la FCC decide emitir una orden de asignación de frecuencia también sujeta a la apelación de la corte. Hay un incremento en la demanda de los servicios de comunicación móvil, en espera de ayuda para satisfacer estas necesidades de comunicación en el futuro. El MSS está designado como una complementación de los servicios terrestres ya existentes y para extender los servicios de cobertura a las áreas vía satélite.

El primero de estos sistemas es el Sistema AMSC, el cual recibió la licencia en Mayo de 1989, el primer satélite de la AMSC fue programado para su lanzamiento en 1994.

La FCC está actualmente en vías de desarrollo para regular la estructura de otros sistemas móviles por satélite, en particular estos están propuestos para implementarse mediante una plataforma no geoestacionaria. La FCC, es responsable de la asignación del espectro al sector privado, así como también de la expedición de licencias a las entidades privadas que buscan el uso y asignación de un espectro. Generalmente el proceso de asignación del espectro se inicia con la clasificación de las peticiones ya hechas por una entidad que busca una asignación de espectro para un nuevo servicio.

La FCC, mediante un Aviso de Propuestas Rulemaking (NPRM), presenta las peticiones, así como la asignación y suministro de ideas tentativas en las técnicas y parámetros de operación para el uso de este espectro. La FCC, ordena que las peticiones sean sujetas a reconsideraciones. Todas las decisiones tomadas por la FCC, son sujetas a la apelación de la corte.

Los siguientes pasos involucran la licencia, los usos de la asignación del espectro y la forma en el que las licencias tienen que operar. Antes de que las reglas actuales fueran establecidas, la FCC hace un llamado a las entidades que tengan la capacidad de poner un nuevo servicio.

Una orden de la FCC típicamente establece los estándares financiero, técnico y niveles de operación en adición a una construcción estricta e implementación de señales para proporcionar el nuevo servicio. El orden está sujeto a consideración y revisión por la corte de apelación.

### **3.3 PROPUESTAS PARA EL SERVICIO MSS EN LEO**

El Departamento de Comercio de los E.U. estimó que los ingresos debidos al MSS alcanzarían los \$ 300 millones de dólares para 1993, las ventas están dirigidas para alcanzar a mediados de los años 90 la introducción de más servicios sofisticados e impulsar los satélites dedicados a las comunicaciones móviles. Además el Departamento de Comercio estimó que en 1992 hubo trece millones de usuarios MSS en todo el mundo. No obstante, el crecimiento de las proyecciones del MSS en todo el mundo, se duda que el mercado total pueda mantener la existencia de los sistemas propuestos actualmente.

El servicio de proveedores existente de telecomunicaciones regionales e internacionales puede ser expandido para los servicios MSS. La organización existente para esta expansión en todo el mundo es INMARSAT. Se puede crear una unión entre INMARSAT y uno de los sistemas propuestos para proveer los servicios que se van a ofrecer en el espectro completo. Esto es razonable para asumir que todos los sistemas propuestos se puedan aproximar al sistema INMARSAT.

Una autoridad internacional independiente como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) podría ser asignada como autoridad para determinar los estándares para los servicios MSS. Una vez que los estándares fueran establecidos con la completa participación por los sistemas propuestos. Luego, los operarios de los servicios podrían negociar mejor sus tratos para ganar acceso tanto como sea posible.

Las innovaciones técnicas dan como resultado la exploración en los mercados de demanda de las telecomunicaciones móviles para crear el ímpetu de la Órbita Baja Terrestre (LEO) del sistema de comunicaciones satelitales.

Para el sistema llamado "PEQUEÑO LEO" se propone el uso del espectro VIII F y UHF para proveer la posición, localización y servicio de mensaje de datos. El sistema llamado "GRAN LEO" propone utilizar las bandas de RDSS para proveer voz y datos.

En E.U., varias solicitudes han sido llenadas ante la FCC, para construir y operar estos sistemas de satélites móviles. En la rápida capacidad para la introducción de tales servicios tecnológicos recientes la FCC está utilizando accesos innovadores para el proceso de aplicaciones a estos servicios.

El proceso de sistemas de operación en las bandas de 1 GHz, involucraron más particularidades y más distribución siempre que las técnicas completas de información provenientes de la FCC guíen la adopción de reglas para el nuevo servicio de satélites móviles. La miniaturización ha capacitado a la industria espacial para construir satélites pequeños con mayor potencia y eficiencia. La reducción de satélites está acompañado por el decremento de los costos, ambos para construcción y expulsión del satélite. Esto ha llevado a una revolución en diseñar los sistemas de satélites, y ha capacitado a éste para considerar voz móvil y/o comunicación de datos.

Nueve compañías han utilizado a la FCC como autoridad para implantar y operar las constelaciones del sistema de satélites no Geostacionarios para proporcionar el servicio móvil de voz, datos y servicios de localización y posición.

La FCC ha instituido nuevos procedimientos regulatorios para autorizar sistemas de licencias que serán permitidos dentro de los servicios futuros. Este procedimiento negociado es llamado Rulemaking.

En Febrero de 1990, ORBCOMM, llenó una solicitud para construir, lanzar y operar una pequeña constelación de satélites en órbita baja para proporcionar un bajo costo, posición de terminación de servicio de mensajes para millones de consumidores en los E.U. y en el extranjero. Esto representó el primer sistema de satélites global privado diseñado para dar acceso directo del satélite al usuario. Los veinticuatro satélites ORBCOMM tienen un peso de 330 libras y un costo por satélite de \$ 8.6 millones de dólares. Para mantener los costos bajos, ORBCOMM propuso el uso de las frecuencias de UHF y VIII F para habilitar las terminales y se van a construir con los componentes de radio disponibles en el mercado.

Otras solicitudes para el servicio del PEQUEÑO LEO fueron llenadas por STARSYS, Inc., la afiliación de CLS Inc. de Norteamérica, Voluntarios en Asistencia Técnica (VITA), y la Corporación LEOSAT.

Después de obtener el apoyo del gobierno de los E.U. los solicitantes particularmente de ORBCOMM, apoyaron al nuevo Servicio Móvil de Satélites de las ciudades del mundo y ganaron las distribuciones del espectro requerido en la WARC'92. Las bandas asignadas fueron 137 - 138 MHz, 148 - 150.05 MHz, 400.15 - 401 MHz y 399.9 - 400.05 MHz.

En Junio de 1990, la Corporación Satelital MOTOROLA anunció sus planes para impulsar y operar una red de satélites LEO para proporcionar comunicaciones móviles de voz virtualmente en cualquier punto sobre la tierra. El sistema IRIDIUM, es esencialmente una red celular con una torre repetidora de microondas y consistía originalmente de 77 satélites para orbitar a 413 millas náuticas. MOTOROLA ha reducido el número de satélites a 66.

La Corporación ELLIPSAT llenó una solicitud ante la FCC, con el fin de impulsar seis pequeños satélites en la órbita elíptica, y así dar servicio de localización, posición y voz. Además, siendo el primer sistema comercial en E.U. propone el uso de las órbitas elípticas. También fue el primero en solicitar LEO para las aplicaciones y requerimientos de frecuencias RDSS para sus sistemas.

Las frecuencias RDSS 1610 - 1626.5 MHz (enlace de subida) y 2483.5 - 2500 MHz (enlace de bajada) distribuidas por los servicios de localización y posición en la WARC MOB'87.

En Diciembre de 1990, MOTOROLA expuso su sistema ante la FCC, proponiendo también el uso de frecuencias RDSS para el sistema IRIDIUM. Después la FCC estableció una fecha corta requiriendo comentarios sobre las aplicaciones y la solicitud de MOTOROLA al igual de ELLIPSAT, ya que también propuso las aplicaciones de frecuencias RDSS. Para ser llenada el 3 de Junio de 1991, se incluyeron cuatro entidades tales como: el Servicio Satelital Local Qualcomm (L.QSS) por su sistema de 48 satélites del Sistema GLOBALSTAR; TRW Inc., por su sistema de 12 satélites en órbita terrestre media en el Sistema ODYSSEY; Comunicaciones Constelación por un sistema de 48 satélites ARIES; y la AMSC, para el uso de la banda de 1616.5 - 1626.5 MHz por su sistema satelital móvil geosincrono.

En los E.U., con el soporte de estas entidades, fue asignado a título primario la banda de 1610 - 1626.5 MHz y 2483.5 - 2500 MHz, capaz de obtener una distribución a título secundario en la banda de 1613.8 - 16.25 MHz (enlace de bajada) para satisfacer el deseo de MOTOROLA de operar bidireccionalmente en la parte superior de la banda L.

### **3.4 PROCEDIMIENTO DE NEGOCIACION RULEMAKING**

La autoridad de la FCC usa un Comité de mecanismos de negociación que está contenido en el Comité Consejero de Acto Federal FACA y el Negociado Acto Rulemaking NRA. Por ley el Comité consiste de representantes de las partes de quienes los intereses serán significativamente afectados por el resultado de las reglas.

La meta del Comité es alcanzar el consenso en el lenguaje y la sustancia de reglas apropiadas. Si éste se logra será usado como las bases de la propuesta de la FCC. Si no se logra por las regulaciones en el desarrollo de la FCC; la comisión puede usar un proceso de negociación de Rulemaking si determina que hay una probabilidad razonable de que el comité pueda ser aceptado adecuadamente por las personas interesadas, capaces de negociar y hacer así una posibilidad de consenso razonable.

En la postura de un comité consultivo, la FCC puede identificar distribuciones específicas que deseen dirigir, sugerir límites como el número de participantes y a un facilitador que sirva como

mediador del comité. Este es una parte central, sin intereses directos en las reglas que van siendo discutidas, ayuda y conoce el proceder y manejo de registro y minutos mantenidos.

En Octubre de 1991, la FCC editó un aviso de propuestas de Rulemaking, proponiendo la asignación de las frecuencias requeridas de UHF y VHF en el PEQUEÑO LEO.

Antes de los comienzos de la Negociación Rulemaking (NRM), ORBCOMM, STARSYS y VITA estuvieron de acuerdo en las reglas propuestas que fueron sometidas por la FCC. Todos los comentarios se enfocaron en que los tres sistemas pudieran operar compatiblemente en el espectro disponible. Además, estuvieron de acuerdo con las reglas establecidas como los requisitos de las solicitudes, requisitos de licencia y condiciones técnicas.

A todo esto la NRM, fue reuniendo consistentemente las aplicaciones existentes de frecuencias, usos de bandas adyacentes y de bandas de potencia. Estas partes se debatieron durante seis semanas aproximadamente y se publicó un reporte el 16 de Septiembre de 1992, emitiendo el acuerdo unánime de todas las partes. Este reporte formó las bases para el NPRM emitida por la FCC en Febrero de 1993. Por todos los conductos la FCC negoció este primer procedimiento trabajado para la ventaja de las aplicaciones de la FCC y el interés público. Las partes afectadas rápidamente estuvieron de acuerdo esperando la acción de la FCC en el servicio y reglas técnicas, y en la capacitación de la comisión para actuar ante los procedimientos de la solicitud.

En Agosto de 1992, la FCC propuso los establecimientos del Rulemaking negociado para solucionar las técnicas sobresalientes y reglas operacionales para los sistemas LEO.

Las principales distribuciones dirigidas por el comité además las cuestiones fundamentales de repartir al espectro disponible, están participando con radioastronomía, GLONASS y otros usos primordiales de la banda.

La FCC, proporciona una fundación útil de sistemas coordinados, y promueve las bases para la revisión del sistema, sus características técnicas para capacitar los sistemas de MSS con el fin de comparar la compatibilidad con otros usos del espectro.

### **3.5 SERVICIO TELEFONICO MOVIL PUBLICO CON AERONAVES**

Los sistemas telefónicos móviles públicos se definen como sistemas de aeronaves para correspondencia pública, que se concentran en la Red Telefónica Pública Internacional con Conmutación (PSTN).

Los sistemas de satélite son más convenientes, ya que son aplicables sobre grandes extensiones de agua o de tierra a los cuales no pueden acceder los servicios terrestres.

#### **3.5.1 ASPECTOS GENERALES DE OPERACION**

En las comunicaciones aeronáuticas se han desarrollado por lo menos cuatro clases de tráfico que pueden revolucionar las comunicaciones vía satélite en aeronaves, las cuales se describen a continuación.

## Servicio de Tráfico Aéreo

Son las comunicaciones para la seguridad de la vida humana que comprenden las comunicaciones con el piloto, o entre la aeronave y el controlador del tráfico aéreo de tipo telefónico o de datos, incluye la vigilancia.

## Control Operacional de la Nave

La compañía explora y ejerce, a través de sus computadoras el control de sus aeronaves en cualquier punto que se encuentren, mediante el intercambio de datos de comportamiento técnico, y transmisión de voz que administran la seguridad y la gestión de los vuelos.

## Comunicaciones Comerciales del Operador a la Aeronave

Estas abarcan necesidades de comunicaciones comerciales, por ejemplo: reservación de vuelos, reservaciones de hoteles o renta de autos.

## Correspondencia Pública

Facilidades que ofrece el operador de la aeronave y que permite a sus clientes (pasajeros) acceder a las redes públicas telefónicas y de datos desde cualquier punto. Estos servicios comprenden la telefonía, el telex e incluso el acceso a los computadores de los sistemas informáticos y bases en tierra y servicios que comprenden a futuro como: compras a bordo, servicios prestados a grupos étnicos, la transmisión de señales de vídeo y recepción de programas de radiodifusión.

Actualmente se están desarrollando políticas y normas a nivel internacional para las comunicaciones aeronáuticas por satélite, que están orientadas básicamente hacia la señalización, los protocolos y las aplicaciones digitales.

Los servicios aeronáuticos por satélite en banda L, llevan consigo la designación "R" que significa que solo se acomodan en ésta banda las comunicaciones relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos en ruta, la atribución asignada pudiera ser insuficiente debido al crecimiento de líneas aéreas.

Dentro de las características primordiales del servicio destacan las siguientes:

- El sistema debe ser compatible con PSTN y de funcionamiento sencillo.
- Debe proporcionar un número de canales adecuados para satisfacer la demanda futura del servicio.
- Debe adaptarse a las características de los sistemas monocanales y canales múltiples.
- La calidad del servicio debe ser comparable a la de la red pública con conmutación (telefonía y datos).

- El sistema proporcionará una cobertura interrumpida a través de las zonas de servicio previstas para funcionar con las fronteras nacionales.
- Comunicación desde aeronaves y hacia ellas.
- Prever la utilización de llamadas hacia estaciones móviles y desde ellas.

### 3.5.2 TECNICAS DEL SERVICIO TELEFONICO MOVIL PUBLICO CON AERONAVES

#### Banda de frecuencias

En la WARC MOB'87, se asignaron las bandas de frecuencia de 1593 - 1594 MHz y 1625.5 - 1626.5 MHz para el servicio aeronáutico móvil en la región 1, (excepto en Siria y Túnez) y a título secundario en las regiones 2 y 3 (incluyendo Siria y Túnez). Este servicio está limitado en el sentido de que no, reclamará protección contra estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica ni del servicio de radionavegación por satélite, según proceda, ni les causará interferencia perjudicial, a las estaciones del servicio fijo.

La recomendación 408, señala que estas frecuencias serían adecuadas para sistemas preoperacionales y experimentales y que causarían dificultades considerables en algunos países. Esta recomendación invitaba al Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) a identificar las bandas de frecuencias alternativas preferidas desde el punto de vista técnico para un futuro sistema terrestre de ámbito mundial.

La recomendación 408 (MOB'87) invitaba a estudiar los criterios de compartición necesarios entre los sistemas de Correspondencia Pública con Aeronaves (CPA), terrestres que operen en la banda de 1593 - 1594 MHz y 1625.5 - 1626.5 MHz y otros servicios que utilicen las mismas bandas de frecuencias y bandas adyacentes.

Los aspectos de interferencia con el sistema mundial de determinación de la posición GPS (Sistema Global de Posicionamiento) se tratan en el informe 766 y en lo relativo al RDSS en el informe 1050, anexo II.

#### Modulación

Se han propuesto varios tipos o formas de modulación, entre los que se pueden citar:

- FM (Modulación en frecuencia)
- PM (Modulación en fase)
- BLU-CA (BLU con expansión)
- BLU-AM (BLU en amplitud modulada)
- MDM-G (Modulación de desplazamiento mínimo con filtro Gaussiano)

- MDP-4-DBI.

(MDP4 con desplazamiento limitado por la banda)

Todas tienen sus ventajas e inconvenientes en cuanto a la calidad de la comunicación, eficiencia y economía. Pero no se ha llegado a un acuerdo internacional sobre los tipos de modulación a utilizarse.

### Señalización

Un sistema telefónico móvil público automático para utilización en aeronaves requiere métodos de señalización avanzados para control de las llamadas y adquisición de un canal para brindar el servicio.

### Equipo a bordo

Se requerirá contar con equipo a bordo de las aeronaves, el cual deberá tener las características:

- Tamaño y peso mínimos.
- De ser posible, deberá atender otras funciones de comunicación.
- Compatible electromagnéticamente con otros sistemas.
- Ejercer una influencia mínima sobre la mecánica, mantenimiento y operación de la nave.

## 3.5.3 AERONAVES COMERCIALES EN E.U. Y CANADA

En E.U. y en Canadá se está explotando el sistema terrestre avanzado de correspondencia pública tierra-aeronaves en la banda de ondas decimétricas, que dan servicio a más del 90% del mercado de pasajeros en líneas aéreas.

En 1988, habían 900 aeronaves comerciales equipadas para el servicio de comunicaciones, para 1989, estaban previstas 600 más.

Este sistema terrestre aeronave-tierra facilitará el desarrollo de directrices operacionales para los servicios de comunicación ofrecidos a los pasajeros y pondrá de manifiesto la demanda de los pasajeros en cuanto a esos servicios. Esto es mostrado en la Fig. 3.5.1.

### 3.5.3.1 ASPECTOS TECNICOS

La utilización de una banda de 4 MHz en el sistema de telefonía pública en tierra se divide en dos bandas de 2 MHz, una para el enlace aire-tierra y otra, separada 45 KHz, para el enlace tierra-aire. Cada una de las dos bandas se divide en 10 sub-bandas de 200 KHz que dan un total de 310 canales y 10 frecuencias piloto con bandas de guarda. Las 10 sub-bandas se utilizan en una matriz que da cobertura al territorio continental de E.U. y Canadá.

- El tamaño y separación de las células (proyección de la aeronave) vienen impuestos por las alturas de vuelo mínima y máxima de la aeronave.
- Para una altitud aproximada de 3000 metros (10000 pies), el radio máximo de la célula estaría próximo a 240 Km (150 millas).
- Cada estación de tierra tiene un radio operativo extendido a la distancia del horizonte radioeléctrico que depende de la altura de la aeronave.
- Las altitudes de las estaciones terrenas, las alturas de las antenas, los márgenes de propagación, el conocimiento de las posiciones de las aeronaves y las condiciones topográficas, permiten elaborar un plan de frecuencias eficaz mediante el cual diferentes números de células pueden compartir las mismas frecuencias con un modelo adecuado de reutilización de frecuencias.
- El sistema utiliza modulación en Banda Lateral Unica (BLU) para todas las comunicaciones telefónicas y datos en canal de 6 KHz.
- Cada estación en tierra tiene un diámetro operativo aproximado de 800 Km (500 millas), también detecta cualquier funcionamiento incorrecto de los equipos instalados a bordo.

La tabla 3.5.1 muestra especificaciones del sistema de correspondencia pública aire-tierra.

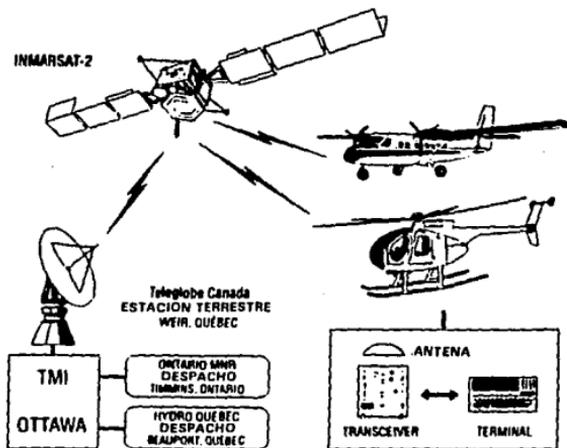


Figura 3.5.1 Concepto de una red móvil aeronáutica.

	Estación de aeronave	Estación de tierra
Potencia de salida	+40 dBm	+40 dBm
Pérdidas del filtro del transmisor	1 dB	1 dB
Pérdidas del alimentador de antena	1 dB	3 dB
Ganancia de la antena	0 dB	3 dB
Factor de ruido máximo del receptor	5 dB	5 dB
Pérdidas del diplexor del filtro	1 dB	NA
Combinador del transmisor	4 dB	NA
Frecuencia del transmisor**	895 MHz $\pm$ 1 MHz	850 MHz $\pm$ 1 MHz
Pérdidas del trayecto*	141 dB	140.5 dB
Nivel de señal de recepción	-103.5 dBm	-108 dBm
Nivel de ruido (6 KHz de ancho de banda)	-136 dBm	-136 dBm
Relación señal/ruido	27.5 dB	23 dB

\* Altitud 9 000 m  
Distancia 300 Km.

\*\* Estas bandas de frecuencias se utilizan actualmente en Estados Unidos y Canadá a título provisional. Actualmente estas bandas no se pueden utilizar en la Región I.

Tabla 3.5.1 Características Técnicas.

### 3.6 PROCEDIMIENTO DE NORMALIZACION INTERNACIONAL

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como organismo internacional de normas y recomendaciones realiza los procedimientos de la asignación de espectro en particular los establecidos en la WARC, los que son incorporados a las normas de radio de la UIT.

Las decisiones de la UIT tienen considerable impacto sobre los procesos de regulación domésticos; en particular, las asignaciones establecidas en la WARC, proveen de parámetros designados bajo cada distribución doméstica que pueda ser hecha ver figura 3.6.1.

Básicamente la FCC será un distribuidor de espectros consistente con un distribuidor particular (WARC), que será incorporado en el radio de regulación de la UIT. La FCC, tomará nota de los estándares técnicos y de operación recomendados por la UIT. Entre algunos de los servicios específicos asignados por la UIT está el sistema de servicios de seguridad aeronáutico como prioritario y propuesto por la AMSC.

En 1987, la FCC emitió normas y reglamentaciones considerando la estructura de los reglamentos con los que la industria desarrollo el sistema MSS. En 1989, la FCC emitió una licencia y reafirmó asignaciones de orden regulatorio, la FCC formuló esto puesto que la AMSC, requería de un servicio de aeronáutica seguro a título primario y bases preventivas con las bandas asignadas. La FCC, sostuvo que las operaciones de la AMSC podrían ser consistentes con las

regulaciones de radio requiriendo el Servicio de Seguridad Aeronáutico, para operar a título primario en las bandas. La AMSC fue autorizada para construir, lanzar y operar los MSS en E.U. consistiendo en un sistema de 3 satélites usando la banda L para usuarios móviles y la banda Ku para la estación base en cada uno de los tres satélites. Las designaciones orbitales dadas a la AMSC, fueron 101° LO (Latitud Oeste) para el satélite central y 62° LO para el satélite del este y 139° LO para el satélite oeste.

La FCC, designó 28 MHz para el espectro de banda L en bandas de 1545 - 1559 MHz y 1646.5 - 1660.5 MHz para uso de E.U. en el servicio MSS. La FCC, asignó 200 MHz a la banda Ku para uso del segmento terrestre en los tres satélites. El satélite central de 101° LO fue fijado en 200 MHz para la banda de 11/13 GHz. Los satélites fijados para 62° LO y 139° LO fueron fijados a 200 MHz para las bandas de 12/14 GHz.

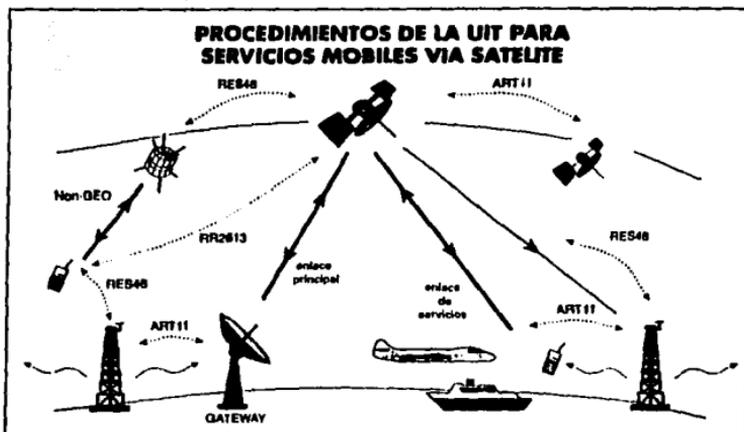


Figura 3.6.1 Procedimientos de la UIT para Servicios Móviles vía Satélite.

La AMSC proveerá de segmento espacial en una portadora de base común dando acceso a portadoras y usuarios finales. Segmentos de tierra de la AMSC podrían ser autorizados separadamente. El acceso de las estaciones terrenas podrían ser autorizadas por separado. Y las unidades móviles pueden ser autorizadas bajo licencias cubiertas.

Los sistemas MSS están proponiendo proveer una gran variedad de servicios; muchos están enfocados sobre mercados minoritarios. Igualmente sistemas que operan y los sistemas propuestos han adoptado o se han integrado a una variedad de formas organizativas para deliberar estos servicios a todo el mundo y sobre una base regional.

La AMSC propone licencias que sirvan para manejar el segmento terrestre, marítimo y servicios aeronáuticos incluyendo transmisión y recepción de datos, comunicación y datos móviles. Servicios móviles fijos y que fueron quizás provenientes de pocas alternativas existentes.

A la AMSC, se le autorizó la propuesta de servicios en los E.U. sobre mercados domésticos incluyendo a 50 estados, Puerto Rico, Las Islas Vírgenes y áreas costeras de los E.U. arriba de 200 millas náuticas. En reconocimiento a las necesidades de la AMSC y TMI, sistemas que son capaces de restaurarse y respaldarse mutuamente, la FCC autorizó a la AMSC la construcción de satélites para cubrir Canadá y también puede dar cobertura a México. La facultad para operar en Canadá y México así como en el Caribe puede ser obtenida por aplicaciones separadas.

Bajo la autorización de la AMSC se requiere el acuerdo a la prioridad y el tiempo real adquirido que acceden a las comunicaciones AMSC a través de la asignación del ancho de banda, AMSC también debe de hacer un desarrollo arreglado a manos libres "hand-off" del tráfico aeronáutico de los otros sistemas MSS, tal como en el sistema Canadiense y el sistema INMARSAT.

La FCC muestra que la terminal móvil aeronáutica tiene que tener características únicas para conocer los requerimientos operacionales seguros de aviación, las terminales móviles aeronáuticas deben registrarse bajo las reglas de Comunicación Aérea Gubernamental.

En 1990 la FCC, adoptó por una propuesta del NPRM reconocer las bandas de 1530 - 1544 MHz y 1626.5 - 1645.5 MHz para los servicios MSS en género doméstico. Estas bandas están asignadas frecuentemente al servicio MSS marítimo.

En 1992 la FCC decide que la AMSC puede ser provisto internamente por las facilidades de comercio vía MSS, y la autoriza para operar arriba de 30 000 terminales móviles. La AMSC utiliza frecuentemente el satélite Marisat para proveer servicio de datos; la FCC establece que los otros servicios pueden ser utilizados por el sistema INMARSAT o una base interna que provea el servicio doméstico de comunicación móvil americano en condiciones que estos servicios den transición del sistema de satélites AMSC cortamente después de este despliegue. La FCC, tiene licencia de otros proveedores de servicios de comunicación móvil por satélite.

En Febrero de 1989 QUALCOMM, Inc. recibe autorización para operar terminales móviles que proveen mensajes y segmentos de uso existente para asegurar el segmento espacial de la banda Ku del satélite.

La FCC, designó el proceso para el sistema de Orbita Baja Terrestre (LEO), permitiendo la operación de las bandas de VHIF y UHF. Esto generalmente en la última parte del proceso de licencias para LEO.

En el sistema GRAN LEO: Motorola (IRIDIUM), TRW (ODYSSEY), Loral/Qualcomm (GLOBALSTAR), Ellipsat (ELLIPSO) y Constelación Comunicaciones Inc. (ARIES) todos los planes de Orbita Baja Terrestre (LEO) que proveerán banda angosta de voz y servicios de datos con terminales globales hand-held. La mayoría de estos sistemas proponen tener una equidad de participación entre ellos para los servicios PTT y las organizaciones privadas del mundo.

Para el sistema PEQUEÑO LEO: ORBCOMM, STARSYS y VITA tienen propuesto para la constelación LEO el que surta de datos y mensajes a los servicios globales; varias de esas organizaciones tienen negociaciones trascendentales con entidades locales para proveer servicios en las naciones. Para LEO, los derechos en el mundo no han sido asegurados en este caso el operador MSS generalmente actúa de acuerdo a la capacidad de los proveedores de servicios tradicionales nacionales.

La AMSC en los E.U. y TMI en Canadá, se les ha designado conjuntamente el sistema MSS para la región de Norte América. AMSC y TMI son dos compañías privadas, investigadoras de un plan para ofrecer voz de banda angosta y servicios de datos directamente a los usuarios con terminales fijas y móviles. Algunos sistemas y propuestas de otros, han sido identificadas en la obtención de avances para el sistema nacional y regional MSS incluso desde el OPTUS de Australia hasta el SOLIDARIDAD de México en la banda L.

### 3.6.1 INMARSAT

La Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite es la única en todo el mundo del sistema MSS que ofrece servicios de voz y datos móviles a través de satélites geostacionarios dirigidos a terminales tan pequeñas como maletas. Esto se está experimentando con la provisión de los servicios aeronáuticos, y planea distribuir los servicios hand-held en un futuro cercano.

INMARSAT no es una empresa lucrativa, es un consorcio de miembros de estado creada por contrato y cada nación es un signatario que comparte servicios de: Correo, Telegrafía y Telefonía (PTT) bajo una base equilibrada de arrendamiento, por su estructura, INMARSAT tiene "derechos terrestres", derecho para proveer servicios, virtualmente en cada país del mundo.

### 3.6.2 MARATHON

Rusia ha ofrecido el sistema MSS a través de los transponders del satélite VOLNA en la órbita Geostacionaria, su programa MARATHON tiene servicios de voz, telegrafía, fax y canales de datos de alta calidad. El programa MARATHON está desarrollando el proyecto ARKOS para 3 o 4 satélites en la órbita Geo y el proyecto MAYAK para 2 ó 4 satélites en la órbita LEO.

MARATHON comercialmente basado en una organización intergubernamental, planean hacer su capacidad disponible compartida sobre una indeterminada base de organización fuera del bienestar Común de Estados Independientes (CIS).

### 3.7 NORMAS DE EUROPA

En varios países europeos se utilizan diferentes sistemas móviles terrestres. Con objeto de permitir el empleo de una sola terminal móvil en toda Europa, las autoridades europeas de telecomunicaciones, están introduciendo un sistema de radiocomunicación celular que funcionará en la banda de 900 MHz, basado en una norma europea común. Cada uno de los países de Europa tienen sus propias normas de operación de radio dentro de su jurisdicción, en la mayoría de los casos requieren servicios móviles y la aprobación de una licencia para usar su equipo, el problema que se presenta es que cada vez que entra a funcionar uno de esos equipos, los

requerimientos de su señal no son compatibles con los servicios móviles de comunicación por satélite en Europa.

Referente al segmento espacial, la única capacidad de 1.5/1.6 GHz, actualmente accesible desde Europa es la proporcionada por el segmento de INMARSAT. Pueden producirse a plazo medio satélites que tengan uno o más haces puntuales para la cobertura europea a fin de aceptar niveles superiores de tráfico.

### 3.7.1 RECOMENDACIONES DE LA CEPT

La CEPT es el Comité Europeo de Correo y Telecomunicaciones para establecer acuerdos y recomendaciones para resolver la situación de radio y es en Octubre de 1988, cuando la CEPT emite recomendaciones que introducen el concepto de "Circulación de tarjeta" para ser aceptado como una ley de licencias para uso de equipo dentro de los países que participan, con el fin de alcanzar a participar en el procedimiento de la "Circulación de tarjeta", de esta manera cada país es llamado a declarar el tipo de equipo que utiliza y confirmar que lo puede activar y operar dentro de su país sin necesidad de una licencia.

En Febrero de 1991 la CEPT emitió recomendaciones para la operación de EUTELTRACS (Organización de las Telecomunicaciones por Satélite en Europa), las que son útiles para una propuesta clara de terminales móviles con un logotipo y un número de identificación apropiado con aprobación certificada. Para lograr este tipo de aprobación se realiza la reunión en el Instituto de Normas de Telecomunicaciones de Europa (ETSI), donde se requerirán de muchos cambios para una total normalización en Europa. La "Circulación de tarjeta" esta solamente como una solución interna.

### 3.8 CARACTERISTICAS TECNICAS Y DE EXPLOTACION PARA LOS SERVICIOS MOVILES POR SATELITE

Los sistemas de comunicación móvil vía satélite no se limitan únicamente a la cobertura terrestre, si no que también pueden manejar comunicaciones aeronáuticas o marítimas, con la misma confiabilidad. algunas de las aplicaciones de los de los sistemas de comunicación móvil vía satélite son comunicaciones telefónicas y de datos que incluyen la transportación (marítima costera, ferrocarril, líneas de autobuses, servicios públicos, etc.), localización y rastreo de vehículos, telefonía desde el aire, telefonía terrestre, datos interactivos, seguridad pública y medicina.

Con respecto a los MSS la comisión de estudios 8 del CCIR.

#### Considera:

- Que en los servicios móviles por satélite se necesitarán acuerdos sobre las características técnicas y de explotación de los futuros sistemas y sobre los servicios que puedan proporcionarse.
- La OACI ha aprobado recomendaciones que establecen la arquitectura de sistemas para las futuras comunicaciones móviles aeronáutica por satélite y que continua estudiando las

características y la definición de parámetros operacionales conexos para la seguridad y regularidad de las comunicaciones en vuelo.

- Que pudieran haber puntos comunes entre los sistemas de comunicación terrestres aeronáuticos y los de correspondencia pública por satélite.
- Que en el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSSM) habrá un gran número de usuarios de sistemas de satélite.
- Proyectar varios sistemas móviles por satélite independientes para proporcionar cobertura nacional, regional y global.
- La decisión 69 sobre futuros sistemas móviles terrestres públicos de telecomunicaciones y los estudios realizados por el grupo interino 8/13.
- Poder lograr una normalización global que beneficie a toda la comunidad de usuarios y satisfaga a los sistemas individuales.

**Decide :**

Que el grupo de trabajo 8/14, con miras a examinar los sistemas móviles por satélite que proporcionan uno o más de los servicios móviles por satélite siguientes:

**Características Comunes a todos los Servicios Móviles por Satélite**

- Características técnicas y de explotación de los servicios móviles por satélite que son comunes, con objeto de asegurar la compatibilidad entre los servicios móviles marítimo por satélite, móvil aeronáutico por satélite y móvil terrestre por satélite.
- Posiciones orbitales más favorables en la órbita de los satélites geoestacionarios así como otras órbitas posibles para los servicios móviles por satélite.
- La utilización eficaz del espacio radioeléctrico y la compartición entre sistemas y dentro de los sistemas de los recursos de frecuencias de los MSS.
- Las características de los sistemas móviles por satélite que emplean antenas con ganancia: alta, mediana y baja, y la interface entre estos sistemas y redes terrestres de telecomunicaciones.
- El interfuncionamiento mutuo entre estaciones del futuro público de telecomunicaciones móviles y estaciones del servicio móvil por satélite.
- Las características del sistema que permitirían integración de varios servicios de un solo sistema del MSS.
- El interfuncionamiento entre los sistemas móviles por satélite y las redes públicas con conmutación (datos, teléfono, telex) incluyendo PSDN.

