



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**"FACTIBILIDAD DE PRESTAR SERVICIOS INTEGRADOS DE TELECOMUNICACIONES A LAS COMUNIDADES RURALES POR MEDIO DE LA BANDA Ka".**

**T E S I S**  
que para obtener el título de :  
**Ingeniero en Telecomunicaciones**

**P R E S E N T A N :**  
**GUIJOSA ORTIZ ALEJANDRO**  
**Pérez Jaramillo Daniel Esteban**  
**SOLÍS ÁVILA JUAN CARLOS**

Director de Tesis:  
Ing. José Arturo Landeros Ayala



Ciudad Universitaria

**TESIS CON  
FALLA DE ORGEN**

septiembre 2002.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# PAGINACION DISCONTINUA

## **Agradezco:**

A Dios, principalmente por haberme permitido que yo naciera y por darme una familia en la cual me siento muy Feliz y en la cual también he aprendido el valor de la vida.

A mi Madre y hermanos, por haber confiado y creído en mí. Gracias Madre por todos tus cuidados y atenciones que siempre has tenido conmigo, para que yo siga hacia delante. Gracias Madre y Hermanos por todo el Amor y cariño que siempre me han brindado, por su confianza y apoyo incondicional en todas mis decisiones. Quiero que sepan que cada uno de ustedes ha sido mi apoyo e impulso en logro de esta gran meta, una de las principales de mi vida. Gracias : Guadalupe, Francisco, Rosa Ma, José y María de la Luz.

A mi Padre por haberme dado la vida y por cuidarme donde quiera que él se encuentre.

A todas aquellas personas que durante mi vida académica he conocido y han sido de los principales eslabones en la cadena de mi formación profesional. Gracias por sus consejos y experiencias y por impulsarme a seguir estudiando.

A todos mis familiares, tíos, tías, primos, primas, amigos, amigas, cuñados cuñadas, etc. , que de alguna forma me brindaron su apoyo.

A todos mis sobrinos y sobrinas, por todo el amor y cariño que me han proyectado desde su nacimiento y por impulsarme a ser un buen ejemplo para ellos.

A todos aquellos que no creyeron en mí, también muchísimas gracias.

Al grupo de Jornadas de Vida Cristiana "Siloam Despertar" y al Padre Alberto Rubio Palacios, por darme la oportunidad de complementar mi desarrollo como joven, por compartir momentos especiales y principalmente por sus oraciones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado un espacio en sus aulas y permitir entender y hacer míos los valores de un buen universitario. A ella junto con la Facultad de Ingeniería, gracias por esta oportunidad.

A mis compañeros de tesis, Juan Carlos Solis Ávila (El Cholis) y Daniel E. Pérez Jaramillo (El Queso), por haberme dado la oportunidad de trabajar juntos, por su amistad y experiencias compartidas, por la paciencia y dedicación puestas en la realización de este trabajo. Gracias por todo su apoyo.

A todos los mencionados y los no mencionados, les agradezco todo su apoyo y les comparto este gran trabajo, que también es de ustedes.

**Alejandro Guijosa Ortiz.**

## DOY GRACIAS:

**A Dios** por haberme dado la vida y la oportunidad de estudiar una carrera profesional

**A mis padres, Martha Ofelia y Fernando**, por estar siempre a mi lado en todo momento, por su ejemplo de lucha y superación que me han permitido alcanzar todas mis metas y que me impulsan a seguir adelante. Gracias por todo su amor.

**A mi hermano Fernando**, que de no haber sido por sus consejos y toda su experiencia no hubiera sido tan fácil la realización de este trabajo. Gracias por ser mi mejor amigo.

**A mis abuelos paternos, Ana María y Rodolfo**, que de alguna manera estuvieron conmigo todo este tiempo y a los cuales llevo en mi corazón.

**A mis abuelos maternos, Alicia y José Cecilio**, que con su ejemplo de unión y de afecto han creado en mí a una persona de bien y de lucha constante.

**A toda mi familia, tíos y primos**, por su apoyo incondicional además de haber sido cada uno un ejemplo a seguir para mi desarrollo profesional.

**A todos mis maestros y amigos de la carrera**, en especial al **Ingeniero José Arturo Landeros Ayala**; por brindarnos su valiosa ayuda en la elaboración de esta tesis.

**En general a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería** por haberme permitido pasar por sus aulas y lograr mi formación como universitario.

**A mis compañeros Alejandro y Juan Carlos**, por toda su ayuda y paciencia, no solo durante el desarrollo de este trabajo, sino durante toda la carrera. Gracias por ser mis amigos.

Finalmente, de manera muy especial, a **Lupita**, por todo el amor y cariño que me ha brindado además de ser mi mejor amiga. Gracias por tu apoyo, paciencia y comprensión que me ayudan a seguir adelante en búsqueda de mayores logros.

**DANIEL ESTEBAN PÉREZ JARAMILLO**

## **Agradezco:**

A mis padres principalmente, Soledad y Juan, por su gran amor y comprensión, por el esfuerzo impagable que han hecho por educarme y por su ejemplo de dedicación y rectitud.

A mis hermanas, Kari, Clariss y Vero, por su cariño y apoyo que siempre me han brindado.

A mi tía Mariana, por todas las atenciones que he recibido de parte de ella y el interés por mis logros.

A Adín por supuesto, por que es parte de mí y por amarme tanto.

A mis pequeños sobrinos, Alex y Eric, que son fuentes de alegría y a todo el resto de mi familia.

A Alejandro y Daniel, con quienes realicé esta tesis, pero especialmente con quienes compartí tantas experiencias.

A nuestro director de tesis y a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería, de quienes recibí tantas enseñanzas.

A todos mis amigos de la Facultad y de la UNAM en general.

Y, finalmente y con gran reconocimiento, a la UNAM y al pueblo de México que hicieron posible mi formación en esta Máxima Casa de Estudios.

**JUAN CARLOS SOLÍS ÁVILA**

## ÍNDICE

Introducción	i
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1 Historia de los Satélites de Telecomunicaciones	1
1.2 Bandas de Frecuencia empleadas en los Satélites	4
1.3 Operadores de Satélites	5
1.4 La Órbita Geoestacionaria	7
1.4.1 Legislación de la Órbita Geoestacionaria	9
1.4.2 Los Satélites en la Órbita Geoestacionaria	11
1.5 Los Satélites en México	20
1.5.1 El Sistema Morelos	22
1.5.2 El Sistema Solidaridad	24
1.5.2.1 El Solidaridad I	24
1.5.2.2 El Solidaridad II	25
1.5.3 El Satmex 5	30
1.5.4 El Satmex 6	33
1.6 La Banda Ka	36
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES</b>	
<b>EN LAS COMUNIDADES RURALES</b>	<b>39</b>
2.1 Introducción	39
2.2 Obstáculos que presentan las comunidades rurales	40
2.3 Situación Actual	41
2.4 Proyectos en desarrollo	44
2.4.1 Red Satelital de Televisión Educativa (EDUSAT)	44
2.4.1.1 Telesecundaria	45
2.4.2 Los Telecentros	47
2.4.2.1 Tipología de Telecentros	47
2.4.2.2 El Telecentro en México	50
2.5 Otros proyectos	53
2.5.1 Sistema Nacional e-México	53
2.5.2 Más proyectos	56
2.6 Programa Sectorial del Sector de Comunicaciones y Transportes	
2001-2006 del Programa Nacional de Desarrollo	57

---

<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>SERVICIOS INTEGRADOS DE TELECOMUNICACIONES</b>	<b>59</b>
3.1 Introducción	59
3.2 ISDN	60
3.2.1 Historia	61
3.2.2 Características	62
3.2.3 Descripción	63
3.3 B-ISDN	64
3.3.1 Definición de B-ISDN	64
3.4 Sistemas de Telefonía Móviles	65
3.4.1 Tecnología UMTS	65
3.4.2 Necesidad de un nuevo estándar	66
3.4.3 Servicios de UMTS	67
3.4.4 Ventajas de UMTS	69
3.5 Tecnología de acceso inalámbrico fijo	70
3.5.1 Concepto de LMDS	70
3.5.2 Funcionamiento de LMDS	71
3.5.3 Viabilidad del Sistema LMDS	72
3.5.4 Ventajas del sistema LMDS respecto al cable y al MMDS	73
3.6 Sistemas Satelitales	73
3.7 Principales elementos de un futuro sistema de acceso multimodo de banda ancha	75
3.8 Análisis del mercado "Internet de Banda Ancha" en México	75
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>ANCHOS DE BANDA REQUERIDOS</b>	<b>79</b>
4.1 Servicios de Banda Ancha	79
4.1.1 Servicios Conversacionales	80
4.1.2 Servicios de Mensajes.	81
4.1.3 Servicios de Recuperación	82
4.1.4 Servicios de Distribución sin Control de la Presentación por parte del Usuario	83
4.1.5 Servicios de Distribución con Control de la Presentación por parte del Usuario.	84
4.2 Utilización del Espectro.	84
4.3 Consideraciones de Ancho de Banda y Potencia.	85
4.4 Requerimientos.	87

<b>CAPITULO V</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES EN BANDA KA</b>	<b>93</b>
5.1 Introducción	93
5.2 ¿Por qué la Banda Ka?	95
5.3 Requerimientos para el diseño de sistemas en Banda Ka	96
5.4 Los satélites en Banda Ka extienden la infraestructura de Banda Ancha	98
5.5 Características de un Satélite Canadiense en Banda Ka	99
5.5.1 Antecedentes	99
5.5.2 Carga útil y características de red	102
5.5.3 Espectro de la Banda Ka	105
5.5.4 Segmentos Terrestres	106
5.6 Aspectos a considerar para el diseño de una Terminal en Banda Ka	107
5.6.1 Asignación de los requerimientos del Sistema	108
5.6.2 Instalación de la Terminal	113
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>PROCESAMIENTO A BORDO DEL SATÉLITE</b>	<b>115</b>
6.1 La razón del Procesamiento a Bordo del Satélite	115
6.2 Los bloques del Procesamiento a Bordo y sus requerimientos	117
6.3 Las Terminales	119
6.4 Esquema de Acceso	120
6.5 Aspectos de sincronización	121
6.6 La modulación y la codificación	123
6.7 Señalización	124
6.8 La Trama	125
6.9 Conmutación a Bordo	126
6.9.1 Capacidad del conmutador y configuración	126
6.9.2 Tolerancia a fallas	127
6.9.3 Parámetros de desempeño	127
6.9.4 Realización de la conmutación	128
6.10 La Arquitectura de la carga útil	129
6.11 El Centro de Control Maestro	132
<b>CAPÍTULO VII</b>	
<b>FACTORES DE PROPAGACIÓN EN BANDA Ka</b>	<b>135</b>
7.1 Introducción	135
7.2 Propagación atmosférica	136
7.2.1 Efectos en la Ionósfera	138
7.2.1.1 Centelleo Ionosférico	138
7.2.1.2 Rotación de Faraday de la polarización	138
7.2.2 Efectos de la Troposfera	139

7.2.2.1 Centelleo Troposférico	140
7.2.2.2 Atenuación debida a la capa de fusión	141
7.2.2.3 Atenuación por niebla y nubes	141
7.2.2.4 Atenuación por nieve y granizo	142
7.2.2.5 Atenuación por absorción de gases	143
7.2.2.6 Atenuación por lluvia	145
7.2.2.7 Refracción Troposférica	151
7.2.3 Efectos sobre la polarización	153
7.3 Otros factores de propagación	154

## **CAPITULO VIII**

### **SISTEMAS SATELITALES EN LA BANDA Ka**

155

8.1 Introducción	155
8.2 Satélites de Comunicaciones Alemanas	156
8.3 Satélites de Comunicaciones Italianas	156
8.4 Satélites de Comunicaciones Europeas ESA	157
8.5 Satélites de Comunicaciones Japonesas	157
8.6 Astrolink	158
8.7 Cyberstar	160
8.8 Galaxy/Spaceway	160
8.9 GE *Star	160
8.10 Morning Star	161
8.11 Teledesic	161
8.12 @Contact	162
8.13 Hughes -SE	163
8.14 Hughes -SNGSO	163
8.15 Motorola – Celestri	164
8.16 PanAmSat	165
8.17 Skybridge	165
8.18 WildBlue	166
8.19 Hot Bird 6	167
8.20 Anik F2	168
8.21 Grupo SES: Comunicaciones en Banda Ancha por Satélite con Cobertura Global	169
8.21.1 SES S.A. El sistema de satélites ASTRA	169
8.21.2 Nordic Satellite AB. Los satélites Sirius	169
8.21.3 AsiaSat Satellite Telecommunications Holdings Ltd. Los satélites ASIASAT	170
8.21.4 Star One S.A. Los satélites de Brasilsat	170
8.21.5 ASTRA: El sistema de satélites para la difusión en Europa de TV, radio y Servicios Multimedia.	171
8.21.6 Instalaciones de Control Terrestre	172
8.22 Tabla comparativa de los sistemas satelitales en Banda Ka	173

<b>CAPÍTULO IX</b>	
<b>CÁLCULOS DE ENLACE Y COSTOS</b>	<b>175</b>
9.1 Introducción	175
9.2 Parámetros requeridos para el cálculo de enlace	176
9.2.1 Posición Orbital y ubicación de las Estaciones Terrenas	176
9.2.2 Distancia de las Estaciones Terrenas al satélite, ángulos de elevación y azimut	177
9.2.3 Márgenes de atenuación por lluvia	179
9.2.4 Ganancia de una antena y patrón de radiación	180
9.2.5 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (o Efectiva) PIRE	181
9.2.6 Densidad de flujo en el punto receptor	182
9.2.7 Pérdida de potencia por propagación en el espacio libre	183
9.2.8 Pérdidas adicionales	184
9.3 Ruido	184
9.3.1 Densidad de ruido	185
9.3.2 Figura de ruido	185
9.3.3 Temperatura de ruido de un atenuador	185
9.3.4 Temperatura de ruido de la lluvia	186
9.3.5 Temperatura de ruido de la antena	186
9.3.6 Ruido de la antena del satélite	187
9.3.7 Temperatura de ruido equivalente	187
9.3.8 Temperatura de ruido de un sistema	188
9.4 Relación Portadora sobre Ruido	188
9.4.1 Enlace de subida: (C/No) <sub>s</sub>	190
9.4.2 Enlace de bajada (C/No) <sub>b</sub>	191
9.4.3 Relación Portadora sobre Ruido de Intermodulación	192
9.4.4 Relación C/No total de un enlace	194
9.4.5 Relación Portadora sobre Densidad de ruido necesaria para un enlace digital	195
9.5 Costo de equipos que se encuentran en el mercado para banda Ka	197
<b>CAPÍTULO X</b>	
<b>RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	<b>203</b>
10.1 Resultados obtenidos	203
10.2 Conclusiones	211
<b>ANEXOS</b>	<b>219</b>
Anexo 1	220
Anexo 2	221
Anexo 3	223
Anexo 4	225
<b>REFERENCIAS</b>	<b>227</b>

## INTRODUCCIÓN.

Actualmente el gran avance de la informática y las telecomunicaciones está provocando que todos aquellos elementos que uno asocia con un modelo de vida alto - desde la educación y el cuidado de la salud hasta el desarrollo económico y los servicios públicos - se conviertan cada vez más dependientes de un flujo de información que aumenta continuamente. En áreas altamente urbanizadas, esta exigencia de información está siendo satisfecha a través de las conexiones de anchos de banda altos, de alta calidad de fibras ópticas y de nuevas tecnologías de telecomunicaciones.