- Las características técnicas y de explotación de sistemas que proporcionan radiodeterminación mediante satélites utilizados para comunicaciones de los servicios móviles por satélite.

### **Para los Servicios Móviles Aeronáuticos por Satélite (SMAS)**

Que comprenden comunicaciones aeronáuticas para la seguridad y regularidad en vuelo, comunicaciones administrativas aeronáuticas y correspondencia pública aeronáutica.

- Las características técnicas y de explotación pertinentes de los sistemas de los servicios móviles aeronáuticos y de los servicios móviles aeronáuticos por satélite, en particular, las comunicaciones de CPA.
- La repercusión de comparación con las redes públicas con conmutación RDSI y otras redes terrestres permanentes como la futura red IN.
- La integración de los sistemas móviles aeronáuticos y móviles por satélite.
- Otras bandas de frecuencias preferibles desde el punto de vista técnico para un futuro sistema terrestre mundial, aeronáutico a fin de ampliar y completar un sistema CPA por satélite. Observando que la banda de 862 - 960 MHz, no está atribuida mundialmente al servicio móvil aeronáutico.

### **Para los Servicios Móviles Terrestres por Satélite (SMTS)**

- Las características técnicas y de explotación pertinentes del servicio móvil terrestre por satélite.
- Los sectores técnicos en los que puedan lograrse la normalización de diferentes sistemas móviles terrestres por satélite a fin de reducir el costo del terminal de satélite.
- Lograr eficiencia de explotación y realizar posibles economías para la automatización de sectores e interfuncionamiento con el SMTS y otros sistemas por satélite.
- Interfuncionamiento entre el SMTS y otros sistemas móviles terrestres por satélite, a fin de realizar posibles economías y lograr eficiencia de explotación.

### **Para los Servicios Móviles Marítimos por Satélite y el Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSSM)**

- Las características técnicas de explotación pertinentes de la tecnología por satélite necesarias en relación con el SMSSM, incluidos los siguientes aspectos, pero sin limitarse a éstos:
- Los medios para obtener la actualización de la información de posición con radiobalizas de localización de siniestros de satélites geostacionarios con una estimación de la precisión de localización y de la posición requeridos.

- Los medios para minimizar los efectos de la interferencia a sistemas de radiobalizas de localización de siniestros por satélite.
- Los factores relacionados con la integración de sistemas de satélites geostacionarios y de órbita polar.
- Los sistemas para la difusión de información de seguridad marítimas incluido el alerta de socorro de costera a barco y la transmisión de datos de corrección para sistemas de actualización de mapas electrónicos y para otros fines, por ejemplo para recepción de llamadas de zona.

En general que el GIT (Grupo Interino de Trabajo) lleve a cabo cualquier otro estudio confiado al CCIR por la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) o INMARSAT y aprobado por el Relator Principal de la Comisión de Estudio 8 en consulta con el Director del CCIR.

Al fin de la Reunión Intermedia de 1988, Administraciones como: la Rep. Fed. de Alemania, Australia, Italia, Brasil, Japón, Canadá, Noruega, Dinamarca, Países bajos, E.U., Reino Unido, Finlandia, Suecia, Suiza, Francia, Grecia y Rusia así como Organizaciones Internacionales como la Organización Marítima Internacional (OMI) y EUTEL.SAT, habían indicado que participarían en el Grupo Interino de Trabajo 8/14.

## **CAPITULO 4**

### **TECNOLOGÍA DE TERMINALES MÓVILES**

## 4 TECNOLOGIA DE TERMINALES MOVILES

En el presente tema se hablara de conceptos de gran importancia para el desarrollo de las comunicaciones a nivel mundial por medio de satélites. Desde temas muy generales hasta tratar puntos muy particulares como seria la importancia de la antena de un receptor.

### 4.1 DISEÑO DE LA TELEFONIA MOVIL DE LA SERIE 1000 WESTINGHOUSE

Westinghouse está diseñando un teléfono móvil vía satélite, la Serie 1000, para usuarios del servicio de satélites móviles (MSAT). El teléfono hace el manejo de voz con un microteléfono interconstruido, el fax con un puerto de teléfono estándar, y los datos mediante un puerto RS-232.

La Serie 1000 es la primera generación de una línea de productos de comunicaciones móviles vía satélite de la Westinghouse, y esta disponible desde 1994. La industria ha esperado ansiosamente el sistema de MSAT, el cual está bien documentado en el presente trabajo.

Westinghouse combino técnicas de propietario con tecnología avanzada para crear un diseño con un desempeño sobresaliente a un bajo costo por unidad. Westinghouse desarrolló al máximo sus capacidades en procesamiento de señales digitales, diseño de microondas, y desarrolló de software para asegurar un teléfono móvil que sea completamente compatible con la red de tierra MSAT.

Uno de los mayores retos del diseño del Teléfono Móvil de la Serie 1000 fue el vencer los requisitos de un margen de enlace estricto (Tabla 4.1.1). El sistema disfruta de un satélite extraordinariamente alto en PIRE, pero las características de desvanecimiento de Ricean en los canales del satélite fueron un tema complejo del diseño. Sin un diseño adecuado, un desvanecimiento prolongado podría hacer que la posición del satélite fuera desconocida, la información estuviera fuera de línea, las máquinas de fax tuvieran interrupciones temporales, o las llamadas estuvieran desconectadas. Como tal, el diseño del Teléfono Móvil de la Serie 1000 tiene que incorporar un medio para evitar el desvanecimiento y técnicas compensadoras. En ángulos muy bajos, los problemas que aparecen son por el gran número de obstrucciones.

Algunos ángulos de ciudades representativas son:

Acapulco	69°
Miami	52°
Los Angeles	46°
Chicago	39°
Boston	32°
Vancouver	29°
Quebec	28°
Honolulu	23°
Anchorage	9°

Frecuencia de Transmisión	1616.5 1660.5 Mhz	
Frecuencia de Recepción	1525.0 1559.0 Mhz	
Modulación	QPSK	
Tasa del Canal (de Entrada)	6750 bps	
Tasa del Canal (Saliente )	6750 bps	
Tasa del Código de Voz	4200 bps	
Polarización de la Antena	RHPC (Polarización Circular con Giro a la Derecha)	
Espaciamiento entre Canales	6.0 KHz	
Incrementos entre los Canales	0.5 KHz	
Codificador FEC (Código de Corrección de Errores)		
a tasa de información de 2400 bps	1/2 de la Tasa	
a tasa de información de 4800 bps	3/4 de la Tasa	
en paquete cambiado de modo	1/3 de la Tasa	
Datos del Enlace	Enlace de Subida	Enlace de Bajada
PIRE del Satélite		30.8 dBw
G/T del Satélite	2.7 dB / k	
MP PIRE	12.5 dBw	
MP G / T		-16.0 0
Pérdida de la Trayectoria	187.2 dB	187.7 dB
Otras Pérdidas	3.4 dB	4.8 dB
(C/No) Relación Portadora a Ruido	53.2 dBHz	50.0 dBHz
(C/No) Relación Portadora a Umbral	47.3 dBHz	47.3 dBHz
Margen del Enlace	5.9 dB	3.6 dB

La Tabla 4.1.1 Muestra las características del Teléfono Móvil de la Serie 1000

Las obstrucciones más comunes son los árboles. El Teléfono Móvil de la Serie 1000 ofrece operabilidad con la red celular existente. Las estadísticas de propagación de la banda L han recibido más atención en años recientes. Más marcadamente, el Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins ha desarrollado mediciones detalladas, en las frecuencias del MSAT en las estadísticas de desvanecimiento al borde de caminos con árboles y en terrenos montañosos. Un ejemplo de la clase de distribución de desvanecimiento con que cuenta la Serie 1000 se muestra en la fig. 4.1.1. Esta información estuvo recopilada en Baltimore, Washington en un estacionamiento en el centro de Maryland durante el verano. En este momento las copas de los árboles tenían su máximo florecimiento con humedad máxima. El ángulo de elevación era 45°. El Teléfono Móvil de la Serie 1000 está diseñado para manipular profundos desvanecimiento de esta magnitud.

La duración del desvanecimiento es otra importante estadística cuando se consideran los efectos de propagación de la señal. Las funciones de los sistemas mayores del Teléfono Móvil de la Serie 1000 se muestran en la fig. 4.1.2. La configuración puede cambiar dependiendo de la aplicación aun que los bloques constitutivos básicos siguen siendo los mismos.

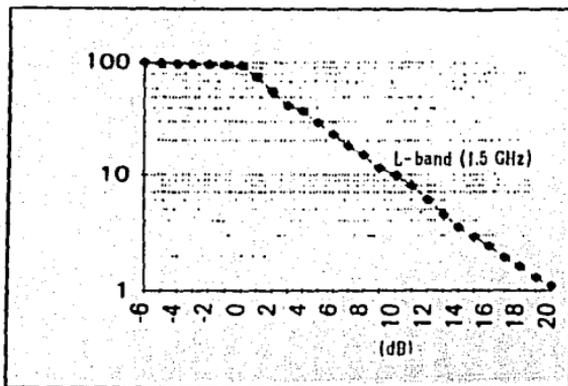


Figura 4.1.1 Gráfica de Eficiencia vs Desvanecimiento en recepción.

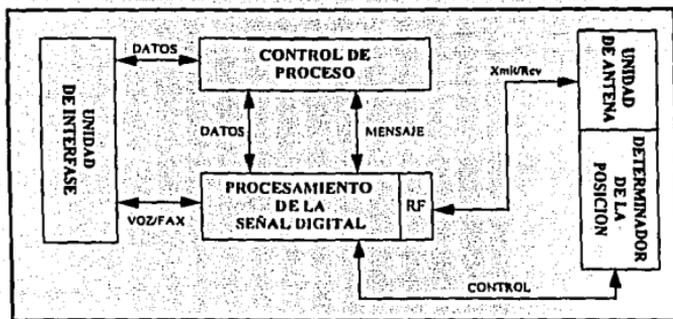


Figura 4.1.2 Diagrama a bloques de la Terminal Serie 1000 Westinghouse.

#### 4.1.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

El subsistema de Procesamiento Digital de Señales (DSP) ejecuta los protocolos de la capa física del Teléfono Móvil de la Serie 1000. Quizás sea el diseño más innovador, los subsistemas DSP cuentan con las siguientes funciones críticas:

Demodulador.  
La Codificación de Secuencia.  
Código de Voz.  
La Cancelación de ruido.  
Protocolo de Fax.

## Control de Procesamiento

El subsistema de Control de Procesamiento (CP) desarrolla en la capa superior funciones de protocolo a nivel de bytes. El protocolo de la capa de enlace señalado está acondicionado para comunicarse con el Controlador de Grupo (GC) para administrar las llamadas. Otro conjunto de protocolos se utilizan para la supervisión y señalización de la red. Para el modo de información, estos incluyen X.25 y varios protocolos de comunicación de datos específicos de MSAT. Las primeras llamadas y liberación de protocolos definen los procedimientos para establecer y tomar a parte la voz, información, y llamadas de fax.

Cuando el Teléfono Móvil de la Serie 1000 no está ocupado en una llamada, el subsistema de CP monitorea continuamente los anuncios del canal de GC. Esta proveerá información de la condición de la red sobre fechas, indicaciones de llamada entrantes, parámetros de control de congestión, y otros mensajes de control. El CP también responde a los comandos del GC.

El algoritmo para detectar los haces cruzados se desarrolla en el subsistema de CP. La tasa de los paquetes de errores son calculadas para el haz del Teléfono Móvil de la Serie 1000, siendo utilizada para señalizar canales en otros haces. Dependiendo de la calidad de los canales, el Teléfono Móvil de la Serie 1000 decide cuando una interrupción del haz debería de ocurrir y notifica al GC apropiadamente.

### 4.1.2 LA ANTENA DE LA UNIDAD

Varios tipos de antenas están disponibles para su uso en el Teléfono Móvil de la Serie 1000. Para aplicaciones en vehículos de tierra, un arreglo de una fase satisface esta necesidad. Esta antena es una placa plana cercana a 30 cm de diámetro. La ganancia de la antena en la dirección de la señal no cae por debajo de los 9 dB. Debido a que un arreglo de una fase es estáticamente conveniente en vehículos más pequeños, este tipo de antena se espera que sea la más popular.

La configuración de la antena mecánica es más delicada, pero se prefiere en algunos modos de operación. El tiempo de adquisición para esta antena es más lento, cercano a los 6 segundos. Pero la antena mecánica puede oscilar a intervalos pequeños, y así puede mantener el rastreo del satélite extremadamente exacto cuando se usa conjuntamente con un sistema de rastreo de la posición angular.

La tercera alternativa es una antena de mástil omnidireccional. A fin de lograr el mejor desempeño de sus especificaciones el tamaño necesario del mástil debe estar cercano a los 90 cm. Sin embargo, este tipo de antena no cubrirá las expectativas del mercado.

### 4.1.3 INTERFACE CON EL USUARIO

El Teléfono Móvil de la Serie 1000 es capaz de algo más que la simple transmisión de voz e información por satélite. Está también equipado con características distintivas convenientes al usuario y funcionalidad realizada.

El Teléfono Móvil Westinghouse de la Serie 1000 ofrece completa interoperabilidad con la red celular existente, incluyendo la habilidad para mantener llamadas con manos libres. Así, el sistema MSAT debería contemplarse como el complementario a la industria celular. La interoperabilidad celular involucra tareas complejas y temas de autorización así como intrincados procedimientos en llamadas de manos libres.

Para ubicar la posición, un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) puede ser una opción que puede implementarse al Teléfono Móvil de la Serie 1000. La determinación de una posición es necesaria en la administración de una flota marítima, y aplicaciones aeronáuticas. El sistema de determinación de posición puede también estar localizado exteriormente al Teléfono Móvil de la Serie 1000, como en el caso de un vehículo ya equipado con un sistema de rastreo.

Otras características del Teléfono de la Serie 1000 son parecidas a los teléfonos de línea y celulares. Es conveniente que el usuario se haya familiarizado con ellas en casa. Una lista de los caracteres distintivos más importantes está mostrado en la Tabla 4.1.2.

Teléfono con Exhíbidor Alfanumérico
Conexión a PC
Teclado Programable
Operación a Manos Libres
Maricación Rápida
Retención de la Llamada
Llamada de Espera
Transferencia de Llamadas
Llamada en Conferencia
Puede ser Portátil
Correo de Voz
Alarma Audible

Tabla 4.1.2 Caracteres Distintivos del Teléfono Móvil de la Serie 1000

### Aplicaciones

Un factor discriminatorio para el sistema MSAT yace en la naturaleza ubicua de la cobertura del satélite. Como tal, la comercialización del MSAT está concentrada en áreas no urbanas donde la cobertura celular no está disponible. Aproximadamente 15 millones de personas están en estas áreas, no atendidas por la red celular. El servicio de extensión del satélite apunta hacia el gobierno y las áreas de negocios, así como al consumidor celular que está moviéndose frecuentemente dentro o fuera de la cobertura.

Muchos negocios requieren comunicaciones a través de satélites, pero no dependen completamente por el sistema celular. La gente de la construcción requieren, por ejemplo, comunicaciones constantes con un equipo relativamente transitorio de gente y maquinaria. Esta gente se mueve en una cobertura celular basada en el trabajo, pero una Serie única 1000 tendría el beneficio añadido de que el enlace sería seguro debido a la mezcla inherente en el sistema MSAT. Y cuando es requerida una operación de búsqueda y rescate, o la administración de desastres, tienen la ventaja de conexión instantánea a sitios remotos. Equipos de rescate aeronáuticos también podrán hacer uso de la capacidad de el Teléfono Móvil de la Serie 1000. El personal médico en una emergencia será capaz de obtener apoyo profesional remoto, y los hospitales de destino podrán estar en condición de alerta.

El área geológica se está convirtiendo en un factor importante, especialmente si las riquezas naturales están involucradas. Un sistema móvil por satélite es útil en este escenario para el monitoreo del personal y la coordinación de suministros y ayuda. La minería es otra actividad que requiere coordinación de hombres, materiales, de maquinaria sobre vastas áreas. La eficiencia y seguridad al estar minando y excavando tendrá una gran mejora con constante información a la comodidad del hogar.

La red celular está creciendo en una forma asombrosa. Pero las comunicaciones celulares de conductores a largas distancia pueden ser pocas e inadecuadas. El sistema MSAT siempre tendrá una gran posición comercial porque ofrece no solamente variantes ilimitadas, si no también ofrecerá comunicaciones confiables y seguras, así como servicios de información y fax.

Quizá la demanda del mercado más significativa para el servicio MSAT sea la transportación de amplia cobertura. Un sistema de administración de flota basado en la serie 1000 puede estar utilizado para:

- Horarios y rutinas en tiempo real sobre fechas.
- Información de la condición de la carga para unidades de refrigeración, así como bienes de alto valor o materiales tóxicos.
- Información del desempeño del vehículo para la planeación del mantenimiento y reservas.
- Localización de vehículos en desastres.
- Monitoreo del patrón de viaje para muchos vehículos sobre una gran zona.
- Optimización de la estrategia de camiones con el fin de maximizar capacidad de carga y minimizar combustible y mantenimiento.
- Y permitir dos modos de vías de comunicación con los conductores.

El sistema existente de América del Norte para la ubicación de ferrocarriles está considerado insatisfactorio. Se han propuesto mejores sistemas terrestres, pero son costosos e ineficientes. El servicio móvil por satélite proveería un sistema único para aplicaciones de pasajeros y carga.

El sistema AMSC/TMI opera hasta 200 millas náuticas (370 Km) fuera de las aguas costeras. INMARSAT, un sistema satelital móvil internacional opera actualmente en esta región pero está restringida su operación tierra adentro. La información muestra que el 75% de todas las comunicaciones de un barco ocurren dentro del perímetro de las 200 millas náuticas. Además, existe actividad comercial significativa a lo largo de ríos y grandes lagos que involucran carga de embarcaciones, arrastre de botes, y lanchones.

## **4.2 TERMINAL BLQS - CDMA**

La Agencia Espacial Europea (ESA) ha propuesto una red empresarial de comunicación móvil, Red Empresarial de Comunicación por Satélite (MSBN), con las nuevas técnicas de acceso al satélite Acceso Múltiple por División de Códigos - Limitado en Banda Cuasi Sincrono (BLQS - CDMA) en la banda L, para una red móvil de vehículos de carga o de transporte que requiere comunicación con la matriz de su empresa.

La MSBN se basa en la tecnología de satélites Geoestacionarios que cuentan con las bandas C, Ku y L, lo cual permite comunicar una estación terrena fija con estaciones móviles terrestres contenidas en los vehículos de transporte.

La primera serie de ensayos tierra-móvil MSBN se llevaron a cabo exitosamente en Junio y Julio de 1992, y seguido por alguna prueba adicional en Enero de 1993. Las pruebas se llevaron a cabo utilizando un satélite MARECS-A, existiendo la infraestructura en Villafranca, (estación de banda C, ESA) con terminales prototipo de BLQS-CDMA (una móvil y una arreglada), desarrolladas por la Agencia del Espacio Europeo (ASTP).

Este primer ensayo global móvil fue muy exitoso. Ha permitido no solamente la adquisición de una gran cantidad de información técnica importante, sino que también ha levantado la confianza de la ESA en el desempeño del sistema general, y ha demostrado la posibilidad de que el nuevo sistema subsista con comunicaciones de buena calidad.

### **Técnicas de Acceso BLQS - CDMA**

Se trata de un acceso múltiple por división de códigos que permite que varias redes operen en la misma frecuencia utilizando diferentes códigos con frecuencia portadora y se simplifica el diseño de las estaciones móviles (MES). Un reloj común de sincronismo y una frecuencia de referencia es transmitida por una estación maestra y sirve de señal piloto para sincronizar todas las estaciones y compensar el efecto Doppler.

#### **4.2.1 RED EMPRESARIAL DE COMUNICACION MOVIL POR SATELITE (MSBN)**

El esquema de la fig. 4.2.1 muestra la configuración de la red MSBN. El sistema MSBN está planeado para operar en 1995 con el satélite MARECS-A en la banda C, el cual se encuentra a 22.3°, en una órbita cuasi estacionaria de 5° de inclinación, lo que induce un efecto Doppler que es necesario tomar en cuenta para la sincronización de la red.

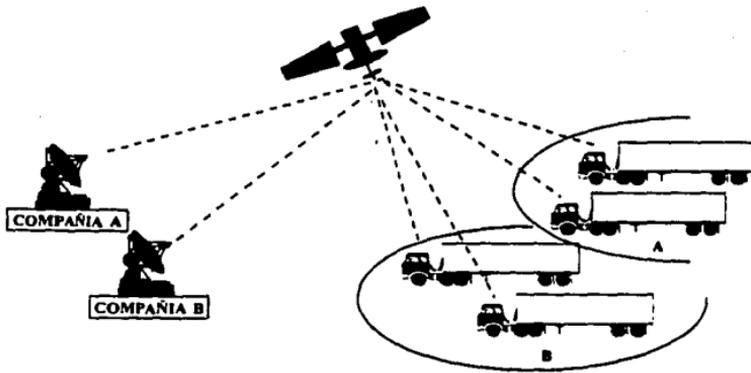


Figura 4.2.1 Configuración de la red MSBN.

En la fig. 4.2.2 se muestra la configuración de la red que consta de: Satélite MARECS-A, la estación fija (FES) y las estaciones móviles (MES). En México existe un sistema similar con el satélite SOLIDARIDAD, que trabaja en la banda Ku, con la empresa OMNITRACS.

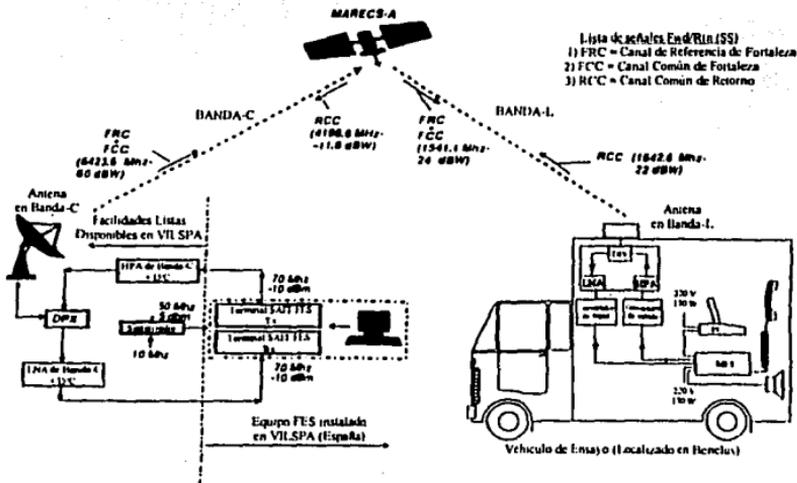


Figura 4.2.2 Configuración de la red

El concepto básico de MSBN representado en la fig. 4.2.1 muestra que un usuario tiene acceso directo a una flota móvil a través del satélite TRANSPONDER. La Estación de Tierra (FES) es una estación de VSAT que opera en la banda de frecuencia Ku, y la Estación de la Tierra Móvil (MES) opera en los 1.5/1.6 GHz (banda L).

En el escenario básico, un par de canales (uno para el Canal Común Delantero (FCC) y otro para el Canal Común de Retorno (RCC)) es permanentemente alojado para cada red; una red consiste de una FES y un conjunto de MES organizados en un grupo de usuario cerrado como una red de estrella. El sistema global está controlado por una Estación para la Administración de la Red (NMS) que tiene la capacidad para transmitir y recibir en ambas frecuencias (Ku y banda L).

La técnica de acceso está basada en un Acceso Múltiple por División de Códigos (CDMA). Por lo tanto, el servidor de la red opera sobre la misma banda de frecuencia (típicamente 1 MHz). Las diversas redes utilizan un diferente conjunto de códigos. Con el nuevo desarrollo BLOS-CDMA tanto la sincronización de la terminal de la red y la portadora de la frecuencia de control se requieren para el desempeño óptimo. Esto reduce interferencias del sistema (su mismo ruido) con respecto a un CDMA convencional y simplifica el diseño del receptor en la MES.

Para lograr más fácilmente la sincronización de un reloj común y una frecuencia de referencia, está se emite por una estación maestra (el NMS o alternativamente uno del FES) en una señal piloto producida por secuencia directa modulada a una frecuencia de referencia precisa. Todas las señales transmitidas por la FES o la MES son sincronas respecto a la señal común de referencia.

#### 4.2.2 OBJETIVOS DEL ENSAYO

Como se señaló anteriormente, BLOS-CDMA confía en el reloj y en la portadora de la frecuencia sincrona para su desempeño óptimo. La sincronización del transistor del reloj se adelanta en el enlace delantero (por ejemplo de la estación arreglada (FES) a una de las móviles (MES)), esto mientras más problemático sea el enlace de regreso (por ejemplo de la estación móvil MES a la estación fija FES). Debido a esto, uno de los objetivos principales del ensayo ha sido la verificación de la sincronización del enlace de regreso.

En general los objetivos de este primer ensayo pueden resumirse como sigue:

- La verificación de la sincronización del enlace de regreso, por medio de dos algoritmos llamados "algoritmo de Dzung" y el otro llamado "algoritmo de Sait", lo cual fue implementado.
- La verificación del desempeño del sistema global en diferentes entornos (calidad de voz en diversos voice-coders "codificadores de voz", capacidad del rastreo de la antena, etc.).
- La instrumentación de usuarios se orientó a pruebas y demostraciones.

### 4.2.3 CONFIGURACION DEL ENSAYO

El diagrama a bloques en que se muestra la configuración durante el experimento está dado en la fig. 4.2.2.

El sistema MSBN está planeado para su operación en los últimos meses de 1995 y utilizará el Satélite Móvil Europeo (EMS). Debido a la indisponibilidad del EMS el MARECS-A (satélite) fue utilizado en lugar del EMS, aunque los vínculos alimentadores están en banda C (en lugar de banda Ku).

Como se muestra en la fig. 4.2.1, las siguiente señales fueron transmitidas y recibidas:

- En banda C las señales de subida fueron transmitidas desde Villafranca (FES) a una terminal MES, la cual estuvo compuesta de dos señales:

- 1) El Espectro de Propagación (SS) señal piloto o PRC (Canal de Referencia Delantero).
- 2) El Espectro de Propagación (SS) trafico de señal o FCC (Canal Común Delantero).

La información en banda base que entra al modulador SS de la FES puede estar seleccionada entre el tipo de voz a la salida, o una información generada aleatoriamente (tipo dato). Todas las pruebas de satélite se ejecutaron en el tipo de voz, éstas proporcionaron la mayor retroalimentación en el desempeño del sistema.

- Las señales recibidas en banda C o RCC (Canal Común de Retorno), transmitidas de la MES a la terminal en Villafranca (FES), consisten de la señal del Espectro de Propagación (SS) de la MES, que después de la conversión de bajada se demodula a través del demodulador (SS) de la FES.

La información recuperada en banda base estuvo enviada al vocoder (modo voz) como ya se mencionó y todas las pruebas de satélite estuvieron desempeñadas en modo voz. El máximo ancho de banda de la señal fue de 1.2 MHz.

#### Descripción del Satélite MARECS-A

El MARECS-A es un satélite geostacionario localizado a 22.3° al Este; su actual inclinación es de 5°. En general, las inexactitudes en la órbita geostacionaria (por ejemplo la inclinación del satélite) inducen un efecto Doppler tanto en la portadora como en el chip de frecuencias de las señales recibidas en la MES por la FES. Este efecto Doppler se tiene que estimar dentro del proceso de regreso del enlace síncrono

#### Descripción de la Estación de Monitoreo en Villafranca de la Agencia Payload

Situado cerca de Madrid (España), se encuentra esta estación que esta dedicada al monitoreo y lectura del MARECS-A TT& C. La estación está equipada completamente para las pruebas de monitoreo con equipo de prueba basado en un computador sofisticado, así como de un plato de

12 m para banda C, un plato de 4 m para banda L con una antena de ganancia estándar para la medición precisa del PIRE.

Algunos de los parámetros importantes en banda C son:

- Máximo PIRE en banda C :  $\leq 80$  dBW (6.4 GHz).
- G/T en banda C: 32.4 dB/K

Como se muestra en la fig. 4.2.1 la interface entre la terminal arreglada (FES) y la estación de banda C en Villafranca (S) fue de una FI de 70 MHz.

### Descripción del Equipo MES Y FES

El nuevo desarrollo del prototipo de terminales (FES y MES) incluyen modems de velocidad variable completamente digitales que utilizan la técnica de acceso BQSS-CDMA. BQSS-CDMA es una secuencia modulada directa CDMA (DS/QPSK) esta hace uso de secuencias cuasi sincronizadas (preferentemente código de fase gold) perteneciendo a un conjunto de secuencia cuasi ortogonales.

La flexibilidad del modem permite la operación en varios modos dependiendo de la velocidad del chip seleccionado (desde 150 Kchip/s hasta 1.2 Mchip/s), velocidad de transmisión (desde 2.4 Kbit/s hasta 19.2 Kbit/s) y el factor de espaciamiento (desde 31 hasta 511). El código convulatorio ( $r = 1/2$ ,  $K = 7$ ) puede aplicarse para realizar mejoras al sistema.

Tanto voz como transferencia de datos son posibles. No obstante, como se mencionó anteriormente y solamente la voz será probada durante el ensayo del satélite. La voz se digitaliza utilizando la SVQ (Cuantización de Vector Espectral). Están instrumentados tres diferentes codificadores, operando a 6.4 Kbit/s (compatible al INMARSAT) 3.0 Kbit/s y 1.8 Kbit/s, respectivamente.

El adaptador móvil podrá estar descrito como sigue:

La antena fue montada en el toldo del vehículo del ensayo (Renault Espace), entre tanto el modulo HPA/LNA (amplificador de alto poder / amplificador de bajo ruido), la terminal de la MES (desarrollada por SATT que se interfaza a una FI=70 MHz con el modulo HPA/LNA) y otro equipo de soporte fue instalado dentro del vehículo alimentado por una batería de 12 V.

La antena utilizada para el ensayo fue un prototipo mecánicamente manejable, desarrollado dentro de la Agencia Espacial Europea. Tiene una capacidad y ganancia rastreadora cercana a los 10 dBi. Una antena omnidireccional se utilizó para realizar algunas pruebas en las velocidades de transmisión de bits más bajas. Finalmente, una antena de GPS estuvo montada en el bastidor del toldo del vehículo para permitir grabación de información de GPS durante los ensayos móviles.

Toda la información relevante respecto al estado de las terminales móviles y estáticas se visualiza en tiempo real gráficamente y/o se registro en archivos de captura en una PC para ser enviados a su procesamiento posteriormente.

## Presentación de Resultados

La prueba primero se llevo a cabo en un arreglo adaptado entre Villafranca y Bruselas para garantizar que el sistema estuviera funcionando correctamente; el vehículo estuvo adaptado con una terminal móvil. El sistema estuvo listo para una prueba de satélite en términos reales.

La mayoría de las pruebas móviles se llevaron a cabo en una sección de Bruselas/París, en una pista de motos al sur de Bruselas. En este caso los lados de la pista de motos fueron obstaculizados con una mezcla de arboles y arbustos altos con el área de apertura ocasional mientras el área central estuvo libre de obstrucciones.

Por cada modo de operación, un conjunto de parámetros fueron registrados tanto en el arreglo como en los sitios móviles. Ya que no es práctico presentar todo el análisis resultante del ensayo, solamente algunas estadísticas representativas con los parámetros principales están presentadas en este documento. Todos ellos referentes al modo nominal.

Durante las pruebas móviles no fue posible medir exactamente el tiempo de adquisición / readquisición, sin embargo, se estuvieron observando, encontrándose que son muy rápidos y demostrando ser cruciales al mantener comunicaciones en un entorno móvil de tierra.

Generalmente, el desempeño de la antena se rastreo extremadamente bien hasta que el vehículo dio vuelta a 30°/s. El sensor angular (se adicionó a la antena durante pruebas en Enero del 93) ayudó en gran forma a corregir puntos de la antena durante periodos de bloqueo.

### 4.2.4 DESEMPEÑO DEL ENLACE SINCRONIZADO RTN

El objetivo del enlace sincronizado RTN es de amarrar (sincronizar) la fase del código del Canal Común de Regreso (RCC) con la de la Referencia Local Generada en la FES (FRC). El enlace sincrono RTN es logrado en dos partes:

a) Durante la fase de adquisición codifica ambas fases y los errores de frecuencia son estimados por la FES y transmitidos a la MES que ajusta el enlace sincrono transmitiendo el código de fase y la frecuencia acorde a ésta.

b) Durante la fase de rastreo, la FES sigue el error de fase del enlace de código de regreso para compararlo el código de fase de la terminal móvil (RCC) con la fase de código piloto (FRC) y ordena las correcciones necesarias en la MES. Esta operación es repetida en intervalos de tiempo regular (igual a 1 segundo).

Dos diferentes algoritmos de rastreo llamados "algoritmo de Dzung" y "algoritmo de Sait" respectivamente, fueron probados durante el ensayo. El "algoritmo de Dzung" se puede describir "como un método de fase de corrección", desde las correcciones enviadas por la FES para la

MES. En contraste, el "algoritmo de Sait" es un método basado en la corrección de la frecuencia. La FES compara ahora la frecuencia del chip de la terminal móvil (MES) con la frecuencia del chip piloto y los usos en el enlace delantero para mandar las correcciones a la frecuencia del chip dentro de la MES.

Ambos algoritmos se probaron durante el ensayo del satélite tanto en condiciones estáticas y móviles fig. 4.2.3. En todos los casos, la velocidad fue de hasta 120 Km/h.

Los logros principales se pueden resumir como sigue:

Tanto los codificadores de 6.4 Kbits/s como los de 3.0 Kbits/s proporcionaron buena calidad de voz (para los de 1.8 Kbit/s, la calidad se degradó en cierta medida) y se encontró que ésta puede ser independiente a la velocidad del vehículo.

La adquisición inicial y la readquisición después del bloqueo fue muy rápida (una estimación de esta última está en el orden de aquellas que se midieron bajo condiciones de laboratorio).

Generalmente, el rastreo de la antena se desempeñó extremadamente bien hasta cuando el vehículo estuvo dando vueltas a 30 grados/s. El sensor angular (se adicionó a la antena durante pruebas en Enero del 93) ayudó en gran medida a mantener y corregir la señal de la antena durante períodos de bloqueo.

El regreso sincrónico del enlace se probó con una variedad de corrimientos y tasas Doppler y se ha encontrado que puede trabajar bastante bien.

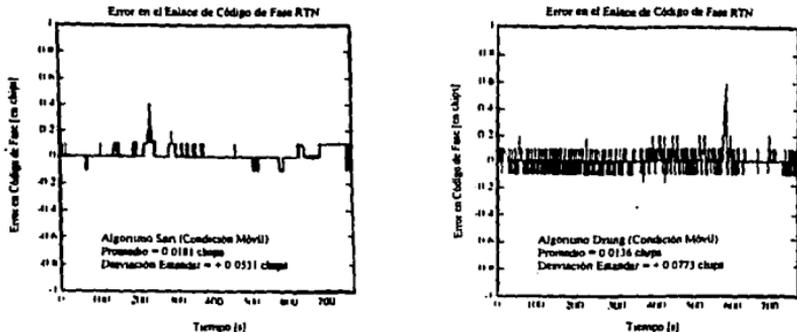


Figura 4.2.3 Errores en el enlace de código de fase RTN.

### 4.3 TERMINAL MOVIL ACTS

A continuación se presentará un resumen sobre las dos campañas que se planean sobre la propagación de señales empleando escenarios móviles con ACTS que es un satélite de tecnología de comunicaciones avanzadas.

Las campañas serán realizadas bajo el esfuerzo conjunto de la Universidad de Johns Hopkins, los Laboratorios de Física Aplicada (APL), la Universidad de Austin Texas, los Laboratorios de Investigación de Energía Eléctrica (EIERL) y el Centro de Investigación Lewis de la NASA (NASA LeRC). Las campañas fueron planeadas a realizarse en el centro de Maryland (ángulo de elevación de 40°) y en Fairbanks, Alaska (elevación de 8°) empleando un sistema de tracción de antena controlado por computadora que se localizará dentro de una camioneta que contendrá también el sistema de adquisición de datos.

La antena se mueve con respecto al ángulo azimutal de las transmisiones del enlace de bajada de 19.914 GHz desde el ACTS. El mayor objetivo de las campañas son el de medir los desvanecimientos y los efectos por la multitrayectoria ocasionados por los árboles y las estructuras que se presenten en el camino y que se extienden sobre modelos previamente validados en frecuencias de UHF a Banda S.

La terminal móvil ACTS es un concepto de comunicación móvil por satélite Geoestacionario de vanguardia que trabaja en las bandas K / Ka y fue desarrollado por el Laboratorio Jet Propulsion de la NASA.

La terminal se ha diseñado para los sistemas comerciales por satélite del futuro y con las siguientes características:

- Antena vehicular de alta ganancia.
- Sistema de compensación de atenuación por lluvia.
- Diseño de un adecuado PIRE para diferentes esquemas de comunicaciones.
- Sistemas de compensación del efecto Doppler y corrimiento de frecuencia.

#### 4.3.1 SATELITE ACTS

En la fig. 4.3.1 se muestra la arquitectura de una red ACTS para operar en frecuencias de 19.914 GHz y 29.634 GHz, para la transmisión de voz y datos, teniendo como ventaja un ancho de banda bastante amplio y el uso de antenas pequeñas y de muy alta ganancia, para aplicaciones aeronáuticas, marítimas, terrestre móvil, en micro terminales y comunicaciones personales.

La red está soportada por el satélite ACTS lanzado en Julio de 1993 en la posición Geoestacionaria 100° Oeste y con dos años de dedicación para proyectos experimentales.

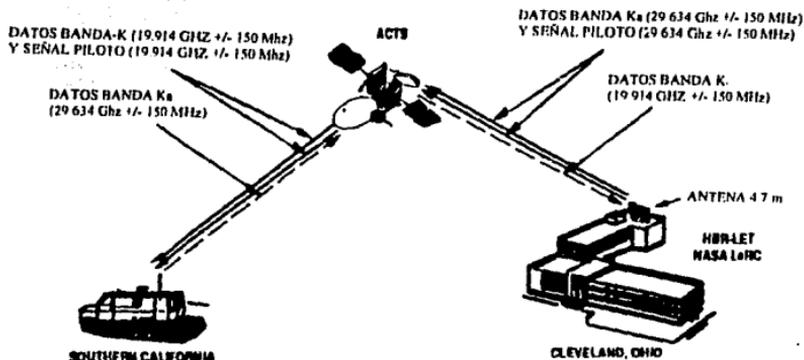


Fig. 4.3.1 Red de comunicación móvil ACTS.

#### 4.3.2 SISTEMA DE TRACCIÓN DE LA ANTENA

En la fig. 4.3.2 se muestra un diagrama a bloques del sistema de tracción. La antena y el sensor de razón angular (bloque 1) descansan sobre una mesa rotatoria manejada por un sistema de motor de pasos (bloque 5 al 7). Cuando el vehículo da una vuelta los sensores desarrollan un voltaje proporcional a la razón del cambio angular. Este voltaje es integrado (bloque 2) dándonos otra señal de voltaje proporcional al ángulo de rotación.

Esta señal de voltaje se alimenta hacia un convertidor de voltaje a frecuencia (bloque 4) por medio de una red (bloque 3), el cual nos suministra una serie de pulsos a una frecuencia proporcional al ángulo rotado. Estos pulsos y una señal de dirección son los que alimentan al motor (bloque 5) que rota la tabla hacia la dirección donde se reduzca el cambio en el ángulo.

Cuando el error en el ángulo se reduce a cero se dejan de inyectar pulsos al motor y si la razón de los sensores no detectan un cambio, el sistema de tracción nos proporcionará un ángulo muy aproximado al azimut calculado.

Debido a que el voltaje tiene un drenaje lento de offset, la mesa deberá moverse lentamente, en aproximadamente 30 seg. Un contador hacia arriba / hacia abajo (bloque 8) y una computadora (bloque 9) se utilizan para obtener la posición absoluta de la mesa con respecto a su referencia. El voltaje de offset se corrige aproximadamente cada segundo comparando esta relación con la relación de la dirección de la mesa (bloque 10). Este resultado de voltaje de offset se alimenta a una interfase D/A y compensándolo con el sensor de relación de drenaje y sumándole el ángulo aparente de rotación, obtendremos el ángulo de rotación verdadero.

La computadora además cuenta con un software que mitiga el flujo de errores causados por anomalías magnéticas debidas al vehículo y a las estructuras encontradas en el camino.

La elevación de la antena se establece considerando que se encuentra en un vehículo sobre una base horizontal y captando la señal radiada desde el satélite. Se espera que en los caminos se presente una variación del ángulo de elevación de 2° teniendo un rango permisible de 3.5°. Esta variación nos determina una pérdida de 1 dB.

### Técnicas de Acceso ACTS.

En la técnica de acceso al satélite es FDMA, las estaciones terrestres transmiten una señal piloto no modulada que se usa por las terminales móviles para la orientación de la antena, además transmite una frecuencia de referencia para compensar el efecto Doppler y medir el desvanecimiento por la atenuación de la lluvia.

En la fig. 4.3.3, se muestra un diagrama a bloques de la terminal ACTS. De acuerdo al diagrama a bloques se emplean las técnicas digitales más sofisticadas como son: codificador de voz, módem con técnica BPSK, convertidores de frecuencia intermedia y radiofrecuencia, controlador de la terminal y sistema de adquisición de red.

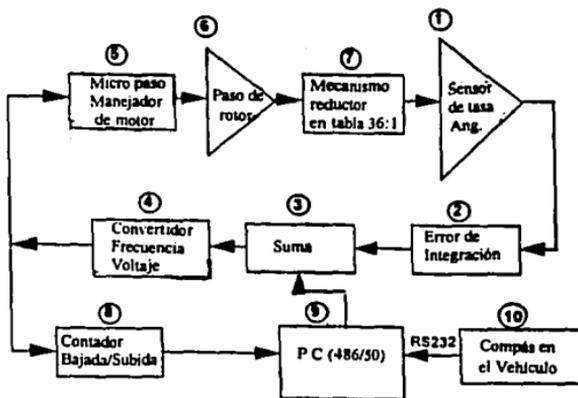


Figura 4.3.2 Diagrama a bloques del sistema de tracción de la antena.



detector en cuadratura, convirtiéndola a banda base y filtrándola por un filtro paso banda de 200 Hz de frecuencia de corte. Todo esto nos da como resultado un ancho de banda de 400 Hz. Los voltajes en fase y en cuadratura se muestrean en el sistema de la base de datos en la computadora. Los resultados se guardan en el disco duro y tiene la capacidad de almacenar 4 horas de datos continuos. El tiempo y la velocidad del vehículo con su dirección se graban una vez cada segundo y la posición de la antena se graba a razón de 5 Hz.

PARAMETROS	AMBOS LUGARES	MARYLAND (Central)	ALASKA (Fairbanks)
Satélite: Longitud (°W) Frecuencia del enlace de bajada (GHz) Frecuencia del enlace de subida (GHz) Polarización	100 19,914 29.634 Vertical		
Localización del lugar de recepción: Latitud (°) N Longitud (°) W Elevación (°) Azimut (°)		39.25 77.0 38.7 213.9	65.0 147.7 7.9 129.5
Parámetros del sistema receptor: Polarización Eficiencia de la antena Diámetro de la antena (cm) Ganancia de la antena (dB) Ancho de onda (°) Temperatura del sistema K (nominal)	Vertical 0.6 15 28 6.8 430		
Parámetros del enlace: PIRE (dBW) Perdidas en espacio libre (dB) Perdidas de gas atmosférico (dB) Perdidas radome (dB) G/T móvil (dB/K)	0.5 1.7	65 -210.0 0.5	56 -210.6 2.2
Poder de la señal recibida (dBW) Poder del Ruido (dBW/Hz) Portadora/Ruido (dB por Hz)	-202.2	-118.0 84.2	-129.3 72.9
Portadora/Ruido (dB; 400 Hz)		58.2	46.9

Tabla 4.1.1 Parámetros del enlace para la configuración ACTS tierra-móvil empleando la matriz de modo conmutación de microondas y antena orientada.

## 4.4 ANTENAS DE TERMINALES MOVILES

A continuación se hablará en forma global sobre las antenas que se encuentran disponibles en el mercado para satisfacer de mejor manera la demanda de éstas para su uso en las terminales móviles seguido por una explicación más a detalle acerca de 7 tipos de antenas.

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibelios en relación con la potencia radiada o recibida por una antena isotrópica (dBi). Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que viene la señal que se quiere recibir, o en la que se va a transmitir, y la mínima en todas aquellas direcciones que no sean de interés; de allí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo más pequeños que sea posible, para que no se capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas o innecesarias. Estrictamente la ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación; su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de la superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo.

Para aplicaciones en Comunicaciones Móviles por Satélite (CMS) se han desarrollado antenas para vehículos que resultan muy costosas en la manufactura, de estas antenas se consideran dos antenas que son de bajo costo y ofrecen adecuada ganancia dentro de la cobertura del haz del satélite. Una es la antena de mástil que usa 3 o 4 elementos en forma de hélice de cuadro, la cual genera un patrón omnidireccional en azimut y su haz es barrido en elevación.

El segundo tipo de antena es una unidad planar en forma de espiral y genera un haz direccional a través de una sumatoria de modos azimutal, una variante de esta misma antena es que utilice espirales cónicas aunque realiza la misma tarea. En ambos casos la exploración del haz es lograda por conmutación electrónica de corriente de fase.

En algunas aplicaciones, donde ya se han implementado, se utilizan 3 principios de exploración: electrónica, por haces conmutados y mecánica.

A continuación se presentaran con más detalle siete tipos de antenas, las cuales se encuentran involucradas en los proyectos mencionados.

### 4.4.1 ANTENAS DE BAJO COSTO PARA APLICACIONES VEHICULARES MSAT

Para aplicaciones en vehículos móviles se han instrumentado varios diseños, estos pueden estar clasificados en tres categorías de arreglos, con rastreo electrónico, arreglo de haz conmutado y antenas con rastreo mecánico. Para arreglos de rastreo electrónico se han propuesto y evaluado diferentes diseños y conceptos, pero, la configuración más aceptada es el arreglo hexagonal de 19 elementos. Un análisis de dichos arreglos con elementos microbanda de mancha circular de banda

pequeña mostró el acoplamiento mutuo como la causa principal para la reducción de la ganancia en exceso para elementos del patrón de atenuación. Para ángulos de elevación bajos alrededor  $15^\circ$  a  $30^\circ$  en zona de cobertura Canadiense, se vio que el acoplamiento mutuo afecta tanto a la impedancia de entrada de los elementos de arreglo como a los patrones del campo lejano y disminuye, por consiguiente, la ganancia del arreglo. Tales estudios también indican esos intentos por aumentar la ganancia registrada del arreglo, incrementando el tamaño del mismo, sin éxito debido a efectos de acopladores mutuos realizados con el tamaño del arreglo. El arreglo hexagonal de 19 elementos provee niveles de ganancia razonables de alrededor de 10 dBic a ángulos de elevación baja y es también algo pequeño en tamaño, sin aumentar así el costo excesivamente. Esta configuración de arreglo ha sido por lo tanto la seleccionada como el candidato más apropiado e instrumentado por numerosos grupos de investigadores y tanto el parche circular de microbanda como ranuras cruzadas han sido utilizadas para los elementos del arreglo. El desempeño se ve afectado por que el costo principal de este arreglo está en los haces de formación eléctrica, que también se añaden a la pérdida de la antena con reducciones posteriores en el arreglo G/T y sus eficiencias de poder.

Para remediar estos problemas se intentó reducir el tamaño de la red de trabajo del enlace utilizando elementos de arreglo de modo dual. Un arreglo utilizando elementos apilados de microbanda de mancha circular fue estudiado tanto analíticamente como experimentalmente. Se mostró que para ángulos de elevación baja un arreglo de 7 elementos de elementos apilados pueden dar niveles de ganancia similares al arreglo convencional de 19 elementos. El nuevo arreglo, sin embargo, requiere solamente 13 elementos, en lugar de 18 para los arreglos convencionales.

En la categoría de arreglo del haz conmutado, una antena interesante se diseña e implementa utilizando una antena de reflector parabólica simulada. La superficie de reflector está hecha por anillos de monopolos que están alimentados por un monopolo central. La superficie del arreglo, y por consiguiente la antena irradiadora, está rotada por monopolos conmutados preferentemente dotados por un diodo en su base. El diseño es simple y no requiere desviadores de fase para el rastreo del enlace, y por consiguiente ha de disminuir el costo y mejora la eficiencia de poder de la G/T. Sin embargo, se polariza linealmente y no cuenta con un perfil bajo y al añadir un polarizador de haz cónico aumenta además su altura.

Debido al costo y pérdidas asociadas con el enlace formado en la red de trabajo de los arreglos anteriores, el arreglo de rastreo mecánico muestra un número atractivo de características distintivas y también han sido considerados por un número importante de investigadores. Lo más interesante de los diseños usados es el arreglo de elementos Yagi hecho de cuatro parches cuadrados de microbanda. Provee un haz estrecho en azimut que está rotado mecánicamente. En la elevación el haz se amplía y no requiere un rastreo. Mientras las antenas registradas mecánicamente ofrecen una ventaja posible en la mejora del G/T, sufren naturalmente de confianza, especialmente en regiones frías. El rastreo electrónico es aún el enfoque más aconsejable para considerar. Aquí, dos nuevos diseños se introducen con potencial para instrumentación de bajo costo. Proveen ganancias medias para tamaño pequeño y pueden ser utilizados también para aplicaciones de ganancias altas. Sin embargo, su ventaja, es para antenas de ganancia media, que pueden estar fabricadas a bajo costo. Estas están basadas en un arreglo vertical de hélices y arreglos de espirales, planares o cónicos.

## El Mástil de la Antena

La geometría de la antena está mostrada en la fig. 4.4.1, y consiste en unos 3 o 4 elementos en arreglo helicoidal. Cada elemento del arreglo es una miniatura cuadrifilar, hélices con diámetros de cerca de 1.5 cm y una longitud de onda de largo. Se asemeja a una antena de azotea que será utilizada comúnmente en vehículos y esperamos tener una buena aceptación de los usuarios. Su patrón de radiación es por lo tanto omnidireccional. Sin embargo, para proveer una ganancia mínima de 8 dBic, el haz del arreglo en la dirección vertical se reduce alrededor de  $15^\circ$  y la cobertura de ganancia se logra por el rastreador colocado en el plano vertical. Un patrón de ganancia simulado de uno de estos arreglos está mostrado en la fig. 4.4.2 y proveen ganancias calculadas en exceso de 9.5 dBic. La ganancia medida del elemento del arreglo ha mostrado que el error de fase y las pérdidas debidas a una mala unión reducen la ganancia a lo mucho a 1 dB, dentro del rango que requieren las transmisiones y recepción de bandas. La ganancia esperada con arreglos de cuatro elementos tiene por lo tanto alrededor de 8 dBic. Este arreglo está actualmente en desarrollo y se muestra en la fig. 4.4.3. Este otorga una ganancia de 3.33 dBic y tiene un pico de haz a  $35^\circ$  de elevación ( $\theta=55^\circ$ ), ideales para el rastreado del haz en el rango requerido.



Figura 4.1.1 Configuración de un arreglo Helicoidal de 3 elementos.

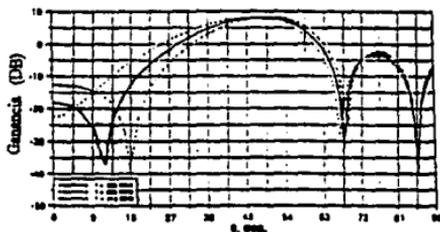


Figura 4.4.2 Patrón computado del campo lejano del arreglo de la Fig. 4.4.1

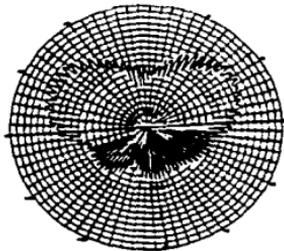


Figura 4.4.3 Patrón medido del elemento de las hélices cuadrifilares, ganancia = 3.3 dBic.

## Arreglo Planar

En este arreglo la cantidad de desviadores de fase están limitados a N-1, donde N es el número de modos azimutales, y el incremento de fase de cambio aumenta linealmente con la orden de modo, así los resultados son progresivamente más simples. El método por lo tanto provee un arreglo con una alta ganancia de rastreo en ángulos de elevación más bajos utilizando simplemente modos azimutales más altos que reducen la cantidad del número de desviadores de fase requeridos que relativamente son pocos, simplifica la instrumentación de desviadores de fase y configuración del arreglo limitando al desviador de fase digital de orden más alto a un número pequeño.

Con el enfoque anterior utilizando desviadores de fase, hasta un número pequeño de ellos, entre el más alto orden de modos azimutales introducen aún pérdidas de desviador de fase al arreglo y limita su desempeño. El costo asociado con el desviador de fase también aumenta el costo del arreglo. Lo mismo se aplica también a la alimentación de la "Butler Matrix Feeds" que introduce pérdidas del orden similar a la de los desviadores de fase al arreglo y limita su desempeño. Un enfoque alternativo estuvo también propuesto eliminando el requisito de desviadores de fase, o la Matriz Butler, y el haz del arreglo está registrado por un interruptor de haz. Las pérdidas del haz son limitadas sólo por la inserción del interruptor, estas son pequeñas comparadas con la de los desviadores de fase o la de Matriz Butler, y por lo mismo son normalmente más pequeñas, ésta reduce el costo.

Suponga que un arreglo consiste de N antenas cada una irradia un modo azimutal. Tal arreglo puede estar instrumentado por N manchas de microbanda soportando los modos TM<sub>n1</sub>. Alternativamente, estas pueden ser de ranuras, aros de alambre, cuernos circulares o cualquier antena con azimut simétrical. Aquí, el diseño proveído utiliza espirales planares. Los componentes de la radiación de campo lejano es por lo tanto la sumatoria de los campos lejanos debidos a estos modos y para las antenas de polarización circular puede ser mostrado como sigue:

$$E_n^c = \sum_{n=1}^N f_n(\theta) e^{in\theta} \dots\dots\dots(1)$$

$$E_n^c = \sum_{n=1}^N g_n(\theta) e^{in\theta} \dots\dots\dots(2)$$

Donde  $f_n$  y  $g_n$  son las partes del campo que dependen de  $\theta$  y son de la forma

$$f_n(\theta) = \frac{V_n k a_n}{2} \frac{e^{-ikr}}{r} j^n [J_{n-1}(k a_n \sin \theta) - J_{n+1}(k a_n \sin \theta)] \dots\dots\dots(3)$$

$$g_n(\theta) = j \frac{V_n k a_n}{2} \frac{e^{-ikr}}{r} j^n [J_{n-1}(k a_n \sin \theta) + J_{n+1}(k a_n \sin \theta)] \dots\dots\dots(4)$$

En estas ecuaciones "n" es la abertura del radio de la antena de la forma de la n-ésima irradiada y  $V_n$  es el coeficiente de excitación y este puede ser usado para conformar el patrón de radiación del arreglo. Es también, aceptado el suponer que las excitaciones de diferentes modos de azimut están en el mismo plano azimutal, como el plano  $\phi=0$ . El factor  $J_n$  en las ecuaciones (3) y (4), indica que el haz del arreglo estará dirigido a lo largo de la dirección  $\phi=90^\circ$ .

Los campos de radiación son series de Fourier simples, éstas se pueden mostrar ya que el ancho de banda (BW) del haz de los patrones de radiación está dado  $2\pi/n$  y la ganancia del arreglo es aproximadamente igual a 20 logio (3.3 N), que proveen ganancias en el rango de 8,10,11,12 y 13 dBic para  $n=3,4,5$  y 6 modo azimutal. Desde el modo azimutal irradia progresivamente en ángulos de elevación más bajos, incrementando la cantidad de modos del haz del arreglo se mueve gradualmente hacia el plano del arreglo (Por ejemplo los ángulos de elevación más bajos). Así, de la utilización del concepto de diseñar un arreglo para aplicaciones vehiculares, un número apropiado de modos se necesitan para formar el haz en el azimut, aumentar la ganancia del arreglo al rango deseado. El rastreo del haz en el azimut provee la cobertura completa.

## Ejemplos del Diseño

El concepto de arreglos utilizando el modo azimutal se estudió inicialmente utilizando antenas de banda angosta en forma apilada, cada una irradiaba diferentes modos. Una alternativa de diseño se seleccionó utilizando antenas espirales de brazos múltiples. Es una antena polarizada circularmente y provee un buen desempeño sobre una amplia banda de frecuencia. Con esta configuración el modo azimutal requerido, puede ser  $n=1,2,\dots, N$ , estos se generan por la simetría de arreglo y no por diferentes elementos del mismo. Es así, que ésta es una configuración apropiada para la fabricación a bajo costo. Para esta clase de antenas el modo de excitación y radiación de campo lejano se ha estado estudiando varias veces incluyendo muestras de diferentes brazos espirales, redes de alimentación, y efectos del tamaño del plano de tierra. Aquí se presentan los resultados de tres ejemplos.

La fig. 4.4.4 muestra la geometría para cuatro brazos en espiral, ésta fue utilizada en el estudio. Un defasamiento de red en la región central fue acostumbrada a la excitación del modo azimutal requerido. Las simulaciones numéricas extensivas y las verificaciones experimentales se llevaron a cabo en espiral con 4 a 10 brazos evaluando la formación del haz y la ganancia. Para la antena en espiral de 4 brazos dos patrones medidos se muestran en las figuras 4.4.5a y 4.4.5b, el azimut y los planos de elevación respectivamente. La ganancia medida sobre el plano de tierra de 90 cm estuvo cerca de 11.0 dBic.

Para una espiral mayor a 6 brazos los correspondientes a patrones de campo lejano medidos se muestran en las fig. 4.4.6a y 4.4.6b. El ancho del haz en el plano azimutal es más pequeño cercano a  $60^\circ$ , en lugar de  $90^\circ$  para el de 4 brazos y por consiguiente su ganancia es mayor. La ganancia medida estuvo cercana a los 13 dBic y sus picos fueron encontrados cercanos a  $\theta=55^\circ$ . Por ejemplo el ángulo de elevación fue encontrado a los  $35^\circ$ .

Para algunas aplicaciones el tamaño del plano de tierra de la antena introduce una limitante física para su uso, en cuyo caso una alternativa de diseño es aconsejable. Aquí se utiliza la espiral cónica de brazos múltiples. El ángulo de cono está seleccionado apropiadamente para conformar

el patrón de campo lejano. La fig. 4.4.7a y 4.4.7b muestran los resultados para una antena cónica en espiral de 6 brazos con un ángulo de cono medio de  $30^\circ$ . La ganancia medida para esta antena después de corregirla para una entrada desigual estuvo alrededor de 12.5 dBic.

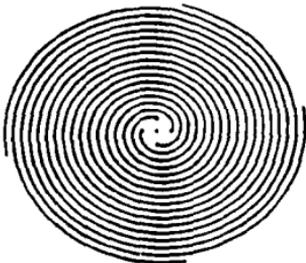
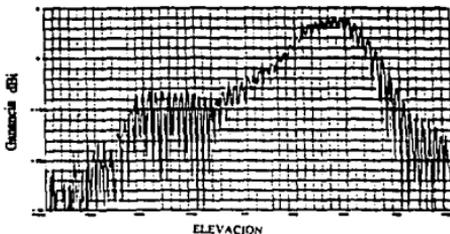
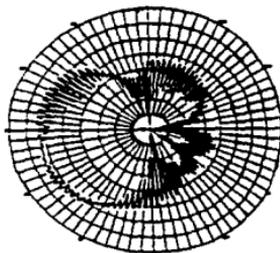


Figura 4.4.4 Configuración de una antena en espiral de 4 brazos.



(a) Plano de elevación, ganancia = 11 dBic.

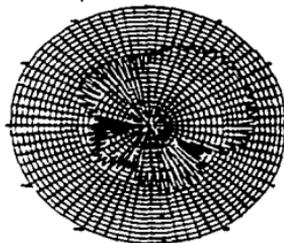


(b) Plano azimutal, ganancia = 11 dBic.

Figura 4.4.5 Medidas del patrón de campo lejano para una antena en espiral de 4 brazos.

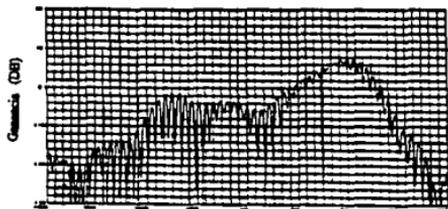


(a) Plano de elevación, ganancia = 13.4 dBic

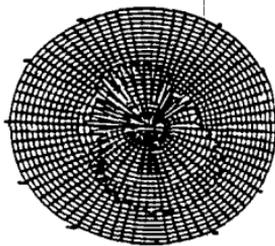


(b) Plano azimutal, ganancia = 13 dBic.

Figura 4.4.6 Medidas del patrón de campo lejano para una antena en espiral de 6 brazos



(a) Plano de elevación, ganancia = 11 dBic.



(b) Plano azimutal, ganancia = 10.5 dBic.

Figura 4.4.7 Medidas del patrón de campo lejano para una antena cónica en espiral de 6 brazos.

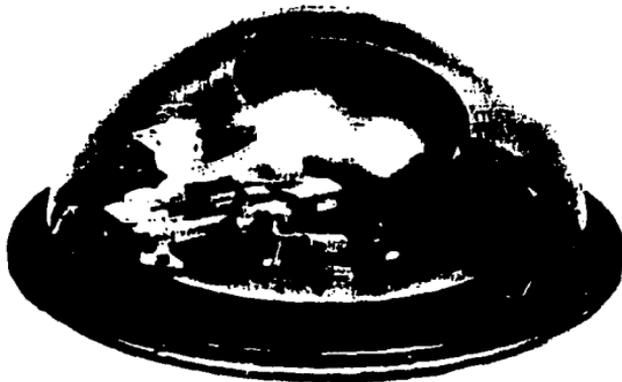
#### 4.4.2 ANTENA REFLECTORA DE VEHICULOS MOVILES POR SATELITE EN LAS BANDAS K y Ka PARA LA TERMINAL MOVIL ACTS DE LA NASA

El Laboratorio Jet Propulsión (JPL) ha desarrollado varios sistemas vehiculares con antena para aplicaciones con satélites. JPL ha instalado estos sistemas de antenas en laboratorios de comunicaciones móviles y de campo, probando el equipo.

##### Ensamble de la Antena

En la fig. 4.4.8 es una imagen de la antena de reflector de AMT, mostrada con una cúpula transparente; la cúpula actual tiene la misma forma hemi-elsoidal pero es opaca. Las dimensiones externas de la cúpula son: diámetro de 23 cm con una altura de pico de 10 cm. La cúpula tiene unos 4 mm de grueso "emparedado" e impone pérdidas de inserción de 0,2 dB a 20 GHz en banda K y 0,4 dB a 30 GHz en banda Ka. Contiene un revestimiento de Vellox Hydrophobic que es casi electromagnético impidiendo que la superficie de la cúpula se moje y permite que AMT mantenga comunicaciones en lluvias ligeras. La fig. 4.4.9 es una vista del ensamblaje de la antena. Todos los componentes de la antena se montan directamente al motor, que hace el ensamblaje simple, compacto y áspero. El motor de toma directa de dos fases tiene 1,3 cm de alto. El reflector y la alimentación se montan en un disco que se acopla directamente al motor para lograr controlar el azimut. Debajo de el disco un codificador óptico verifica que el ángulo de la antena sea el adecuado. La fig. 4.4.10 es un diagrama a bloques de la antena de RF.

La antena incorpora una configuración de reflector de nivel para evitar el bloqueo de la alimentación. El reflector está restringido a alimentar el asta bajo la cúpula y es relativamente pequeño, solamente cerca de 4 por 10 longitudes de onda en los 20 GHz de banda. La forma del reflector, básicamente elíptica ofrece maximizar ganancias mientras un ancho de banda relativamente elevado disminuye la necesidad de rastreo de la elevación del satélite. La forma del reflector es la intersección de un paraboloide y un cilindro elíptico, el cilindro se orientó de modo que la proyección de la superficie del reflector es casi una elipse simple como se observa desde el



4.4.8 Reflector de antena AMT.

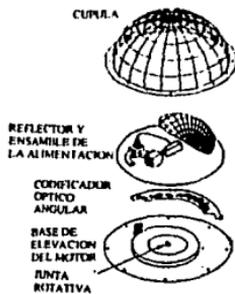


Figura 4.4.9 Reflector de la antena exploración visual.

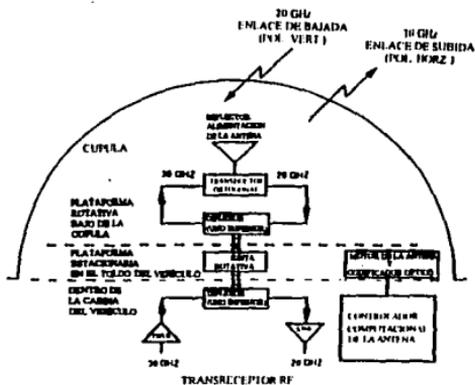


Figura 4.4.10 Diagrama a bloques del reflector de la antena.

asta de la alimentación y las direcciones del satélite. Esta orientación es importante para garantizar una buena iluminación del reflector por el asta de alimentación y un patrón de elevación de antena que sea también razonablemente simétrico esto es que la forma de los contornos del reflector se adapta bien bajo la cúpula. La montura del reflector permite ajustar manualmente el ángulo de elevación nominal de la banda de la antena para permitir potencialmente la operación con ACTS en cualquier región de los Estados Unidos Continentales (30° a 60° de elevación).

Todos los componentes de la antena de RF a excepción del reflector y la coyuntura rotativa están integrados en un solo y rígido, ensamble electroformado para reducir pérdidas de RF y aumentar la integridad mecánica. Los componentes sobre la coyuntura rotativa se muestran en la fig. 4.4.10. El ensamble del asta de alimentación es un sistema de guía de onda que distribuye las señales tanto a los 20 GHz como a 30 GHz desde la coyuntura rotativa hasta el asta de alimentación. La alimentación del asta es utilizada por ambas bandas de frecuencia, con polarización vertical para los 20 GHz en el enlace de bajada y polarización horizontal para los 30 GHz en el enlace de subida ACTS requieren estas polarizaciones.

Inmediatamente detrás del asta de alimentación está el transductor ortogonal. Este combina las dos bandas de frecuencia desde dos diferentes puertos y canales al asta de alimentación después orienta a estos con las polarizaciones adecuadas. El diplexor espacial superior separa las dos bandas de frecuencia y las distribuyen al puerto respectivo del transductor ortogonal. Las pérdidas totales de RF en el ensamble del asta de alimentación son cercanas a 0.3 dB a 20 GHz y 0.5 dB a 30 GHz.

La coyuntura rotativa distribuye las señales de RF a los componentes de la antena revolucionados por el motor y provee la conexión de RF única en la superficie inferior de la antena. Esta es una unidad coaxial de canal único y como tal es una unidad relativamente pequeña que impone un mínimo de fricción de torsión. La coyuntura rotativa es de solamente 1.3 cm en el diámetro y se instalan en los propios centros de ensamble matriz. La opción de una coyuntura rotativa pequeña es un factor mayor al lograr la reducción global en el tamaño de la antena. Las pérdidas de RF a través de la coyuntura rotativa está cercana a los 0.5 dB en ambas bandas de frecuencia.

## Rastreo del Satélite

El rastreo del satélite requiere solamente un controlador azimutal (unidimensional), el tamaño del ancho de banda de elevación de la antena es suficientemente amplio para adaptarse a las variaciones de giro y de inclinación de un vehículo típico dentro de cualquier región única de operación. El sistema de rastreo de satélite está basado en un microprocesador híbrido Motorola 68030 con sistema realimentado / prealimentado, éste maneja el ángulo de azimut de la antena mediante el control del motor en respuesta a lo señalado en la información obtenida desde un sensor de tasa de cambios variables del vehículo inercial (prealimentado) y una señal mecánica de error obtenida (realimentación) simultáneamente. El error de rastreo rms es solamente una fracción pequeña de un grado. Este es capaz de completar un rastreo de azimut completo y adquiere la señal cerca de los 7 s.

La técnica acostumbrada para señalar el error del azimut para realimentación de rastreo es la vibración mecánica. La vibración mecánica involucra la oscilación senoidal de la antena derecho e izquierdo (en ángulo del azimut) 1 grado en cada dirección en una tasa de 2 Hz para determinar si la antena está apuntado en la dirección más fuerte de la señal. El satélite envía un beacom (emisión de señales para localización y ubicación) especial para este propósito; El sistema AMT de RF transiver detecta el beacom a través de la antena y provee la señal detectada a la computadora que controla la antena. Para correlacionar el nivel de la señal recibida que fue informada por el transiver con la computadora que controla la antena se determina el signo y magnitud de cualquier error detectado. La fig. 4.4.11 muestra la función de detección de error de reorientación mecánica.

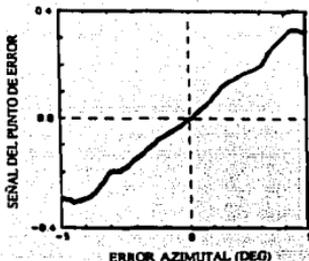


Figura 4.4.11 Detección de Error de reorientación mecánica.

## Desempeño de la Antena de RF

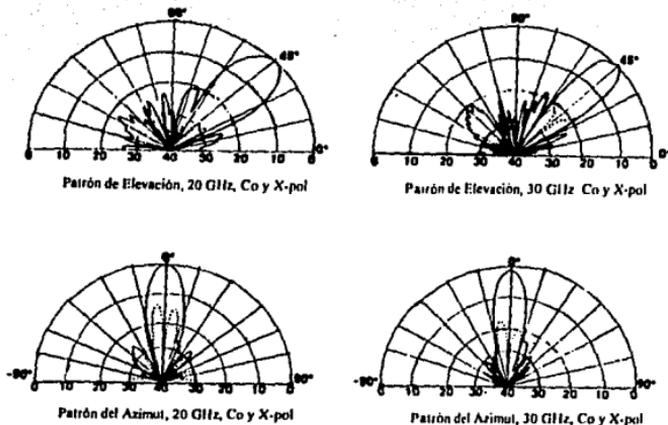
En las figuras 4.4.12 se presentan los patrones de la antena de campo lejano en coordenadas de elevación y azimut y polarización en X de 20 GHz y 30 GHz. Los patrones muestran la cobertura de elevación centro a 46° para operación a través del ACTS en territorios del sur de California. Los requisitos para el desempeño de la antena están hechos sobre unos 12° del rango del ángulo de elevación, centrado a 46° acomoda este rango  $\pm 6^\circ$  a las exigencias del vehículo típico y variaciones de giro mientras viajan en caminos pavimentados.