Nos encontramos en una etapa en la cual se busca que cualquier rincón del planeta se encuentre comunicado con todo el mundo. México no es la excepción, por tal motivo en los últimos años se ha buscado la forma de llegar a aquellos lugares en los cuales no se cuenta con la infraestructura adecuada para llevar a cabo tal misión. Lugares donde las redes de fibras ópticas resultan de un costo muy elevado y en algunas ocasiones es muy difícil concretar el servicio, debido a las condiciones geográficas y climatológicas de la zona, entre otros. Nos referimos a las comunidades rurales.

A la fecha no se sabe con exactitud el número de comunidades rurales que se encuentran incomunicadas y que las han llevado a tener una vida sedentaria y sin servicios indispensables que les permita tener un avance en su forma de vida.

Durante mucho tiempo, uno de los principales objetivos de la política nacional y mundial en materia de comunicaciones ha sido garantizar y ampliar el acceso a los servicios de telecomunicaciones a un costo asequible. Sin embargo, el acceso a las telecomunicaciones se ha convertido en una necesidad aún más apremiante debido al auge de algunos servicios, principalmente de Internet; y ya que la conexión a la Malla Mundial se basa en gran medida en los conductos de la red telefónica, es necesario contar con otras alternativas de conexión a este servicio, tales como las redes satelitales.

Gracias a los proyectos realizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con el apoyo de Teléfonos de México (TELMEX), se han logrado comunicar a un mayor número de comunidades rurales aprovechando parte de la infraestructura telefónica y otras nuevas tecnologías. Sin embargo, esto no ha sido suficiente, ya que no basta con sólo tener una línea telefónica en la comunidad, si no que es necesario contar con mayor número de servicios que permitan la atención y educación de mucha gente. SATMEX, otra empresa que se ha preocupado por tal

situación, apoya a la comunicación rural siendo el mejor aliado para lograr la comunicación entre localidades aisladas.

Es necesario que en nuestro país se aproveche las nuevas redes de satélites de banda ancha y que se extienda de forma transparente la infraestructura terrestre existente basada en fibra óptica para proveer servicios avanzados de datos, voz, audio y vídeo a cualquier parte no solo del país, sino del mundo, principalmente aquellas zonas rurales con carencia de elementos de Telecomunicaciones.

En este trabajo nos referimos al uso de los sistemas vía satélite, ya que estos son capaces de proveer servicios de comunicaciones virtualmente a cualquier parte del mundo sin discriminación en precios o geografía.

Dado que en los últimos años las bandas en que los satélites están operando tienen una tendencia a saturarse, se ha propuesto hacer uso de la Banda Ka que resulta ser una frecuencia más alta que nos permitiría contar con haces más angostos y de esta manera evitar problemas de tráfico e interferencia. Buscamos también encontrar la factibilidad de utilizar la tecnología existente en las estaciones terrenas, principalmente aquellas que trabajan en la banda Ku. Con esto queremos impulsar el desarrollo de nuevos servicios integrados de telecomunicaciones que hagan uso de esta banda.

Además haciendo uso de la banda Ka, que presenta un amplio ancho de banda (aproximadamente de 3500 MHz), se podrá satisfacer las necesidades de cualquier comunidad que carezca de servicios de telecomunicaciones con mayor eficiencia.

En el primer capítulo comentamos la historia de los satélites de telecomunicaciones y como han ido evolucionando a medida que la tecnología avanza en el ámbito mundial. Aquí se muestra una relación cronológica de los acontecimientos más importantes de las comunicaciones vía satélite en México a la fecha. Además, en este mismo capítulo, analizamos a cada uno de los satélites mexicanos desde el Morelos I hasta el Satmex 5 y al futuro satélite denominado Satmex 6 que será más poderoso que el anterior pero sin tener todavía servicios de comunicaciones en la banda Ka. Lo anterior nos permitirá tener conocimiento de cómo se han ido satisfaciendo las necesidades de cada día estar más comunicados a través de las comunicaciones vía satélite y porque sería conveniente un nuevo sistema como el que se propone en este trabajo de investigación.

Dentro del segundo capítulo se lleva a cabo un análisis de la situación actual de los servicios de telecomunicaciones en las comunidades rurales y como se ha avanzado en dicho proceso. Aquí se puede observar como se ha logrado cubrir ciertas regiones que se encontraban incomunicadas, proporcionando el servicio básico de telefonía fundamentalmente aunque siga siendo insuficiente.

El tercer capítulo tiene como objetivo el explicar en que consisten los servicios integrados de telecomunicaciones y algunas tecnologías que son manejadas actualmente para proporcionar estos servicios. Con esto se busca dar un panorama general de cómo se encuentran situadas actualmente estas tecnologías en el mercado así como sus características principales que nos permitan definir sus ventajas y desventajas en sus aplicaciones.

Tomando en cuenta cada uno de los servicios integrados y sus características, en el cuarto capítulo se da una explicación de los anchos de banda requeridos para cada uno de los servicios que se podrían proporcionar a las comunidades rurales. Esto es importante para poder definir que tanto espacio de ancho de banda ocuparía cada aplicación y de que forma se puede aprovechar al máximo con el tipo de sistema que se encuentra en estudio.

Para el quinto capítulo se busca llevar a cabo un estudio de las características de los satélites que operan en la banda Ka. Afortunadamente ya existen en el mundo varios de estos satélites en operación y que nos han permitido observar su desempeño, facilitando en gran medida el poder entender el valor de ciertos parámetros importantes para su adecuado funcionamiento en sus respectivas regiones. En este mismo capítulo se comenta también sobre las características que tienen algunas de las estaciones terrenas que se encuentran en operación conjuntamente con los satélites mencionados.

Comentando de manera más detallada uno de los aspectos más importante dentro de las características de los satélites en la banda Ka, en el sexto capítulo se trata el tema de la conmutación a bordo. Aquí se podrá observar algunas de las técnicas mayormente empleadas en las comunicaciones vía satélite para poder tener un conocimiento total de las que se pudieran aplicar para un futuro satélite mexicano.

Habiendo analizado los aspectos importantes de los sistemas de comunicaciones vía satélite en banda Ka, en el séptimo capítulo se abarca uno de los aspectos fundamentales para el buen funcionamiento de dichos sistemas. Los factores de propagación en la banda Ka son aquellos que nos permiten definir los parámetros más importantes de nuestro sistema ya que son los que ocasionan que los enlaces entre los satélites y las estaciones terrenas no se lleven a cabo correctamente al provocar atenuaciones, es decir, disminuciones en la potencia de nuestra señal. El objetivo de este capítulo es el de definir el nivel de atenuación que pueda afectar a nuestra señal por cada uno de los factores que se mencionan para más adelante poder definir los parámetros que contrarresten a dichas atenuaciones.

Para el capítulo octavo se ha recopilado información de cada uno de los sistemas en la banda Ka que se encuentran operando actualmente y de los que se encuentran en desarrollo para su puesta en operación. Aquí podemos observar que países se han mostrado interesados en la aplicación de este tipo de sistemas y el porque de llevarlos a cabo.

Finalmente, teniendo definidos cada uno de los aspectos a considerar para el estudio de un sistema de comunicaciones vía satélite en la banda Ka, en el noveno capítulo se llevaron a cabo los cálculos de enlace correspondientes a un futuro satélite mexicano que pudiera ser la solución al problema de aislamiento que sufren un gran número de comunidades rurales que se encuentran en regiones de difícil acceso para el tendido de cable que les permitiera contar con los servicios integrados de comunicaciones. Teniendo definidos las características de los equipos a emplear, en este mismo capítulo se tratará de dar un costo estimado de los equipos que se requerirían emplear y que se encuentran en el mercado para un proyecto como el que se propone en este trabajo de investigación.

Es así como buscamos dar una posible solución que permita aprovechar aun más las ventajas que nos proporcionan las comunicaciones vía satélite. Ventajas como ofrecer una comunicación segura, altamente eficientes y confiables, de implementación rápida, gran ancho de banda, conexión punto multipunto, más económica y la más importante, cobertura inmediata y total a grandes zonas geográficas son las que nos permitirán contar en un futuro con una mejor calidad de vida que se verá reflejada en el progreso del país.

## CAPÍTULO I ANTECEDENTES

### 1.1 Historia de los Satélites de Telecomunicaciones.

La idea de los satélites de Telecomunicaciones apareció poco después de la segunda Guerra Mundial. En 1945 en el número de octubre de la revista *Wireless World* apareció un artículo titulado "Relés extraterrestres" cuyo autor era un oficial de radar de la RFA<sup>1</sup> llamado Arthur C. Clarke. Clarke, que más tarde sería conocido principalmente por sus libros de ciencia-ficción y de divulgación, proponía en su artículo la colocación en órbita de tres repetidores separados entre sí 120 grados a 36000 Km sobre la superficie de la tierra en una órbita situada en un plano coincidente con el que pasa por el ecuador terrestre. Este sistema podría abastecer de comunicaciones, radio y televisión a todo el globo. Si bien Clarke fue el primero que expuso la idea del empleo de la órbita geostacionaria para las comunicaciones esta ya rondaba por la cabeza de muchos otros. Al poco tiempo de terminar la guerra no existían medios para colocar satélites en órbita terrestre baja ni mucho menos geostacionaria, los primeros experimentos de utilización del espacio para propagación de radiocomunicaciones lo realizó el ejército americano en 1951 y en 1955 utilizando nuestro satélite natural, la Luna, como reflector pasivo. El primer satélite espacial, el Sputnik 1<sup>2</sup>, llevaba a bordo un radiofaro el cual emitía una señal en las frecuencias de 20 y 40 MHz. Esta señal podía ser recibida por simples receptores y así lo hicieron muchos radioaficionados a lo largo del mundo realizándose la primera prueba de transmisión y recepción de señales desde el espacio. La primera voz humana retransmitida desde el espacio fue la del presidente norteamericano Dwight D. Eisenhower, cuando en 1958 en el contexto del proyecto SCORE se puso en órbita un misil ICBM Atlas liberado de su cohete acelerador con un mensaje de navidad grabado por el dirigente, quien opinaba que el espacio tenía poca utilidad práctica. La grabadora podía también almacenar mensajes para retransmitirlos más tarde, lo que dio origen a los llamados satélites de retransmisión diferida. Un Satélite posterior de este tipo fue el Courier 1B, lanzado el 4 de Octubre de 1960. Este satélite militar podía almacenar y retransmitir hasta 68.000 palabras por minuto, y empleaba células solares en lugar de los acumuladores limitados del SCORE.

Los sistemas pasivos, que imitaban la utilización primitiva de la Luna por el ejército norteamericano, se probaron durante un tiempo. Los Echo 1 y 2 eran grandes globos reflectores de mylar<sup>3</sup> iluminado. Su uso se limitaba a parejas de estaciones terrestres desde las cuales podía verse el globo al mismo tiempo. Los científicos geodésicos descubrieron que eran más útiles como balizas para el trazado de mapas desde el exterior de la Tierra. Los ingenieros concluyeron que era necesario un sistema de

<sup>1</sup> RAF.- Siglas en inglés de la Royal Air Force.

<sup>2</sup> Sputnik 1.- Primer satélite ruso puesto en órbita. Circundaba el globo cada 96.2 minutos.

Fuente: [www.angelfire.com/stars2/farid/ast04/1\\_sputnik.html](http://www.angelfire.com/stars2/farid/ast04/1_sputnik.html)

<sup>3</sup> Mylar.- Lámina de aluminio especial de unas 12 micras de espesor depositada sobre una película de poliéster transparente, consiguiendo que sólo el 0.001% de la radiación incidente lo atraviese.

transmisión activo, por ejemplo una versión orbital de las torres de retransmisión por microondas utilizadas en los sistemas telefónicos. Durante algún tiempo discutieron la conveniencia de colocar varios satélites en órbita geoestacionaria (lo que comporta costes de lanzamiento más elevados) o bien una multitud de satélites en órbitas más bajas (con el consiguiente aumento en el coste de los satélites). La polémica concluyó en favor de la solución geoestacionaria ya que dichos satélites serían de seguimiento mucho más fáciles.

El primer satélite de comunicaciones verdadero, el Telstar 1, fue lanzado a una órbita terrestre baja, de 952 x 5632 km. Era también el primer satélite de financiación comercial, a cargo de la American Telephone and Telegraph. El Telstar 1 se lanzó el 10 de julio de 1962, y le siguió casi un año después el Telstar 2. Las estaciones terrestres estaban situadas en Andover, Maine (Estados Unidos), Goonhilly Downs (Reino Unido) y Pleumeur-Bodou (Francia). La primera retransmisión mostraba la bandera norteamericana ondeando en la brisa de Nueva Inglaterra, con la estación de Andover al fondo. Esta imagen se retransmitió a Gran Bretaña, Francia y a una estación norteamericana de New Jersey, casi quince horas después del lanzamiento. Dos semanas más tarde millones de europeos y americanos seguían por televisión una conversación entre interlocutores de ambos lados del Atlántico. No sólo podían conversar, sino también verse en directo vía satélite. Muchos historiadores fechan el nacimiento de la aldea mundial ese día. Al Telstar 1 siguieron el Relay 1, otro satélite de órbita baja, lanzado el 13 de diciembre de 1962, y el Relay 2, el 21 de enero de 1964. Se trataba de vehículos espaciales experimentales, como el Telstar, diseñados para descubrir las limitaciones de actuación de los satélites. Como tales, constituían solo el prelude de acontecimientos más importantes. El 26 de julio de 1963 el Syncom 2 se colocó en órbita sincrónica sobre el Atlántico. El Syncom 1 se había situado en el mismo lugar en febrero, pero su equipo de radio falló. La órbita del Syncom 2 tenía una inclinación de 28°, por lo que parecía describir un ocho sobre la tierra. Sin embargo se utilizó el 13 de septiembre, con el Relay 1, para enlazar Río de Janeiro (Brasil), Lagos (Nigeria) y New Jersey en una breve conversación entre tres continentes. El Syncom 3 se situó directamente sobre el ecuador, cerca de la línea de cambio de fecha, el 19 de agosto de 1964, y se retransmitieron en directo las ceremonias de apertura de los juegos olímpicos en Japón. Con esto el mundo se sobrecogió al conocer las posibilidades de los satélites de comunicaciones.