Sobre el ángulo de elevación requerido varía la ganancia mínima a 20 GHz tiene 19 dBi con un máximo de 22.5 dBi y a 30 GHz la ganancia mínima tiene 19 dBi con un máximo de 23.5 dBi. La elevación del lóbulo posterior y el azimut del lóbulo lateral tienen más que 20 dB desde el lóbulo principal. El pico X-pol no es mayor que -15 dB. Estas mediciones son referidas a los puertos de TWTA y LNA del más bajo diplexor, diagrama de la fig. 4.4.10.

Sobre el ángulo de elevación requerido varía la razón de sensibilidad que recibe (ganancia de la antena sobre temperatura de ruido del sistema, o  $G/T$ ) es mínimo de -6 dB/K, con un pico de -2.5 dB/K. La temperatura de ruido del sistema tiene 320 K, del cual 260 K es debido al LNA y todos los demás componentes del receptor debajo de él (no mostrados en la fig. 4.4.10). Los restante 60 K son debido a la antena (todo sobre el LNA en fig. 4.4.10), incluyendo ruido de cielo y cósmico así como ruido térmico introducido por el dispositivo, la pérdida de los componentes de la antena es cercana a 1 dB. Cuando la antena está apuntado directamente al Sol, los aumentos de temperatura de ruido del sistema que recibe son solamente de 0.1 dB (5 K).

La antena maneja hasta 10W en el poder transmitido aplicado en el más bajo diplexor por el TWTA. Con el máximo de 10W de poder transmitido el PIRE máximo varía desde 30 dBW hasta 33.5 dBW, dependiendo del ángulo de elevación.

La transmisión de ruido de receptor inducido (receptor desensibilizado) no es un problema con esta antena. Esto no es degradación mensurable de la sensibilidad del receptor ( $\pm 0.05$  dB) resultante de transmisión simultánea hasta el nivel de poder máximo, 10 W.



Figuras 4.4.12 Patrones de la antena de campo lejano en elevación y azimut.

#### 4.4.3 ARREGLO DE ANTENAS EN BANDA K Y Ka PARA TERMINALES MOVILES ACTS DE LA NASA

El arreglo de antena activa de AMT mostrada en la fig. 4.4.13, es un ensamble de multicapas que recibe por un arreglo de ranuras irradiadas y transmite por un arreglo de dipolos de microbanda que son intercalados tal que comparten la misma abertura para proveer una antena de banda dual compacta. Los canales son acoplados electromagnéticamente para proteger las microbandas conectadas en línea a los Circuitos Integrados de Microonda Monolítica (MMIC) amplificadores de bajo-ruido (LNAs) en el lado trasero del plano principal de tierra que contiene las ranuras. Los dipolos residen en una tableta dieléctrica situada encima del lado frontal del plano de tierra acanalado, son intercalados entre las ranuras, y son acoplados electromagnéticamente para conectar la microbanda en línea a los amplificadores MMIC de alto poder (HPAs) en el lado frontal del plano principal de tierra. El buen aislamiento inherente se espera en el conjunto de

circuitos que recibe y transmite, estos están en los lados opuestos del plano de tierra de la antena principal.

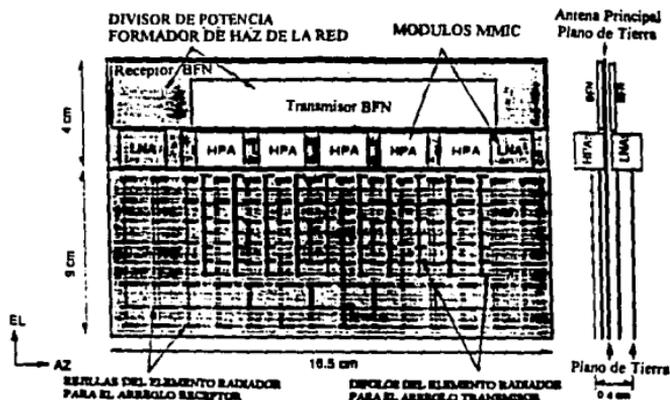


Figura 4.4.13 Arreglo Activo AMT.

## Arreglo de Transmisión y Recepción

Impresos los elementos de los dipolos y sus complementos, ranuras lineales, son radiadores elementales que han encontrado uso en arreglos de antenas de bajo-perfil. El arreglo de la antena de bajo-perfil, además de su ventaja potencial de tamaño pequeño es de bajo costo y alta producción de volumen con una fácil integración con componentes de circuitos integrados.

Pero el arreglo de transmisión y recepción tienen picos de aproximadamente 24 dB y operarán sobre un 1% y un 1.5% del ancho de banda respectivamente. Los subarreglos de la antena AMT son arreglos del tipo lineal alimentados en serie (consistentes de dipolos casi idénticos), elementos electromagnéticos transversalmente acoplados a una línea de transmisión de microbanda, la configuración seleccionada es para minimizar pérdidas. El arreglo de la transmisión consiste en 10 subarreglos de dipolos lineales idénticos espaciado  $0.964 \lambda_0$  y el arreglo de recepción consiste de 14 subarreglos de ranura lineal espaciada  $0.648 \lambda_0$ .

## Dirección del Haz de Elevación

Considere el dipolo lineal alimentado simétricamente y los arreglos de ranuras mostrados en las figuras 4.4.14 y 4.4.15 respectivamente, donde el espaciamiento entre elementos es "d" y la longitud de la interconexión de la línea de transmisión es  $J = d$ . Para dirigir el haz principal en la dirección adecuada, se rastrea el ángulo  $\theta_0$ , medido desde un solo lado, o normal a la antena,

la dirección adecuada, se rastrea el ángulo  $\theta_0$ , medido desde un solo lado, o normal a la antena, la siguiente relación de fase  $\psi$  debería estar satisfecha por:

$$\psi = -\beta \ell = \pm k_0 d \sin \theta_0 - m\pi$$

Donde  $m$  es igual a una constante,  $\beta = k_0 \sqrt{\epsilon_{r, \text{eff}}}$  es la constante de propagación,  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  es el espacio libre en número de ondas,  $\lambda_0$  es el espacio libre en longitud de onda y  $\epsilon_{r, \text{eff}}$  es la constante dieléctrica. Minimizando  $\ell$ , es decir, minimizando las pérdidas de la línea  $d$ , la ecuación anterior está resuelta cuando  $\ell = d$  y se obtiene:

$$\frac{\ell}{\lambda_0} = \frac{m/2}{\sqrt{\epsilon_{r, \text{eff}}} \pm \sin \theta_0}$$

### Diseño del Arreglo de Dipolo Lineal

En un modelo de circuito equivalente de un arreglo lineal de  $N$  series de dipolos, el  $i$ -ésimo dipolo representa una impedancia en paralelo,  $Z_i(\omega) = R_i(\omega) + jX_i(\omega)$ , la línea de transmisión se muestra en fig. 4.4.14, donde  $Z_i(\omega)$  es una función del dipolo de nivel, longitud, y peso. La línea de transmisión está dada por su impedancia característica  $Z_0$  y el número de ondas por  $k = \beta - j\alpha$ , donde  $\alpha$  es la constante de atenuación. Cada dipolo opera en resonancia, tal que  $Z_i(\omega_0) = R_i(\omega_0)$  ( $X_i(\omega_0) = 0$ ), donde el valor deseado de  $R_i(\omega_0)$  está obtenido seleccionando el nivel apropiado  $\delta_i$  y la longitud  $L_i$ .

El arreglo de la célula de unidad de longitud  $\ell$ , determinada anteriormente, puede estar definida como se muestra en la fig. 4.4.16.

El voltaje y corriente en la línea de transmisión de la célula de unidad están dado por:

$$V(z) = V_1 + e^{-jkz} [1 + \Gamma_{1,1} e^{2jn}]$$

$$Z_0 I(z) = V_1 + e^{-jkz} [1 - \Gamma_{1,1} e^{2jn}]$$

Donde

$$\Gamma_{1,1} = \frac{Z_{1,1} - Z_0}{Z_{1,1} + Z_0}$$

$$Z_{1,1} = Z_0 \left\| Z'_{1,1-1} \right.$$

$$Z_{1,i-1} = \frac{Z_{1,i-1} + jZ_0 \tan k\ell}{jZ_{1,i-1} \tan k\ell + Z_0}$$

tomando el radio de  $V_{i+1}/V_i$

$$\frac{V_{i+1}}{V_i} = \frac{V(z_i = -\ell)}{V(z_i = 0)} = \frac{[1 + \Gamma_{L,i} e^{-2jk\ell}]}{[1 + \Gamma_{L,i}]} e^{jk\ell}$$

Una expresión recursiva para el voltaje en puntos sucesivos a lo largo del arreglo fue obtenida. La potencia disipada en cada dipolo radiador está dado por  $P_i = |V_i|^2 / (2R_i)$ , Para una distribución de amplitud dada,  $\sqrt{P_i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) y una longitud de la línea de transmisión dada  $k\ell$  y  $R_i$ , las resistencias resonantes deseadas  $R_i$  están especificadas por la siguiente expresión recursiva

$$R_i = \frac{1}{2} \frac{|V_i|^2}{P_i} = \frac{1}{2} \frac{|V_{i-1}|^2 [1 + \Gamma_{L,i-1} e^{-2jk\ell}]^2}{P_i [1 + \Gamma_{L,i-1}]^2}$$

Cuando la dirección del haz principal es por un solo lado, o normal a la antena  $\theta_0 = 0$ ,  $R_i$  debería estar especificada mayor que  $Z_0$  para mantener un compañero con buena impedancia de entrada al arreglo. Para una dirección de rayo principal que fuera por un solo lado  $\theta_0 \neq 0$ ,  $R_i$  se establece igual a  $Z_0$  para evitar reflejos que resultan en un segundo, registrados de un haz indeseable. Observe que la ecuación anterior explica reflejos múltiples en la línea de transmisión, resulta de una fase de cambio progresista a lo largo de los elementos irradianes que casi se aproximan a la fase de cambio ideal dada por  $\psi = \pm k \cdot d \sin \theta_0 - \pi n$ .

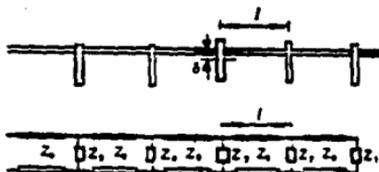


Figura 4.4.14 Arreglo lineal de dipolo de alimentación en serie y circuito equivalente.

Se ha encontrado el requisito de lóbulo lateral, la amplitud de distribución a lo largo de una línea del subarreglo de dipolos tiene que ser cónico. La tabla 4.4.3.1 resume las resistencias resonantes requeridas  $R_i / Z_0$  dada la distribución de amplitud  $\sqrt{P_i}$  especificada en la tabla.

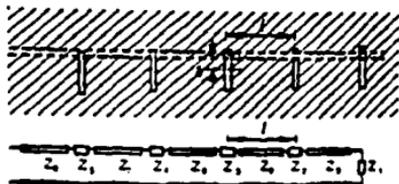


Figura 4.4.15 Arreglo lineal de slot de alimentación en serie y circuito equivalente.

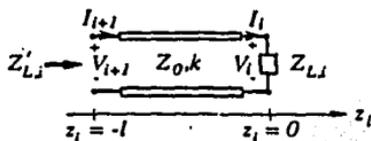


Figura 4.4.16 Arreglo lineal de una célula.

$i$	$P_i$	$R_i/Z_0$
1	.36	1.00
2	.49	0.75
3	.81	2.14
4	1.0	2.36
5	1.0	2.86
6	.81	6.47
7	.49	10.0
8	.36	14.5

Tabla 4.4.3.1 Arreglo de dipolo lineal  $P_i$  y  $R_i/Z_0$

## Diseño del Arreglo del Canal Lineal

En un modelo de circuito equivalente a un arreglo de alimentación en serie tipo acanalada, el  $i$ -ésimo acanalado representa una impedancia de serie  $Z_i(\omega) = R_i(\omega) + jX_i(\omega)$ , la línea de transmisión es como se muestra en la fig. 4.4.14. Una célula de la unidad del arreglo puede estar definida como se muestra en la fig. 4.4.16, similares al arreglo del dipolo con la excepción que

$$Z_{L,i} = Z_i + Z'_{L,i-1}$$

tomando el radio de  $h_{i+1}/h_i$  y notando que el poder disipado en cada ranura radiadora es  $P_i = |h_i|^2 R_i/2$ , una expresión recursiva para la resistencia de ranura  $R_i$  está dado por:

$$R_i = \frac{2P_i}{|h_i|^2} = \frac{2P_i}{|h_{i-1}|^2} \frac{|1 - \Gamma_{i,i-1}|^2}{|1 - \Gamma_{i,i-1} e^{-j2\beta l}|^2}$$

i	$P_i$	$R_i/Z_0$
1	.36	1.00
2	.49	1.33
3	.81	0.52
4	1.0	0.37
5	1.0	0.36
6	.81	0.18
7	.49	0.08
8	.36	0.07

Tabla 4.4.3.2 Arreglo de ranura lineal  $P_i$  y  $R_i/Z_0$ .

Cuando la distribución de amplitud  $\sqrt{P_i}$  ( $i=1,2,\dots,N$ ), la longitud de la línea de transmisión  $kl$ , y  $R_1$  están especificadas. Similar al arreglo de transmisión, la distribución de amplitud a lo largo de cada subarreglo de ranura lineal tiene que ser también cónica para encontrar el lóbulo lateral requerido. La Tabla 4.4.3.2 resume la resistencia resonante requerida  $R_i / Z_0$  dada la distribución de amplitud  $\sqrt{P_i}$  mostrada.

## Resultados Experimentales

Un arreglo lineal de canal de cavidad posterior consistente de 8 elementos con un espaciamiento entre ellos de  $0.485 \lambda_0$ , se ha fabricado y probado, operando a 20 GHz con una dirección de haz principal aproximadamente de  $40^\circ$  por un solo lado. Los elementos de ranura fueron caracterizados tanto teóricamente como experimentalmente como una función de nivel, con la característica experimental de utilizar la técnica de calibración de TRI. La constante dieléctrica efectiva estuvo tomada con un valor aproximadamente  $\epsilon_{eff} = 2.1$ . Debido al hecho de que la frecuencia resonante del elemento es una función de nivel, las longitudes de las ranuras del elemento son todas ligeramente diferentes. Las terminales acortadas se emplean para suprimir modos de cavidad indeseables. Como se muestra en la fig. 4.4.17, se obtuvo un buen acuerdo entre patrones predichos y medidos. La pérdida total en el arreglo de ranura fue medida para ser aproximadamente de -1.3 dB (observe que la atenuación de la capa protectora de microbanda en línea está medida para ser aproximadamente de -1.24 dB/ $\lambda_0$ ). Resultados experimentales están presentados para un arreglo lineal alimentado en serie similar al de dipolos operando a 30 GHz.

## Módulo MMIC T/R

El arreglo de antena activa AMT MMIC contiene módulos MMIC HPAs para el arreglo de transmisión y MMIC LNAs para el arreglo de recepción. Los circuitos del MMIC están conectados a los subarreglos lineales que transmiten y reciben: un LNA por cada arreglo receptor de ranura lineal, y un HPA por cada par de arreglos transmisores lineales tipo dipolo. Todos los circuitos MMIC y los divisores de poder están ensamblados hacia un modulo singular transmisor/receptor, con los HPAs y LNAs en lados opuestos del módulo como se ilustra en la fig. 4.4.18. El modulo T/R está incluido mecánicamente al transmisor y al arreglo estructural de recepción, como se muestra conceptualmente en la fig. 4.4.13, alimentado a través de un cable coaxial.

El módulo de transmisión provee más de 1 Watt de potencia de RF para el arreglo del dipolo en la banda de frecuencia que transmite a 30 GHz. Cinco amplificadores MMIC MESFET proveen hasta 0.5 W a cada par del subarreglo de transmisión. Todos los cinco MMIC HPAs están montados en subtransportadores de molibdeno con un esparcidor de calor cobrizo debajo de cada dispositivo. Los módulos de transmisión están diseñados para mantener temperaturas de entrada de coyuntura por debajo de 125° C. Un circuito planar divisor de poder de cinco modos distribuye la señal de RF a cada amplificador de subportadora.

El módulo receptor consiste de 14 MMIC pseudomorfológicos LNAs HEMT (PHEMT). Cada LNA tiene una figura de ruido de aproximadamente 3.2 dB y una ganancia de 9 dB a 20 GHz. Dos adicionales MMIC LNAs están localizados en la plataforma de la antena cubriendo los requerimientos de la G/T y la restricción de consumo de poder en corriente directa. Todos los 14 LNAs están montados en la porción receptora del módulo T/R con un divisor de poder de 14 modos.

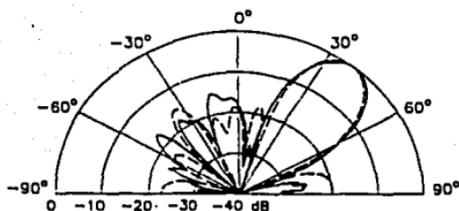


Figura 4.4.17 Modelo de elevación de un arreglo lineal de slot.

Mostrado (-)

Calculado (-)

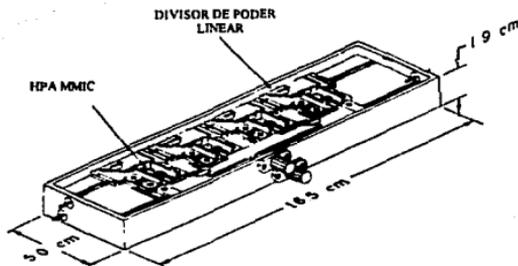


Figura 4.4.18 Módulo de Transmisión/Recepción MMIC.

#### 4.4.4 ANTENA MONOPULSE MICROBANDA PARA ATERRIZAR COMUNICACIONES MOVILES

La comunicación de voz en banda L requiere una antena de ganancia media (11 dBi) la cual tiene que estar apuntando hacia el satélite. Las antenas arregladas con cobertura hemisférica no pueden proveer esta ganancia, así un sistema de antena completo tiene que estar compuesto de dos partes fuertemente relacionadas, el aéreo y el subsistema de señalización.

Las especificaciones de la antena son similares para otros programas (por ejemplo el MSAT-X o el INMARSAT-M). El rango de las frecuencias operacionales en banda L va desde 1530 MHz hasta 1559 MHz en Rx y desde 1631.5 MHz hasta 1660.5 MHz en Tx, con una ganancia de alrededor 10 a 12 dBi en polarización circular (RHIC para probar y posiblemente LHC en producción).

El requisito de la razón axial es de 3 dB en el ancho de banda útil, incluido el efecto del toldo del carro, que puede ser causante de fuertes distorsiones en los componentes de la antena. Finalmente, en referencia a las interferencias causadas por otros satélites, un aislamiento de polarización cruzada de 20 dB se ha especificado desde 30° a 50° fuera de la línea óptica de la antena en el plano azimutal.

La técnica industrial seleccionada para la antena fue la de microbanda, que tiene el precio más bajo comparado con otras técnicas de fabricación de antenas, debido al proceso fotolitográfico que esta técnica permite. Esta tiene que ser acompañada con una selección cuidadosa de los materiales que serán utilizados que deberán que desempeñarse eléctricamente bien, para mantener un precio bajo. La red de alimentación designada tiene que seguir también este enfoque de diseño, minimizando la cantidad de componentes para reducir el proceso de ensamble.

El diseño del sistema de rastreo está también involucrado en este requisito de bajo costo, y esto impone también una compensación de factores entre técnicas de rastreo de reducción de desempeños y precio.

## Sistema de Rastreo

El sistema de rastreo seleccionado fue un sistema de monopolos de aros-cerrados que provee alta precisión en la respuesta a tiempo-real sin requerir algún dispositivo adicional a los señalados para su operación adecuada. La información de la antena alcanza (después de la demodulación) al receptor de rastreo guía al motor para corregir la posición de la antena a la dirección del satélite.

Una combinación clásica de monopolos requiere dos señales (llamadas  $\Sigma$  Suma y  $\Delta$  Diferencia de señales) para seguir la posición del satélite. La señal de suma (la cual también lleva la información) está obtenida dentro de la adición de fase de las señales recibidas en cada radiación y la señal de diferencia está obtenida fuera de adición de fase de los elementos simétricos procedentes de las señales en el arreglo.

Una característica más de la señal de Diferencia es que ésta se hace cero cuando la antena está apuntado correctamente al emisor y el canal de Suma recibe lo máximo en la misma situación. Ya que ambos canales están procesados independientemente en el receptor, el canal de Suma se utiliza para la manipulación de datos y el canal de Diferencia para propósitos de rastreo, utilizando la señal recibida en este canal para manejar un controlador motriz.

Realmente, la señal utilizada para el rastreo del satélite no es solamente la señal  $\Delta$ , pero la razón  $\Delta/\Sigma$ , que hace al sistema ser insensible para efectos débiles y esporádicos. Esta señal es comparada con una previamente almacenada, y la antena está apuntando a la posición correcta de una medición única, que hacen al sistema ser extremadamente rápido. Técnicas digitales permiten un rápido procesamiento y toma rápida de decisión de movimiento.

En una combinación clásica de monopolos estas dos señales de bajada son convertidas y procesadas mediante dos cadenas balanceadas de recepción, y un AGC es desarrollado con el canal de suma sobre el receptor de diferencia, que provee la señal de error. Este plan tiene dos problemas: Una coyuntura rotativa de canal dual y que es requerido recibir dos cadenas balanceadas.

Estos dos inconvenientes se consideraron para el plan de Modulated Monopulse que está garantizando para trabajar adecuadamente en el programa MSAT. El plan en bloques se muestra en la fig. 4.4.19.

Las señales de Suma y Diferencia se generan en el formador de haz de Monopolos de RF, y se envían al modulador de monopolos compuesto de un cambio de fase de  $180^\circ$  y un par direccional. La diferencia de la señal atraviesa el desviador que es cambiado en una frecuencia constante  $f_c$ , y una señal  $\Delta(t) \cdot p(t)$  que se genera en la salida, donde  $p(t)$  es el cuadrado de la onda de la señal. Esta diferencia de señales modula en AM está añadida a través de un par direccional a la señal de la suma. El factor acoplador da a lugar a una pérdida de trayectoria de  $(1 - c^2)^{1/2}$  en el canal de suma, la señal de salida es:



8 bits del puerto digital son configurados para la información de control I/O que esta yendo al CPU y procediendo de este mismo. La información a los conductores del motor está compuesta de la dirección de movimiento y la cantidad de pasos que el motor tenga para mover.

El receptor rastreador puede también incluir dispositivos adicionales como trayectoria de tasa de vuelta de estado sólido para mantener el enlace en un ambiente de desvanecimiento especial o cuando la señal procedente del satélite desaparece (en un túnel, por un instante). Estos dispositivo tiene una rápida respuesta de modo que pueden ser utilizados en el proceso de rastreo principal, revisándose periódicamente con el sistema de lazo abierto para corregir el error que posiblemente se derive.

## Adquisición y Proceso de Rastreo

En la adquisición inicial, los comandos del procesador de la antena son para que se desarrolle el rastreo a 360° al buscar al satélite. El número de pasos en el modo de adquisición está dado por el ancho de banda de la antena redondeado a un número entero de pasos del motor. Entonces, la antena se mueve 15° por paso buscando el valor máximo. En cada paso el nivel de la señal es leído y registrado.

El canal utilizado en la adquisición es el patrón de suma. Una vez que el sistema reconoce el valor máximo, la antena es mandada a la posición indicada. La antena sigue el camino más corto para moverse hacia la posición indicada. El valor máximo está almacenado y se utiliza para calcular un nivel de umbral que está por debajo de los 7 dB.

Una vez que la antena está orientada aproximadamente a la dirección de satélite en la adquisición inicial, los interruptores del sistema de los algoritmos de rastreo mantienen a la antena correctamente orientada.

## Descripción de la Antena

Para reducir la cantidad de elementos necesarios para obtener la ganancia especificada (de 10 a 12 dB). Y para reducir también la masa y la inercia de la antena aérea, un sustrato de baja inductividad ( $\epsilon = 1.1$ ) fue seleccionado, dando lugar a un tamaño mayor con ganancia más alta en un elemento único.

Se necesitaron tres paneles cuadrados para poder encontrar la ganancia requerida, y para acentuar las especificaciones de aislamiento entre satélites, los elementos laterales fueron alimentados con una atenuación disminuida de 3 dB.

Se seleccionó un sustrato con un espesor de 5 mm, la selección inicial de 10 mm hizo que el panel tuviera un acoplamiento puerto a puerto bastante grande, que afectó el nivel de polarización cruzada. Esta reducción de altura no afecta seriamente la ganancia del elemento de radiación puesto que el tamaño del panel es casi inalterado por el espesor del sustrato.

El ancho de banda VSWR del elemento del panel está cercano a los 55 MHz ( $\approx 3\%$ ) con un desacoplamiento puerto a puerto mayor que 30 dB. Dos redes coincidentes con sintonizadores de doble-terminal están conectadas tanto a las entradas de cada radiador como a los acopladores de

rama de 3 dB requeridos para la polarización circular. Los elementos polarizados circularmente están conectados al comparador de RF que provee la suma y diferencia de las señales. También provee la amplitud disminuida en los elementos laterales en el patrón de suma. Canales de suma y de diferencia están aislado a más de 35 dB en Rx y cerca de 25 en Tx. La fig. 4.4.20 muestra la antena y las disposiciones de la red de formación del haz.

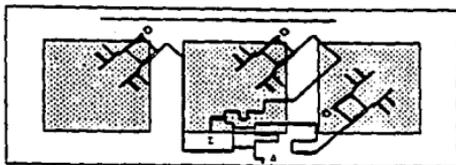


Figura 4.4.20 Distribución de la antena y componentes RF mostrados en una banda dual acompañado de la red de trabajo y el formador de ondas de monopulsos RF.

El efecto de acoplamiento entre los puertos de suma y de diferencia es un factor importante en un sistema de Monopulsos puesto que una carencia de aislamiento que da lugar a errores en la señal de diferencia. La cual afecta la información de error señalada. El nivel de aislamiento obtenido con nuestro comparador ( $\approx 35$  dB) asegurando un error mínimo debido al acoplamiento.

Los patrones de radiación de suma y de diferencia medidos en frecuencia de banda media Rx se muestran en la fig. 4.4.21. El desempeño de la ganancia y de la razón axial contra la frecuencia de la antena aislada se muestran en la fig. 4.4.22.

Una restricción asociada a este diseño de antena es la amplia elevación del haz en el arreglo, afectado por la cerrada situación del toldo del carro, que actúa como un plano de tierra. Un estudio GTD de los efectos en el plano de tierra sobre el desempeño de la antena condujo a la selección de la altura de la antena sobre el plano de tierra de  $0.5 \lambda$  ( $= 90$  mm) para minimizar el deterioro de la razón axial.

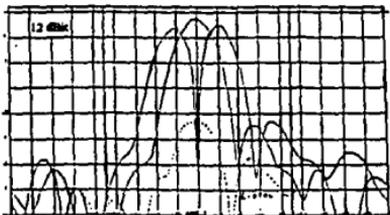


Figura 4.4.21 Patrón de Radiación de la Suma y Diferencia de una Antena Aislada desde el plano de tierra. Frecuencia de operación 1550 MHz.

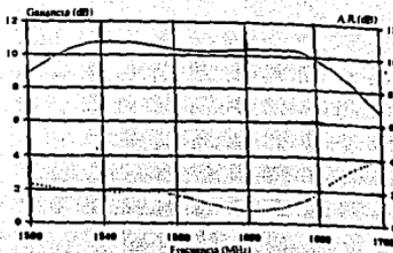


Figura 4.4.22 Ganancia y variación de Radio Axial vs. Frecuencia de la antena, aislada desde el plano de tierra.

El modulador que genera la diferencia sobre la señal de suma está acostumbrado a proveer el error de voltaje para mover la antena. Este está compuesto de un acoplador direccional y un interruptor continuo con un corrimiento de fase de  $180^\circ$  que multiplexa la señal de suma y diferencia, ofreciendo la señal  $\Sigma \pm \Delta$ , enviándola al receptor, donde un conjunto de circuitos especiales del nivel de la FI son usados para recuperar la señal suma y diferencia sobre la señal de suma para controlar a la antena.

El diseño de los moduladores de fase  $0-\pi$  está basado en un acoplador híbrido de  $180^\circ$ . Un análisis de la operación muestra que el cambio de fase requerido se obtiene con dos diodos, espalda con espalda, situados en los puertos balanceados de los acopladores híbridos. Cuando un diodo está polarizado en directa, el otro está polarizado en inversa con el voltaje de unión del primero ( $\approx 0.85$  V.). Esta operación limita la manipulación de potencia de RF cuando el sistema transmite. Una evaluación de la potencia que manipula la capacidad del modulador dado por 36.7 dBm en Tx para el diodo seleccionado (MA4P404).

La red completa del modulador (desviador de acoplamiento y fase) está diseñada en la fig. 4.4.23.

Las longitudes de las trayectorias de la Suma y la diferencia son balanceadas en fase para tener una operación correcta de suma ( $\Sigma + \Delta$ ) y diferenciar ( $\Sigma - \Delta$ ). La longitud adicional de línea fue incluida en directo ( $\Sigma$ ) al acoplador de trayectoria, dando lugar a pérdidas más altas en este canal (1 dB). El nivel de acoplamiento entre la diferencia y los puertos de entrada fue de 10 dB, y el aislamiento entre los canales fue mejor que 20 dB sobre la banda. El resto del conjunto de circuitos de RF están aislados de la señal de cd con varios capacitores de bloqueo de cd.

La entrada equilibrada de toda la unidad exterior (antena y diferencias sobre la modulación de la suma) medida en el puerto de coyuntura rotativo es mejor que 20 dB a 1550 MHz y mejor que 13 dB a 1650 MHz.

## Diseño Mecánico

Los materiales utilizados para los componentes específicos son nylon (engranajes) y aluminio (estructuras de soporte). Este es de menor peso para mover partes y reduce el collar requerido del motor. Las piezas de aluminio se hicieron pensando que serían presionadas por máquinas. La altura de la antena requerida (90 mm) está incluida dentro del diseño de la cúpula, que también actúa como cobertura externa e interface, la instalación se ofrece en el toldo del carro o en un mástil en el caso de camiones.

Justamente existen dos conectores de salida, uno para RF y línea de cd y el otro para la polarización y control motriz. Esto minimiza la complejidad de las interfaces entre la antena y el móvil. Este diseño permite un costo estimado en producción a gran escala de \$ 1,200 Dlls U.S. El dibujo general de la antena está mostrado en la fig. 4.4.24. Las dimensiones de la antena con la cúpula son de 27 x 59 cm de diámetro.

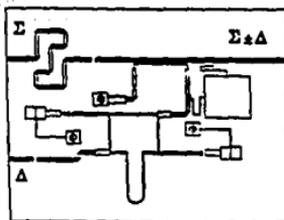


Figura 4.4.23 Distribución de los componentes del modulador para la multiplexión de diferentes señales sobre la suma del canal. La antena es aislada con el bloqueo de los capacitores en CD.

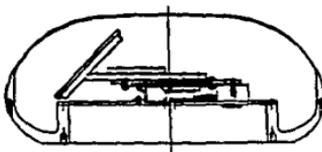


Figura 4.4.24 Vista de la antena con la cúpula.

#### 4.4.5 ANTENAS DE ANILLOS SUPERCUADRATICAS ACOPLADAS Y AISLADAS PARA APLICACIONES EN COMUNICACIONES MOVILES

En el diseño de tales antenas, es importante entender los efectos de la geometría del anillo y acoplamiento mutuo en la impedancia de la antena, características de radiación, y la diversidad del desempeño. Este documento presenta los resultados de dos sofisticados análisis que se desarrollaron para este propósito:

- Un algoritmo de método de momentos de Galerkin para anillos que estén aislados o están localizados cerca de un plano de tierra infinito.
- Una diferencia de tiempo finita (FDTD) como técnica para los anillos que están aislados o están situados cerca de objetos conductores de tamaño finito.

##### Geometría de la Antena

Para permitir la caracterización de una variedad del ancho de geometría de las antenas con una formulación unificada, los anillos están modelados como curvas supercuadráticas. Esta geometría es un anillo cerrado que satisface la ecuación

$$\left\{ x/a \right\}^v + \left\{ y/b \right\}^v = 1 \dots\dots\dots (1)$$

Donde a y b son las semi-axiales en las direcciones "x" y "y" respectivamente y v es un "parámetro de calidad cuadrático" el cual controla la variación del radio del anillo de curvatura. La configuración está ilustrada en la fig. 4.4.25 donde v = 2, 3, y 10 y la razón de aspecto b/a = 2. Como puede estar visto, la variación de los valores de a, b, y v permite ser considerablemente flexible al modelar muchas configuraciones prácticas de las antenas. Esta flexibilidad es muy importante desde el punto de vista de consideraciones del empaquetado de la antena.

Para geometrías de anillos (aros) acoplados, las dos antenas supercuadráticas pueden tener posiciones y orientaciones arbitrarias y posiblemente diferentes geometrías, como están representadas en la fig. 4.4.26. Cada anillo está situado en su propio sistema de coordenadas que puede tener una posición y orientación arbitraria (descrita utilizando ángulos de Eulerian) respecto al sistema de coordenadas de referencia.

##### Formulación

El análisis del método de momentos de la configuración de anillo acoplado hace uso de una expresión paramétrica para la curva supercuadrática en una forma acoplada, la Ecuación Integral de Campo Eléctrico (EFIE) para alambres delgados. El uso de estos parámetros permite que la integración ocurra en el contorno del anillo curvado más que en la comúnmente utilizada representación lineal discontinua de la curva, resultando un algoritmo computacional más eficiente. Subsecciones de funciones senoideas discontinuas y funciones de base se están utilizando en la forma Galerkin del método de momentos para calcular la distribución axial actual a lo largo del anillo. Esta corriente está entonces acostumbrada a calcular el patrón de radiación

de la antena, directividad, e impedancia de entrada. La formulación está extendida para analizar anillos cercanos a un plano de tierra infinito a través de modificaciones de la función de Green en el EFIE para explicar la imagen del anillo. Tanto el espacio de las  $\Delta$ 's como el entre hierro magnético están utilizados como planes de excitación para permitir la investigación de los diferentes escenarios de alimentación.

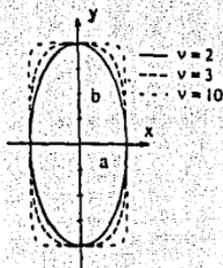


Figura 4.4.25 Geometría supercuadrática para  $v = 2, 3$  y  $10$  con valor de radio de  $h/n = 2$ .

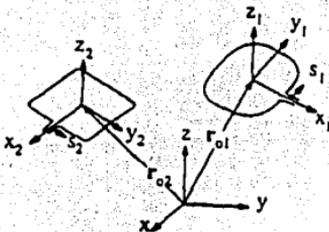


Figura 4.4.26 Geometría de dos parejas de circuitos de antenas mostrando sus coordenadas.

Para evaluar completamente el desempeño de las antenas redondas en cajas pequeñas podrían ser utilizadas en un radio receptor portátil, los efectos de este caso tienen que estar incluidos en el análisis. Para investigar esta configuración, algoritmos de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) están utilizados con células cúbicas de  $Y$ 's y una segunda orden absorbe las condiciones de frontera en la superficie truncada cuadrículada exterior. Un método especial de subcelda está acostumbrado a explicar adecuadamente las características del tamaño finito de los alambres en la radiación y en la impedancia de la antena. Utilizando funciones de excitación adecuadamente conformadas para la alimentación de la antena, el comportamiento de la antena sobre una banda ancha de frecuencia puede estar determinado con la formulación en el dominio

del tiempo. Un ejemplo de un diseño basado en estos cálculos está proveído al termino de este capítulo.

La diversidad de escenarios de antenas en que elementos múltiples son utilizados en el receptor para reducir los efectos del desvanecimiento se están volviendo más demandados en sistemas de comunicaciones, aumentando la calidad y confiabilidad de la señal sin un uso adicional del consumidor del espectro de frecuencia disponible.

Una figura de mérito cuantitativa para el desempeño de la configuración de diversidad de la antena es el coeficiente de correlación de envolvimiento para las señales recibidas por dos diferentes elementos. En esencia, esta cantidad provee una medida de la "similaridad" de las dos señales. Para casos donde el campo incidente de multitrayectorias está asumiendo que arribará del plano horizontal solamente este puede mostrar que el coeficiente de correlación de envolvimiento por las dos antenas puede ser calculado de la ecuación:

$$P_c = \frac{\left| \int_0^{2\pi} E_1(\pi/2, \phi) \cdot E_2^*(\pi/2, \phi) d\phi \right|^2}{\int_0^{2\pi} |E_1(\pi/2, \phi)|^2 d\phi \int_0^{2\pi} |E_2(\pi/2, \phi)|^2 d\phi} \dots\dots\dots (2)$$

Donde E1 y E2 son los patrones de los vectores asociados con cada una de las antenas redondas acopladas. Generalmente, un valor de P<sub>c</sub> menor que 0.7 provee diversidad aceptable de retorno.

### Ejemplos

En los siguientes ejemplos, el parámetro  $\Omega = 2 \ln (P/rw)$  está utilizado como una medida del tamaño del alambre donde P es el perímetro del anillo y rw es el radio del alambre. La fig. 4.4.27 muestra la impedancia de entrada contra la circunferencia del anillo para un anillo circular único ( $v=2, b/a =1$ ) por dos valores de  $\Omega$ . La configuración de un modelo fuente de entre hierro magnético que cuentan con unas líneas de 50  $\Omega$  alimentadas coaxialmente está utilizado para la excitación. Con estas parcelas mostradas la antena redonda exhibe valores de impedancia de entrada razonables para circunferencias mayores que cerca de  $0.7 \lambda$ . El comportamiento de la impedancia baja ocurrido para circunferencias de anillos pequeños puede ser substancialmente mejorado utilizando técnicas de carga adecuadas, de ese modo extendiendo el anillo a aplicaciones donde el tamaño de la antena puede estar limitado por consideraciones espaciales. Los puntos en la figura corresponden a información calculada utilizando una representación mediante series de Fourier para la distribución actual. Claramente, se nota que existe un excelente acuerdo entre los dos conjuntos de información.

Un ejemplo del uso del método de momentos para determinar los efectos de geometría en el desempeño de la antena redonda está ilustrado en la fig. 4.4.28. Esta parte muestra la impedancia de entrada de unos  $0.25 \lambda$  de anillo, con  $\Omega=10$  como la razón de aspecto  $b/a$  que varía. Los resultados están mostrados para  $v = 2$  y  $8$ . A partir de esta figura, puede verse que la impedancia

impedancia de entrada varía notablemente con la calidad de la cuadratura del anillo. Esta información puede ser muy útil en el diseño de antenas redondas.

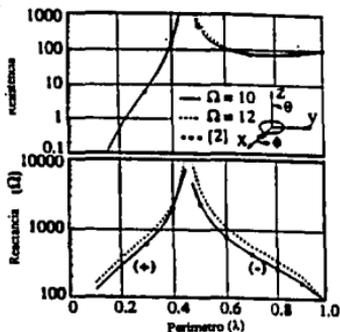


Figura 4.4.27 Impedancias de entradas contra perímetro para un circuito circular simple para dos valores de  $\Omega$ .

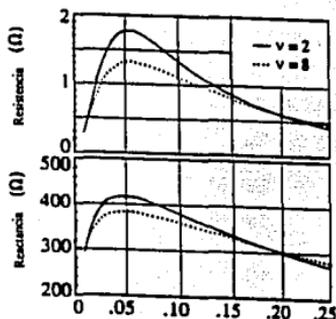


Figura 4.4.28 Impedancia de entrada contra el Radio  $b/a$  para  $0.25 \lambda$  de circuito con  $\Omega$  igual a 10 para dos valores de  $v$ .

Una característica importante de las antenas redondas es que pueden ser configuradas para lograr un desempeño de alta diversidad cuando se usan en un entorno de desvanecimiento de multirayectorias. Por ejemplo, la fig. 4.4.29 ilustra la variación del coeficiente de correlación de envolvimiento como una función de la orientación de la antena por dos lazos  $0.25 \lambda$  con  $b/a = 1$  y  $v = 10$  para varios valores de separación del anillo "y". En este ejemplo, uno de los anillos se mantiene estacionario mientras el segundo está rotando cerca de su eje "x" como se muestra en la

forma de esta figura. Como puede ser visto en la fig. 4.4.29, valores de coeficiente de baja correlación pueden estar obtenidos hasta para antenas de pequeño espaciado.

La alta diversidad en el desempeño de los anillos cruzados introduce la posibilidad de un diseño como se representa en la forma de la fig. 4.4.30. El centroide de esta configuración de antena está situado a  $0.2 \lambda$  por encima de un plano de tierra infinito para representar el escenario donde la antena está montada en un carro u otro vehículo. Cada anillo tiene  $0.8 \lambda$  de perímetro con  $v = 5$  y  $b/a = 1$ . Los patrones de radiación para estos anillos acoplados normalizados a la directividad de la antena se muestran en la fig. 4.4.30 para cortes del plano principal y horizontal. Las antenas están alimentadas  $90^\circ$  fuera de fase que afecta la simetría del patrón en el plano "xy". Si se utiliza la señal adecuada combinada con esta geometría de antena, la ganancia de alta diversidad puede ser lograda.

Un ejemplo de la flexibilidad de la metodología de FDTD para predecir el desempeño de un anillo de banda situado sobre un receptor portátil, se muestra en la fig. 4.4.31. La geometría del sistema receptor portátil se muestra en la fig. 4.4.31(a). La fig. 4.4.31(b) demuestra el comportamiento de la impedancia del ancho de banda para esta configuración. En frecuencias más bajas, la impedancia varía con rapidez resultando frecuentemente del cambio de requisitos si son necesarios en el desempeño en el ancho de banda. Sin embargo, para aplicaciones en banda angosta, el valor de la impedancia razonable ocurre entre los picos de resonancia. Para frecuencias más altas, la lenta variación de impedancia con frecuencia permite por mucho bandas más amplias de operación. La directividad de patrones para el anillo están provistas en la fig. 4.4.31(c) para una frecuencia de  $f = 915$  MHz en que la impedancia de entrada tiene un valor de  $-53 - j246 \Omega$ . Las asimetrías en el patrón de plano "xy" surgen del hecho de que el anillo no está centrado en la caja en la dirección "x" para hacer espacio para el conjunto de circuitos de alimentación.

Un ejemplo de utilizar cargas para mejorar las características de la impedancia de antenas redondas pequeñas se muestra en la fig. 4.4.32 que muestra la impedancia de entrada contra la frecuencia para la carga de una antena redonda rectangular con un circuito abierto opuesto al punto de alimentación. El anillo tiene dimensiones de  $a = 0.86$  cm y  $b = 2.56$  cm, con un radio de alambre de  $0.75$  mm. La información de banda ancha fue obtenida con la metodología de FDTD que muestra muy bien el comportamiento de las características de la impedancia para operación en bajas frecuencias, especialmente cerca de  $1$  GHz donde el perímetro del anillo es cercano a  $\lambda/2$ . Tal antena puede ser apropiada para las aplicaciones de un receptor portátil.

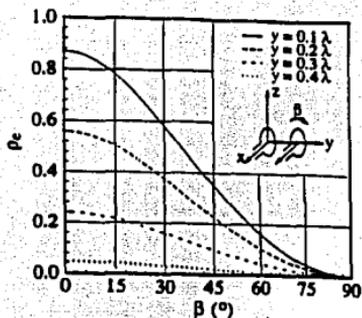


Figura 4.4.29 Coeficiente de correlación de envoltura contra rotación para  $0.25 \lambda$  de circuito ( $v = 10$ ,  $b/a = 1$ ) para varias separaciones de distancia.

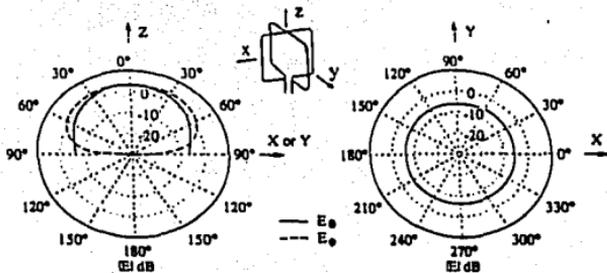
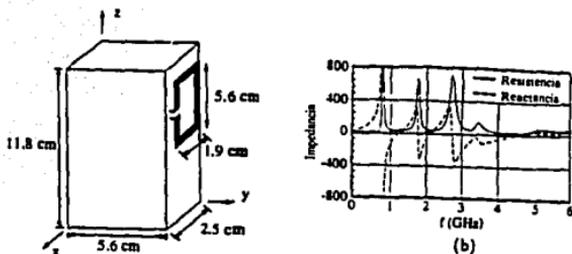
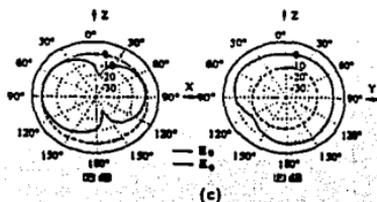


Figura 4.4.30 Modelo de la directividad en dB para dos circuitos supercuadráticos de  $0.8 \lambda$  ( $v = 5$ ,  $b/a = 1$ ) localización en  $Z_0 = 0.2 \lambda$  desde un plano de tierra infinito.



(a)



(c)

Figura 4.4.31 Análisis FDTM de un Transceptor portátil: (a) Geometría del Transceptor; (b) Entrada de la impedancia contra la frecuencia; (c) Modelo de la directividad.

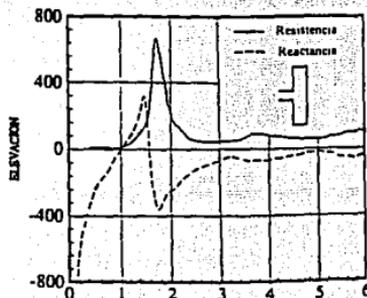


Figura 4.4.32 Resultado de la entrada de la impedancia FDTD contra Frecuencia para un rectángulo cerrado, con  $a = 0.86$  cm;  $b = 2.56$  cm;  $\Gamma_w = 0.75$  mm, cargado con un circuito abierto.

#### 4.4.6 ANTENAS DE TERMINALES MOVILES PARA HELICOPTEROS EN BANDA-L

El Laboratorio Jet Propulsión (JPL), bajo un contrato con la Administración de Aviación Federal (FAA), está conduciendo un estudio para instrumentar a muy bajo costo y a tamaño pequeño, sistemas de comunicación en tiempo real, de peso ligero y específicamente para H-SATCOM. En este documento, la factibilidad de utilizar LGAs para H-SATCOM está estudiado. De aquí que el ángulo de inclinación lateral del helicóptero está supuesto para ser  $\pm 60^\circ$  y el satélite es el INMARSAT o Corporación de Satélite Móvil Americana (AMSC) o el satélite de órbita Baja (LEO) el IRIDIUM. Los requerimientos para las antenas en helicópteros son:

- Compatibilidad estándar con la industria, por ejemplo, especificaciones del ARINC 741 y los LGAs de INMARSAT para terminales móviles aeronáuticas.
- Ganancia de 0 dBic con azimut de  $360^\circ$  y para zenit de  $40^\circ$  por debajo del horizonte.
- Las frecuencias de transmisión y recepción deben de empezar en 1.62-1.67 y 1.53-1.56 GHz respectivamente, la potencia de transmisión de comienzo debe ser de 19.2 watts.
- Tamaño pequeño.
- Peso ligero.
- Bajo costo.

Hay dos retos técnicos en la determinación de la mejor ubicación de la antena en el helicóptero. Primero es el desvanecimiento periódico de la señal provocado por las cuchillas del rotor del helicóptero. El segundo problema es la multitrayectoria provocada por el esparcimiento de la forma complicada del cuerpo del helicóptero. Así los objetivos del estudio de la antena son (1) el seleccionar el sistema de antena de pequeño tamaño con un bajo peso y bajo costo para H-SATCOM, y (2) determinar la mejor posición de la antena en el helicóptero para minimizar el bloqueo de la señal por las cuchillas del rotor y el efecto de multitrayectoria del cuerpo del helicóptero. Los resultados del estudio están resumizados en las siguientes secciones.

#### Selección de la Antena

Para garantizar que todas las opciones de antenas fueran consideradas, se hizo un estudio exhaustivo que incluye, las antenas de baja ganancia (LGA), las antenas de media ganancia reorientables y antenas de reflector de alta ganancia. Se estudiaron tanto publicaciones de la Industria de JPL, como aplicaciones específicas de la antena. La ganancia es alta ( $\geq 20$  dB) en el reflector de la antena en banda L, que generalmente es muy grande en tamaño (al menos 12.5 cm de diámetro y 3.1 cm de altura) y muy pesado. Además, un sistema de rastreo de gran volumen y alto costo se necesita para guiar el haz de la antena del reflector a la dirección del satélite. Esto no es apropiado para el uso del helicóptero.

En general, las antenas de ganancia media (incluyendo los arreglos guiados mecánica y electrónicamente) son más caras y menos confiables que una antena de ganancia baja debido al hecho de que se requiere un sistema de rastreo adicional para guiar el haz estrecho de la antena a la dirección del satélite. Sin embargo, las L.GAs omnidireccionales, sumarizadas en la Tabla 4.4.6.1, son simples, confiables y de bajo costo. Aún más, las antenas de ganancia baja son típicamente diez veces más pequeñas que las antenas de ganancia media. Esto hace al montaje de la antena en el helicóptero relativamente más fácil. Por lo tanto, las antenas de ganancia baja son seleccionadas para H-SATCOM.

Tipo de Antena	Tamaño III(cm.)	Tamaño Dia(cm)	Ganancia (dB)	Ancho de Banda(%)	FIDBW (°)	Razón Axial (dB)	Forma del Haz (Patrón)	Costo (\$/unidad)
Arreglo de Controlador Mecánico								
1. Arreglo Yagi	3.8	53	>= 10	6.25	40	4	Haz Guiado en AZ	450
2. Arreglo Tilt	15	51	>= 10	6.25	40	3		600
Arreglo de Controlador Electrónico								
1. Hall	3.3	61	>= 8	6.25	40	4	Haz Guiado tanto en AZ como FI.	1600
2. Teledyne	1.8	54	>= 8	6.25	40	4		1800
Omní de baja ganancia								
1. Dipolo Cruzado	12	8	>= 4	25	190	7	Cardioid/Dona	400
2. Helicoidales 2 brazos	15.2	5.1	2	28	160	4	Cardioid/Dona	150
3. Helicoidales 3 brazos	9	5	4.5	1.3	150	4	Cardioid/Dona	20
4. Cónica en Espiral 2 brazos	14	6.9	3.8	6.25	160	4	Cardioid	300
5. Cónica en Espiral 4 brazos	15.7	12.9	4.5	6.25	40	4.5	Dona	400
6. Cavidad de Ranura Posterior	0.8	8.3	2	6.25	120	4	Cardioid	1451

a. Todas las antenas son de polarización circular de mano derecha.

b. El costo por cada unidad es el costo de la ROM basado en una producción de 10,000 unidades por año en un periodo de 5 años.

Tabla 4.4.6.1. Sumario de la Antena Móviles en banda L.

En la fig. 4.4.33 se muestra una antena de 4 brazos (voluta), que da un patrón tipo cardiode como se muestra en la fig. 4.4.34. La fig. 4.4.35 muestra un patrón de forma de dona de una antena espiral cónica de 4 brazos. Observe que uno puede cambiar la forma, tamaño o ángulo de rastreo de un dipolo cruzado o las hélices de la antena para optimizar la ganancia en las direcciones deseadas. Las hélices de 2 brazos y la antena de dipolo de disminución de pérdidas tiene el ancho de banda más amplio (cubriendo ambas frecuencias la de transmisión y la de recepción). Las antenas de hélice de 4 brazos son de un ancho de banda limitado y de aquí que requieren dos antenas, una para el enlace de subida y la otra para el enlace de bajada. Pero es atractiva ya que solo su costo es cercano a \$ 20 Dlls. U.S. Dado que la antena de hélice tiene el costo más bajo, son seleccionadas para las maniobras del helicóptero. Sin embargo, debido al costo y complejidad es aconsejable tener una o dos antenas fuera del sistema de rastreo.

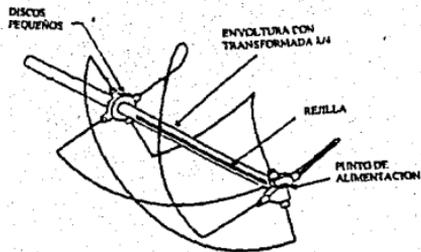


Figura 4.4.33 Configuración de una antena helicoidal de 4 brazos.

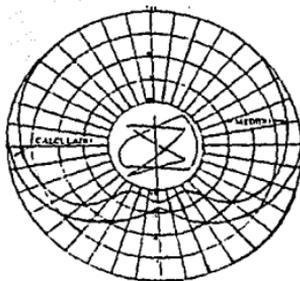


Figura 4.4.34 Modelo típico del cardióide.

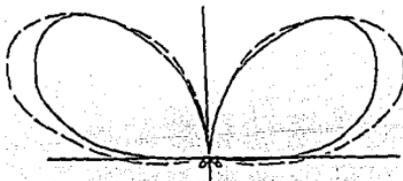


Figura 4.4.35 Modelo típico de la figura de Dona en una antena espiral cónica.

## Prueba de la Antena de Hélice

Varías antenas de hélices comunes fueron probadas al aire libre en rangos de campo lejano. Las fig. 4.4.36 y 4.4.37 muestran el patrón de radiación medido de una antena de hélice de 4 brazos unos 7 m x 7 m en el plano de tierra, respectivamente. La fig. 4.4.38 muestra la severa distorsión del patrón para la hélice de la antena situada 1.20 m sobre el plano de tierra. La fig. 4.4.39 muestra la antena de hélice de 2 brazos medida a 1.5754 GHz. A partir de esta información, conocemos que esta antena de hélice tiene cerca de 2.1 dBic de ganancia de pico, 5 dB de razón axial sobre el horizonte, y 140° del ancho del haz de potencia media. Parece que esta antena está diseñada para optimizar polarizaciones circulares a 45° del ángulo del cono. El desempeño de la antena de hélice medidos están sumariado en la tabla 4.4.6.2. Observen que varias discrepancias menores se observan comparada con la tabla 4.4.6.1. Primero, para las antenas de hélice de 4 brazos, la ganancia de pico está cerca de 0.8 dB menos y el Ancho de Haz de Potencia Media (HPBW) es cercanamente 10 veces más pequeño. Para las antenas de hélice de 2 brazos, el HPBW es cercanamente 20 veces más pequeño y la razón axial es cercana a 1 dB peor. Estas discrepancias menores pueden ser atribuidas a la tolerancia e incertidumbre de la medición. Esto también implica que el margen de enlace extra debería de estar considerado para el diseño del sistema II-SATCOM. La antena de hélice deberá también estar situada al menos 2.5 m lejos del helicóptero para minimizar los efectos del plano de tierra.

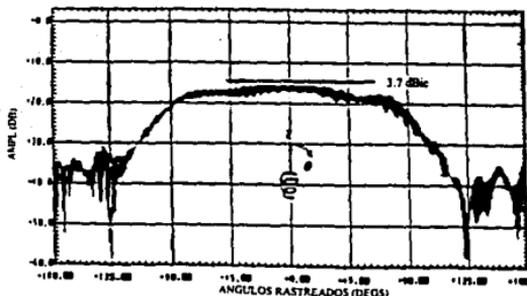


Figura 4.4.36 Patrón de radiación del modelo de la antena helicoidal de 4 brazos.

La antena de hélice se seleccionó para II-SATCOM, ya que es pequeña en tamaño, de peso ligero y de bajo costo. A varias antenas de hélice se les hicieron pruebas de campo. Se observó que varias antenas de hélice comunes cuentan remotamente con los requisitos de la antena II-SATCOM. Pero uno puede cambiar la forma, tamaño o el ángulo de la antena de hélice para cubrir los requisitos. Los 0 dBic de elevación de ancho de banda de una antena de hélice única es a 140°. De aquí que dos antenas de hélice son necesitadas para proveer una cobertura de 260°. Dado que el patrón de radiación de la antena de hélice es muy dependiente en los objetos cercanos de esparramiento, es apropiado llevar a cabo una prueba de modelo a escala (o una prueba de tamaño completa) y un estudio numérico para determinar precisamente el bloque que efectúan las cuchillas del rotor y el cuerpo del helicóptero. Las razones para hacer esta tarea es

que a través de la prueba de modelo a escala podemos determinar eficientemente la mejor posición y desempeño de la antena en el helicóptero para SATCOM. Siempre que un diferente helicóptero o antena está sobrepuesto, el ejecutar el modelo en la computadora es el modo más eficiente y menos costoso de proveer al diseñador del sistema de SATCOM la información necesaria y oportuna del desempeño de la antena.

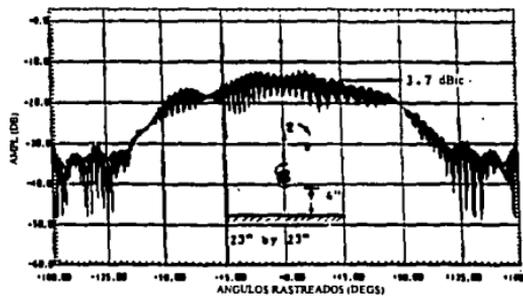


Figura 4.4.37 Patrón de radiación del modelo de la antena helicoidal de 4 brazos. En un plano de tierra

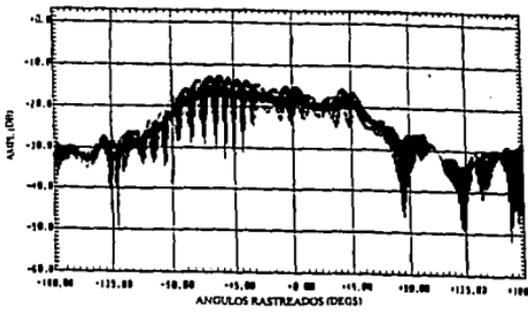


Figura 4.4.38 Patrón de radiación del modelo de la antena helicoidal de 4 brazos a 1.575 GHz.

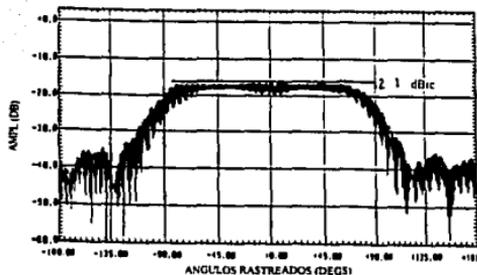


Figura 4.4.39 Patrón de radiación del modelo de la antena helicoidal de 2 brazos.

Tipo de Antena	Frecuencia GHz	Razón Axial dB	Ancho de Banda GHz	Pico de Ganancia dB	HPIBW grados
Helicoidal 4 Brazos	1.57	4	0.06	3.7	140
Helicoidal 2 Brazos	1.62	5	0.24	2.1	140

Tabla 4.4.6.2. Sumario del Desempeño de Antenas Helicoidales

#### 4.4.7 CONTROLADOR DE UNA ANTENA AERONAUTICA USANDO UN SENSOR DE CAMPO MAGNÉTICO

Para controlar una antena aeronáutica SATCOM es necesario utilizar fuertes señales de recepción. Sin embargo, esta técnica está destinada para problemas resultantes de los reflejos de las trayectorias múltiples del arco inferior de la aeronave, especialmente en bajos ángulos de elevación del satélite donde las puntas de las alas y la cola, y el fuselaje de la aeronave frecuentemente aparecen dentro del ancho de banda de la antena.

Esto es, que el control de la antena del satélite puede lograrse utilizando el vector geomagnético del campo local como una referencia. Conociendo la orientación del vector de campo magnético y el vector de señal del satélite respecto al sistema de coordenadas de la aeronave, es posible mantener el rastreo de la antena y las maniobras de la aeronave.

## Sensor Magnético Adaptable a 3 Dimensiones (3D)

El sensor de campo magnético adaptable o brújula, es un dispositivo que determina el ángulo del vector de campo magnético proyectado hacia un plano. Este plano de percepción está formado por dos chips de circuitos magnéticos resistivos perpendiculares. La salida de estos circuitos está procesada por una red neuronal que adapta continuamente la operación de los circuitos a las perturbaciones magnéticas introducidas por la aeronave. Los circuitos adaptables dan lecturas de la fuerza del campo magnético con un error dentro del peor de los casos en un orden del 2% al 3%. Los dos sensores del plano están orientados ortogonalmente uno a otro para hacer un sensor de campo de 3 dimensiones. Actualmente una sola computadora abordo procesa la salida de los dos planos percibidos. Debido a la complejidad de los algoritmos neurales y de los sensores de circuitos auxiliares magneto resistivos, la lectura del campo magnético tridimensional es suministrada por la computadora de 0.3 s a 0.5 s. En el futuro los circuitos de la computadora estarán formados de varios circuitos más pequeños y serán capaces de dar lecturas del campo magnético más rápidamente. Actualmente los sensores de campo magnético tridimensional son alojados en una caja de aluminio de 18 cm x 2 cm x 10 cm.

## Sistema de Antena de Alta Ganancia

La antena que se utiliza en la investigación del controlador magnético (fig. 4.4.40) es un arreglo de elementos de hélice altamente reducidos los cuales están devanados en una forma cónica para obtener un mejor desempeño del ancho de banda. El arreglo produce un haz aplanado teniendo ganancia en el orden de 10 a 12 dBic y en el espacio libre de 3 dB de ancho de banda a 30° de azimut por elevación de 60°. La antena contiene a bordo un diplexor / LNA que tiene una longitud de 90 cm, una altura de 16.5 cm y ancho de 33 cm.

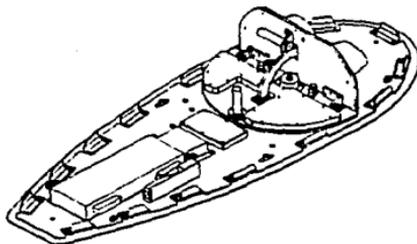


Figura 4.4.40 Gula Mecánica de Alta Ganancia  
Antena Satcom.

Como parte del algoritmo de orientación es necesario el determinar un procedimiento para cambios de la elevación, giros, y cabeceo de la aeronave que se transformen en cambios en el azimut y posiciones de elevación de la antena del satélite. Ya que los cambios de actitud de la aeronave son registrados por los sensores de 3D; el problema se hace al convertir exactamente las salidas de los sensores de 3D dentro del azimut de la antena y las posiciones de elevación.

El vector de campo magnético  $\beta$  está graficado en el espacio de 3D utilizando los dos detectores planares ortogonales de campo magnético (fig. 4.4.41).

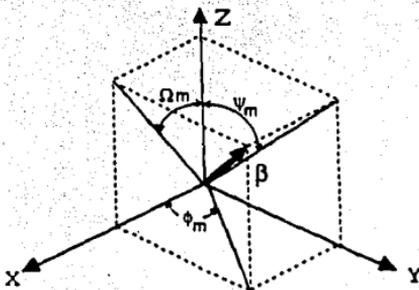


Figura 4.4.41 Arreglo del Vector de Campo Magnético.

Un detector establece el sentido del campo magnético en el cabeceo (o azimut plano) (XY) de la aeronave con ángulo  $\phi_m$ . El segundo detector establece el sentido del ángulo del campo del plano Z. Las lecturas del plano están definidas como  $\Omega_m$ . Manipulando las proyecciones de  $\beta$  en cada uno de los tres planos X, Y; Z Esto puede mostrarse como:

$$\tan \Omega_m = \frac{\sin \theta_m \cos \phi_m}{\cos \theta_m} = \tan \theta_m \cos \phi_m \dots \dots \dots (1)$$

$$\tan \Psi_m = \frac{\sin \theta_m \sin \phi_m}{\cos \theta_m} = \tan \theta_m \sin \phi_m \dots \dots \dots (2)$$

Donde  $\theta_m$  es el ángulo entre  $\beta$  y el eje Z. Alternativamente:

$$\Omega_m = \tan^{-1} (\tan \theta_m \cos \phi_m) \dots \dots \dots (3)$$

$$\Psi_m = \tan^{-1} (\tan \theta_m \sin \phi_m) \dots \dots \dots (4)$$

y

$$\tan \Omega_m = \frac{\tan \Psi_m}{\tan \phi_m} \dots \dots \dots (5)$$

Los cambios de dirección del avión se pueden solventar a medida que el ángulo de cabeceo ( $\theta_a$ ), la elevación ( $\theta_1$ ) y el giro ( $\theta_2$ ) del avión cambian (fig. 4.4.42).

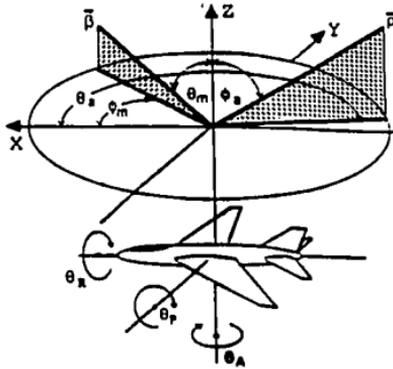


Figura 4.4.42 Campo Magnético, punto de antena y coordenadas de Orientación del avión.

Ahora, mientras que el cambio en el ángulo de cabeceo del avión resulta solamente en cambios puramente azimutales en el sensor magnético (es decir  $\Delta\theta_A = \Delta\phi_m$ ), cambios de elevación y giro del avión dan como resultado cambios simultáneos tanto en  $\phi_m$  como en  $\theta_m$ .

$$\Delta\theta_R = \Delta\Omega_m = F_1(\Delta\phi_m, \Delta\theta_m) \dots \dots \dots (6)$$

$$\Delta\theta_R = \Delta\psi_m = F_2(\Delta\phi_m, \Delta\theta_m) \dots \dots \dots (7)$$

Las ecuaciones (6) y (7) pueden estar expresadas en una forma de diferencial:

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta_R \\ \Delta\theta_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\Omega_m \\ \Delta\psi_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial\Omega}{\partial\theta_m} & \frac{\partial\Omega}{\partial\phi_m} \\ \frac{\partial\psi}{\partial\theta_m} & \frac{\partial\psi}{\partial\phi_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_m \\ \Delta\phi_m \end{bmatrix} \dots \dots \dots (8)$$

Después del cálculo de las derivadas parciales de los coeficientes de la matriz, la ecuación (8) se hace:

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta_p \\ \Delta\theta_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_m \cos\phi_m & -B_m \sin\phi_m \\ C_m \sin\phi_m & D_m \cos\phi_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_m \\ \Delta\phi_m \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

Donde los coeficientes  $A_m$ ,  $B_m$ ,  $C_m$ , y  $D_m$  se definieron como:

$$A_m = \frac{1}{(\cos^2 \theta_m + \cos^2 \phi_m \sin^2 \theta_m)} \dots\dots\dots (10)$$

$$B_m = \frac{\sin \theta_m \cos \theta_m}{(\cos^2 \theta_m + \cos^2 \phi_m \sin^2 \theta_m)} \dots\dots\dots (11)$$

$$C_m = \frac{1}{(\cos^2 \theta_m + \cos^2 \phi_m \sin^2 \theta_m)} \dots\dots\dots (12)$$

$$D_m = \frac{\sin \theta_m \cos \theta_m}{(\cos^2 \theta_m + \cos^2 \phi_m \sin^2 \theta_m)} \dots\dots\dots (13)$$

La ecuación (9) puede ser reescrita utilizando la notación matricial como:

$$\Delta\Theta_p = M_m \Delta\Phi_m \dots\dots\dots (14)$$

Donde los índices  $p$  y  $m$  están relacionados respectivamente con la plataforma (aeronave) y las lecturas de sensor magnético.

En la ecuación 14 vemos la relación entre un sistema de coordenadas de movimiento (la aeronave) respecto a un campo magnético arreglado. El vector señalado al satélite (definido por el azimut de la antena y el ángulo de elevación  $\theta_a, \phi_a$ ), es también respecto a esta aeronave. Por consiguiente la ecuación (14) puede ser reescrita aplicando las coordenadas de la antena.

$$\Delta\Theta_p = M_a \Delta\Phi_a \dots\dots\dots (15)$$

Donde el índice "a" se refiere a la antena. Combinando (14) y (15) tenemos:

$$\Delta\Phi_a = M_a^{-1} M_m \Delta\Phi_m \dots\dots\dots (16)$$

Esta relaciona cualquier cambio en las lecturas del sensor magnético a un cambio equivalente en la posición de la antena.

Puede ser útil para calcular la relación exacta dada por la ecuación (16). Utilizando una ecuación equivalente (9) pero para el sistema de coordenadas de la antena, la matriz invertida  $M_A^{-1}$  puede estar expresada como:

$$M_A^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ A_n & C_n \\ -\sin\phi & \cos\phi \\ B_n & D_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots (17)$$

Como sigue:

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta_n \\ \Delta\phi_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_m \\ \Delta\phi_m \end{bmatrix}$$

$$Q_{12} = \frac{D_m}{C_n} \sin\phi_n \cos\phi_m - \frac{B_m}{A_n} \cos\phi_n \sin\phi_m$$

$$Q_{21} = \frac{D_m}{D_n} \cos\phi_n \cos\phi_m + \frac{B_m}{B_n} \sin\phi_n \sin\phi_m$$

$$Q_{22} = \frac{\Lambda_m}{\Lambda_n} \cos\phi_n \cos\phi_m + \frac{C_m}{C_n} \sin\phi_n \sin\phi_m \dots\dots\dots (18)$$

La relación transformada puede variar por las lecturas del sensor magnético debido a una elevación o giro de la aeronave, una variación equivalente en los ángulos de la señal de la antena del satélite. Esto es interesante para observar el caso donde se enmarca un eje de la antena del vector de la señal de campo o satélite, la relación anterior se reduce a una matriz identidad. La elevación y variaciones de giro medidas por la brújula se traducirán directamente en cambios equivalentes para la antena. Igualmente, si la antena está orientada opuestamente al norte magnético (Por ejemplo el vector del satélite señalado es de 180° lejos de norte magnético), la relación (18) transformada de la matriz de unidad negativa resulta en variaciones al controlar el ser opuesta a variaciones de la aeronave. Si el vector global de la señal del satélite y vector de campo magnético están dentro de 30° de uno a otro entonces la variación en lecturas de elevación o giro se aproximarán estrechamente a las variaciones equivalentes de la antena.

### Sistema de Sensado de la Intensidad de la Señal

La antena irradiadora orientada no puede estar controlada exclusivamente por las respuestas de las salidas de los sensores magnéticos ya que las lecturas de los sensores magnéticos no están producidas más de dos o tres veces por segundo. Dado que aeronaves como helicópteros pueden dar cambios de orientación de hasta 45° por segundo, una antena orientada por un rastreador

magnético sólo puede haber terminado 20° fuera del ángulo del satélite antes de que cualquier intento de corrección sea hecho por el sistema de guía.