Desde el principio los políticos comprendieron su potencial comercial. En 1961 el presidente de los Estados Unidos, John F. Kennedy, invitaba a todas las naciones a participar en un sistema de satélites de comunicaciones en beneficio de la paz mundial y de la fraternidad entre todos los hombres. Su llamada encontró respuesta, y en agosto de 1964 se formó el consorcio INTELSAT<sup>4</sup> (Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite). El sistema es propiedad de los estados miembros, dividido en partes según su participación en el tráfico anual. La rama operativa del consorcio es la COMSAT<sup>5</sup> (Corporación de Satélites de Comunicaciones), con sede en Washington. El primer satélite lanzado por esta

<sup>4</sup> INTELSAT.- Siglas en inglés de International Telecommunications Satellite Organization.

<sup>5</sup> COMSAT.- Siglas en inglés de Communications Satellite Corporation.

empresa fue el Intelsat 1, más conocido como Early Bird. El 28 de junio de 1965 entró en servicio regular, con 240 circuitos telefónicos. Era un cilindro de 0.72 metros de anchura por 0.59 metros de altura, y su peso era tan solo de 39 Kg. Las células solares que lo envolvían suministraban 40 W de energía, y para simplificar el diseño de sistemas estaba estabilizado por rotación, como un trompo. El Early Bird estaba diseñado para funcionar durante dieciocho meses, pero permaneció en servicio durante cuatro años. Con posterioridad se lanzaron sucesivos satélites Intelsat los cuales fueron aumentando su capacidad de retransmisión de canales telefónicos y televisivos. En la actualidad la constelación Intelsat consta de 32 satélites cubriendo todo el globo.

El Intelsat no es el único sistema de satélites de comunicaciones en funcionamiento. A medida que avanzaba la tecnología y descendían los precios, la conveniencia de los satélites de comunicaciones dedicados crecía. Resultaba atractivo, desde el punto de vista comercial, construir los satélites según las necesidades de los distintos estados, firmas, compañías de navegación y otras organizaciones con un gran volumen de tráfico de comunicaciones entre puntos separados por varios centenares de kilómetros.

En la actualidad la variedad de satélites que rodean la Tierra es sorprendente. La tabla 1.1 muestra los diferentes tipos de satélites al igual que su funcionamiento.

Tabla 1.1 Tipos de satélites de acuerdo a su órbita y su finalidad.

TIPOS DE SATÉLITES	
POR SU ÓRBITA	POR SU FINALIDAD
Satélites de órbita geoestacionaria (GEO) (situados a 36,000 Km de altura)	Satélites de Telecomunicaciones
Satélites de órbita baja (LEO). Están situados entre los 700 y 2000 Km de altura.	Satélites Meteorológicos
Satélites de órbita media (MEO). Están situados a una altitud media de alrededor de 10,000 Km.	Satélites Científicos y Tecnológicos.
Satélites de órbita elíptica excéntrica. Tienen una altitud de vuelo comprendida entre los 500 Km en el perigeo <sup>6</sup> , y los 50,000 Km en el apogeo <sup>7</sup> .	Satélites Militares y espías.

Los satélites más numerosos en la actualidad son los de telecomunicaciones debido a la necesidad de comunicarnos a cualquier lugar del mundo.

Los satélites meteorológicos toman fotografías de la atmósfera de la Tierra y las envían a las estaciones terrestres; están equipados con radiómetros infrarrojos que les permite operar de noche.

<sup>6</sup> Perigeo.- Punto más cercano de la órbita satelital respecto a la Tierra.

<sup>7</sup> Apogeo.- Punto más alejado de la órbita satelital respecto a la Tierra.

Los satélites científicos efectúan observaciones y medidas que interesan principalmente a la geofísica y a la astronomía. Entre ellos están los geodésicos, utilizados para determinar la forma del globo terrestre y efectuar la cartografía exacta de su superficie mediante la medida de las distancias al suelo, y los astronómicos, que tienen la misión de observar astros sin los impedimentos puestos por la atmósfera terrestre. Por otro lado los satélites tecnológicos tienen por objeto la realización de diversos sistemas, el estudio del comportamiento de los materiales en el medio espacial y la prueba de cohetes o de naves espaciales.

Finalmente los satélites militares y espías, construidos en gran número a partir de los años sesentas en E.U.A. y en la ex Unión Soviética, se emplean para misiones de vigilancia y de reconocimiento fotográfico o electrónico, para la detección de lanzamientos de misiles, en la vigilancia de las explosiones nucleares o como apoyo a la navegación, en particular de los submarinos lanzamisiles.

## **1.2 Bandas de Frecuencia empleadas en los Satélites.**

Un satélite de comunicaciones puede operar en una amplia gama de frecuencias. Las diversas bandas de frecuencia que pueden utilizar los satélites son determinadas (Atribuidas, en la terminología convencional de este campo) por la Unión Internacional de Telecomunicaciones<sup>8</sup> (UIT) en forma exclusiva para éstos o en forma compartida, con otros servicios, quedando a cargo de los gobiernos de cada país asignarlas a usuarios específicos.

Para satisfacer las necesidades mundiales de comunicación, cada banda de frecuencias puede ser utilizada simultáneamente por muchos países, con las debidas precauciones técnicas para evitar interferencias que pueden originarse por la dificultad de limitar las radiaciones sólo a las áreas de servicio. Debido a las interferencias que se originarían no es posible el uso simultáneo de toda una banda por cada uno de los países de una región, se puede realizar una planificación regional anticipada, aprobada por todos los países de la misma, que queda registrada por la UIT. Para evitar interferencias a los servicios entre dos países, se realizan coordinaciones específicas caso por caso que pueden ser complementadas por convenios bilaterales.

Un satélite o sistema de satélites puede operar en una o más de las bandas atribuidas a los servicios de satélite dependiendo de las necesidades de capacidad de tráfico, en su caso de las bandas que se hayan empleado en la generación anterior de satélites del mismo sistema, de los servicios que se pretendan prestar, en cierta medida de las condiciones climáticas de la zona de servicio y de las posibilidades técnicas de ocupación de una órbita o posición orbital sin causar interferencias a otros satélites. Cada banda de frecuencias dispone de una parte de

---

<sup>8</sup> La UIT, con sede en Ginebra (Suiza), es una organización internacional del sistema de las Naciones Unidas en la cual los gobiernos y el sector privado coordinan los servicios y redes mundiales de telecomunicaciones.

la misma para los enlaces ascendentes Tierra-satélite y otra para los enlaces descendentes satélite-Tierra a fin de evitar interacciones inconvenientes. Cada unidad básica de la carga útil o transpondedor recibe las emisiones desde la Tierra como enlaces ascendentes, las amplifica para compensar la enorme pérdida en el espacio, realiza la transposición o conversión de sus frecuencias y las devuelve a tierra como enlaces descendentes, operando en fracciones diferentes de la banda que los demás transpondedores<sup>9</sup>.

Además de las funciones mínimas mencionadas, si se requiere, la carga útil puede diseñarse para realizar la conmutación de señales a bordo y otros tipos de procesamiento, así como la conmutación con otros satélites.

Para sus propios fines reglamentarios la UIT considera tres regiones en el mundo: la región 1 que abarca África, los países Árabes, Europa y los países que anteriormente constituían la URSS, la región 2 que abarca los países de América y la región 3 que incluye a Asia y Oceanía, existiendo algunas diferencias menores en la atribución de frecuencias para cada región y excepciones registradas por países en forma individual.

Por razones prácticas, a las bandas de frecuencia más comunes para el servicio por satélite se les designa por fabricantes de equipos, operadores de satélites y usuarios por medio de letras empleadas originalmente para radar, aunque no son utilizadas oficialmente por la UIT. De acuerdo con estas siglas, las principales bandas para los servicios por satélite son las mostradas en la tabla 1.2 para la región 2, en la que se encuentra México, como ejemplo.

Tabla 1.2 Bandas de Frecuencias con ejemplos de atribuciones.

Banda	Ejemplos de atribución (GHZ)	Designación alternativa
L	1.525 – 1.71	Banda de 1.5 GHz
S	1.99 – 2.20, 2.5 – 2.69	Banda de 2 GHz, 2.5 GHz
C	3.4 – 4.2, 4.5 – 4.8 5.15 – 5.25, 5.85 – 7.075	Banda de 4/6 GHz Banda de 5/7 GHz
X	7.2 – 8.4	Banda de 7/8 GHz
Ku	10.7 – 13.25, 13.75 – 14.8	Banda de 11/14 GHz, 12/14 GHz
Ka	27.0 - 31.0	

### 1.3 Operadores de Satélites.

Los principales operadores de satélites en la actualidad son:

- EUTELSAT. Organización Europea de Satélites de Telecomunicaciones.

<sup>9</sup> Los transpondedores son parte esencial del subsistema de comunicaciones de un satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla nuevamente.

- INTELSAT. Organización Internacional de Satélites de Telecomunicaciones.
- ASTRA. Sociedad Europea de Satélites (SES).
- FRANCE TELECOM.
- INTERSPUTNIK.
- NASDA. Agencia de Japón para el Desarrollo Espacial Nacional.
- ASIASAT SATELITE TELECOMUNICACIONES.
- PANAMSAT (ALPHA LYRACOM)
- INSAT. Sistema de Satélite Nacional Indio.

EUTELSAT.- Es el más grande operador de satélites en Europa. Controla 8 satélites de comunicaciones los cuales son usados en el continente Europeo para teléfono, fax, telex, mensajes, transmisión de datos y para la distribución de programas de radio y televisión. Hoy en día la organización esta formada por 39 estados miembros.

INTELSAT.- Empezó el 20 de agosto de 1961 cuando representantes de 11 naciones firmaron acuerdos para el desarrollo de un sistema de satélites de comunicaciones comercial global. Cuando el pájaro madrugador (Early Bird, Intelsat 1) fue lanzado, 46 naciones ya habían llegado a ser miembros de INTELSAT. Cuatro años después del lanzamiento del pájaro madrugador, INTELSAT estableció el primer sistema de comunicaciones global mundial con satélites sobre los tres océanos para así poder suministrar cobertura a una audiencia que va de medio a mil millones de personas que observaron el aterrizaje del primer hombre a la luna. Actualmente el sistema global de INTELSAT esta comprendido por 20 satélites.

ASTRA.- Es una organización europea privada que actualmente opera los cuatro satélites Astra en 19.2 ° Este, como una aproximación a las necesidades de los televidentes europeos y programadores de satélites de TV, SES introdujo una nueva aproximación a la televisión por satélite: El diseño de una compañía orientada al mercado y al servicio la cual ofrece entretenimiento y paquetes de programas de televisión de alta calidad para los varios mercados europeos. El primer satélite ASTRA fue lanzado en diciembre de 1988 en lo alto de un cohete ARIANE 4 y el cinco de febrero de 1989 se realizaron las primeras transmisiones desde la posición geostacionaria 19.2° Este. Al cabo de unos cuantos meses todos los transpondedores fueron ocupados y a raíz de este éxito el segundo satélite ASTRA fue lanzado alrededor de unos años después.

FRANCE TELECOM.- Se fundó en 1984. Esta red de satélites nacional francesa no es solamente usada para propósitos de transmisión y telecomunicaciones sino también para fines militares, así el sistema de satélites Telecom fue diseñado para cubrir Francia y gran parte de Europa con sus transpondedores de banda Ku y los territorios franceses de ultramar con sus transpondedores de banda C. Los potentes transpondedores de banda X son usados para propósitos militares.

INTERSPUTNIK.- Es una organización de satélites internacional, la cual fue fundada por la antigua URSS y algunos países aliados a finales de 1971. La historia de los satélites rusos empezó el 4 de Octubre de 1957, con el lanzamiento del satélite

Sputnik I, el primer ingenio artificial enviado por la humanidad al espacio. El primer satélite de comunicaciones operado por INTERSPUTNIK fue lanzado en 1965, este satélite tipo Molniya pesaba alrededor de 100 kg y tenía un diámetro de 1.58 metros. Hay ahora 16 naciones miembros formando parte de esta organización.

NASDA.- Fue fundada en Octubre de 1960 con la finalidad de realizar exploraciones espaciales en interés de la paz. Además de otras tareas relacionadas con el espacio NASDA opera un gran número de satélites tales como los de la serie Yuri. El primer Yuri fue lanzado en abril de 1978 y entró en acción realizando un amplio rango de experimentos por parte de la televisión japonesa y las agencias gubernamentales.

ASIASAT.- El satélite Asiasat I, lanzado el 7 de abril de 1990 en lo alto de un cohete chino, es el primer satélite de comunicaciones asiático comercial. Este satélite es un ejemplo único en el desarrollo de los satélites de telecomunicaciones porque fue lanzado anteriormente como el satélite americano Westar VI en 1985, sin embargo la nave falló al alcanzar su posición orbital y más tarde fue recuperada por una misión del Space Shuttle. Entonces fue vendido a la compañía ASIASAT, la cuál exitosamente redespiegó el satélite en una localización orbital de 105.5° Este.

PANAMSAT.- Alpha Lyracom, un consorcio internacional de satélites comerciales, fue fundada en 1984 y opera bajo el nombre de Satélites Pan América. En el mismo año el órgano administrativo para las telecomunicaciones la FCC<sup>10</sup> garantizó a PANAMSAT todos los derechos para lanzar y explotar un sistema de satélites internacional independiente. Esto hizo a PANAMSAT el primer operador de satélites internacional privado del mundo y un competidor directo de INTELSAT. La principal meta de PANAMSAT fue ofrecer un modo barato de comunicaciones vía satélite en los Estados Unidos, América Latina y Europa. El primer satélite PANAMSAT, PAS 1, fue lanzado el 15 de junio de 1988.

INSAT.- Es un sistema de satélites de comunicaciones multi-propósito usado por múltiples agencias gubernamentales indias como All India Radio, Doordarshan y estaciones de señales de tiempo ATA. Los cuatro satélites de la serie Insat 1 fueron construidos por Ford Aerospace acordando especificaciones indias. El satélite Insat-1A fue lanzado el 4 de septiembre de 1982 con el Shuttle Challenger por la Administración Espacial y Aeronáutica Nacional de Estados Unidos (NASA). Acabó saliéndose de su órbita y perdiéndose en el espacio exterior.

#### 1.4 La Órbita Geoestacionaria.

En este capítulo de antecedentes hablaremos en particular de la órbita geoestacionaria ya que se buscaría tener un futuro satélite mexicano en la banda Ka

---

<sup>10</sup> FCC.- Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission). Fue establecida en 1934 y se encarga de la regulación, interestatal e internacional, de las comunicaciones por radio, televisión, cable y satélite.

que proporcionara los servicios integrados de comunicaciones a las comunidades rurales y en general a todo el país en esta órbita.

La órbita geoestacionaria es una órbita circular que yace en el plano ecuatorial terrestre. Si se coloca en ella un satélite que rote alrededor del eje polar de la Tierra, con su misma dirección y en el mismo período sideral que el de su rotación, ese satélite mantiene inmovilidad en relación con nuestro planeta.

Tres son los aspectos básicos que determinan la colocación y estabilidad relativas de estos satélites:

- Posición ecuatorial.
- Su período de rotación.
- Su altura.

Del período del satélite y de la atracción de la masa total de la Tierra, aplicada a su centro, se deducen, usando la tercera ley de Kepler, que el radio de la órbita geoestacionaria y su altura nominal son de 42,164.175 Km y 35,786.557 Km, respectivamente.

Sobre un satélite geoestacionario intervienen variedad de fuerzas naturales y artificiales. De ellas la más importante es la fuerza de la gravedad, lo que permite al satélite permanecer a la altura que se requiere. Otros factores secundarios pero que se deben tomar en cuenta para la ubicación y estabilidad del satélite son el achatamiento de la Tierra, la forma elíptica del ecuador, la atracción del sol y la luna y la presión de la radiación solar. Las fuerzas artificiales, que son producidas por el hombre, hacen posible la colocación del satélite en órbita y mantenerlo en la velocidad y posición requeridas.

Para un observador terrestre los satélites geoestacionarios son un punto fijo en el cielo. Para que mantenga constante su órbita sobre nuestro planeta se mencionan en la tabla 1.3 de manera específica los valores de las variables que debe contar el sistema.

**Tabla 1.3** Valores a considerar para un satélite geoestacionario.

Altura	Velocidad	Período de Rotación
36.000 Km	10.900 Km/h	23 horas, 56 min., 4 seg.

Fuente: <http://www.cede.org/boletines/numero10/portada.htm>

Con lo anterior se logra que la fuerza de atracción terrestre y la centrífuga se equilibren. También se consigue que el satélite acompañe a nuestro planeta en su movimiento de rotación, que dura 24 horas. A una altura más baja el satélite se adelantaría al giro planetario. Además se asegura que la órbita de la nave geoestacionaria se sitúe siempre sobre el Ecuador terrestre.

### 1.4.1 Legislación de la Órbita Geoestacionaria.

La órbita geoestacionaria es un recurso natural limitado, como lo reconoce el Convenio Internacional de Telecomunicaciones. Esta limitación que se traduce en la práctica en la posibilidad real de saturación de la órbita, proviene de los siguientes hechos:

- Saturación física de toda la órbita o de uno de los segmentos de la misma, debido a la colocación en ella de un número mayor de satélites de los que pueden operar sin interferencias.
- Posibilidad de colisiones entre satélites, sobre todo cuando se coloquen en órbita las grandes superestructuras que se proyectan para transmisión de energía solar.
- Privación de la energía solar que utilizan los satélites pequeños para su operación, debido a la sombra que proyectarían esas grandes estructuras.
- Saturación del espectro de frecuencias que se utilizan para las comunicaciones por satélite.

De estas limitaciones, la última es la más inminente y se advierte ya en los complicados procedimientos que deben observarse para la asignación de esas frecuencias.

El tema del carácter y utilización de la órbita síncrona geoestacionaria ha sido uno de los más sensibles y difíciles en la agenda de las Naciones Unidas. Luego de muchos años de debates y de posiciones antagónicas entre los países industrializados y de aquellos en vías de desarrollo, durante el 39 Período de Sesiones de la Subcomisión de Asuntos Jurídicos de la Comisión de las Naciones Unidas sobre la Utilización Pacífica del Espacio Ultraterrestre, COPOUS<sup>11</sup>, que tuvo lugar en Viena del 27 de marzo al 7 de abril de 2000, se obtuvo de las partes que acepten que el tema del acceso equitativo a la órbita síncrona geoestacionaria está bien reglamentado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), de acuerdo con el párrafo 196.2 del Artículo 44 del instrumento constitutivo de dicho Organismo internacional que en su parte pertinente establece:

“En la utilización de bandas de frecuencia para las radiocomunicaciones, los Estados miembros tendrán en cuenta que las frecuencias y la órbita de los satélites geoestacionarios son recursos naturales limitados que deben utilizarse en forma racional, eficaz y económica, de conformidad con lo establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones, para permitir el acceso equitativo a esta órbita y a esas frecuencias a los distintos países o grupos de países, teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica de determinados países”<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> El COPOUS es un comité de Naciones Unidas que se formó en 1958 con 18 miembros.

<sup>12</sup> Fuente: “Boletín del Centro Español de Derecho Espacial (CEDE)”, núm. 10

La aceptación de este planteamiento por parte de la Subcomisión y de los países en desarrollo, hizo posible que los países industrializados acepten el texto que se transcribe a continuación del mencionado recurso natural limitado:

“La Subcomisión de Asuntos Jurídicos recomienda:

Que cuando sea necesaria la coordinación entre países con miras a la utilización de órbitas de satélites, inclusive la órbita de satélites geoestacionarios, los países interesados tengan en cuenta el hecho de que el acceso a esa órbita debe realizarse, entre otras cosas, de manera equitativa y en conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. Por consiguiente, en caso de solicitudes equiparables para acceder al recurso órbita/espectro por parte de un país que ya tenga acceso a dicho recurso y un país en desarrollo u otro país que trate de acceder a él, el país que ya tenga acceso debe adoptar todas las medidas prácticas para permitir que el país en desarrollo o el otro país tenga acceso equitativo al recurso órbita/espectro solicitado”<sup>13</sup>.

Dicho comité se creó para considerar:

- ✓ Las actividades y los recursos de las Naciones Unidas, de las agencias especializadas y de otros cuerpos internacionales referentes a las aplicaciones pacíficas del espacio exterior.
- ✓ La cooperación y programas internacionales en el campo que se podrían emprender apropiadamente bajo auspicios de Naciones Unidas.
- ✓ Los arreglos de organización para facilitar la cooperación internacional en el campo en el marco de las Naciones Unidas.
- ✓ Los problemas legales que pudieron presentarse en programas para explorar el espacio exterior.

En 1959, el comité tenía 24 miembros. Ha crecido desde entonces a 65 miembros, siendo uno de los comités más grandes de las Naciones Unidas. Además de estados, un gran número de organizaciones internacionales, incluyendo organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales, tienen participación como observadores en COPOUS y sus subcomités.

A continuación se muestra una lista de los miembros del comité sobre las aplicaciones pacíficas del espacio exterior:

Albania	Hungría	Rumania
Argentina	La India	Federación Rusa
Australia	Indonesia	Arabia Saudí
Austria	Irán	Senegal
Bélgica	Iraq	Sierra Leona
Benin	Italia	Eslovaquia

<sup>13</sup> Ibidem.

Brasil	Japón	África del Sur
Bulgaria	Kazajastán	España
Burkina Faso	Kenia	Sudán
Camerún	Líbano	Suecia
Canadá	Malasia	Siría
Sábalo	México	Turquía
Chile	Mongolia	Ucrania
China	Marruecos	Reino Unido
Colombia	Países Bajos	Irlanda del Norte
Cuba	Nicaragua	Estados Unidos
República Checa	Niger	Uruguay
Ecuador	Nigeria	Venezuela
Egipto	Paquistán	Alemania
Francia	Portugal	Perú
Polonia	Filipinas	Grecia
Vietnam	República de Corea	

Fuente: [www.mvhsmun.org/com/copuos/joint.htm](http://www.mvhsmun.org/com/copuos/joint.htm)

Otras complicaciones que han surgido respecto al problema de la órbita geoestacionaria han sido de índole político, no técnico. Uno de estos problemas se dio en 1976 cuando ocho países ecuatoriales reivindicaron plena soberanía sobre los segmentos de la órbita geoestacionaria situados sobre sus territorios. Fue la llamada Declaración de Bogotá. Esta reivindicación ha sido rechazada por el resto de los Estados miembros del COPUOS y de la UIT.

#### 1.4.2 Los Satélites en la Órbita Geoestacionaria.

El estado actual de los satélites de telecomunicaciones desborda todas las expectativas que se hicieron hace ya 53 años cuando Clarke concibió el empleo de la órbita geoestacionaria con fines de radiocomunicaciones.

Actualmente hay más de 300 satélites colocados en esta órbita debido a que tradicionalmente ha venido siendo una de las órbitas más utilizadas para las telecomunicaciones por satélite. En la tabla 1.4 se muestra una lista de los satélites que se encuentran colocados en dicha órbita y su ubicación.

Tabla 1.4 Satélites Geoestacionarios.

Posición	Nombre	Fecha de lanzamiento
0.0E	Meteosat 7	1997
4.8E	Sirius 2	5-October-98
5.0E	Sirius 3	1998
6.0E $i=3.2$	Skynet 4F	2001
7E	Eutelsat W3	22-Abril-99
10E	Eutelsat W1	7-Septiembre-2000

15.6E	IS 705	22-Marzo-95
13E	Hotbird 1	28-Marzo-95
13E	Hotbird 2	21-Noviembre-96
13E	Hotbird 3	2-Septiembre-97
13E	Hotbird 4	Febrero-98
13E	Hotbird 5	9-October-98
16E	Eutelsat W2	5-October-98
16.2E	SICRAL 1	7-Febrero-01
16.5E	Italsat 2	1996
19.2E	Astra 1B	2-Marzo-91
19.2E	Astra 1C	12-Mayo-93
19.2E	Astra 1E	19-October-95
19.2E	Astra 1F	8-Abril-96
19.2E	Astra 1G	2-Diciembre-97
19.2E	Astra 1H ArcsS1	18-Junio-99
19.2E	Astra 1K Arcs	-----
21E	AfriStar	28-October-98
21.5E i=1.7	Eutelsat 2-F3	7-Diciembre-91
23.5E	DFS Kopernikus 3	12-October-92
24.1E	Astra 1D	1-Noviembre-94
25E	Inmarsat 3-F5	3-Febrero-98
25.4E i=4.9	Gorizont 27	1992
25.5E	Eutelsat 2-F4	9-Julio-92
26.0E	Arabsat 2A	9-Julio-96
26.2E	Arabsat 3A	26-Febrero-99
28.2E	Astra 2A	31-Agosto-98
28.2E	Astra 2D	2000
28.2E	Astra 2B	15-Septiembre-2000
28.5E	Eutelsat Eurobird	8-Marzo-01
30.5E	Arabsat 2B	13-Noviembre-96
31E?	Arabsat 1C	26-Febrero-93
31.4E	Turksat 1B	10-Agosto-94
33E i=6	Eutelsat 1-F4	1987
33.4E i=.5	DFS Kopernikus 2	24-Julio-90
33.9E i=3.3	Gals 1	1994

34.7E i=2.2	Raduga 1-4	1999
36.0E	Eutelsat SESAT	17-Abril-2000
36.1E	Eutelsat W4	25-Mayo-2000
40.3E i=0.6	Gals 2	1995
40.2E i=3.2	Gorizont 31	1996
42.5E	Palapa 6 B2R	14-Abril-90
42.3E	Turksat 2A	10-Enero-01
42.0E	Turksat 1C	9-Julio-96
42.5E	Palapa B2R	1990
44.1E i=5.5	Thuraya 1	22-October-2000
45.0E	Europestar 1	30-October-2000
47E	Telecom 2B	15-Abril-92
47.3E i=2.3	Mugunghwa/Koreasat 1	1995
48.5E i=2.6	Eutelsat II F-1	30-Agosto-90
48.6E i=0.3	Raduga 1-5	30-Agosto-2000
49E ?	Yamal 101	5-Septiembre-99
50E	GORIZONT 38	-----
50E	Palapa C1	2-Febrero-96
52.7E i=2.8	GORIZONT 32	1996
53E i=2.2nbsp;	SKYNET 4E	1999
55E	Insat 2D r	1992
56E	Bonum 1	23-Noviembre-98
57E	NSS 703	6-October-94
60.0E	IS 604	23-Junio-90
62.0E	IS 902	30-Agosto-01
63.9E	Inmarsat 3F1	3-Abril-96
64.2E	IS 602	1989
64.2E	IS 804	22-Diciembre-97
66.0E	IS 704	10-Enero-95
72E i=3.9	ELECTRO GOMS	1994
68.5E	PAS 7	16-Septiembre-98
68.7E	PAS 10	15-Mayo-01
71.2E i=4.6	UFO 10	1999
72.1E	PAS 4	Septiembre-95