Cierta información de intensidad de la señal recibida se puede obtener de una terminal orientada por el satélite, es ventajoso utilizar esta información para realzar y complementar el rastreo magnético. La señal de información de intensidad viene en una tasa mucho más rápida que la información del sensor magnético a una lectura cada 50 milisegundos. Con una alta C/No (45 dBHz) el sensor de la señal puede tener una resolución de 0.35 dB. Para la ambulancia experimental de aire de Ontario tenemos una opción de señales de piloto de satélite que pueden estar monitoreado para proveer referencias de la señal. En un sistema operacional como el Sistema Aeronáutico INMARSAT, uno monitorearía la señal P-CANAL.

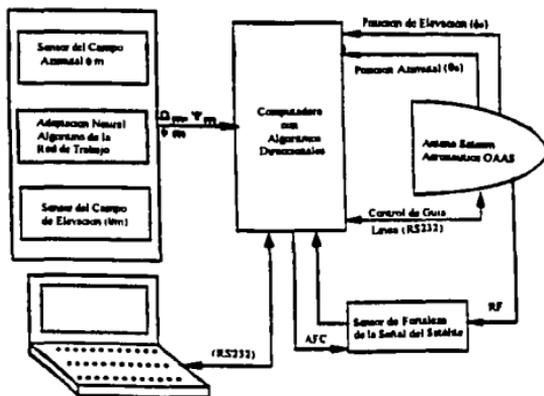
### Adquisición del Satélite y Consideraciones al Controlar el Haz

Existen varios factores que tenemos que considerar en el desarrollo apropiado de un algoritmo de rastreo del satélite. La velocidad de respuesta del motor de la antena y deformación del haz que resulta en variaciones de la razón axial, discriminación y ganancia, son factores que afectan el desempeño del algoritmo. El hecho de que el haz de la antena sea bastante amplio, teniendo menos que 0.5 dB de variación de ganancia sobre unos 7° por 15° de área se liberan parte de los requisitos al rastrear en estos cambios en la orientación pueden estar detectados antes que surjan cambios sobresalientes en la intensidad de la señal.

Probablemente el evento más importante en la activación del campo magnético de la antena es la puesta en órbita del satélite. Este procedimiento se basa en la señal del satélite. La antena, bajo el proceso de controlar tiene que buscar en el cielo el satélite asociado. Esto significa buscar un canal de señalización a una frecuencia particular. Ya que la estabilidad de la frecuencia de la terminal puede no estar dentro de algunos límites operacionales prescritos, nos enfrentamos con una búsqueda tridimensional en frecuencia, azimut de la antena, y la elevación de la misma. Esta búsqueda es más complicada debido a trayectorias múltiples generadas por hangares y otras estructuras metálicas mientras esta en tierra.

Para establecer los algoritmos orientadores se necesitará monitorear un número de umbrales en una secuencia de rastreo y se necesitará tener una variedad de respuestas que la orientación detectada cambia. Los cambios rápidos estarán detectados como una visita a la intensidad de la señal. La primera lectura del sensor magnético después de que la señal ha desaparecido proporciona información importante respecto a la dirección del cambio de orientación. También será posible en este primer instante calcular una aceleración angular para el cambio y escoger una respuesta colocando velocidades de motor de la antena. Los cambios lentos serán manejados principalmente por el controlador de campo magnético porque tales cambios no resultarán en una variación rápida de la intensidad de la señal y será más difícil detectar el sentido de la intensidad de la señal. No obstante, una vez que la búsqueda orientada sea iniciada por el sistema de sensor magnético será probablemente un requisito la oscilación de la antena para maximizar la intensidad de la señal.

En vista de las consideraciones anteriores, el algoritmo de orientación supondrá una forma compleja. Tendrá que mover del modo de adquisición al modo rastreador; Tendrá que diferenciar entre cambios de orientación lenta y rápida; Tendrá que predecir tasas angulares de cambios y direcciones y entonces impulsar a los motores a responder a tales cambios. El algoritmo luchará para mantener la recepción C/No (portadora/ruido) al máximo y su esencia, este será el objetivo final de cualquier algoritmo.



Estructura Experimental de la antena aeronáutica usando sensor de campo magnético.

## 4.5 ALTITUD ORBITAL

La selección de la altitud orbital depende en gran medida del nivel de potencia de la terminal móvil y puede ser por abajo de una fracción de un watt, debido a la conservación y duración de la pequeña batería y disminuir los problemas de salud ocasionados por la transmisión de radio frecuencias. Si se desea conservar constante la potencia y cobertura de un área, por el haz del satélite y se incrementa su altitud, entonces el ancho del haz se debe reducir o el tamaño o ganancia de la antena se deben incrementar, bajo estas condiciones, se puede decir: que la potencia de transmisión y recepción permanecen constantes. Otros factores para la selección de la altitud, es el cinturón de electrones alrededor de 2.000 Km y el cinturón de protones que esta entre 1.000 y 30.000 Km, estando el máximo en 6.000 Km y el mínimo alrededor de 13.000 Km.

La órbita LEO (Orbita Terrestre Baja) se considera entre 500 y 1.500 Km, las ventajas de las órbitas bajas, es que tienen baja intensidad de radiación y es muy pequeño el retardo de la señal y

tiene como desventajas: Los frecuentes eclipses, el uso de un número grande de satélites y la adquisición de red es más compleja debido a que los haces del satélite cambian rápidamente.

La órbita MEO (Órbita de Satélites Terrestres Media), tiene una duración de 6 a 8 horas alrededor de la Tierra, se requieren entre ocho y doce satélites para una cobertura global, tiene como desventajas: alta intensidad de radiación de protones por el anillo de Van Allen, por lo que requiere un escudo o protector, que lo hace relativamente más pesado, además de que se asigna máximo tráfico a los haces del satélite originando la saturación del sistema de satélites en poco tiempo.

En la órbita GEO (Órbita Terrestre Geostacionaria), solo tres satélites son suficientes para una cobertura global, pero tiene como desventaja que requiere de grandes antenas para soportar bajos niveles de potencia de transmisión y recepción, además de requerir haces angostos, otra desventaja, es que para tráfico de móvil a móvil, se tiene que demodular la señal y enrutarla dentro del satélite y debido al retardo de la señal, no se puede operar con terminales celulares de modo dual.

### LEO-SAT Para Altas Latitudes

Entre algunos de los problemas que enfrentan los usuarios de las altas altitudes de la Tierra, es que entre más al Norte o al Sur se encuentran, aumentan las deficiencias de comunicación con satélites Geostacionarios, lo que hace variable el uso de LEO-SAT, lo que permite disminuir el problema por degradación de lluvia, desvanecimiento y sombras u obstáculos que se presentan para las terminales móviles y como el tiempo de retardo es mucho menos pronunciado que con el satélite geostacionario, el retardo en los servicios de voz no es notorio prácticamente y la conmutación de un usuario móvil que cambia de un haz del satélite a otro haz, es también imperceptible.

Una propuesta que resulta muy eficiente es la combinación de banda L y bandas K y Ka. Una parte de la banda L comunica las terminales móviles, en frecuencias de 1.5 y 1.6 GHz a través del uso de multihazes angostos y por otra la banda K / Ka para servicios de banda en frecuencias de 20 y 30 GHz.

A una altitud de 765 Km y un ángulo de elevación de 30° se requieren 200 satélites, para 10 órbitas con 20 satélites cada una, para cubrir toda la Tierra, en este sistema se considera el uso de antenas móviles de 50 mm de diámetro para una potencia de 1 w para banda L, y banda Ka. En la tabla 4.5.1 se muestran las características del sistema LEO-SAT y en la tabla 4.5.2 y 4.5.3 se muestra el presupuesto del enlace de subida y de bajada para diferentes velocidades y anchos de banda.

Capacidad de Servicio	Canal de Tasa Inferior (~64 Kbit/s) Canal de Tasa Superior (~15 Mbit/s) Asignación de Demanda
Calidad de Transmisión (BER)	$1 \times 10^{-7}$ (99% en el Año)
Angulo Mínimo de Elevación	30°
Tipo de Usuario	
Clase Pequeña	Coches, Botes, Terminal de mano, etc.
Clase Grande	Camión, Barcos, Aviones, etc.
Orbita del Satélite	Orbita Baja Terrestre (765 Km. de altura)
Numero de Satélites	20/Plano Orbital x 10 Planos Orbitales
Configuraciones de los Enlaces	
-Móviles/Satélites	
Canal de Tasa Baja	Multi haz fijo en la Banda-L
Canal de Tasa Alta	Multi punto orientado en la Banda Ka
-Entre satélites	Enlace Optico
-Alimentador de Enlace	TBD

Tabla 4.5.1 Características del sistema Leo-Sat.

Frecuencia	1.64 GHz	30.0 GHz
Tasa de Transmisión	64 Kbps	15.0 Mbps
Eb/No Requerido	7.5 dB	7.5 dB
Enlace superior C/No	55.6 dB-Hz	89.4 dB-Hz
PIRE para Antena Móvil	0.0 dBW	20.9 dBW
Perdidas - Espacio Libre	159.3 dB	184.5 dB
Degradación por Lluvia	0.0 dB	5.3 dB
Coefficiente de Boltzman	-228.6 BW/K-Hz	-228.6 BW/K-Hz
Satélite G/T	-13.7 dB/K	19.6 dB/K

Tabla 4.5.2 Presupuesto del enlace de subida del satellite-movil.

Frecuencia	1.54 GHz	20.0 GHz
Tasa de Transmisión	64 Kbps	15.0 Mbps
Eb/No Requerido	7.5 dB	7.5 dB
Enlace Inferior C/No	55.6 dB-Hz	89.4 dB-Hz
G/T para Antena Móvil	-26.5 dB/K	-8.5 dB/K
Perdida en Espacio Libre	158.7 dB	181.0 dB
Degradación por Lluvia	0.0 dB	2.8 dB
Coefficiente de Boltzman	-228.6 BW/K-Hz	-228.6 BW/K-Hz
Satélite PIRE/ch	12.2 dBW	43.0 dBW

Tabla 4.5.3 Presupuesto del enlace de bajada del satellite-movil

## Antenas del Satélite

La antena utilizada en el satélite LEO-SAT es un arreglo de multihaces fijo para banda L para servicios ISDN de 64 Kbps. Existen 2 arreglos para este sistema de antena, el arreglo planar múltiple de bajo lóbulo lateral y el arreglo de pequeño tamaño.

La antena de arreglo planar múltiple de bajo lóbulo lateral esta compuesta de 5 antenas planares con diferentes direcciones. En la fig. 4.5.1 se muestra un arreglo circular en la fig. 4.5.2 un arreglo de apertura rectangular, en cualquiera de ambos arreglos se tiene una zona de 37 haces por cada antena y por las 5 antenas un total de 185, lo que permite el rehuso de frecuencias. en la fig. 4.5.3 se muestran las 5 zonas de cada antena y en la fig. 4.5.4 se muestra el conjunto total de haces con frecuencias adyacentes diferentes.

En el caso de la antena de arreglo conforma de tamaño pequeño se tiene un total de 9 haces y la antena pesa  $2/3$  que la del arreglo planar múltiple, aunque este sistema de antena no reutiliza las frecuencias, en un sistema LEO-SAT de 10 satélites por órbita, el tamaño de la antena debe ser lo mas pequeño posible y es por eso la propuesta de la antena de arreglo conforma como se muestra en la fig. 4.5.5 y la fig. 4.5.6.

### Antena de la Banda Ka

Para usuarios que requieren transmitir a velocidades muy altas, digamos 15.5 Mbps, se utiliza la banda Ka de 30 y 20 GHz con una antena de 1.2 m como se muestra en la fig. 4.5.7 y en la fig. 4.5.8 se muestra el prototipo del satélite LEO-SAT con sus respectivas antenas.

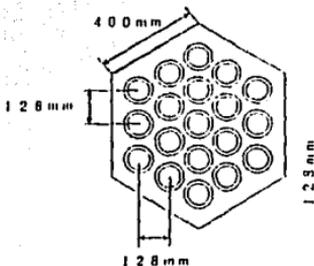


Figura 4.5.1 Constitución de los alimentadores de la antena de arreglo planar de apertura circular.

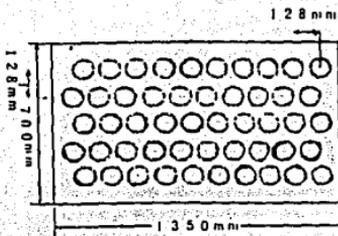


Figura 4.5.2 Constitución de los alimentadores de la antena de arreglo planar de apertura rectangular.

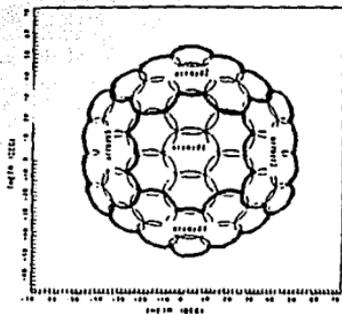


Figura 4.5.3 Cobertura de los 5 haces de la antena planar.

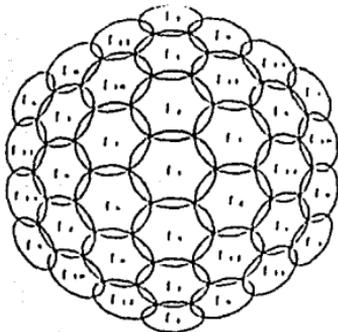


Figura 4.5.4 Relación entre frecuencias y haces.

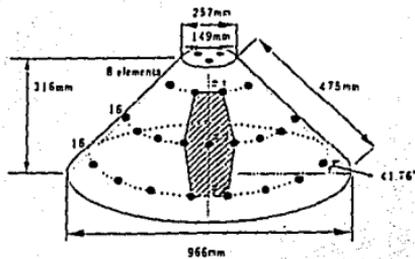


Figura 4.5.5 Constitución de los pequeños elementos que conforman el arreglo de la antena.

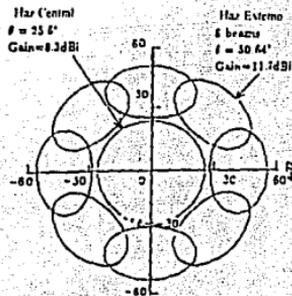
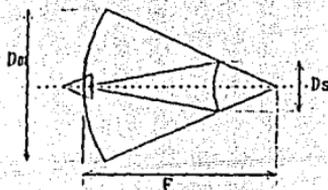


Figura 4.5.6 Cobertura de las señales que conforman el arreglo de la antena.



Antena de Cassegrain

$$D_m = 1200 \text{ mm}$$

$$F = 720 \text{ mm}$$

$$D_s = 288 \text{ mm}$$

Figura 4.5.7 Constitución de una antena en banda Ka.

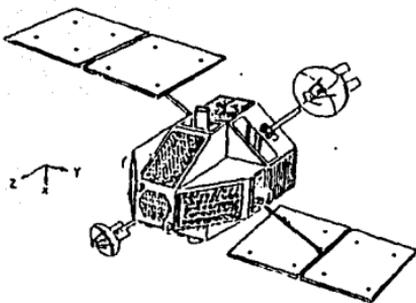


Figura 4.5.8 Configuración de las antenas montadas en el satélite LEO-SAT.

## **CAPITULO 5**

# **AVANCE DE LA TECNOLOGIA SATELITAL EN LAS COMUNICACIONES MUNDIALES**

## **5 AVANCES DE LA TECNOLOGIA SATELITAL EN LAS COMUNICACIONES MUNDIALES**

Los recientes avances en conmutación y automatización abren nuevos horizontes para el uso de satélites. Usando redes telefónicas equipadas con puertos, seguidores de antenas y permitiendo al usuario antenas omnidireccionales, se esta eliminando la necesidad de satélites geostacionarios.

Estas técnicas harán uso de órbitas de baja altura LEO y de altura media HEO. En lugar de los ampliamente usados satélites geostacionarios GEO los que se consideraron tradicionalmente en las comunicaciones a través del Mundo.

El rápido y continuo avance de tecnología permite prever un nuevo tren de desarrollo, especialmente con vista a menor costo de terminales y creciente interés en satélites pequeños. Es por esto, que a surgido la necesidad de distribuir las distintas bandas de frecuencias para los servicios de comunicación de voz y datos.

Se ha analizado la conveniencia de la banda L para radio transmisiones, tales como comunicaciones móviles y personales; la banda Ku, para comunicaciones directas a casas de radio y televisión así como, para transmisiones comerciales y de datos; la banda C para comunicaciones internacionales y nacionales de televisión y operación de casas de bolsas; la banda Ka para nuevas aplicaciones; mejorando así la eficiencia del sistema LEO en sus pérdidas de propagación en el espacio libre.

El invertir en un sistema LEO, provocaría que el área cubierta por sistemas móviles se extienda por toda Norteamérica y América Central permitiendo al cliente usar teléfonos celulares para establecer conexión por medio de satélites con áreas no cubiertas por las bases de la red de telefonía celular.

El escenario se completa con el consorcio INMARSAT, y la participación de 70 naciones, que proporciona servicios de satélite a más de 135 países. El consorcio, el cual inició su operación en 1982, sirve hoy aproximadamente a 30,000 terminales móviles a través del Mundo. Originalmente destinados a servicios marítimos que han sido posteriormente extendidos para formar una red global de servicios móviles terrestres. INMARSAT ha sido usado como centro global de conocimientos en comunicaciones móviles por satélite, estos serán trasladados al nuevo campo con todos sus enormes recursos tecnológicos.

### **5.1 APLICACIONES DEL SISTEMA CELULAR TERRESTRE**

En muchas ocasiones, cuando se esta en movimiento a bordo de un vehículo, y lejos de algún aparato telefónico tradicional, es necesario contar con un sistema eficiente de comunicación, ya sea para arreglar asuntos de negocios, realizar una operación de rescate, o simplemente para saludar a alguien; en la mayor parte de los casos, las distancias a cubrir pueden ser de cientos o miles de kilómetros, por ejemplo, entre un avión y una casa habitación, o entre un barco de carga y las oficinas centrales de su compañía. 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 limitado.

En cambio, los satélites de comunicaciones ofrecen un servicio mejor y de mayor alcance; 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. Estas características hacen de los satélites de servicio móvil un medio de comunicación cada vez más aceptado mundialmente.

Los primeros desarrollos en el campo de las comunicaciones móviles vía satélite, se efectuaron en la década de los setenta y se desarrollaron en el campo de la comunicación de barcos en altamar. Desde esos primeros desarrollos, los servicios móviles por satélite han tomado gran fuerza, no solo en el campo de las comunicaciones marítimas sino también en las personales, terrestres y aéreas, esto se debe al desarrollo que le han dado los proveedores, así como a la gran demanda que han tenido por parte de los clientes que requieren de este tipo de servicios.

Antes de la creación de este tipo de servicios, los barcos que surcaban los mares solo tenían una sola posibilidad de comunicación y esta era a través de la radiocomunicación por ondas decamétricas, y aunque ésta ha tenido un desarrollo considerable, lo cierto es que no es aún confiable, debido a una serie de problemas como son, la interferencia y la saturación de los canales, así como también en los medios por los que se propagan las ondas, esto sin contar que hay zonas en donde un barco se puede decir que desaparece, ya que no tiene contacto alguno con otra nave, y éste aislamiento no solo puede ser de unos cuantos minutos, sino que éstas pérdidas son de horas e incluso llegan a ser de días.

Esto llevó a la necesidad de que los países que contaban con flotas navieras reconocieran la necesidad de establecer algún tipo de comunicación confiable, pensando más que nada en la seguridad de sus embarcaciones, por lo que se creó una cooperativa denominada INMARSAT, que permite actualmente tener comunicación con casi cualquier tipo de navío, mientras cuente con el equipo necesario. La tarea principal de INMARSAT es la de establecer, mantener y explotar el sistema de satélites, necesario para suministrar comunicaciones móviles vía satélite a nivel mundial para usuarios marítimos, aeronáuticos y móviles terrestres.

Dentro del sector aeronáutico de las comunicaciones móviles, existen muchos problemas coincidentes con los del sector marítimo, pero dentro de este sector, hasta ahora se está iniciando un sistema de comunicaciones vía satélite que hace que se tenga un gran interés a nivel mundial, proporcionando una alta confiabilidad.

A su vez, las comunicaciones móviles terrestres vía satélite tienen una función importante en las regiones del mundo, donde existe un número escaso de población, y no es rentable instalar un sistema de comunicación terrestre, así como también donde el acceso a un lugar determinado es prácticamente imposible. Pero donde existe una población apreciable, no es absolutamente necesaria la comunicación móvil vía satélite o bien, las estaciones móviles se podrían convertir en estaciones terrenas para poder incrementar el número de usuarios así como la capacidad de transmisión e información.

México entró a las comunicaciones móviles vía satélite con la puesta en operación de la segunda generación de satélites mexicanos (SOLIDARIDAD), los cuales operarán en las bandas C, Ku y L. Siendo esta última la que nos permitirá dichas comunicaciones.

Muchos usuarios que requieren comunicarse por satélite tienen la característica de que sus equipos no permanecen fijos, sino que se mueven o cambian de lugar constantemente, por ejemplo, en barcos, plataformas marinas, aviones, trenes, camiones de transporte y automóviles. Las redes de comunicaciones que satisfacen esta demanda pertenecen a la rama del servicio móvil vía satélite. En estos casos, las personas a bordo de vehículos pueden comunicarse con otros vehículos o con puntos fijos; por ejemplo, el capitán de un barco puede adelantar muchos trámites con las autoridades del próximo puerto en su ruta, un hombre de negocios a bordo de un vuelo comercial transatlántico puede llamar a sus oficinas centrales, o el ama de casa que conduzca por una autopista podrá hablar a su hogar cómodamente, utilizando para ello un satélite de comunicaciones móviles. En cualquiera de los casos, el equipo de comunicaciones del vehículo debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite, independientemente de su movimiento, por ejemplo, del oleaje o del cambio de dirección en el caso de un barco, o de las curvas y pendientes del camino en el caso de un automóvil. Dependiendo del tipo de vehículo, de sus dimensiones y de la cantidad y diversidad de información que transmita o reciba, requiere tener una clase diferente de antena y equipo electrónico.

Las redes de comunicaciones móviles vía 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.

## **5.2 PUERTOS PARA PORTADORES**

El sistema encargado de la interconexión entre la RTPC y el servicio satelital LEO en los países contratados a través de puertos será el CCI complementario-no-complementario.

Lo que se persigue con este sistema es evitar el traspaso y la duplicación de infraestructuras de comunicaciones existentes.

Planeando a corto plazo, el CCI venderá su capacidad de segmento espacial a quienes ofrezcan las portadoras nacionales, para su alquiler a los usuarios finales. Esto permitirá a los proveedores de este tipo de servicios existentes utilizar la infraestructura del CCI como un medio de extender su capacidad de oferta de servicios a suscriptores y creando un mercado atractivo para posibles usuarios fuera de sus áreas de cobertura celular.

El sistema CCI-LEO será implementado en dos fases, un Sistema Ecuatorial que operará a fines de 1997, y un Sistema Global será implementado a principios de 1999.

El Sistema Ecuatorial del CCI iniciará con la arquitectura de un anillo simple de 11 satélites, con una capacidad de más de 1.000 circuitos de voz por satélite, en órbita alrededor del Ecuador a una altitud de aproximadamente 2.000 Km. Desde esta altitud, el satélite proporcionará continuamente una amplia área de cobertura para comunicaciones móviles, en más de 100 países en América Central y Sudamérica, Sureste de Asia y África.

El área de servicio primario para comunicaciones móviles cubrirá toda la superficie del cinturón ecuatorial entre los 23° de latitud Norte y Sur. El ángulo mínimo de elevación entre el usuario y el satélite es menor a 35° en el Ecuador y de aproximadamente 15° en las periferias del área de servicio primario.

El área de servicio secundaria del sistema se designó para cubrir los servicios de terminales fijas remotas con antenas de alta ganancia, esta se extiende de los 32° latitud Norte y Sur.

Con una avalada experiencia en operación, facilidades de producción de satélites en total engranaje y crecimiento promovido por el auge del Sistema Ecuatorial, la CCI estará en posibilidades de expandir el sistema satelital LEO para proporcionar una cobertura global.

El Sistema Global consistirá de múltiples anillos de satélites en órbitas circulares con una inclinación aproximada de 50° a 60°. Los satélites producidos para el Sistema Global serán de la misma producción de línea que del Sistema Ecuatorial, así que la inversión económica será accesible. Así el Sistema Global es completamente operativo proporcionando una cobertura completa de todas las áreas geográficas entre los 75° latitud Norte y Sur.

### **5.3 LA TECNOLOGIA LLENA VACIOS Y BAJA COSTOS**

Al tiempo cuando los servicios de comunicación vía satélite toman fuerza alrededor del mundo, las firmas industriales y reguladoras se encuentran ocupadas desarrollando los términos y estándares, dentro de los cuales los servicios operarán en el futuro. Ya que la tecnología fue, y esta siendo originada en los países industrializados, es natural que sus esfuerzos se enfoquen en el direccionamiento de las necesidades y requerimientos que éstos tienen.

Conforme este proceso tome forma, las industrias participantes deberán tener en mente que los países en vías de desarrollo representan un mercado potencial del cual pueden obtener generosos beneficios. Para que esto suceda los proveedores del servicio vía satélite deben primeramente comprender los requerimientos particulares y las necesidades de los países en vías de desarrollo, los cuales difieren significativamente de los requerimientos de los países industrializados.

Los países en vías de desarrollo deberán analizar los efectos que la adopción del servicio de comunicación vía satélite tendrá en sus economías. Por esta razón deberán formular regulaciones capaces de promover las inversiones requeridas para poder ofrecer el servicio satelital dentro de las prioridades y necesidades del país.

#### **5.3.1 DIFERENCIAS ENTRE PAISES EN VIAS DE DESARROLLO Y PAISES INDUSTRIALIZADOS**

Para la introducción del servicio satelital en los países en vías de desarrollo; las firmas industriales y reguladoras deben considerar los factores contextuales y de implementación que difieren significativamente con respecto a los países industrializados.

- Factores Contextuales.

## 1.- Necesidades

Para un conjunto de países, su geografía y especialización económica determinan las necesidades y aplicaciones de las telecomunicaciones. Mientras los países industrializados tienden a una economía especializada en servicios y a transferencia de información, los países en vías de desarrollo se especializan en la manufactura y la explotación de los recursos naturales a través de grandes extensiones geográficas y regiones deficientemente comunicadas. Mientras que los primeros demandan una comunicación excesiva, capaz de transformar la información a grandes velocidades de tal forma que aumenten la calidad de los servicios, los segundos requieren de enlaces que soporten sus actividades industriales y la distribución de mercancías. Un servicio capaz de satisfacer éstas necesidades, es el servicio vía satélite.

## 2.- Infraestructura

La infraestructura de los países en vías de desarrollo esta caracterizada por una disponibilidad limitada de los recursos elementales necesarios para promover el servicio vía satélite, tales como cobertura del satélite, enlaces terrestres e ingenieros calificados. También se debe distinguir entre los servicios públicos y privados; donde por un lado, los usuarios privados cuentan con redes sofisticadas para la transmisión de voz y datos, mientras que en los primeros encontramos deficiencias en los servicios públicos en redes de telefonía y telegrafía.

## 3.- Objetivos

Unos de los factores que distinguen a los países en vías de desarrollo son los objetivos y estrategias que siguen, de acuerdo a la forma de sus regulaciones particulares.

Estos son definidos por las prioridades nacionales. Mientras que en los países industrializados el objetivo principal ha sido el desarrollo económico de la nación, la meta en los países en vías de desarrollo ha sido mantener la armonía socio-política dentro de un marco de desarrollo económico. Esto ha sido alcanzado a través de un gobierno centralizado y por medio de la designación de sectores o empresas estratégicas, como las telecomunicaciones.

La razón de designar a las telecomunicaciones como un factor estratégico es principalmente: tener el control sobre la infraestructura básica, la cual es vital para la seguridad del país y de la economía; para tener un servicio público que satisfaga a toda la población uniforme y equitativamente. Para el futuro, sabemos de antemano que avanzamos hacia una descentralización que se refleja en la política global y los eventos económicos.

## 4.- Restricciones legales.

Las restricciones legales y regulaciones para las inversiones extranjeras en sectores estratégicos en los países en vías de desarrollo son originados principalmente por razones de soberanía, control y creación de tecnología nacional. Las restricciones varían considerablemente de un país a otro, tratan temas como las firmas que pueden participar en el grado y obligaciones que incluyen el nivel de inversión, nivel de integración, transferencia de tecnología y reducción de servicio de carga al gobierno e instituciones por medio de otros.

## 5.- Condiciones económicas.

Es evidente que si un país en vías de desarrollo y en particular los países latinoamericanos, se encuentran en un proceso de cambio político, económico y social, al mismo tiempo, sus economías son caracterizadas por altas inflaciones, desempleo, recesión, un decremento del nivel de vida además de una deuda externa. Estos problemas son agravados por un déficit de flujo monetario extranjero a través de las restricciones impuestas por los prestadores, mientras que sus exportaciones han sido afectadas por sus precios bajos en los mercados internacionales. Debido a estos factores, el costo relativo de introducción del servicio vía satélite a los países en vías de desarrollo es más grande que el costo de introducción de los países industrializados, como se ve en comparación con el precio pagado por una renta mensual para el mismo servicio en términos de las tarifas que se pagan en cada país.

## 6.- Aplicaciones y beneficios.

En los países industrializados, la aplicación primaria del servicio móvil vía satélite es en el área de administración logística para las empresas medianas y grandes de transportación terrestre. Pero en los países en vías de desarrollo, este sector de la transportación juega un rol mucho más grande en la economía nacional, teniéndose principalmente la transportación alternativa, tales como trenes, aeroplanos y medios marítimos. Desafortunadamente la demanda de transportación no esta siendo satisfactoria, debido a la falta de recursos para proveer y mantener el servicio mientras que al mismo tiempo, una gran parte de los vehículos trabaja en niveles de utilización baja, por razones como la ausencia de vías de comunicación apropiadas, requeridas para la administración logística del recurso. En México no hace mucho, estos problemas fueron solucionados por medio de las regulaciones que restringen el tránsito de los vehículos de transporte a rutas fijas. Esta regulación fue introducida en años anteriores pretendiendo corregir este problema y dar mayor utilización a los vehículos. La introducción del servicio móvil vía satélite puede complementar este esfuerzo proporcionando una infraestructura de comunicaciones necesaria para coordinar su administración y desarrollar su productividad.

## 7.- Cultura Tecnológica.

La cultura tecnológica de los usuarios potenciales en los países en vías de desarrollo no es sofisticada, considerando las comunicaciones telefónicas y de computadoras, estas están marginalmente integradas. Es por esto que los servicios móviles vía satélite representan un salto importante para los usuarios en los países en vías de desarrollo, en términos del nivel de sofisticación de la tecnología que es utilizada para manejar las nuevas oportunidades de integración del servicio móvil vía satélite para su operación.

### • Factores de Implantación.

#### 1.- Regularización.

El proceso para obtener los permisos requeridos para operar y explotar el servicio vía satélite en los países en vías de desarrollo es complejo, ya que muchas autoridades están involucradas en las decisiones que se toman. A través del proceso, las autoridades consideran los aspectos técnicos,

tales como, estándares, distribución de las bandas y problemas de interferencia, otros puntos conciernen a la viabilidad política, económica y social del proyecto: quien es el proveedor del proyecto, su nacionalidad, que experiencia tiene. Además de los efectos de los diferentes sectores de la economía.

## 2.- Conformación de los sistemas.

Para la conformación del servicio vía satélite en para los países en vías de desarrollo se debe considerar fundamentalmente que el servicio representa una herramienta de productividad para sus economías, para las industrias manufactureras y extractivas, mientras que para los países industrializados, además de incrementar su productividad, el servicio aumenta la calidad de los servicios; jugando un importante efecto en la competitividad de las firmas; en los países industrializados el servicio esta orientado básicamente a la economía.

## 3.- El mercado

Analizando el mercado, sus necesidades, segmentación, actitud para la economía, cultura económica, el grado de venta e integración de equipo, razones esperadas de falla que determinan los servicios, mantenimiento de los gastos, entre otros; son puntos cruciales en el éxito de la implementación, e idiosincrasia singular para los países en vías de desarrollo.

## 4.- Objeciones.

Las objeciones para la implementación de un servicio vía satélite en los países en vías de desarrollo puede venir de direcciones inesperadas, principalmente porque el tratamiento de esta nueva tecnología significa entrar en la posición de mercado tradicional. Influencias de firmas bien establecidas involucradas en las comunicaciones, transporte, producción automotriz, contratistas de transportación, etc.. Pueden tener oposición a la introducción de una nueva herramienta tal como lo es el servicio móvil vía satélite que pueden tener algunos efectos adversos en el manejo de mercado.

## 5.3.2 RECOMENDACIONES A LOS PROVEEDORES DEL SERVICIO MOVIL VIA SATELITE

De un análisis formal, es claro que las firmas industriales que consideren su participación en el proyecto, deben desarrollar estrategias de enfoque muy bien planeadas, muy diferentes a las desarrolladas para los países industrializados. Conforme estas firmas, planean inversiones significativas para desarrollar tecnología e infraestructura para proveer el servicio, con tecnologías y normas que satisfagan las necesidades específicas del mercado y que estén de acuerdo con los objetivos nacionales del país.

Las recomendaciones específicas concernientes a la entrada de los proveedores del servicio móvil vía satélite a los países en vías de desarrollo son las siguientes:

## 1.- Asociación.

Dadas las complejidades y restricciones, los proveedores del servicio móvil vía satélite deberán hacer esfuerzos para encontrar en los países en vías de desarrollo una asociación con una firma local fuerte. Los proveedores deben también revisar de el asociado las capacidades del potencial tecnológico de transferencia y manufactura que pueden dar. Además se debe de conocer la honestidad y reputación del asociado ya que, en caso de cualquier disputa, las leyes locales favorecerán naturalmente a la firma local contra cualquier firma extranjera. Existen muchos tipos de arreglos que pueden ser firmados con un socio local.

La comercialización, en el caso de que el sistema no fuera manejado directamente por el país, acuerdos de explotación, unión de inversiones directas.

Teniendo cada alternativa ventajas y desventajas, sus análisis deben de considerar los siguientes puntos:

- Tipo de asociación requerida por la Ley.
- Porcentaje de participación de la empresa.
- Inversiones en términos de tecnología y recursos económicos.
- Inversión en infraestructura local para proveer servicio y mantenimiento de equipo.
- Integración local de equipo.
- Recurrencia en términos de ganancias.
- Restricciones legales.

## 2.- Entendiendo las Leyes.

Algunas restricciones y regulaciones pueden variar en la industria siendo algunas de estas negociables, un buen entendimiento de las leyes y regulaciones son necesarias para alcanzar las mejores condiciones posibles por la Ley.

## 3.- Plan para los costos de adición.

El servicio vía satélite debe planear costos de adición, involucrados en las necesidades de infraestructura para el servicio en los países en vías de desarrollo, además de enlaces terrestres, reclutación y entrenamiento del personal técnico.

## 4.- Plan para transferencia tecnológica.

Dadas las políticas de los países en vías de desarrollo y las condiciones de las leyes de introducción para las nuevas tecnologías, tales como el servicio móvil vía satélite, la transferencia de tecnología por parte de los proveedores, puede variar en los países en vías de desarrollo de

diferente forma, los proveedores del servicio móvil vía satélite necesitan adoptar estrategias a largo plazo que consideren la transferencia de tecnología.