72.8E i=2.2	Luch 1	1994
74.2E i=3.3	Insat 1D	12-Junio-90
75E	LMI-1	26-Septiembre-99
76.5	APSTAR 2R	16-October-97
78.5	Thaicom 2	8-October-94
78.5E	Thaicom 3	17-Abril-97
79.9E i=0.8	Cosmos 2350	1998
80.0E	Express 2A	2000
80.3E Cosmos	Geizer 2371	5-Julio-2000
80.3E	Beidou 1B	2000
83E	Insat 3B	22-Marzo-2000
83E	IS APR-1 (Insat 2E)	2-Abril-99
84.7E i=6.4	TDRS 3	29-Septiembre-88
85.5E i=1.7	FY-2	1997
87.5E	Chin1/Zhng1	30-Mayo-98
87.6E	Sinosat Chinastar1 98-33	18-Julio-98
88E	ST 1	25-Agosto-98
89.8E	Yamal 1 02	6-Septiembre-99
91.5E	Measat 1	12-Enero-96
93.4E	INSAT 2B	1993
93.4E	INSAT 2C	6-Diciembre-96
96.5E i=4.8	Gorizont 28	18-Febrero-94
98E	Zhongxing 22	26-Enero-2000
98.6E i=1.3	Ekran 21 M18	2001
100.5E	Asiasat 2	28-Noviembre-95
104.5E	FengYun 2B	2000
105E	AsiaStar	22-Marzo-2000
105.5E	Asiasat 3S	21-Marzo-99
107.7E	Indostar/Cak 1	12-Noviembre-97
108E	Telekom 1	12-Agosto-99
108.2E	GE 1A	2-October-2000
109E i=2.4	Inmarsat 2F4	15-Abril-92
109.6E	B-SAT 1A	17-Abril-97
109.8E	BS-3N	8-Julio-94

109.9E	B-SAT 1B	29-Abril-98
109.9E	B-SAT 2A	8-Marzo-01
110E	JC-SAT 1	1989
110.1E	NSAT-110	7-October-2000
110.5E	IS APR-2 (Sinosat 1)	1998
112E	Mugunghwa 2	1996
112.9E	Koreasat 2	14-Enero-96
112.9E	Palapa C2	1996
116E	Koreasat 3	5-Septiembre-99
118E	Palapa 7 B4	14-Mayo-92
120E	Thaicom 1	1993
121.1E i=4.7	Gorizont 29	1993
123E i=1.4	Garuda 1	12-Febrero-2000
124E	JCSAT 6	16-Febrero-99
125E	DFH 3F2	1997
125E	Zhongxing 6	3-Noviembre-94
125E	Zhongxing 8	11-Mayo-97
127E	JCSAT 4	17-Febrero-97
128E	JCSAT 3	29-Agosto-95
130E	Rimsat 1	19-Noviembre-93
130E	GORIZONT 41	-----
132E	N-STAR-A	1995
132E	CS-3A	19-Febrero-98
134E	APSTAR A1	1996
136E	N-STAR-B	1996
138E	APSTAR 1	21-Julio-94
140E i=5.7	Gorizont 25	2-Abril-92
140E	Himwari/GMS5	1995
140E	Beidou 1	2000
142.5E	GORIZONT 42	-----
142.1E i=4.3	Rimsat Gz30	20-Mayo-94
144E	Superbird C	28-Julio-97
144.9E i=.2	Gorizont 33	6-Junio-2000
146E	Agila 2/Mabuhay	20-Agosto-97
147E	MPSC 2	19-Agosto-97

148E	Measat 2	13-Noviembre-96
150E	JCSAT 1B	6-Marzo-89
150E	JCSAT 5	2-Diciembre-97
154E	JCSAT 2	1-Enero-90
155.7E i=4.2	Leasat 5	1990
156.0E	Optus B3	27-Agosto-94
158.0E	Superbird A1	2-Diciembre-92
160E	Optus Aussat B1	13-Agosto-92
162E	Superbird 4 B2	17-Febrero-2000
164E	Optus A3 Aussat3	1987
166E	PAS 8	4-Noviembre-98
169E	PAS 2	8-Julio-94
171E	UFO 8	16-Marzo-98
172E	Spacenet4(ASC2)	1991
174E	IS 802	25-Junio-97
176E	IS 702	17-Junio-94
178E	Inmarsat 3-F3	18-Diciembre-96
179E	Inmarsat 2-F1	30-October-90
179.9E	Inmarsat 2F3	16-Diciembre-91
180E	IS 701	22-October-93
183E 177W	NSS 513 i=5	17-Mayo-88
186E 174W	UFO 9	20-October-98
185.5E 174.5W	TDRS 5 i=3.4	2-Agosto-91
188.5E 171W	TDRS 7 i=5	13-Julio-95
189E 171W	UFO 4	29-Enero-95
204.5E 155.5W	PAS 5	28-Agosto-97
210E 150W i=6.3	TDRS 8	30-Junio-2000
212E 148W	Echostar 1	1995
221E 139W	Satcom C5	-----
221E 139W	GE-8	2000
223E 137W	GE-7	15-Septiembre-2000
225E 135W	Satcom C4	31-Agosto-92
225E 135W	GOES-West GOES-10	25-Abril-97
227E 133W	Galaxy 1R	19-Febrero-94

229E 131W	Satcom C3	10-Septiembre-92
231E 129W	Telstar 7	25-Septiembre-99
233E 127W	Galaxy 9	24-Mayo-96
235E 125W	Galaxy 5	15-Marzo-92
237E 123W	Galaxy 10R	25-Enero-2000
240E 120W	Telstar 303	1984
240E 119W	Echostar 2	1996
241E 119W	Echostar 6	14-Julio-2000
241E 119W	Echostar 4	1998
241.2E 118.7W	Tempo 2	8-Marzo-97
241.3E 118.7W	Anik E-1	26-Septiembre-91
243.2E 116.8W	Satmex 5	6-Diciembre-98
245E 115W	XM-2 Rock Radio	18-Marzo-01
247E 113W	Solidaridad 2	8-October-94
247.3E 112.7W	Cosmos 2282 i=2.6	1994
248.9E 111.1W	Anik E-2	4-Abril-91
250E 110W	Echostar 5	24-Septiembre-99
250.2E 109.8W	DBS 1 93-78a	18-Diciembre-93
251.3E 108.7W	GOES-Spare GOES-11	3-Mayo-2000
252.7E 107.3W	Anik F-1	21-Noviembre-2000
253.5E 106.5W	MSAT m1	1996
254.6E 105.4	ACTS	1993
255E 105W	Gstar 4	20-Noviembre-90
256.3E 103.7W	GOES-Spare GOES-9	23-Mayo-95
257E 103W	GE-1	8-Septiembre-96
259.0 101.0W	Solidaridad 1	30-Noviembre-93
258.8E 101.2W	DirecTV 1R	10-October-99
259.0E 101.2W	GE 4	13-Noviembre-99
259.1E 100.9W	AMSC 1	1995
259.1E 100.9W	DBS 3	10-Junio-95
259.2E 100.8W	DirecTV/DBS 2	4-Agosto-94
260E 100W	UFO6	22-October-95
262E 98W	Inmarsat 2F2	1991
261E 99W	Galaxy 4R	18-Abril-2000

263E 97W	Telstar 5	24-Mayo-97
265E 95W	Galaxy 3R	15-Diciembre-95
265E 95W	Galaxy 3C	-----
265E 95W	Galaxy 8 I	8-Diciembre-97
267E 93W	Telstar 6	15-Febrero-99
268E 92W	Brazilsat B4	2000
269E 91W	Telesat Nimiql	21-Mayo-99
269E 91W	Galaxy 11	22-Diciembre-99
271E 89W	Telstar 402R	24-Septiembre-95
273E 87W	GE-3	4-Septiembre-97
274.8 85.2W	Xm-1	2001
275E 85W	GE-2	1997
276E 84W	Brazilsat B3	1-Abril-98
279.2E 80.8W i=3.8	GE Satcom K2	1985
281E 79W	GE 5	28-October-98
281E 79W	Satcom C1	20-Noviembre-90
283E 77W	SBS 4 i=6.1	12-October-90
284.7E 75.3W	GOES-East GOES-8	13-Abril-94
286E 74W	SBS 6	12-October-90
286E 74W	Galaxy 6	12-October-90
288E 72W	GE 6	22-October-2000
288.1E 71.9W	Nahuel 1A	1997
290E 70E	Brazilsat B1	10-Agosto-94
295E 65W	Brazilsat B2	28-Marzo-95
298.5E 61.5W	Echostar 3	5-October-97
300E 60W i=6	PAS 22	1997
302E 58W	PAS 9	28-Julio-2000
304.5E 55.5W	IS 805	18-Junio-98
305.7E 55.3W	IS 901	2001
306E 54W	Inmarsat 3-F4	3-Junio-97
307E 53W	IS 706	1995
310E 50W	IS 709	1996
313 47W	TDRS 6 i=2.6	13-Enero-93
315E 45W	PAS 1R	15-Noviembre-2000
317E 43W	PAS 3	12-Enero-96

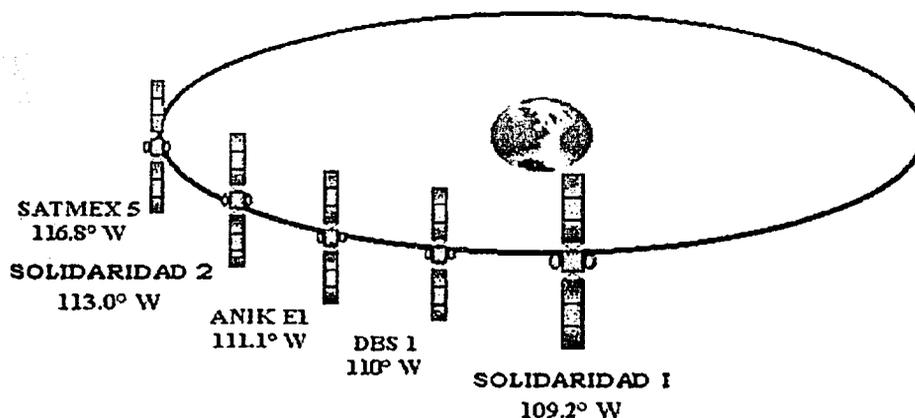
316.7E 43.3W	PAS 6	8-Agosto-97
317E 43W	PAS 3R	1996
317E 43W	PAS 6B	22-Diciembre-98
319E 41W	TDRS 4 i=4.2	13-Marzo-89
319.5E 40.5W	NSS 806	1998
322.4E 37.6W	IS/Colmb 515 i=3.4	1989
322.5E 37.5W	Orion 1	29-Noviembre-94
325.5E 34.5W	IS 601	29-October-91
326E 34W i=1.7	Skynet 4D	1998
326E 34W i=5.2	Skynet 4A	1990
328.5E 31.5W	IS 801	1-Marzo-97
329.8E 30.2W	Hispasat 1C	4-Febrero-2000
330.0E 30.0W	Hispasat 1A	10-Septiembre-92
330.0E 30.0W	Hispasat 1B	1993
330.5E 29.5W	IS 511 i=6.6	1985
332.5E 27.5W	IS 605	1991
335.5E 24.5W	IS 603	14-Marzo-90
338.5E 21.5W	NSS K	10-Junio-92
338.5E 21.5W	NSS 803	23-Septiembre-97
339.8E 20.2W	NATO 4B	1991
340.6E 19.4W	NATO 3D i=6	1984
342.2E 17.8W	NATO 4A i=3.6	1991
344.5E 15.5W	Inmarsat 3F2	6-Septiembre-96
345E 15W	Orion 2	19-October-99
345E 15W	Eutelsat Telstar 12	25-Septiembre-99
345.5E 14.5W	Express 1	1994
346E 14W	Astra 1A	11-Diciembre-88
347E 13W	Sirius/Marco1	1989
347.5E 12.5W	Eutelsat II F-2	1991
348.3E 11.7W	Gorizont 26	14-Julio-92
349E 11W	Express A3	24-Junio-2000
351E 9W	Meteosat 6	1993
352E 8W	Eutelsat Telecom 2D	6-Diciembre-95
352E 8W	Eutelsat Telecom 2A	16-Diciembre-91
352E 8W	Eutelsat Atlantic Bird	25-Septiembre-01

	2	
353E 7W	Nilesat 101	29-Abril-98
353E 7W	Nilesat 102	18-Agosto-2000
355E 5W	Telecom 2C	6-Diciembre-95
356.2E 3.8W	AMOS 1	16-Mayo-96
359E 1W	IS 707	Marzo-96
359E 1W	Skynet 4C	1990
359.2E 0.8W	Thor 1/Marco1	19-Agosto-90
359.2E 0.8W	Thor 2a	21-Mayo-97
359.2E 0.8W	Thor 3	9-Junio-98

Fuente: <http://www.satsig.net/sslist.htm>

### 1.5 Los Satélites en México.

Antes de agosto del año 2000, México tenía en órbita cuatro satélites: el Morelos II, Solidaridad I y II, y Satmex 5; ya que el tiempo de vida del Morelos I se venció y fue sacado de su órbita para que no golpeará a otros satélites o quedara derivando. Respecto al Morelos II, a partir de agosto de 1998 comenzó a operar en una órbita inclinada ( $120.5^\circ$  W) y a la fecha continúa ofreciendo servicios de Telecomunicaciones. Sin embargo, de la problemática surgida el 27 de agosto del 2000<sup>14</sup> con el satélite Solidaridad I, ahora sólo se tienen en funcionamiento el Morelos II, el Solidaridad II y el Satmex 5. En la figura 1-1 se muestra la posición orbital de los satélites mexicanos en la órbita geoestacionaria.



**Figura 1-1** Posición orbital de los satélites mexicanos en la órbita geoestacionaria. Se observa que no se encuentran uno tras otro sino que existen otros satélites que los separan.

<sup>14</sup> Fuente: "Red Edusat", <http://www.ute.sep.gob.mx/asistencia/restablecimiento.html>.  
 Revista RED: "Industria Satelital, un factor clave en el desarrollo de México", Agosto 131.

El satélite Solidaridad I cubría parte de la demanda de los usuarios, pero a raíz de su falla hubo una gran falta de servicios y las compañías tuvieron que migrar hacia los satélites Solidaridad II y Satmex 5

El satélite Solidaridad II cuenta con 18 transpondedores en banda C y 16 en banda Ku, además de tener un sistema de transmisión en banda L que permite proporcionar servicios de comunicación móvil en el país.

Por su parte, el Satmex 5 es un satélite geoestacionario que cuenta con celdas solares de arseniuro de galio, baterías y sistema de propulsión con tecnología de punta que facilitan la operación de 24 transpondedores de banda C y 24 de banda Ku.

Está por lanzarse el Satmex 6 para el primer trimestre del año 2003 en la posición 109.2° W, que era donde se hallaba el Solidaridad I<sup>15</sup>. La compañía Loral construye el satélite y el lanzador será Arianespace.

Por si fuera poco, se afirma que posiblemente se estará lanzando otro satélite más pequeño denominado Satmex 7<sup>16</sup>, con la intención de llenar algunos huecos de cobertura. Se habla de que pudiera lanzarse por las mismas fechas del Satmex 6.