#### 5.- Conformación de las necesidades del mercado.

Las firmas que desarrollan el equipo para proveer el servicio deben considerar una arquitectura flexible suficiente para acomodar la nueva estructura utilizando la infraestructura disponible, se debe de dar como un hecho que los países en vías de desarrollo, tendrán el servicio móvil a mediano y corto plazo. Los mercados comprenden usuarios industriales los cuales tienen más necesidades de comunicación de datos, en oposición al resto, el cual le da un uso para comunicaciones de voz.

#### 6.- Especificaciones individuales.

Se está dando a través del mundo un apoyo a la estandarización de los productos y es claro que el servicio móvil en los países en vías de desarrollo, requiere de un alto grado de especificaciones individuales en orden de proveer una solución para las necesidades específicas del mercado y del usuario. Para esto, el aspecto más importante a ser considerado, es el éxito que el sistema con el usuario debe tener, el servicio móvil vía satélite debe ser designado para proveer soluciones totales a problemas específicos en vez de ser presentados como un enlace de comunicación sofisticado.

#### 7.- Educación del mercado.

Para llenar las expectativas del servicio debe de ser realizado un gran esfuerzo en la educación de un mercado, el cual es realizado para adoptar nuevas tecnologías. Los programas de entrenamiento el hardware debe considerar el lenguaje y la idiosincrasia de los usuarios.

### 5.3.3 RECOMENDACIONES A LOS ORGANISMOS REGULADORES Y DE POLÍTICAS DE LOS PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

Por años, en los países industrializados así como en los países en vías de desarrollo, las normas que regulan los servicios públicos, han decaído significativamente en comparación con innovaciones tecnológicas que manejan estos servicios. Las consecuencias de esto han tenido un alto costo: en términos de los beneficios que la sociedad puede derivar de los servicios, si las regulaciones fueran las actuales. Este problema es más acentuado en los países en vías de desarrollo, donde las regulaciones deben considerar un número mayor de factores, como se ha analizado anteriormente.

Dadas las necesidades de mejoramiento de su economía, los países en vías de desarrollo no pueden darse el lujo de pagar los grandes costos relacionados a este tipo de sistemas. Algunas sugerencias que pueden ayudar a formular las regulaciones para alcanzar los beneficios del servicio vía satélite son las siguientes:

### 1.- Reevaluación de los sectores estratégicos.

Es necesario y menos costoso para los países en vías de desarrollo tener todos los servicios centralizados de telecomunicaciones. El gobierno debe permitir que todos estos servicios deban ser proporcionados por firmas privadas y nacionales, enfocándose en una regulación apropiada para que la explotación de dichos servicios cumplan con los objetivos y necesidades nacionales. La estructuración de esta política no afectará la soberanía nacional del país si la regulación es apropiada para controlar y supervisar a tales prestadores del servicio.

### 2.- Educación.

La educación de la tecnología base es una de las prioridades nacionales de los países en vías de desarrollo. Es requerida entre otras razones para modernizar y desarrollar tecnología que sirva mejor a las necesidades del país, y mejorar los términos de intercambio internacional para los países en vías de desarrollo. Las autoridades y organismos reguladores deben de tener una base sólida para fomentar una cooperación internacional de tecnología real. Al mismo tiempo los organismos reguladores, deberán impulsar a los científicos del país y los programas tecnológicos con el fin de alcanzar los niveles donde la tecnología no es adaptada sino generada.

### 3.- Uso de normas que maximicen la utilización de recursos nacionales.

La regulación de normas deberá contemplar la utilización de la infraestructura del país para alcanzar una máxima utilización, minimizar el sobre flujo de intercambio extranjero y de proveer la experiencia necesaria al personal calificado, para operar y desarrollar tecnología en el futuro. Para proporcionar un máximo para las operaciones del mercado dentro de las limitantes del país, primeramente se deben de poner en consideración las normas de los enlaces a emplear en forma nacional. Además debemos considerar las normas a utilizar para la coordinación internacional de enlaces.

### 4.- Definir una regulación de acuerdo a las necesidades del mercado.

Las necesidades deben de alcanzar los requerimientos de los sectores que adopten el servicio y como resultado, estos serán capaces de formular las regulaciones apropiadas que garantizan los grandes beneficios del servicio. La combinación de regulaciones apropiadas para el servicio junto con las de transporte, como en el caso de México, proveerá de soluciones para el país que incrementen la eficiencia y productividad de la transportación, alcanzando los efectos deseados para alcanzar una economía más robusta.

## Futuro de las Comunicaciones Móviles vía Satélite en México.

Las nuevas tecnologías están convergiendo, siendo más sofisticadas, muchas se están involucrando, como las comunicaciones personales con los servicios de localización, telefonía celular, terminales de datos, computadoras personales (con modems), la proliferación del fax, similar al de las computadoras personales algún tiempo atrás, tan solo para nombrar algunos. Hoy en día la industria ha desarrollado herramientas que pueden alcanzar la posibilidad de comunicarnos mediante teléfono en un automóvil, en un hotel, o en un centro de convenciones.

Podemos enviar reportes del clima, resultados de la bolsa de valores, alimentar un mensaje de fax que será transmitido a un dispositivo de bolsillo que acepta 80.000 caracteres en su memoria, sin cables conectados a él. Podemos monitorear alarmas de vehículos espaciales que se encuentran a miles de kilómetros de distancia, hacer las compras desde casa, mover información alrededor del mundo en segundos, aún monitorear los latidos del corazón de un paciente mientras realiza cuestiones cotidianas.

La telefonía ha sido la aplicación tecnológica de más uso en el mundo, sin embargo, en las áreas menos densamente pobladas no alcanza a cubrir las necesidades de comunicación del consumidor en promedio; por lo que una solución viable para esta situación son las comunicaciones móviles vía satélite.

#### 5.4 CONFECCION DE ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELLIPSO

ELLIPSO proporcionará un amplio rango de cobertura a un costo accesible debido al diseño de su arquitectura, la cual se basa en dos constelaciones de satélites con órbitas complementarias y de coordenadas elípticas.

La constelación son: ELLIPSO Borealis, cuyas áreas primarias de servicio son en el Norte, sobre latitudes moderadas y ELLIPSO Concordia, la cuál es principalmente dirigida hacia el Ecuador y latitudes al Sur ver fig. 5-4.1, lográndose así una cobertura mundial, igualando su valor para propósitos de mercadeo como es el caso de los sistemas con órbitas circulares.

ELLIPSO permitirá una confección del servicio por capacidad de población y latitud. Proporcionará una mayor capacidad en el Norte y a lo largo del Ecuador, donde la concentración de la población es más alta y una menor capacidad pero adecuada al Sur, donde la masa de tierra y por consiguiente su población son menores.

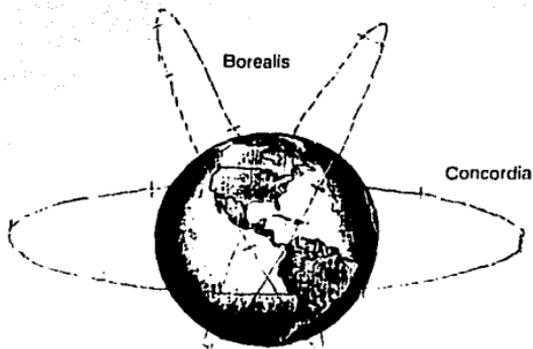


Figura 5-4.1 Constelación ELLIPSO

EL.LIPSO proporcionará mejores ángulos de elevación para la industria, mejorando así la calidad de recepción. En un futuro no lejano, los patrones elípticos permitirán sincronía solar con las órbitas, permitiendo una mayor concentración en la capacidad durante las horas luminosas del día en cualquier punto sobre la Tierra. Todos estos factores combinados permiten desarrollar en fases, satélites con servicios de mercado específicos en cada una de ellas.

El objetivo central del concepto EL.LIPSO, es el de proporcionar servicios globales móviles de voz y datos al menor costo posible, empleando la tecnología enfocada a los negocios.

Esta conjunción de negocios y tecnología involucra en el proyecto EL.LIPSO a un equipo de accionistas estratégicos, operando bajo un solo consorcio:

- Space Fairchild & Defense Corp., primer contratista para vehículos espaciales.
- Harris Corp., la encargada de las comunicaciones de la nave espacial.
- Electric Corp. Westinghouse, para el segmento terrestre e integración del sistema de comunicación.
- La Industria Aérea Israelita para la construcción de los componentes de las naves espaciales.
- Digital Communication Corp., encargada de integrar la tecnología CDMA.
- Berelays of Zorte Wedd, asignados como supervisores del desarrollo.

EL.LIPSO utiliza transponders satelitales simples, proporcionando componentes especiales calificados y diseñados con tecnología militar para un tiempo de vida prolongado. Estos satélites interconectarán al suscriptor de EL.LIPSO con la estación de control de tierra, desde la cual el usuario será conectado con la Red Nacional de Telecomunicaciones existente o a otro suscriptor del sistema EL.LIPSO vía satélite. El proceso electrónico se realizará en las estaciones de tierra para reducir el costo del satélite, permitiendo una mayor flexibilidad en el proceso por región.

Las especificaciones técnicas de EL.LIPSO son las siguientes:

- Constelación de tres o más órbitas
- Dos elipses inclinadas a 116,6° (Borealis)
- Apogeo de 7,800 Km (7,875 millas)
- Perigeo de 520 Km (327 millas)
- Una o más órbitas ecuatoriales (Concordia)
- Apogeo de 7,800 Km (7,875 millas)

- Perigeo de 4,000 a 7,800 Km (2,500 a 4,875 millas)
- Borealis 3 horas
- Concordia 3-5 horas
- Cada satélite permanece a la vista promedio de una hora

#### Satélites:

- Masa de 500 Kg (1,100 libras)
- Dos arreglos fotovoltaicos para el suministro de energía
- ACS por toberas y volantes de inercia
- Tiempo de vida útil de 5 años

#### Subsistema de satélite de comunicación:

- Frecuencia del receptor 1,610 - 1,625.5 MHz.
- Frecuencia de transmisión 2,483.5 - 2,500 MHz.
- Diseño de la antena del satélite, arreglo de 19 haces circulares de igual área
- Un pincel de localización dinámica de potencia

#### Características de transmisión:

- Ancho de banda variable de la señal de 1.4 a 16.5 MHz. (banda completa)
- Espectro compartido
- Acceso múltiple por división de código
- Dispersión de ancho de banda
- Modulación QPSK
- Capacidad para voz de 4,800 bits/seg. (código de razón variable)

#### Comutación:

- Base de tierra

- Control de estación de tierra de manos libres
- Total reutilización de frecuencias

## 5.5 EL SISTEMA LEO ADOPTA LA TECNOLOGIA C.D.M.A.

Las técnicas de CDMA, son similares a las utilizadas en la Norma Celular Digital (IS-95) de Norte América y muchos otros países. Estas normas fueron adoptadas por el sistema GLOBALSTAR para poder reunir ofrecer las siguientes ventajas:

- Permite una total reutilización de frecuencias en haces adyacentes.
- Utiliza totalmente el factor de actividad de voz para incrementar la capacidad y proporcionar una óptima degradación, aún cuando el sistema esté cercano a su saturación.
- Ofrece un comportamiento excelente en ambientes de trayectoria múltiple.
- Permite compartir el espectro sobre diferentes operadores con un mínimo de acciones de coordinación.
- Proporciona un mayor margen de enlace y disponibilidad, asegurando así una alta calidad de servicio de voz y datos, con un mínimo de razón de llamadas perdidas.

El CDMA del GLOBALSTAR permite la capacidad de llamada en áreas cubiertas por dos o más satélites, al incrementar significativamente el uso de trayectorias múltiples para proporcionar diversidad de trabajo.

El hecho de que el mismo ancho de banda del canal CDMA se utiliza en dos satélites adyacentes, permite emplear técnicas de manipulación accesibles. Con esto, una señal de llamada puede ser transmitida a través de un nuevo satélite o haz, mientras se continua transmitiendo por medio del satélite o haz original. El mensaje original se enruta hacia y en ambos satélites por un puerto, combinándose en el puerto prioritario del codificador de voz.

En el receptor de la estación móvil se realiza con la transmisión paralela de ambos satélites, una operación de combinación de diversidad. Esto no solamente mejora la capacidad del sistema, si no que también incrementa notablemente la calidad del enlace de comunicación en las periferias del área de cobertura.

El proceso de corte a manos libres es más viable cuando este se hace antes del proceso de finalización. El nuevo enlace se establece antes de que finalice el anterior. Así el proceso iniciado puede hacerse continuo hasta que uno de los satélites caiga por debajo del horizonte.

La terminal de mano del GLOBALSTAR o la unidad móvil es muy similar a un teléfono celular convencional. El usuario puede llevarlo a cualquier parte consigo mismo.

Las principales características físicas y técnicas de la terminal son:

- Dimensiones aproximadas de 165 x 60 x 120 mm.
- Peso aproximado de 600 gramos.
- Tiempo de conversación ininterrumpido mayor a 2 hrs.
- Potencia de transmisión media de 200 mW.
- Precio aproximado de \$ 750 Dlls. U.S.
- Costo por minuto al aire de 30 a 50 cts. Dlls.

Sus características de puerto son:

- Frecuencia de operación en banda C.
- Número máximo de seguimiento de antena de 2 a 4 m.
- PIRE de transmisión de 32 a 42 dBW por 1.25 MHz.
- Costo aproximado por puerto de \$ 2 millones de Dlls. U.S.

Los sistemas terrestres, tanto celulares, como de Servicios de Comunicaciones Personales (CPS) pueden solamente expandirse en su área de cobertura para extender el costo efectivo de inversión en cada célula o área, incluyendo la transmisión y el equipo de conmutación. Estos costos consideran el apoyo de operadores de comunicación móvil, se necesita seleccionar cuidadosamente la tecnología, para poder así diseñar una red que sea competitiva y aprovechable. El factor real para los costos sería: Costos por circuito entre área de cobertura.

La presente red celular terrestre requiere una inversión de \$ 20,000 a \$ 30,000 Dlls. U.S. por circuito para poder cubrir áreas menores de 40 Km de diámetro, con un alto costo por cobertura de circuito.

Este programa incluye la puesta en órbita de los satélites a partir de 1997 iniciando su servicio en 1998.

## **5.6 ASIGNACION DE FRECUENCIAS PARA LOS SATELITES DE ORBITA BAJA**

Las nuevas tecnologías y servicios satelitales de órbita baja, incluyendo aquellos que operan abajo y arriba de 1 GHz recibieron una asignación en el espectro de frecuencias.

Las aplicaciones para servicios de voz por medio de satélites de órbita baja, entre los que se incluyen MOTOROLA, LORAL/QUALCOM, TRW INC., CONTELLATION Y ELLIPSAT,

podrán proceder con sus planes de implementar sistemas que proporcionen telecomunicaciones de voz por medio de aparatos portátiles a través del mundo, sujetos a ser aprobados por la FCC y obtener los acuerdos de operación necesarios.

Otros sistemas proyectados son: ORBCOM, STARSYS, VITA Y LEOSAT para los sistemas LEO; los cuales proporcionarán determinación de la posición del usuario a un bajo costo y servicio de mensajes de datos.

Además de los sistemas LEO, se asignó un espectro adicional para ser implementados en los próximos 20 años del servicio satelital móvil geostacionario, incluyendo aquellos a ser proporcionados por la AMSC, INMARSAT y otros sistemas móviles satelitales regionales y domésticos.

Otras nuevas tecnologías satelitales que ganaron asignaciones fueron las que consisten en Radiodifusión por satélite el cual incluye una componente terrestre, y la T.V. de Alta Definición (HDTV) por satélite.

A pesar de la falta de interés en su implementación inmediata, la HDTV por satélite recibió asignaciones en las bandas de 17.3 a 17.8 GHz (Región 2) y en las bandas de 21.4 a 22.0 GHz (Región 1 y 3). La posición de los E.U. fue que la HDTV vía satélite podría ser proporcionada en las actuales bandas de 12 GHz localizadas para el servicio de radiodifusión por satélite. Las nuevas asignaciones serán efectivas en el año 2007 pero los sistemas provisionales serán permitidos. Además en esta reunión se determinó como establecer la coordinación de equipos entre el sistema de posicionamiento global GLONASS de la Federación Rusa y los sistemas satelitales LEO proponiéndose usar la misma banda de frecuencia (Motorola, Ellipsat, Constellation, Trv y Loral/Qualcomm).

## Servicios Móviles vía Satélite

### Objetivos del servicio.

La siguiente lista resume los objetivos de los servicios móviles vía satélite:

- Voz / datos / fax / telex / medio búsqueda / terminales accesibles
- Utilización eficaz de el espectro
- Complemento a sistemas terrestres / socorro y seguridad
- Operación con redes conmutadas y privadas
- Sistemas móviles personales y de vehículos
- Sistemas mundiales / regionales / nacionales
- Elevada disponibilidad, confiabilidad e integridad del servicio

## Sistemas de Satélites Geostacionarios Mundiales, Regionales y Nacionales

Los satélites actuales de INMARSAT y Volna de la URSS (ahora Comunidad de Estados Independientes), utilizan antenas que ofrecen una cobertura casi mundial a partir de la órbita geostacionaria. Los sistemas de la URSS son similares a los de INMARSAT. Varias administraciones están construyendo sistemas móviles vía satélite regionales/nacionales para ofrecer servicios aeronáuticos, terrestres y marítimos en 1.5 - 1.6 GHz. Además de esos sistemas, en Japón se está elaborando un sistema móvil vía satélite en las bandas 2.5 - 2.6 GHz. Hay más de 40 sistemas de satélites en funcionamiento o proyectados en la gama de 1.5 - 1.6 GHz.

### Servicio Móvil Marítimo vía Satélite

El sistema INMARSAT-B que reemplazará a el sistema INMARSAT-A original, proporcionará una mayor eficiencia en materia de potencia y ancho de banda y facilitará los servicios de voz, datos, fax y telex. En paralelo con el INMARSAT-B, el sistema INMARSAT-M utilizará velocidades de transmisión más bajas, para satisfacer las necesidades de servicios de voz, datos y fax de barcos pequeños. El nuevo sistema INMARSAT-C ofrece únicamente servicios de datos y telex mediante almacenamiento y retransmisión y emplea un equipo pequeño y económico.

### Servicio Móvil Aeronáutico vía Satélite

Entre las características especiales del servicio se cuenta con las siguientes: el efecto Doppler, es un factor importante para la sincronización del demodulador, técnicas digitales de modulación y codificación encaminadas a utilizar con eficiencia las limitadas potencias y anchos de banda de la señal, cumpliendo al mismo tiempo los requisitos en materia de relación error por bit. En resumen los sistemas aeronáuticos vía satélite, deberán tener en cuenta los imperativos de la seguridad de operación de las aeronaves y los dispositivos electrónicos de la aviación.

### Servicio Móvil Terrestre vía Satélite

La diversidad de aplicaciones de usuario requieren de una diversidad correspondiente de equipos radioelectrónico móvil. Cada uno de ellos está adaptado a su utilización concreta, pero todos tienen en común elementos que son necesarios para explotar la red vía satélite.

### Características del Sistema de baja Orbita Terrestre

Un sistema preciso de satélites de órbita baja para comunicaciones personales, ofrecería comunicaciones de voz y datos a escala mundial por medio de terminales móviles y terminales de mano con antenas omnidireccionales. La constelación estaría formada por 66 satélites de órbita baja a una altitud de 770 Km. Cada satélite tiene 37 haces estrechos, formando cada haz estrecho una célula de aproximadamente 670 Km de diámetro en la superficie de la Tierra. Se cubriría la totalidad del globo con 1,574 células, formando un sistema móvil celular vía satélite. Se aplicarían los principios de reutilización celular, con un patrón de reutilización nominal de 7 células. Las frecuencias se reutilizarían seis veces en una zona grande tal como el territorio oriental de los E.U. y 224 veces a escala mundial. En el supuesto caso de un ancho de banda de 40 MHz, la capacidad del sistema es de 240 canales por célula, lo que arroja una capacidad

teórica máxima de 9,600 canales de voz duplex en el territorio continental de los E.U. y de 377,000 canales en todo el mundo. Aunque estos canales están uniformemente distribuidos en la superficie del planeta, el tráfico está distribuido de una manera no uniforme, concentrándose en las zonas terrestres. El sistema utiliza tres tipos de enlaces de comunicación: enlaces terminal de usuario - satélite, enlaces entre satélites y enlaces de conexión satélite - central. Los paquetes de comunicación procedentes de la terminal de usuario se transmiten a cualquier parte del mundo por enlaces entre satélites y enlaces descendentes hacia una terminal de usuario o bien a través de una central. El enlace entre una terminal de usuario - satélite funciona en forma bidireccional, transmitiendo y recibiendo en una misma banda y con un formato de acceso múltiple de un solo canal por ráfaga. El funcionamiento del sistema de satélites de órbita baja, LEO, es una banda contigua a la de los futuros sistemas móviles terrestres, y permitirá su interfuncionamiento con estos sistemas.

### Factores de Propagación y características de la antena móvil

En los enlaces del servicio móvil marítimo vía satélite, se produce una variación del nivel de la señal a la propagación por trayectos múltiples, sobre todo la debida a la reflexión en la superficie del mar, y es un parámetro importante en la concepción de un sistema móvil marítimo vía satélite. En los enlaces del SMTS, el efecto de sombra es otro factor importante, cuyo efecto aumenta con la frecuencia. Los estudios realizados en Australia por medio de mediciones a lo largo de carreteras bordeadas por árboles, demostrando que en la explotación en la frecuencia de 2.6 GHz en comparación con la de 1.5 GHz, hay una pérdida de calidad de funcionamiento de 2 dB, mientras que a 900 MHz hay una ganancia de 1 dB. Estos factores de propagación afectan a las características de sistema tales como el margen de enlace y la elección de la antena.

### Aspectos relacionados con las Frecuencias

Las entidades que explotan sistemas móviles vía satélite y sus usuarios, desean tener seguridad de que sus inversiones en los sistemas de satélites y en las terminales móviles durarán lo suficiente, como para poder amortizarlas. En consecuencia, se han preparado estimaciones de las necesidades de espectro de los tres servicios móviles vía satélite, hasta el año 2010 aproximadamente.

Al hacer estas estimaciones, es preciso distinguir entre el ancho de banda y el espectro necesario. Las necesidades del ancho de banda de una red de satélites, puede calcularse en función de tráfico de mensajes en las zonas servidas por el haz del satélite (o por un sistema de haces estrechos). Es preciso determinar entonces en que medida pueden repetirse (o reutilizarse) las frecuencias, entre diferentes haces de todas las redes que dan servicio a la zona geográfica en cuestión (zona del sistema regional o mundial). Esto permite establecer los factores de reutilización de frecuencias de las zonas correspondientes.

Las necesidades de ancho de banda serán diferentes en las distintas regiones o zonas del mundo, debido a las diferentes demandas de tráfico. Las estimaciones del ancho de banda utilizados como base para determinar las necesidades de espectro que se indican en este punto, se ha adoptado para tener en cuenta los sistemas que dan servicio a la región donde la demanda es máxima. Al

determinar las necesidades de espectro conviene tener en cuenta los factores de reutilización de frecuencia regionales y mundiales.

### Factores relacionados con la reutilización de frecuencia

El espectro que necesita un sistema de satélites, es igual a el ancho de banda necesario en la zona de cobertura del sistema dividido entre el factor de reutilización de frecuencia. En un sistema de haces estrechos con siete o más haces cercanos entre sí e igualmente cargados, se puede determinar el factor de reutilización, dividiendo el número de haces del sistema entre siete. El resultado proporciona el valor máximo teórico cuando todos los haces tienen el mismo tráfico. Este máximo teórico no puede alcanzarse nunca en la práctica, a causa de las desigualdades del tráfico entre los diferentes haces.

Para la reutilización mundial dentro de un mismo sistema (que emplee haces globales) y para algunos sistemas regionales de la primera generación, es poco probable que pueda preverse un valor superior a 1.4. El grado de reutilización que es posible obtener entre sistemas distintos vía satélite, depende de los resultados de la coordinación. De ahí que no resulte posible prever un valor de reutilización global entre sistemas diferentes a escala mundial. A modo de ejemplo del cálculo de factores de reutilización de frecuencia, un sistema geostacionario con 24 haces estrechos para América del Norte, tendría un factor de reutilización de frecuencia máximo de 3.4. Se ha propuesto un sistema de órbita terrestre baja, que hace posible un factor de reutilización de más de 40 haces estrechos. Por lo tanto, independientemente del tipo de órbita utilizado, se pueden emplear haces estrechos para obtener una reutilización de frecuencia mayor dentro de un sistema y por ende una utilización más eficaz del espectro. La utilización de haces estrechos puede mejorar la eficacia de utilización del espectro, no solo gracias a la correspondiente reutilización de frecuencia dentro de un sistema, sino también gracias a las posibilidades de compartición de frecuencia entre sistemas del servicio móvil vía satélite.

### Necesidades de los servicios móviles

Las necesidades del servicio móvil corresponden al periodo que termina en el año 2010, porque las atribuciones del espectro que adaptó la WARC-92 deberán tener en cuenta los sistemas móviles vía satélite, que van a funcionar a plena capacidad hacia el final de su vida útil.

En la tabla 5.6.1 se indica una serie de necesidades, debido a la dificultad para pronosticar las necesidades de tráfico, la tecnología de que dispondrán los sistemas y las necesidades resultantes de espectro dentro de 20 años.

Estas estimaciones conducen a una necesidad mínima total de 88.8 MHz y a una necesidad probable de 164.1 MHz en cada sentido. Las estimaciones espectrales se fundan en las necesidades de las zonas geográficas de máximo tráfico, tomando en consideración las zonas adyacentes.

Servicio	Necesidad Mínima MHz	Necesidad Probable MHz
SMA(R)S	14.5	17.5
Otros SMAS	15.0	18.0
SMTS	41.3	87.6
SMMS	17.0	40.0
Auxilio y Seguridad	1.0	1.0

Tabla 5.6.1 Necesidades espectrales totales de los servicios móviles vía satélite en las bandas de frecuencia de 1 a 3 GHz en cada sentido en el año 2010

Sería razonable considerar una situación en la que el sistema móvil vía satélite pudiera compartir frecuencias con otros servicios existentes y proyectados, a fin de promover una utilización eficaz y flexible del espectro. En un contexto de este tipo, las limitaciones de la compartición entre servicios en ciertas gamas de frecuencias o zonas del mundo podría impedir el empleo del espectro por uno o más servicios. Estas restricciones impuestas por la compartición entre servicios, limitarían en la práctica la capacidad para utilizar plenamente el espectro atribuido. Se requieren atribuciones que podrían superar, la necesidad nominal de espectro prevista del sistema móvil vía satélite, si estas atribuciones están compartidas.

### Ubicación del espectro necesario

En la gama aproximada de 1 a 3 GHz hay tres bandas atribuidas, a uno o más servicios móviles vía satélite: 800-900 MHz, 1.5-1.6 GHz y 2.5-2.6 GHz. Las bandas de 800-900 MHz y 2.5-2.6 GHz están atribuidas para una escala regional o nacional (únicamente para la comunicación dentro de las fronteras del país), y están sujetas a los procedimientos del artículo 14 del Reglamento de Radio Comunicaciones. La mayoría de los sistemas móviles vía satélite existentes y proyectados funcionan en las bandas 1.5-1.6 GHz, que tienen atribuciones mundiales dentro de la gama de 1,530-1,559 MHz para enlaces descendentes y 1,636.5-1,660.6 MHz para enlaces ascendentes. Cabe señalar que la atribución para el enlace ascendente en 1.6 GHz tiene un espectro de 5 MHz mayor que la del descendente en 1.5 GHz.

### Criterios para la elección de bandas para los enlaces hacia y desde estaciones terrenas

Es preciso considerar los siguientes factores al determinar las bandas adecuadas para asignar espectro a los servicios móviles vía satélite en la gama aproximada de 1 a 3 GHz.

Las asignaciones mundiales comunes a los servicios móviles vía satélite, son sumamente deseables a fin de reducir al mínimo los costos del sistema y particularmente para satisfacer las necesidades operacionales del SMA(R)S y del SMMS. Son también preferibles para los sistemas satelitales de órbita baja, en relación con el establecimiento de normas mundiales comunes para todas las clases de servicio de las estaciones terrenas móviles.

Por razones técnicas y en consecuencia, operacionales y económicas, es preferible que las asignaciones nuevas estén cerca de las ya existentes del servicio móvil vía satélite, con el objeto de:

- Reducir al mínimo la carga útil del satélite.
- Permitir que las estaciones terrenas móviles se sintonicen tanto en las bandas existentes como en las nuevas.
- Poder utilizar satélites como reserva y prever un medio de transición para los servicios existentes.

Si es necesario uniformizar las asignaciones descendentes y ascendentes en un rango de 1.5-1.6 GHz, manteniendo al mismo tiempo la frecuencia de transposición actual entre estas bandas de 101.5 MHz, el espectro descendente adicional tendría que estar situado en el extremo inferior de la banda de 1.5 GHz.

En las bandas de frecuencias más bajas, las pérdidas de propagación y la potencia de transmisión de las estaciones terrenas móviles, sobre todo las que se utilizan para comunicaciones personales, son mínimas. Conviene considerar también otros factores técnicos, tales como el tamaño de la antena.

Se debe tener en cuenta la eficiencia de la utilización de la banda de frecuencias.

Si el espectro mundial común de que se dispone no es suficiente para atender a la totalidad de la demanda, podría ser aceptable una atribución de carácter regional o sobre regional para satisfacer algunas de las necesidades. Sin embargo esto podría tener efectos adversos en el costo y en el interfuncionamiento de los sistemas.

Los sistemas de órbita baja por encima de 1 GHz, pueden funcionar en forma bidireccional, razón por la cual no necesitan una separación de frecuencia entre los espectros del enlace ascendente y descendente.

### Compartición dentro de un sistema y entre sistemas móviles vía satélite

Los elementos que hay que considerar cuando se trata de mejorar el aislamiento entre sistemas de los servicios móviles vía satélite, para ser posible la compartición de frecuencias son: las características de radiación de la antena fuera de su eje, la posibilidad de utilizar polarización ortogonal, entrelazado de canales y el aislamiento geográfico. En muchas situaciones puede hacer falta una combinación de estas técnicas para conseguir la compartición. Cuando un sistema o ambos utilizan antenas de satélite multihaz, puede disponerse de una discriminación de antena importante en la mayoría de los haces. La discriminación que ofrecen las antenas de estaciones terrenas móviles, tanto de ganancia media como alta, facilita también la compartición y puede ser suficiente por sí sola para permitir la compartición de frecuencias entre sistemas. Además, las técnicas siguientes pueden venir a relacionarse para mejorar la compartición:

- Reducción de la ocupación del espectro mediante la compresión de los datos y aceptación de más interferencia.
- Las asignaciones de frecuencia portadoras pueden ajustarse durante la coordinación entre los sistemas móviles vía satélite, para armonizar los tipos compatibles de portadoras de manera que se consiga una compartición eficaz.
- Empleo del conocimiento, en tiempo real de los otros sistemas que funcionan en una banda de frecuencias y aplicación de mecanismos de control que adapten la utilización de frecuencias en un instante determinado de tiempo.
- Las diferencias geográficas en la carga de tráfico pueden facilitar la compartición.
- Las diferencias de horarios en la carga de tráfico debido a las diferentes zonas geográficas de que se trata, pueden aprovecharse también para mejorar la utilización general de los sistemas móviles vía satélite compartidos.

### Compartición con el servicio fijo

Una evaluación preliminar de la compartición entre servicios móviles vía satélite y el servicio fijo indica que existen posibilidades de interferencia perjudicial entre estos servicios. En un estudio se investigó la viabilidad de la compartición entre redes de servicio fijo y redes móviles que emplean satélites geoestacionarios, en la gama general de frecuencias entre 1,427 MHz y 2,690 MHz. Se consideraron dos de los cuatro casos posibles de interferencia indicados en la siguiente tabla; la interferencia causada por enlaces descendentes de satélites a estaciones terrenales y la causada por terrenales a enlaces ascendentes de satélite. El reglamento de radio comunicaciones impone restricciones a las estaciones transmisoras de servicios fijos y móvil para proteger los servicios espaciales en las bandas de frecuencias en los que estos últimos tienen la misma categoría de atribución que el servicio terrestre.

Es posible la compartición entre redes móviles vía satélite y redes de servicio fijo, siempre y cuando se imponga a las redes de ambos servicios unas restricciones adicionales, haciendo que las redes del servicio fijo de alta potencia no apunten dentro de unos 4° a 6° de la órbita geoestacionaria, la estación espacial de la red móvil vía satélite no sufriría interferencia. La antena receptora del servicio fijo tendría que evitar la órbita en la misma medida. La discriminación de la antena del satélite fuera de su eje podría garantizar un margen suficiente en ciertos casos.

Para el caso de interferencia co canal (interferencia con el canal de a lado) entre una estación terrena móvil terrestre o marítima y una supuesta estación fija de banda ancha de un enlace de relevadores radio eléctricos de referencia. En la tabla 5.6.2 se indican las distancias de separación necesarias considerando valores de I/N de -10 dB para las estaciones terrenales móviles y de -6 dB para las estaciones fijas. Este análisis se basó en las frecuencias cercanas al punto medio de la gama 1-3 GHz y en la propagación sobre un suelo uniforme con un radio terrestre equivalente de 4/3. Para las estaciones terrenales de aeronave se necesitarían distancias de separación más grandes.

Sentido de transmisión del MSS	Sistema MSS	Ganancia de la antena fija hacia la estación terrena	Ganancia de la antena de estación terrena hacia la estación fija	Distancia de separación requerida
Enlace descendente	Global	33 dBi	0 dBi	65 Km
Enlace descendente	Estrecho	33 dBi	12 dBi	176 Km
Enlace descendente	Estrecho	33 dBi	0 dBi	74 Km
Enlace descendente	Global	0 dBi	0 dBi	37 Km
Enlace descendente	Estrecho	0 dBi	12 dBi	46 Km
Enlace descendente	Estrecho	0 dBi	0 dBi	40 Km
Enlace ascendente	Global	33 dBi	0 dBi	75 Km
Enlace ascendente	Estrecho	33 dBi	12 dBi	70 Km
Enlace ascendente	Estrecho	33 dBi	0 dBi	46 Km
Enlace ascendente	Global	0 dBi	0 dBi	46 Km
Enlace ascendente	Estrecho	0 dBi	12 dBi	34 Km
Enlace ascendente	Estrecho	0 dBi	0 dBi	15 Km

Tabla 5.6.2 Distancia de separación necesaria entre estaciones terrenas móviles y estaciones fijas.

Haría falta una separación geográfica o de frecuencia entre las estaciones terrenas móviles, a fin de aliviar esta situación de interferencia. Tal separación sería posible, en particular para la compartición con un sistema de satélites multihaz, uno de cuyos haces utilice solamente una pequeña parte del espectro de que dispone el servicio móvil vía satélite, es decir, en una zona geográfica determinada.

### Compartición con el servicio móvil

En lo que respecta a la compartición con sistema de servicio móvil terrestre, se ha llegado a la conclusión, fundándose en los parámetros típicos del sistema, de que la compartición coconal en una misma zona de servicio, podría imponer unos acondicionamientos importantes al diseño del servicio móvil terrestre vía satélite propuesto. Se reconoce que la existencia de antenas de satélite de haz estrecho de alta ganancia, ofrece la posibilidad de reducir estos acondicionamientos a proporciones aceptables en un futuro predecible. Son válidas unas conclusiones similares en lo que respecta a la compartición con otros sistemas móviles, con excepción de que no parece posible la compartición coconal entre el sistema móvil aeronáutico vía satélite y los servicios móviles aeronáuticos, debido a las grandes distancias de separación que serían necesarias entre las estaciones terrenas asociadas y las estaciones móviles o de base. Puede que no resulte posible la compartición entre estaciones móviles vía satélite y estaciones personales de los futuros sistemas públicos de telecomunicaciones móviles terrestres en el enlace ascendente del sistema móvil vía satélite, debido a los efectos acumulativos de las emisiones de las terminales de los futuros sistemas móviles terrestres en la gran zona geográfica, cubierta por la antena del vehículo espacial del servicio móvil vía satélite. En trayecto descendente es posible la compartición, teniendo en cuenta la interferencia causada en los futuros sistemas móviles terrestres por las transmisiones de las estaciones espaciales. Pero la protección de los receptores exigirá una separación geográfica o de frecuencia, y una estación terrena móvil de aeronave, sufrirá una degradación bastante mayor que una en tierra.

## Compartición con los servicios de radiolocalización

Se encontró que por lo general, las distancias de separación calculadas para dos frecuencias, para la compartición coconal entre radares y estaciones móviles vía satélite (con haces tanto mundiales como estrechos) eran muy grandes; por ello, la viabilidad de compartición coconal del sistema móvil vía satélite con el servicio de radiolocalización en el enlace descendente es limitada. Se observa, sin embargo, que las distancias de separación se reducen mucho con unos desplazamientos de las frecuencias de sintonía de siquiera 1 o 2 MHz.

## Compartición con los servicios fijos vía satélite y la radiodifusión vía satélite (sonora)

Si las densidades de flujo de potencia en el enlace descendente utilizadas, en los sistemas de radiodifusión vía satélite sonora, sistemas fijos vía satélite y sistemas móviles vía satélite tuvieran niveles similares, dichos sistemas podrían compartir frecuencias, siempre que se utilizaran antenas directivas en las estaciones terrenas. Es poco probable, no obstante que se cumplan las condiciones anteriores en el caso de la radiodifusión. El posible uso de receptores con antenas casi omnidireccionales y las densidades de flujo de potencia más elevadas, producidas por la radiodifusión en la superficie de la Tierra, pueden exigir una gran separación orbital entre los satélites de radiodifusión vía satélite y los móviles vía satélite, y un importante desplazamiento de frecuencias para obtener la compatibilidad.

## Compartición con el servicio de radiodeterminación vía satélite RDSS

La compartición de los enlaces ascendentes del sistema móvil vía satélite, parece factible en una banda del RDSS en el sentido tierra - espacio. En condiciones de cobertura común, pueden existir límites a la capacidad de interferencia en ambos sentidos, y dichos límites pueden ser estrictos si las transmisiones del servicio móvil vía satélite tienen densidades de PIRE superiores al límite impuesto por R.R. 2548A a las transmisiones del RDSS. Además, es necesario realizar nuevos estudios para tener en cuenta el efecto del aumento de la carga en un transponder del RDSS por la acumulación de transmisiones del servicio móvil vía satélite. La compartición puede facilitarse mediante la discriminación de la antena de la estación terrena móvil del sistema móvil, mediante el aislamiento de las zonas de servicio de enlace ascendente de los sistemas RDSS y móvil, o mediante métodos de modulación en el sistema móvil vía satélite.

Algunas de las evaluaciones quizás requieran un estudio posterior y los resultados de los estudios del CCIR muestran que la compartición entre los servicios móviles y otros servicios es por lo general, difícil. Sin embargo, en algunos de los casos y con arreglo a ciertos criterios, puede conseguirse la compartición entre determinados tipos de servicios móviles, no solo mediante la tradicional segmentación del espectro o separación geográfica, sino también mediante técnicas especiales para evitar interferencias. La evolución de los servicios móviles vía satélite depende de la atribución de un espectro adicional y exigirá una mayor compartición con otros servicios.

En la tabla 5.6.3 se muestra la viabilidad general de la compartición que existe entre los sistemas vía satélite geostacionarios y los sistemas de otros servicios.

Servicio con el que se considera la compatibilidad	Sentido de transmisión del servicio móvil vía satélite	
	Tierra - Espacio	Espacio - Tierra
Fijo (sistema de relevadores radio eléctricos)	Media	Media
Móvil	Media - Baja	Media - Baja
Radio localización	Media	Media
Radio astronomía	Media	Baja
Operaciones espaciales en banda estrecha (1525-1530 MHz)	Media	Media
Servicio fijo vía satélite	Media - Baja	Media - Baja
Servicio de radiodifusión vía satélite (sonoro)	Baja	Baja
Meteorología vía satélite e investigación espacial, explotación de la Tierra vía satélite y operaciones espaciales cerca de 2 GHz	Baja	Baja

Tabla 5.6.3 Viabilidad general de la compartición entre sistemas vía satélite geostacionarios y sistemas de otros servicios en la gama aproximada de 1 a 3 GHz

**Buena:** La compartición es posible, para diversos sistemas móviles vía satélite, entre estaciones situadas en una misma zona geográfica, posición orbital, en zonas o posiciones orbitales cercanas entre sí.

**Media:** Puede que requieran normas técnicas para que sea posible la compartición entre estaciones situadas en zonas geográficas o posiciones orbitales cercanas y distantes, y la capacidad de los sistemas móviles vía satélite quedará muy probablemente limitada.

**Baja:** La compartición no resulta práctica, es decir, que obtendría muy poca capacidad, si es que obtiene alguna, para los sistemas móviles vía satélite, incluso con grandes separaciones geográficas u orbitales entre las estaciones.

## 5.7 FUTURAS REDES DE SISTEMAS MÓVILES SATELITALES EN ORBITA BAJA

Dentro de los proyectos sobre comunicaciones móviles vía satélite se están desarrollando algunos sistemas y tecnologías para satisfacer las necesidades de comunicaciones de voz y datos, como los que se mencionan a continuación.

### 5.7.1 PROYECTO IRIDIUM

Es un sistema previsto de satélites en órbita polar baja para comunicaciones personales que ofrecerá comunicaciones de voz y datos a escala mundial por medio de terminales móviles y terminales portátiles con antenas omnidireccionales. La constelación estará formada por 66 satélites en órbita polar baja a una altitud de 770 Km. ver fig. 5.7.1.

Cada satélite generará 37 haces estrechos, formando cada uno de ellos una célula de aproximadamente 670 Km de diámetro en la superficie de la Tierra, por lo que se cubriría la totalidad del globo con 1,574 células, formando un sistema móvil celular por satélite. Además se utilizarán los principios de la reutilización celular, con un patrón de reutilización nominal de 7 células generado mediante Multiplexaje por División de Tiempo.



Figura 5.7.1 Constelación satelital del Sistema IRIDIUM.

Las frecuencias se reutilizarán seis veces en una zona grande tal como el territorio continental de los E.U., y 224 veces a escala mundial. Suponiendo una anchura de banda de 40 MHz, la capacidad del sistema sería de 240 canales por célula, lo que arroja una capacidad teórica máxima de 9,600 canales en todo el mundo. Aunque estos canales están uniformemente distribuidos en la superficie de la Tierra, el tráfico estará distribuido de una manera no uniforme, concentrándose en las zonas terrestres.

El sistema utilizará tres tipos de enlaces de comunicación como se muestra en la fig. 5.7.2:

- Enlace terminal de usuario/satélite
- Enlaces entre satélites
- Enlaces de conexión satélite/centro de control

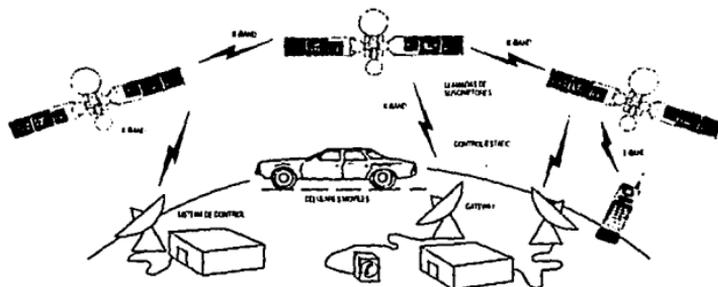


Figura 5.7.1 Sistema de comunicación IRIDIUM.

Los paquetes de comunicación procedentes de la terminal de usuario se retransmiten a cualquier parte del mundo por enlaces entre satélites y enlaces descendentes ya sea hacia una estación de control u otra terminal de usuario. El enlace terminal de usuario/satélite funciona en forma bidireccional, transmitiendo y recibiendo en una misma banda y con un formato de acceso múltiple de un sólo canal por ráfaga.

El funcionamiento del sistema de órbita baja en una banda contigua a la de los futuros sistemas móviles terrestres permitiría su interfuncionamiento con estos sistemas.

En este sistema existirá comunicación entre los satélites y las CC terrestres en la banda Ka y la comunicación entre el equipo móvil y los satélites en la banda L, proporcionará servicio a los usuarios para realizar llamadas desde cualquier parte del mundo por el costo de \$ 3 Dls. U. S. por minuto. Los primeros satélites fueron lanzados en 1994, y empezará a funcionar en 1997.

El sistema será una expansión de los actuales sistemas celulares terrestres además de tener la capacidad de enlazarse con la RTPC a través de las CC, las cuales tendrán la función de

almacenar la tarificación de las llamadas de cada usuario, de rastrear la ubicación de los mismos y de interconectarlos con sistemas terrestres. Los servicios estarán disponibles en base a una conmutación de país a país ya sea por medio de negociaciones con los gobiernos o por compañías telefónicas.

Las unidades portátiles de mano buscarán utilizar canales terrestres, utilizando un circuito satelital; sólo si un circuito de radio celular local no está disponible. La unidad será del tamaño aproximado de un teléfono celular convencional (ver fig. 5.7.3), además de estar diseñada con un puerto de datos para el envío de fax y/o archivos de computadora.



Figura 5.7.2 Auricular (Dual-Mode IRIDIUM Subscriber Unit, DMISU)

Motorola dará licencia a fabricantes para construir las unidades, las cuales se espera tengan un costo de \$ 3,000 Dols. U. S.. Esta empresa pidió la clasificación de fabricantes y vendedores de equipo para su desarrollo y lanzamiento de los satélites. Entre estos se encuentran los siguientes que han firmado acuerdos preliminares:

- BRITISH AEROSPACE
- DEUTSCHE AEROSPACE
- GENERAL ELECTRIC
- LOCKHEED
- MATRA MARCONI AND RAYTHERON

Entre otras cosas, el sistema negoció con el consorcio de servicio satelital público VITA, para prestar servicios de asistencia en casos de desastres.

El corazón del sistema satelital celular de IRIDIUM radica en Centrales de Control por todo el mundo. Las llamadas serán procesadas en dichas centrales y enlazadas a los sistemas celulares terrestres o a la RTPC existente. Los usuarios serán registrados cada uno en su zona y se tendrá el registro de todas sus llamadas, además de transferir hacia y desde los sistemas telefónicos y proceder a la tarificación y capacitación de información.

La especificación en el número de centrales de control en un área determinada prohíbe el establecimiento de una en cada ciudad. Por lo que para unas cuantas ciudades con una gran superficie terrestre las áreas remotas pueden ser atendidas por centrales portátiles más pequeñas las cuales operarán en la banda L y servirán como interfaces en esas ciudades para las centrales más grandes.

Los enlaces de comunicación de este sistema, son en forma bidireccional por lo que la señal de enlace ascendente y descendente se proporcionan en la misma banda de frecuencia (Banda L).

A continuación se resumen las características del sistema:

#### Características del proyecto IRIDIUM

- Motorola / 66 satélites en órbita polar baja ( aprox. 760 Km)
- 6 planos / 11 satélites por plano
- Aprox. 300 Kg c/u / Aprox. 2 m de largo y 1 m de diam.
- Tiempo promedio de vida: 5 años
- Banda L (1610 a 1625.5 MHz bidireccional)
- Enlace centro de control - satélite 27.5 - 30 GHz
- Enlace satélite - centro de control 18.8 - 20.2 GHz
- Enlace entre satélites 22.5 - 23.5 GHz
- Posiciones "desfasadas" en cada plano para evitar colisiones en los polos
- Costo aproximado: \$ 1 000 millones de Dlls. U. S. o más
- Lanzamientos múltiples por lanzador más lanzadores ligeros (por ejemplo cohetes Pegasus)
- Acuerdo Motorola-INMARSAT para estudios por 1 año

- Comunicación mundial instantánea entre teléfonos portátiles
- Complemento de sistemas celulares terrestres y de áreas remotas o poblaciones de baja densidad
- Codificación digital de voz / Tx a 4.8 Khps
- Competidores fuertes AMSC (E.U.), MSAT (CANADÁ), AUSSAT B, SOLIDARIDAD, etc.
- Cada satélite generará 37 células hexagonales de aprox. 650 Km de diámetro
- Haces múltiples con re utilización de frecuencias
- Conmutación automática a bordo / señal transferida de una célula a bordo
- Se tiene una trayectoria de enlace corta por lo cual se tienen las siguientes ventajas:

Mayor potencia de recepción.

Terminales baratas con antenas más sencillas.

### 5.7.2 PROYECTO ELLIPSO

Este sistema a diferencia del IRIDIUM no es grande y fue uno de los primeros concursantes LEO el cual será una extensión y no un reemplazo de la red celular pero su plan consiste en cubrir el mercado de E.U..

ELLIPSO usará pequeños satélites de bajo costo en la órbita elíptica ofreciendo un área de cobertura grande y servicio de localización a vehículos. Este sistema contará con una constelación de 24 satélites iniciando con 6 satélites en 1993 y la constelación completa estará a fines de 1995 dando servicio las 24 horas. El modo de operación será el de Acceso Múltiple por División de Código.

Las frecuencias que se usarán en este sistema son:

- Enlace ascendente 1610 - 1626.5 MHz
- Enlace descendente 2483.5 - 2500 MHz
- Contará con 3 órbitas elípticas

Se espera que el costo del servicio sea de 50 centavos de dólar por minuto y la terminal del usuario tenga un costo de \$ 300 Dlls. U. S..

A finales del siglo el sistema podría cubrir del 50 al 65 % de la ciudad de Nueva York sirviendo a 250 mil usuarios de los E.U..

### 5.7.3 PROYECTO GLOBALSTAR

Sistema desarrollado por la compañía de servicio satelital LORAL/QUALCOMM y que proporcionará servicios de voz móvil y localización. El plan empezará con la construcción de un satélite siguiendo la aprobación de la FCC.

El servicio empezará en 1997, permitiéndole a los usuarios hacer llamadas telefónicas con aparatos de mano o teléfonos montados en los vehículos y tendrán la capacidad de conectarse a la RTPC y a la red privada (fig. 5.7.4).

GLOBALSTAR consiste de un total de 48 satélites, con 8 reservas en órbita y combinará la utilización de satélites LEO con el sistema de comunicación terrestre existente además de usar la técnica de espectro expandido. Contará con más de 6,500 circuitos duplex o llamadas telefónicas simultáneas estarán disponibles a 104.000 usuarios del mundo.

Cada satélite contará con seis haces puntuales que comprenderán cobertura regional en la superficie terrestre, a diferencia de otros sistemas, GLOBALSTAR no se enfocará a áreas urbanas sino a mercados suburbanos y regionales; Generalmente el sistema intenta cubrir aquellas áreas donde el sistema celular terrestre no preste servicio, o aquellas regiones que no cuentan con recursos económicos suficientes para invertir en una infraestructura compleja.

GLOBALSTAR estima que puede cubrir 3,000 millas por \$ 350,000 Dls. U. S.. Las llamadas serán establecidas y procesadas por un sistema distribuido de centrales de control lo cual resulta más barato.

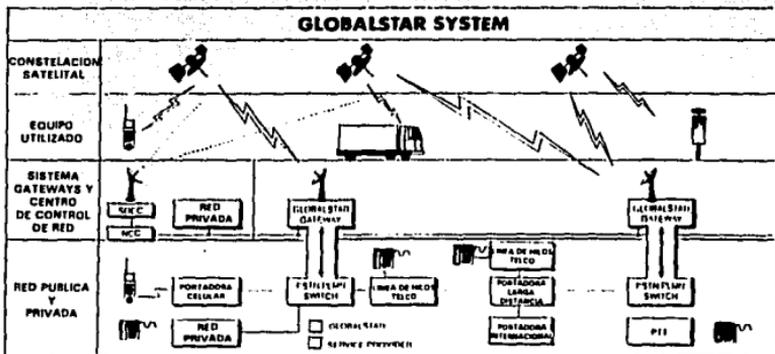


Figura 5.7.4 Arquitectura del Sistema GLOBALSTAR.

Este sistema considera que el 90 % del tráfico de un nuevo punto dado es una solicitud para una conexión de llamada local, por lo que el sistema tiene que ser configurado para enlazar la unidad móvil a una CC terrestre a través de un sólo satélite.

Esto significa que el sistema no requiere del enlace a través del satélite por lo que se espera que la mayoría de los sistemas celulares y otros sistemas podrán suministrar la gran parte de los servicios de forma directa a los usuarios de GLOBALSTAR a través de la red CC existente.

Se estima que el costo será de entre \$ 800 millones y \$ 1.2 billones de Dols. U. S. incluyendo la construcción de satélites y lanzamiento de los mismos, además de los segmentos terrestres en el primer año de operación del servicio.

Los representantes de este sistema planean negociar con socios limitados a la alianza del sistema respaldado por:

- AEROSPATIALE
- ALCATEL
- ALENIA Y LORAL

#### **5.7.4 PROYECTO ARIES**

La Compañía de Comunicaciones Constellation está trabajando con una constelación de 48 satélites llamada ARIES para proporcionar servicios de voz y datos móviles. El sistema promete proporcionar un enlace de comunicación entre una terminal de usuario y una CC terrena. Las CC serán conectadas entre ellas y con la RTPC. Las terminales de voz operarán como un teléfono celular.

Este sistema como otros trata de cubrir las áreas que no son atendidas por el sistema celular terrestre ver fig. 5.7.5, además de prestar servicio telefónico, telex, fax y datos. Dado que los usuarios están interconectados a la RTPC Nacional e Internacional y a las CC, pueden acceder el servicio a través de casetas telefónicas o terminales portátiles.

Se planea dos tipos de terminales de usuarios: uno para uso de móvil y otro que será una unidad portátil. La unidad móvil consiste de tres módulos:

Un panel de control que incluye un aparato telefónico y un indicador de estados y controles, el módulo electrónico contiene el equipo de banda base, FI y RF, y el tercero, el módulo de antena que se coloca en el techo del vehículo. La unidad portátil incluye los mismos elementos que portátil pero en forma compacta. Para la puesta en operación del sistema, la terminal del usuario explora la portadora TDMA/CDMA utilizando códigos almacenados en memoria. Después de que una portadora es aceptada, el usuario puede registrarse con el sistema para que las entradas de llamadas se autoricen o para pedir acceso. En cualquier caso, la posición del usuario se reporta al sistema ARIES.

El costo del sistema de la primera generación se estima en \$ 29 millones de Dlls. U. S., las terminales de usuarios en \$ 1.500 Dlls. U. S. teniendo una red de 100,000 usuarios en todo el mundo. El costo del servicio se espera sea más bajo que el sistema satelital actual y más alto que el del servicio terrestre.

Los socios del sistema son:

- DEFENSE SYSTEM INC. (En el desarrollo de los satélites)
- PACIFIC COMMUNICATIONS SCIENCES. (En terminales de usuarios)
- INTERNATIONAL MICROSPACE INC. (En el lanzamiento de los satélites)

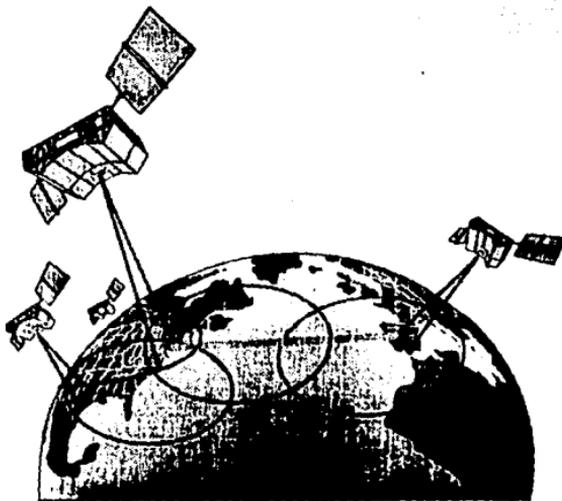


Figura 4 7.5 Cobertura de los satélites

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Los satélites artificiales han cambiado la comunicación en el mundo, como en sus inicios este servicio era exclusivo para las comunicaciones militares y poco después sólo a algunos importantes empresarios que podían costear el servicio, pero a medida que a transcurrido el tiempo es posible que todos podamos disfrutar de las ventajas que estos complejos sistemas aportan a la sociedad a precios accesibles.

La característica más importante en un sistema de comunicación vía satélite es establecer comunicación de manera casi instantánea a cualquier parte del planeta y que el servicio móvil por satélite aumenta las comunicaciones públicas y privadas.

La implementación de sistemas y los requerimientos de usuarios de futuros sistemas de comunicación personal y de radiodifusión de audio digital, usando las bandas de frecuencia recientemente asignadas por la WARC'92, proporcionará una mayor difusión y mayor necesidad para la explotación adecuada a estos servicios.

El sistema MAGSS presentado está basado en 14 satélites en órbita circular intermedia, el cual muestra un compromiso entre la complejidad requerida del satélite por el equivalente en satélites GEO, y el gran número de satélites requeridos por LEO.

La Órbita Elíptica Multirregional Altamente Inclinada (M-HEO(8)) abrirá un nuevo mercado a la aplicación de la radiodifusión de audio digital con datos auxiliares y servicios de navegación en tres áreas claves de negocios del mundo como son Europa, Norte América y Asia. La radiodifusión por satélite es atractiva para el usuario exigente del servicio de radio internacional de alta calidad.

La demanda del mercado en las comunicaciones móviles telefónicas se ha venido incrementando desde la introducción de los sistemas de telefonía celular. Las proyecciones indican que a pesar del crecimiento de la red celular, existirá una demanda significativa de tráfico (voz y datos) para áreas donde no haya cobertura de los sistemas terrestres. Esta demanda deberá ser satisfecha por los sistemas satelitales móviles terrestres.

Así el sistema satelital es visto en un rol complementario en lugar de una competición con los sistemas terrestres en una red integrada de telecomunicaciones. Un posible escenario puede ser que inicialmente los sistemas satelitales proporcionen servicio en las áreas rurales junto con áreas aún no cubiertas por los sistemas terrestres. Este servicio puede extenderse hasta un punto óptimo donde puedan coexistir los diversos sistemas de telecomunicaciones

Muy significativamente, todo esto lleva a la potencial evolución hacia la red de comunicaciones móviles del siglo XX donde la comunicación lugar a lugar dará paso a la comunicación persona a persona, desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Las redes de comunicación por satélite jugarán un papel cada vez más importante para extender los beneficios de la Era de la Información a todos los ciudadanos del mundo. Los sistemas de satélites que no son Geoestacionarios, prometen añadirse a las capacidades de los satélites Geoestacionarios tradicionales. Si bien la colocación de los sistemas de satélites tanto en LEO

como en HEO presentan nuevos temas reglamentarios que son todo un reto, el potencial de suministrar el vasto ideal de beneficios humanitarios hace que estos retos tengan que ser resueltos.

Los avances tecnológicos abren nuevas frecuencias al uso del satélite. En particular la banda Ka, es la única banda de frecuencias asignada en forma internacional al servicio de satélites con suficiente amplitud de ancho de banda para integrar nuevos sistemas de satélites de banda amplia.

Dada la importancia de los satélites que no son Geoestacionarios, debe establecerse una asignación en la banda Ka antes de que la colocación en forma aleatoria de los sistemas GEO en la banda clausure la opción. Afortunadamente, este tema se tratara en la WARC-94, donde se procura una asignación que no sea de GEO para integrar los enlaces alimentadores para los sistemas MSS. Idealmente, dicha asignación tendrá en cuenta la necesidad de integrar futuros sistemas que no sean GEO. Como mínimo integrar todos los sistemas de satélite que no sean Geoestacionarios propuestos actualmente en la banda.

Los diseños básicos de terminales móviles como el Teléfono Móvil Serie 1000 de la Westinghouse, abarca una amplia variedad de opciones de interface incluyendo voz, fax, datos, GPS, celular y servicios truncados de radio por satélite.

Por otro lado un Sistema como el MSBN, el cual creó grandes expectativas al obtener magníficos resultados en las pruebas a las cuales fué sometido, explicándose a detalle los resultados obtenidos, así como el equipo que caracteriza a este sistema. De igual forma se presento el sistema conformado por escenarios móviles con ACTS.

Se realizo una descripción amplia acerca de las principales antenas y arreglos existentes para los Servicios Móviles por Satélite. El desarrollo amplio de conceptos teóricos que envuelve a cada uno de estos arreglos y antenas, nos ofrece una visión mas amplia de la construcción de los distintos tipos, además de que permite realizar un análisis más profundo de estas tecnologías y observándose que se cuenta con una gran variedad de características y atributos, respaldados por importantes compañías y laboratorios.

Debido a los requerimientos y a la demanda en el mercado en respuesta a estos equipos, se está creando una competencia entre ellos debido a las altas cualidades de cada uno de estos. Ofreciendo al consumidor una gran calidad y amplia variedad de buenas posibilidades. De esta manera se están desarrollando mejores expectativas para el futuro.

Los Grandes LEO's como Motorola, Globalstar, Constellation y Ellipso, proponen sus tecnologías para proporcionar un desarrollo adecuado a la comunicación móvil personal ya sea de voz y/o datos. Algunos de manera regional y otros de forma global, proporcionando interconectividad con las redes terrestres ya establecidas y futuras redes de comunicaciones.

De esta forma se presenta un panorama de los sistemas y tecnologías que hoy en día se estan desarrollando y que son denominados como "Tecnología de Punta". Ya que esta tecnología es una gran alternativa para las comunicaciones móviles personales del siglo XX.

## ACRÓNIMOS

## ACRÓNIMOS

AFC	Compensación Automática en Frecuencia	Automatic Frecuenci Compesation
AMSC	Corporación de Satélite Móvil Americana	
AMPS	Servicio Telefónico Móvil Avanzado	Advance Mobil Phone Service
APL	Laboratorio de Física Aplicada	Applied Physics Laboratory
ASTRA	Aplicación de la Tecnología Espacial Relativa a la Aviación	Application of Space Technology Relating to Aviation
ASTP	Avanzados Sistemas de Tecnología en Programas	Advanced System Technology Programme
ATS	Serie de Algunos Satélites	
BLQS	Banda Limitada Cuasi Sincrona	Band Limited Quasi Synchronous
BLU	Banda Lateral Única	
BRI	Velocidad Básica	Basic Rate
BS	Estación Base	Base Station
CAS	Señal de Canal Asociado	Channel Associated Signalling
CCIR	Comité Consultor Internacional de Radio	
CCS	Señal de Canal Común	Channel Comun Signalling
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código	Code Division Multiple Access
CEPT	Comité Europeo de Correo y Telecomunicaciones	
CIC		Circuit Identification Code
CIS	Comunivienestar de Estados Independientes	Commonwealth of Independent States
CMS	Comunicaciones Móviles por Satélite	
COMSAT	Corporación de Satélites de Comunicación	Communication Satellite Corporation
CP	Control de Procesamiento	Control Processing
CPA	Correspondencia Publica con Aeronaves	
DBF	Formadores de Haces Digitales	
DBS-R	Radio Difusión Directa por Satélite	
DN	Número de Directorio	Directory Number
DPC		Destine Point Code
EERI.	Laboratorio de Investigación de Energía Eléctrica	
EIHF	Extremadamente Alta Frecuencia	Extremely High Frecuency
EIA	Asociación de Industrias Electrónicas	Electronic Industrys Asociation
EFIE	Ecuación Integral de Campo Eléctrico	
EGC	Llamadas de Grupo Realzado	Enhanced Group Call
EMS	Satélite Móvil Europeo	
ESA	Agencia Espacial Europea	European Space Agency
ETSI	Instituto de Normas de Telecomunicaciones en Europa	
FACA	Comité Consejero de Acto Federal	Federal Advisory Committe Act

FAA	Administración de Aviación Federal	Federal Aviation Administration
FANS	Futuros Sistemas de Navegación Aérea	Future Air Navigation System
FC	Componentes Funcionales	Functional Components
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones	Federal Communications Commission
FCC	Canal Común Delantero	
FES	Estación de Tierra Fija	
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia	Frequency Division Multiple Access
FDTD	Diferencia Finita en el Dominio del Tiempo	
FI	Frecuencia Intermedia	Intermediate Frequency
FPLMTS	Sistema de Telecomunicaciones Móvil Público del Futuro	Future Public Land Mobile Telecommunication System
FRC	Referencia Local Generada	
GC	Controlador de Grupo	
GE0	Orbita Terrestre Geoestacionaria	
GIT	Grupo Interno de Trabajo	
GPS	Sistema de Posicionamiento Global	Global Positioning System
GSM	Sistema Global para Telecomunicaciones Móviles	Global System Mobile
GW	Interface de Red	Gate Way
HH	Terminal de Mano	Hand Held
HPA	Amplificador de Alto Poder	High Power Amplifier
HPBW	Ancho de Haz de Potencia Media	
ICO	Orbita Circular Intermedia	
IDMN	Red Móvil Digital Inteligente	Intelligent Digital Mobile Network
IDN	Red Digital Integrada	Integrated Digital Network
IN	Red Inteligente	Intelligent Network
INMARSAT	Organización de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite	International Maritime Satellite Telecommunications
ISDN	Red Digital de Servicios Integrados	Integrated Service Digital Network
ISUP	Parte de Usuario de Servicios Integrados	Integrated Service User Part
IWU	Unidades de Interacción	Interworking Units
JPL	Laboratorio de Propulsión a Chorro	Jet Propulsion Laboratory
LAN	Red de Area Local	Local Area Network
LEO	Orbita Baja Terrestre	Low Earth Orbit
LES	Estación Fija Terrestre	Land Earth Station
LGA	Antena de Baja Ganancia	
LHC	Polarización Circular Izquierda	
LNA	Amplificador de Bajo Ruido	Low Noise Amplifier
MAGSS	Sistema Global de Satélites de Altura Media	Medium Altitude Global Satellite System
MEO	Orbita de Altura Media	Medium Earth Orbit
MEOS	Orbita de Satélite Terrestre Media	Medium Earth Orbit Station
MES	Estación Móvil Terrestre	Mobile Earth Station
MHEO	Orbita Altamente Inclinada Multirregional	

MMIC	Circuitos Integrados de Microonda Monolítica	Monolithic Microwave Integrated Circuits
MSAT	Comunicación Móvil por Satélite	Mobile Satellite
MSBN	Red Empresarial de Comunicación Móvil por Satélite.	
MSC	Centro de Conmutación de Servicios Móviles	Mobile Services Switching Centre
MSS	Servicio Móvil por Satélite	Mobil Satellite Service
MSU		Message Signal Unit
MT	Terminal Móvil	Mobil Terminal
MTN450	Estándar de Telefonía Móvil Nórdica	Nordic Mobil Telephone Standard
MTO	Terminal Móvil Originante	Mobil Terminal Originating
MTP	Parte de Transferencia de Mensaje	Message Transfer Part
NASA	Agencia de Administración Nacional del Espacio	National Aeronautics and Space Administration
NCC	Centro de Control de Red	Network Control Centre
NCS	Estación de Control de Red	Network Control Station
NMT	Telefonía Móvil Nórdica	Nordic Mobil Telephone
NMS	Estación Administrador de la Red	Network Management Station
NPRM	Aviso de Propuestas Rulemaking	Notice of Proposed Rulemaking
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional	
OMI	Organización Marítima Internacional	
OSI		Open System Interconnection
OPC		Oringen Point Code
PABX	Centrales Privadas Automáticas	Private Branch Exchange
PCM		Pulse Code Modulation
PCN	Red de Comunicaciones Personales	Network Personal Communication
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada	Equivalent Isotropic Radiated Power
PRC	Canal de Referencia Delantero	
PRI	Velocidad Primaria	Primary Rate
PSTN	Red de Conmutación Telefónica Publica	Public Switching Telephone Network
PSTNO	Red de Conmutación Telefónica Publica Originante	Public Switching Telephone Network Originating
PT	Terminal Portátil	Personal Terminal
PTT	Correo, Telegrafía, Telefonía	Post, Telephone and Telegraph
RACE	Investigación Avanzada para Comunicaciones de Europa	Advanced Communication European
RBS	Estaciones de Radio Base	Radio Base Station
RCC	Canal Común de Retorno	
RDSS	Servicio de Satélite por Radio Determinación	Radiotermination Satellite Service
RF	Radio Frecuencia	Radio Frequency
RHC	Polarización Circular Derecha	
SHF	Super Alta Frecuencia	High Speed Frequency

SIB	Bloques de Construcción de Servicio Independiente	Service Independence Inbuilding Block
SIF	Información de la Señalización del Campo	Signalling Information Field
SC	Control de Conmutación	Switching Control
SCP	Punto de Control del Servicio	Service Control Point
SCCP	Parte de Control de Conexión de Señalización	Signalling Connection Control Part
SCE	Creación del Servicio	Service Creation
SM	Administrador de Conmutación	Switching Management
SPC	Control de Programa Almacenado	Storage Program Control
SS	Servicio de Conmutación	Service Switching
SS	Espectro de Propagación	
SSP	Punto de Conmutación de Servicio	Switching Service Point
ST	Señalización de la Terminal	Signalling Terminal
SVQ	Cuantificación de Vector Espectral	
TACS	Sistema de Comunicación de Acceso Total	Total Access Communication System
TCAP	Parte de Aplicaciones de Capacidades de Transacción	Transaction Capability Application Part
TMI	Incorporación Móvil Telesat	Telesat Mobile Inc.
TP	Puntos de Disparo	Triggering Points
TUP	Parte de Usuario de Telefonía	Telephone User Part
TWTA	Amplificador de Tubo de Ondas Viajeras	Traveling Wave Tube Amplifier
UHF	Ultra Alta Frecuencia	Ultra High Frequency
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones	International Telecommunications Union
UMTS	Sistema de Telecomunicaciones Móvil Universal	Universal Mobile Telecommunications System
UP	User Part	Parte de Usuario
UPT	Telecomunicaciones Personales Universales	Universal Personal Telecommunications
VII	Terminal Montada en Vehículo	
VIII	Muy Alta Frecuencia	Very High Frequency
VITA	Voluntarios en Asistencia Técnica	Volunteers in Technical Assistance
WARC	Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones	World Administrative Radio Conference
WARC MOB	Conferencia Administrativa Mundial para los Servicios Móviles	Mobile World Administrative Radio Conference

## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

Rodolfo Neri Vela,  
**SATÉLITES DE COMUNICACIONES,**  
Mc Graw Hill,  
México 1990

Secretaría de Comunicaciones y Transportes,  
**REGLAMENTO DE TELECOMUNICACIONES,**  
México 1990.

International Mobile Satellite Conference IMSC'93  
**PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL MOBILE SATELLITE  
CONFERENCE,**  
Pasadena, California,  
June 16-18, 1993.

Telecomunicaciones de México (TELECOMM),  
**INTRODUCCIÓN A LOS SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA.**  
Escuela Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL)  
México, 1994.

Telecomunicaciones de México (TELECOMM),  
**COMUNICACIONES MÓVILES POR SATÉLITE.**  
Escuela Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL)  
México, 1995.

Hughes Network Systems,  
**INTRODUCTION TO INMARSAT-C,**  
Milton Keynes UK.

Domingo Lara, David Muñoz,  
**COMUNICACIONES MÓVILES POR SATÉLITE. Una Introducción.**  
Alfaomega,  
México 1992.

CCIR  
**XVII ASAMBLEA PLENÁRIA**  
Düsseldorf, 1990.