En la tabla 1.5 se muestran algunos acontecimientos importantes a partir del año 1968, año en que se inician las comunicaciones vía satélite en México

Tabla 1.5 Acontecimientos importantes en la era satelital de México.

Año	Acontecimientos
1968	México entra a la era satelital y millones de televidentes pueden presenciar las Olimpiadas celebradas en México gracias al satélite ATS-3 – propiedad de la NASA y rentado por INTELSAT- y a la Red Federal de Microondas, La Estación Terrestre para Comunicaciones Espaciales de Tulancingo y a la Torre de Telecomunicaciones de la ciudad de México.
1985	El 17 de junio el transbordador Discovery de la NASA coloca en órbita el primer satélite de comunicaciones mexicano que llevó el nombre de Morelos I. El 26 de noviembre el Morelos II es enviado al espacio. Este satélite es muy recordado porque en el transbordador Atlantis viajó como miembro de la tripulación el Doctor Rodolfo Neri Vela, quien se convirtió así en el primer astronauta mexicano.
1992	La Unidad de Televisión Educativa (UTE) inicia la transmisión de telesecundaria y otros programas educativos a través del sistema de satélites Morelos.
1993	El 19 de noviembre es lanzado al espacio, desde Guyana Francesa y a bordo de un cohete Arianespace, el nuevo satélite mexicano Solidaridad I, construido por la empresa Hughes.

<sup>15</sup> Fuente: "www.satmex.gob.mx"

<sup>16</sup> Fuente: "Industria Satelital, un factor clave en el desarrollo de México", Iván Cid, Revista RED, agosto 131.

1994	El 7 de octubre de 1994 el satélite Solidaridad II es colocado en órbita. Fue construido por la empresa Hughes y fue enviado al espacio desde la Guyana Francesa a bordo de un cohete Arianespace
1995	Ese año es muy importante para la industria satelital pues el presidente Zedillo decide reformar el Artículo 28 constitucional a fin de que la comunicación vía satélite deje de considerarse legalmente como una actividad estratégica exclusiva del Estado.
1997	Se privatiza la operación satelital en México y se forma Satmex con la participación de Telefónica Autrey y Loral Space
1998	Se cumplen 30 años de la era satelital en México y se pone en órbita el satélite Satmex 5, que fue construido por Hughes Space en Estados Unidos y puesto en órbita por un cohete francés de Arianespace. La vida útil de este satélite es de 15 años.
2000	En agosto de este año el satélite Solidaridad I presenta fallas y deja de operar, pasando la carga de trabajo al Solidaridad II, Satmex 5 y a los satélites de Loral
2001	Comienza a surgir una apertura del mercado para que existan más jugadores en esta industria y atiendan al mercado mexicano. El gobierno federal está a punto de dar concesiones a operadores extranjeros. Actualmente se tienen empresas con concesiones para explotar los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubren y pueden prestar servicios en territorio nacional (ver anexo 4).

Fuente: "Industria Satelital, un factor clave en el desarrollo de México", Ivan Cid, Revista Red, agosto 2001.

### 1.5.1 El Sistema Morelos.

Los satélites Morelos I y II fueron de la serie HS376; los cohetes de propulsión fueron comprados a la compañía McDonell Douglas<sup>17</sup>; para su lanzamiento se contrataron los servicios de transbordadores de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la supervisión y el control de calidad de los equipos estuvo a cargo de la compañía COMSAT General<sup>18</sup>. Los dos satélites quedaron colocados en órbita geoestacionaria a 36 mil kilómetros sobre el ecuador. Cada uno de los aparatos medía 2.17 m de diámetro y 2.85 de altura (plegado) y 6.62 m (desplegado), teniendo un peso inicial en órbita de 1232 kg de los cuales 145 son combustible. La fuente primaria de energía eléctrica requerida para su operación constaba de un dispositivo de celdas solares montado sobre su cuerpo cilíndrico y de un conjunto de baterías para casos de eclipses. Tenían capacidad para 32 canales de televisión o su equivalente de 32 mil canales telefónicos. Operaban en dos bandas distintas simultáneamente: la C 6/4 GHz y la Ku 14/12 GHz.

<sup>17</sup> McDonell Douglas es una compañía norteamericana dedicada al diseño de aeronaves.

<sup>18</sup> COMSAT (Communications Satellite Corporation) es una compañía que administra el consorcio de países interesados en Intelsat, y actúa como representante y signatario por parte de Estados Unidos.

Las características de ambos satélites eran: sistema giratorio, tipo SPINNER, potencia de 800 Watts y vida útil de 7 años, situación que para el Morelos II se logró alargar debido a que por 3 años su órbita fue modificada y ahora se encuentra en una órbita inclinada.



## Morelos II

120.5°W  
(órbita inclinada)

Figura 1-2 El satélite Morelos II\*.

La tabla 1.6 define algunas especificaciones técnicas que tenían los satélites Morelos.

Tabla 1.6 Algunas especificaciones de los satélites Morelos.

	Banda C	Banda Ku
Frecuencia	5.925 a 6.425 GHz (rx) 3.7 a 4.2 GHz (tx)	14 a 14.5 GHz (rx) 11.7 a 12.2 GHz (tx)
Cobertura	México y sur de USA	México y sur de USA
No. de canales	18 : 12 de 36 MHz y 6 de 72 MHz	4 de 108 MHz
No. amplificadores TWTA's <sup>19</sup>	8 de 72 MHz y 14 de 36 MHz	6 en total, 4 operando y 2 redundantes.
PIRE en dBW <sup>20</sup> (Potencia de tx)	Canales de 72 MHz: 39 dBW Canales de 36 MHz: 36 dBW	44 dBW en cada canal.

<sup>19</sup> TWTA's son amplificadores de tubo de ondas progresivas de alta potencia empleados en los satélites de comunicaciones

<sup>20</sup> PIRE : Potencia Isotrópica Radiada Efectiva. Es el resultado de la combinación de la potencia del transmisor con la ganancia de la antena en una dirección determinada. Se expresa en decibeles referidos a la potencia expresada en Watts (dBW).

El Satélite Morelos I fue sacado de su órbita ya que su tiempo de vida se venció. Con los últimos 5 Kg de combustibles se mueve hacia un basurero espacial. El Morelos II continúa operando en una órbita inclinada.

### **1.5.2 El sistema Solidaridad.**

El sistema de satélites Solidaridad representa la segunda generación de comunicaciones espaciales para México. Son de la serie HS601. Hughes Aircraft, subsidiaria de General Motors, inició la construcción de los satélites bajo un modelo financiero a 10 años, mediante el cual el gobierno pretendía generar un superávit de 800 millones de dólares. Ariane space fue la encargada de ponerlos en órbita.

Como se menciona anteriormente, en forma similar a los Morelos, cada uno de los Solidaridad cuenta con 18 transpondedores en banda C, pero con mucho mayor potencia que los primeros, y cobertura en más áreas geográficas, gracias a la tecnología de amplificadores de estado sólido empleados en su construcción. Asimismo, dentro de la carga útil se cuenta con 16 transpondedores de banda Ku equivalentes a 4 veces la capacidad que se tenía en los Morelos. Adicionalmente existe un sistema de transmisión en banda L, que permite dar servicios de comunicación móvil a todo el país, incluyendo sus costas y mar territorial. Las posiciones de los satélites geoestacionarios Solidaridad I y II son 109.2° W y 113° W respectivamente.

Todas las bandas cubren México, además de las extensiones en banda Ku para coberturas en la frontera sur de los Estados Unidos, la costa Este y las ciudades de San Francisco y los Angeles. La cobertura en banda C se extiende hacia el caribe, Centro y Sudamérica.

Las características de los satélites Solidaridad I y II son: sistema triaxial, peso de 2791 Kg, sus dimensiones son: 3.57 m x 3.14 m x 2.67 m (plegado), 7m x 3.14 m x 21 m (desplegado), potencia de 2.5 Kwatts y vida útil de 14 años. Solidaridad cuenta con la banda L que permite comunicaciones móviles a través de pantallas.

#### **1.5.2.1 El Solidaridad I .**

El 19 de noviembre de 1993 es lanzado el satélite Solidaridad 1 desde la Guyana Francesa por un cohete de Arianespace. Inició operaciones en enero de 1994.

Tabla 1.7 Algunas especificaciones que presentaba el Solidaridad I.

	<b>36 MHz Banda C</b>	<b>72 MHz Banda C</b>	<b>54 MHz Banda Ku</b>
PIRE (dBw)	R1: 37.0 R2: 36.2 R3: 36.6	R1: 40.1	R4: 47.0 R5: 46.40
Transpondedores	12	6	16
Cobertura en los Estados Unidos	Los Angeles, San Antonio y Miami	Los Angeles y San Antonio	Los Angeles, Nueva York, Miami, Houston, Dallas y San Francisco
Cobertura en América Latina	México, Argentina, Chile, Venezuela, Colombia y América Central	México, Belice y Guatemala	México, Guatemala, Belice y Cuba
Redundancia	14 SSPAs <sup>21</sup> para 12 canales	8 SSPAs para 6 canales	20 TWTAs para 16 canales
Potencia de amplificadores	SSPA de 10 y 16 Watts	SSPA de 14.4 Watts	TWTA de 45 Watts

El día 27 de agosto de 2000 el satélite Solidaridad I experimentó una anomalía debido a un corto circuito en una de las 2 computadoras del satélite causando que girara sobre su eje, impidiendo de esa manera su apuntamiento hacia la Tierra. Este hecho afectó comunicaciones en el sur de los Estados Unidos, todo el territorio mexicano y parte de Centro y Sudamérica. El satélite no pudo ser recuperado y se perdió.

La falla afectó en México a 150 empresas de radio y televisión, 700 mil usuarios de radiolocalizadores, la red de educación satelital de México, redes de sucursales bancarias y cajeros automáticos del País, empresas industriales, comerciales y de servicios.

### 1.5.2.2 El Solidaridad II

El Solidaridad II fue lanzado el 7 de octubre de 1994 desde la Guyana Francesa por medio de un cohete Arianespace, como sucedió con el Solidaridad I.

<sup>21</sup> Los SSPAs son amplificadores de estado sólido de alta potencia totalmente electrónicos que se emplean en los satélites de comunicaciones.

# Solidaridad II

113°W

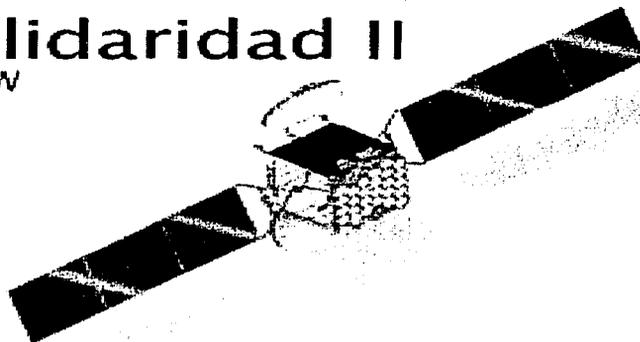


Figura 1-2 Satélite Solidaridad II\*

En la tabla 1.8 podemos observar algunas especificaciones que presenta el satélite solidaridad II, actualmente dando servicio.

Tabla 1.8 Algunas especificaciones del satélite Solidaridad II.

	<b>Banda C</b>	<b>Banda Ku</b>	<b>Banda L</b>
<b>Frecuencia</b>	5.9 a 6.4 GHz (Rx) 3.7 a 4.2 GHz (Tx)	14 a 14.5 GHz (Rx) 11.7 a 12.2 GHz (Tx)	De Est. Maestra a móviles: 14.248 a 14.265 GHz (Rx) ; 1.528 a 1.559 GHz (Tx).  De Est. Móviles a la maestra: 1.629 a 1.66 GHz (Rx) ; 11.9515 a 11.9685 GHz (Tx)
<b>Cobertura</b>	R1: México y sur de Estados Unidos  R2: México, Centro América, el Caribe, Norte de América del Sur.  R3: El resto de América del Sur excepto Brasil.	R4: México y SO de Estados Unidos  R5: Ciertas cds. De Estados Unidos.	México y su mar territorial.

No. Canales	18: 12 de 36 MHz y 6 de 72 MHz	16 de 54 MHz	3 sub-bandas
No. Amplificadores	8 de 72 MHz y 16 de 36 MHz	20: 16 operando y 4 redundantes	6: 4 operando y 2 redundantes.
PIRE	Canales de 72 MHz: 40 dBW Canales de 36 MHz: 37 dBW	R4: 47 dBW R5: 46 dBW	45 dBW

Para podernos dar una idea de las áreas de cobertura que abarca el satélite Solidaridad II mostramos mediante las Figuras 1-3, 1-4, 1-5, 1-6 y 1-7 cada una de las huellas identificadas por la región que cubren. Como se mencionó en la tabla 1.8 en el aspecto de cobertura, podremos identificar cada una de las zonas mencionadas.

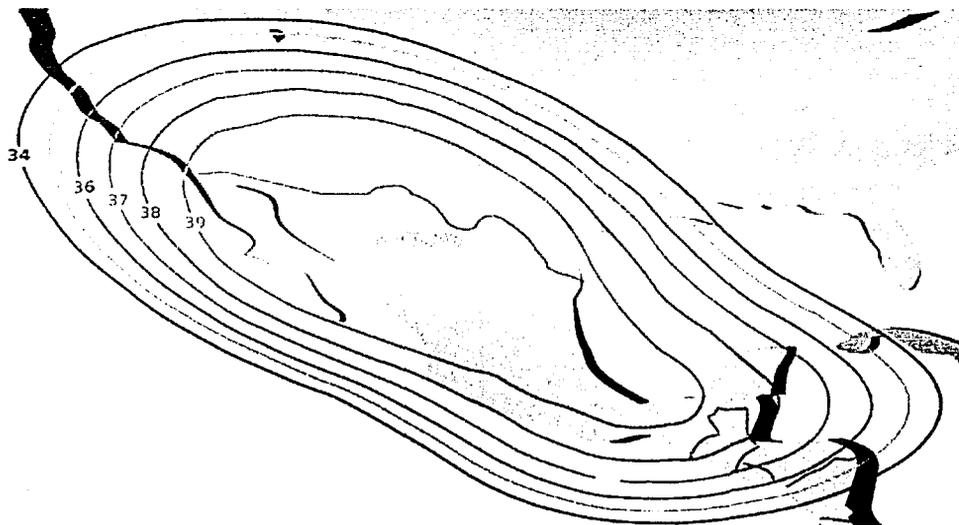


Figura 1-3 Región 1\*

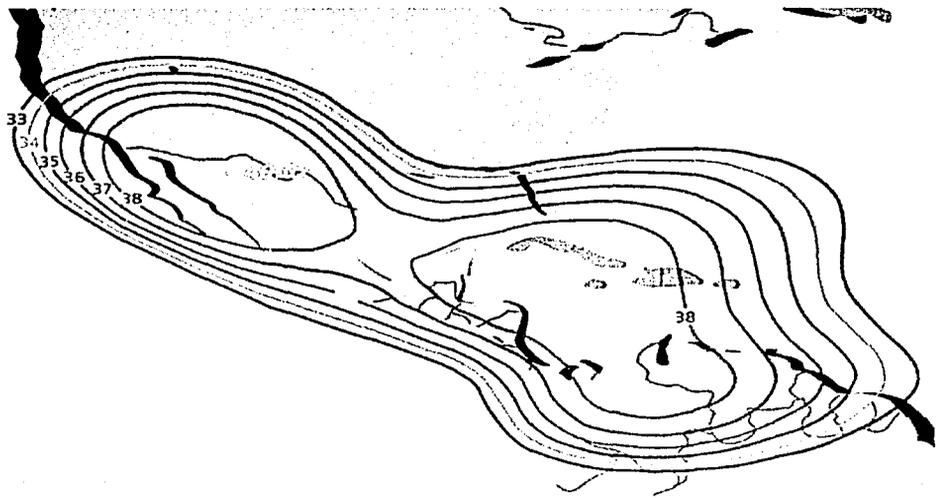


Figura 1-4 Región 2\*

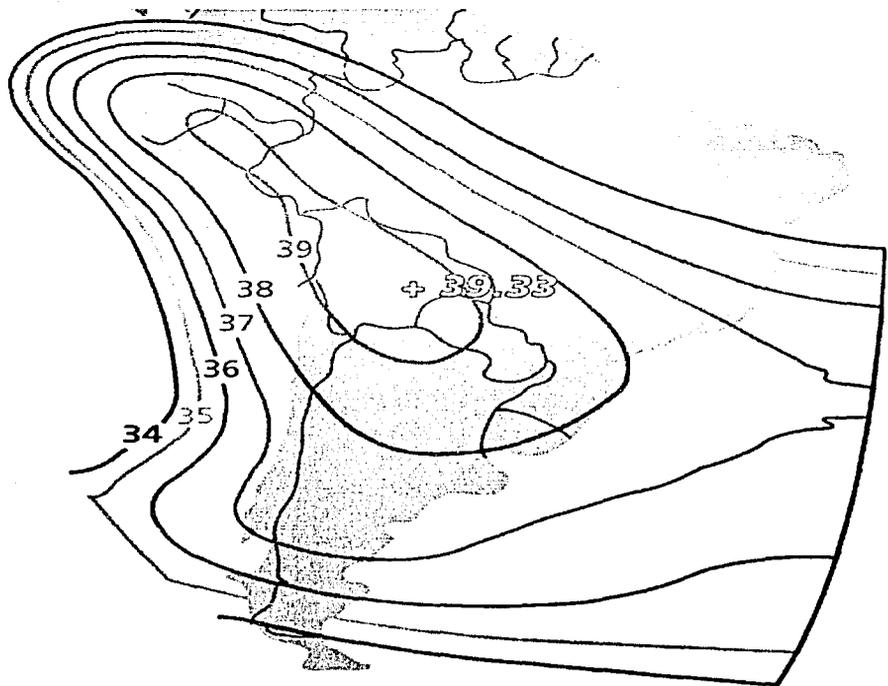


Figura 1-5 Región 3\*

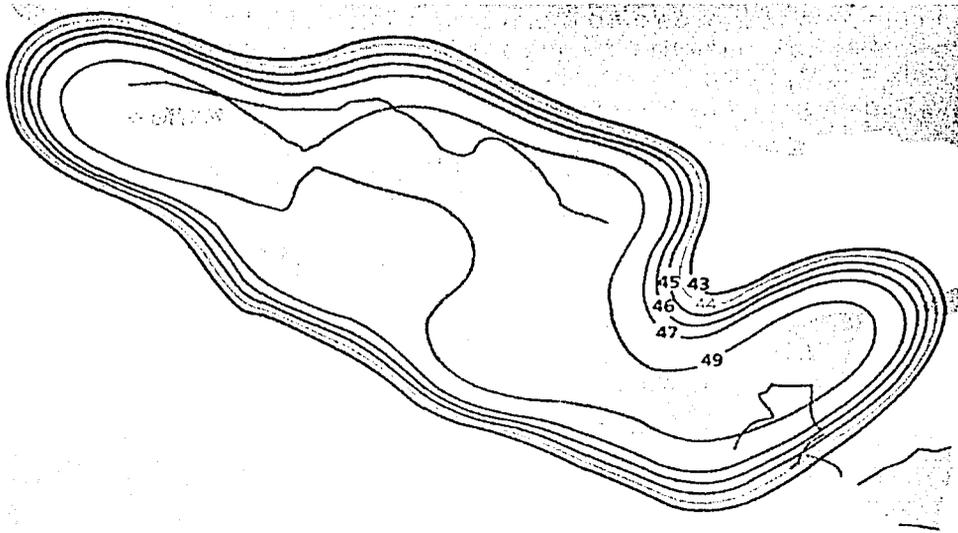


Figura 1-6 Región 4\*

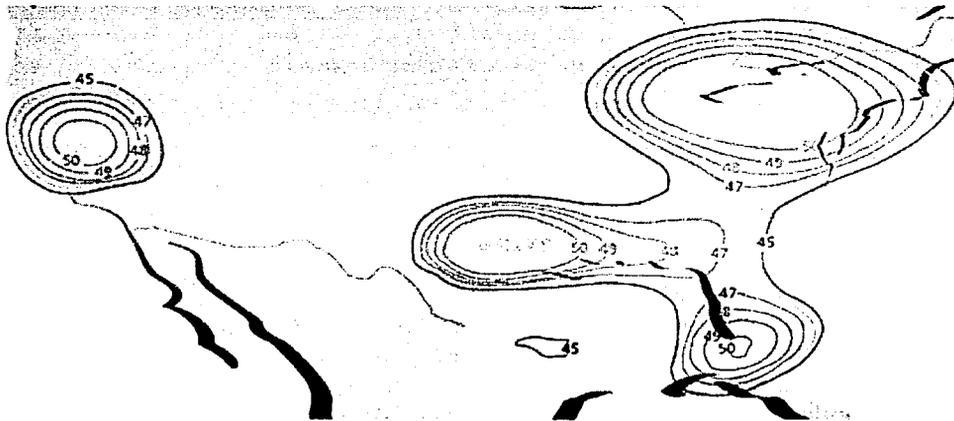


Figura 1-7 Región 5\*

Como podemos observar, al obtener espacio satelital en Solidaridad II, se puede obtener cobertura de alta potencia sobre México y conectividad entre los Estados Unidos y Latinoamérica.

### 1.5.3 El Satmex 5

Es el primer satélite puesto en órbita bajo contrato de una empresa privada, y es el único satélite Latinoamericano con cobertura en todo el continente en una sola huella satelital. Este satélite ha apoyado a la empresa Satmex para que proporcione servicios a nivel regional y continental.

Satmex 5 cuenta con celdas solares de arseniuro de galio y nuevas tecnologías en baterías y sistema de propulsión, para lograr operar 24 transpondedores de banda C y 24 transpondedores de banda Ku de alto poder. Esta gran capacidad en banda Ku permite la transmisión de señales de televisión directa al hogar a antenas menores de 1 m de diámetro.

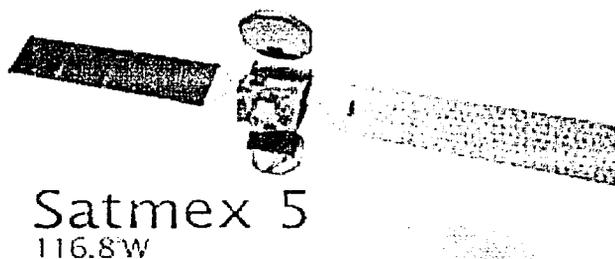


Figura 1-8 Satélite Satmex 5\*

Fue fabricado por Hughes Space & Communications, en California EUA, lugar en donde se construyeron la primera y segunda generación de satélites mexicanos. La vida útil esperada de Satmex 5 es de 15 años y fue puesto en órbita por un cohete de Arianespace.

Entre los beneficios que ofrece el satélite Satmex 5 se encuentran el llevar a México a una auténtica globalización de los servicios satelitales, ya que cuenta con cobertura continental en todos sus canales, una potencia 10 veces mayor a los anteriores satélites Morelos, tres veces superior a los Solidaridad y la tecnología satelital más avanzada, que le permitirá tener una vida útil superior a los 15 años. Además puede atender aplicaciones satelitales que requieren gran demanda de potencia, dado que se puede hacer un mejor aprovechamiento del segmento espacial.

Tabla 1.9 Especificaciones del Satmex 5

Satmex 5	36 MHz Banda C	36 MHz Banda Ku
Pire (dBw)	38.0	Ku 1 <sup>22</sup> : 49.0 Ku 2 <sup>23</sup> : 46.0
Transpondedores	24	24
Cobertura de las principales ciudades de Estados Unidos	Los Angeles, Nueva York, Miami, Chicago, San Francisco, Washington y Houston	Los Angeles, Dallas, Miami, Nueva York, San Francisco, Washington y Houston
Cobertura de los principales países de América Latina	México, Argentina, Venezuela, Colombia, Chile, América Central y el Caribe.	Ku 1: México, Guatemala y Belice.  Ku 2: México, Argentina, Venezuela, Colombia, Chile, América Central y el Caribe.
Redundancia	30 TWTAs para 24 canales	32 TWTAs para 24 canales

Para tener una visión de cada una de las zonas geográficas que cubre el Satmex 5, mostramos en las figuras 1-9, 1-10 y 1-11 las huellas de acuerdo a la banda de frecuencia que se emplea en dicha región. Como lo mencionamos en la tabla 1.9, el Satmex 5 da servicio en las banda C y Ku.



Figura 1-9 Huella con servicio en la banda Ku1\*

<sup>22</sup> La Banda Ku1 o Banda PSS esta definida en el rango de frecuencias de 10.7-11.75 Ghz.

<sup>23</sup> La Banda Ku2 o Banda DBS esta definida en el rango de frecuencias de 11.75-12.5 Ghz.

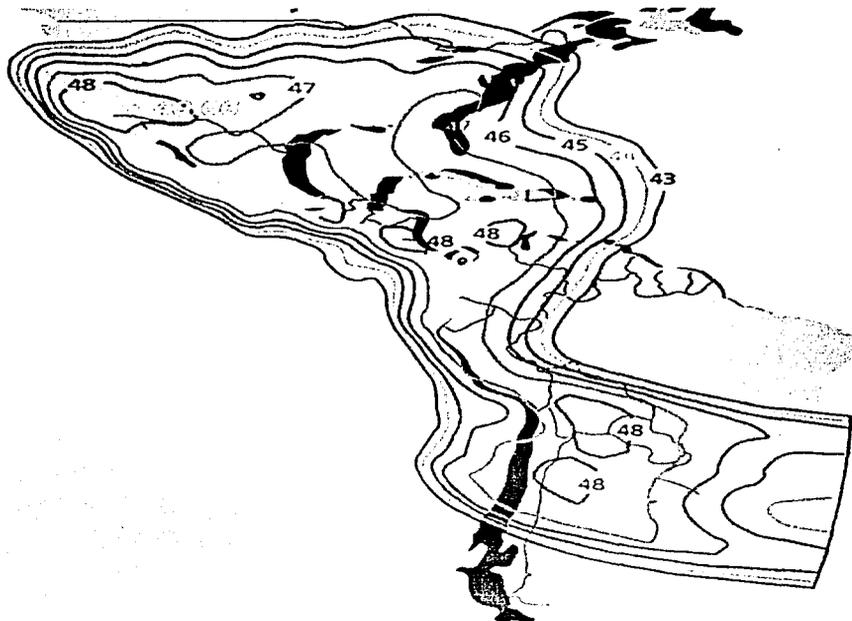


Figura 1-10 Huella con servicio en la banda Ku2\*

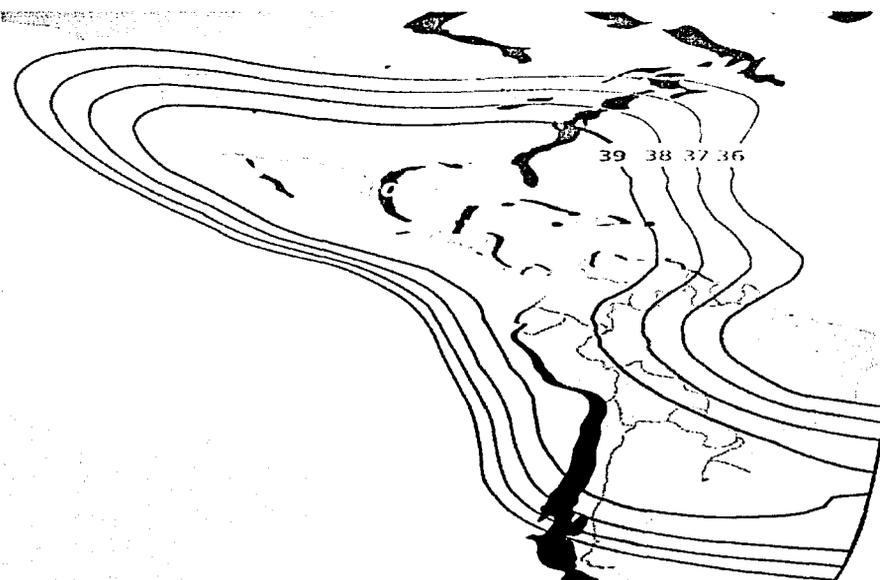


Figura 1-11 Huella con servicio en la banda C\*.

Actualmente la capacidad del satélite se encuentra totalmente vendida, este acontecimiento se logró después de 11 meses de su lanzamiento con la firma del contrato a largo plazo de 10 transpondedores con HNS<sup>24</sup>.

#### 1.5.4 El Satmex 6

Como ya lo mencionamos anteriormente, el Satmex 6 está por lanzarse para el primer trimestre del año 2003. El satélite Satmex 6 ocupará la posición del desaparecido Solidaridad I y será más poderoso que el Satmex 5, ya que contará con 50 por ciento más de potencia, más capacidad en banda C con 36 transpondedores y contará con cinco antenas para cubrir diferentes zonas tanto en banda C como en banda Ku.

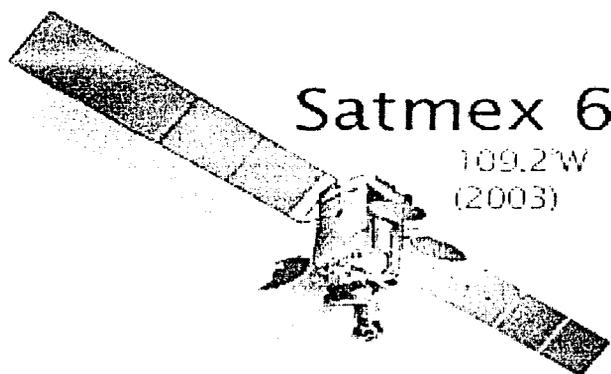


Figura 1-12 Satélite Satmex 6\*

En las figuras 1-13, 1-14, 1-15, 1-16 y 1-17 mostramos las áreas de cobertura que manejará el Satmex 6.

<sup>24</sup> HNS: Hughes Network Systems



Figura 1-13 Huella banda C1<sup>25\*</sup>



Figura 1-14 Huella banda Ku1\*

<sup>25</sup> En el caso de las bandas identificadas como C1, C2 y C3 no se refiere a que exista un rango de frecuencias definido para cada caso; únicamente se refiere a la región 1, 2 y 3 respectivamente.



Figura 1-15 Huella banda C2\*

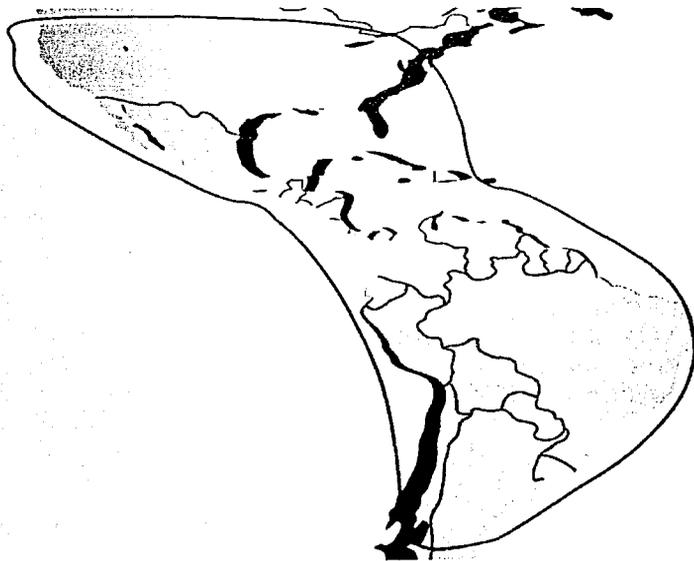


Figura 1-16 Huella banda C3\*



Figura 1-17 Huella banda Ku2\*

## 1.6 La Banda Ka

Dentro de los progresos en comunicaciones, las tecnologías satelitales siguen avanzando en la búsqueda de plataformas que permitan la entrega de servicios eficientes y económicos y que además ofrezcan ventajas similares o superiores a las que hasta ahora han logrado otras formas de transmisión como las redes de cable.

La banda Ka está revolucionando la posibilidad de ofrecer servicios de comunicaciones de doble vía, además de velocidades de transmisión hasta 50 veces más rápidas que las ofrecidas por redes estándares, con un incremento notorio en el ancho de banda que permite ofrecer nuevas aplicaciones como VOD. (Video on Demand)<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> VOD: Es producto de un proyecto de investigación que proporciona acceso a una gran cantidad de información en video sobre redes de computadoras.

La Banda Ka es una banda de frecuencias altas que opera entre los 17.0 y 30 GHz aproximadamente, siendo la primera en permitir un ancho de banda suficiente para llevar varios servicios simultáneamente como múltiples comunicaciones de voz, conexiones entre computadoras y teleconferencia, permite el uso de aplicaciones que requieran ancho de banda en demanda, de antenas y equipos satelitales pequeños, además de ofrecer una señal muy fuerte que difícilmente se deteriora en su recorrido. Una forma de incrementar la cantidad de información o datos que se llevan por unidad de tiempo transmitido en un satélite es el uso de frecuencias altas de radio. Una frecuencia alta quiere decir básicamente una longitud de onda corta. La Banda Ka posee una señal con longitud de onda milimétrica que permite aumentar considerablemente la cantidad de datos transportados.

El gran problema de las longitudes cortas es la sensibilidad ante fenómenos atmosféricos, principalmente la lluvia, que degrada la calidad de la señal. La lluvia es un fenómeno meteorológico que afecta las frecuencias que se utilizan en las comunicaciones vía satélite. Debido a su longitud de onda las bandas Ku y Ka son las más afectadas.

Entre las principales ventajas de la Banda Ka esta el incremento en el ancho de banda, conectividad de doble vía, bajos costos, acceso a Internet de gran velocidad y otras aplicaciones de negocios. Esta banda compatible con los estándares MPEG-2 (Moving Picture Expert Group) y DVB-RCS (*Digital Video Broadcast-Return Channel System*) permitirá la entrega de contenidos digitales de alta calidad además del uso de pequeñas antenas receptoras que podrían llegar a tener un diámetro de 60 cm o incluso menor.

Con el uso de Banda Ka, la utilización de antenas guías receptoras se hace mas atractiva. Este tipo de antenas o unidades guía están orientadas al cubrimiento de áreas determinadas, esta característica hace posible que los satélites tengan diferentes patrones de cobertura, esto quiere decir que la misma frecuencia de banda puede ser utilizada por múltiples antenas guías receptoras sin importar que estas áreas de cubrimiento estén aisladas unas de otras. Utilizando antenas guías separadas, la misma frecuencia de la Banda Ka puede ser utilizada cuatro veces, cuadruplicando la capacidad de los satélites, esta reutilización de frecuencias reduce el costo unitario del ancho de banda, haciendo la opción económicamente viable para usos comerciales, igualmente, el ancho de banda proporcionado puede ser compartido por varios usuarios. Gracias a la longitud de onda corta proporcionada por las frecuencias de la Banda Ka, todas estas opciones se hacen reales.

\* Nota: Imágenes obtenidas de [www.satmex.gob.mx](http://www.satmex.gob.mx)



## CAPÍTULO II

# SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES EN LAS COMUNIDADES RURALES.

### 2.1 Introducción

Más de 2.5 billones de personas – cerca del 40% de la población del planeta – vive en áreas de características remotas en los países en desarrollo. Sólo una pequeña fracción de esa población cuenta con servicios de telecomunicaciones, los cuales resultan ser los más tradicionales: radio y telefonía. Actualmente, una gran variedad de nuevos servicios como el correo electrónico, tele-educación, telemedicina, entre otros, han hecho que el acceso a los servicios de multimedia sea tan importante para las comunidades rurales como lo es la telefonía únicamente.

Gracias a los progresos notables de la tecnología de las radiocomunicaciones como los satélites de telecomunicaciones y las tecnologías de comunicación inalámbrica terrestre fija o móvil, los costos del suministro de infraestructura para los servicios de comunicación en las zonas rurales y remotas han bajado a un nivel realista que posibilita la prestación asequible y sostenible de servicios. Se espera que el desarrollo de las tecnologías de la información, la telefonía por Internet y otras aplicaciones multimedia contribuya a conectar a las comunidades rurales y remotas con el resto del mundo. Los productos perfeccionados de la tecnología de la información que se están instalando en las zonas rurales y remotas permitirán a los proveedores de servicios satisfacer mejor las necesidades de las comunidades rurales y remotas, posibilitando diversas interfaces gráficas, sonoras, textuales y plurilingües y aportando a dichas comunidades los instrumentos necesarios para crear y compartir sus respectivos contenidos locales.

Las comunidades rurales en países como México, necesitan servicios de telecomunicaciones avanzados para aumentar la eficiencia de los servicios públicos, especialmente en materia de educación y atención de salud. Las telecomunicaciones rurales deben empezar con el suministro del servicio telefónico básico de manera correcta. Además, al dar a las autoridades de las comunidades rurales, a los empresarios, las escuelas y los centros de salud de dichas zonas acceso a la riqueza en rápido aumento de los recursos en línea, los servicios de telecomunicaciones avanzados permitirán a las empresas basadas en las ciudades establecer “oficinas virtuales”<sup>27</sup> para “tele-trabajadores” en zonas remotas.

Las zonas rurales y remotas necesitan esos servicios, que corresponden a los que se ofrecen en las metrópolis, para compensar el aislamiento geográfico y cultural. Sólo entonces aprovecharía plenamente la comunidad mundial el potencial de las telecomunicaciones como instrumentos del desarrollo sostenible y del desarrollo de

<sup>27</sup> Una oficina virtual es el espacio físico donde los trabajadores podrán, gracias a computadoras con una conexión remota, realizar sus labores asignadas sin salir de su localidad.

los recursos y de los mercados potencialmente inmensos que representan las poblaciones rurales de los países en desarrollo.

La distinción entre países "en desarrollo" y "desarrollados" oculta el hecho de que virtualmente todos los países tienen problemas similares para proporcionar servicios públicos y oportunidades de trabajo a los grupos pobres, aislados geográfica y socialmente, si bien muchos países en desarrollo, como tales, son esencialmente "rurales y remotos".

## **2.2 Obstáculos que presentan las comunidades rurales.**

Los principales obstáculos que se originan en las comunidades rurales para facilitar la implementación de servicios de telecomunicaciones se deben a las características que éstas presentan. Aquí mencionamos algunas de las más comunes que se observan en dichas áreas:

- Escasez de servicios públicos como fuentes de alimentación, agua, caminos y transportes.
- Escasez de personal con preparación.
- Condiciones topográficas complicadas, como por ejemplo lagos, ríos, colinas, montañas o desiertos los cuales provocan que se requiera la construcción de redes de telecomunicaciones complejas y costosas.
- Condiciones climatológicas severas que afectan a los equipos.
- Actividad económica de nivel bajo basado principalmente en la agricultura, pesca o artesanías.
- Ingresos per cápita muy bajos.
- Infraestructura social pobre (salud, educación, etc.)
- Densidad de población baja.
- Altos costos de las llamadas telefónicas, reflejando la escasez de servicios telefónicos.

Estas características hacen difícil proporcionar servicios de telecomunicaciones públicos de calidad y costos aceptables. No obstante, el desconocimiento de las ventajas que pueden aportar los servicios de telecomunicaciones avanzados y la falta de experiencia en su utilización son obstáculos obvios que pueden superarse. El objetivo básico de los servicios de telecomunicaciones avanzados es la de contribuir a impulsar y sustentar el desarrollo económico y social de estas comunidades haciendo a un lado cada una de las desventajas mencionadas anteriormente, mejorando la calidad de vida. Lo que a primera vista, el acceso a Internet, citando un ejemplo, desde ciudades pequeñas y comunidades rurales de México podría considerarse innecesario, difícil y caro, puede ser un medio para apoyar la productividad, el comercio, las comunicaciones y la educación, se observa que puede ser muy útil para tales ambientes y que habría que resolver las dificultades técnicas y minimizar los costos que implica su disponibilidad.

### 2.3 Situación Actual

Actualmente en México se observan algunos avances en lo que respecta a telefonía rural. Para ello se ha aprovechado la infraestructura existente de las empresas concesionarias de los servicios públicos de telecomunicaciones con tecnologías celular, satelital y de sistema troncalizado, para llevar el servicio telefónico a poblaciones rurales de entre 100 y 500 habitantes.

A continuación se muestran algunos datos que nos proporcionan información sobre como se ha avanzado en la comunicación para comunidades rurales en todo el país:

**Tabla 2.1** Localidades con servicio de telefonía rural

Año	Comunicadas por la SCT <sup>1/</sup>	Comunicadas por Telmex	Total	Variación anual (%)
1989	187	1 496	1 683	-
1990	334	4 350	4 684	178.3
1991	614	7 071	7 685	64.1
1992	904	10 017	10 921	42.1
1993	943	12 536	13 479	23.4
1994	1 416	16 542	17 958	33.2
1995	1 416 <sup>2/</sup>	16 735	18 151	1.1
1996	2 450	16 738	19 188	5.7
1997	11 000	16 738	27 738	44.6
1998	17 673	16 738	34 411	24.1
1999	22 953	16738	39691	15.3

1/ El Programa de Telefonía Rural de la SCT considera únicamente las localidades en el rango de 100 a 499 habitantes.

2/ No se observa incremento debido a que los equipos que se adquirieron en 1995 fueron instalados durante 1996 y 1997.

Fuente: Sitio Web de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.

Tabla 2.2 Localidades con servicio de telefonía rural por entidad federativa

Entidad	Comunicadas por la SCT <sup>11</sup>	Comunicadas por TELMEX	Total
Aguascalientes	132	181	313
Baja California	248	24	272
Baja California Sur	176	29	205
Campeche	174	135	309
Coahuila	254	238	492
Colima	82	56	138
Chiapas	994	950	1 944
Chihuahua	489	372	861
Distrito Federal	-	-	-
Durango	364	436	800
Guanajuato	2 192	1 179	3 371
Guerrero	558	932	1 490
Hidalgo	779	735	1 514
Jalisco	1 398	584	1 982
México	2 435	1 137	3 572
Michoacán	1 555	1 036	2 591
Morelos	189	107	296
Nayarit	285	257	542
Nuevo León	467	232	699
Oaxaca	903	1 362	2 265
Puebla	1 145	1 040	2 185
Querétaro	373	309	682
Quintana Roo	164	122	286
San Luis Potosí	772	646	1 418
Sinaloa	654	632	1 286

Sonora	605	230	835
Tabasco	881	678	1 559
Tamaulipas	370	373	743
Tlaxcala	117	109	226
Veracruz	3 402	1 779	5 181
Yucatán	175	322	497
Zacatecas	621	516	1 137
<b>Total</b>	<b>22 953</b>	<b>16 738</b>	<b>39 691</b>

<sup>1</sup> /El Programa de Telefonía Rural de la SCT considera únicamente las localidades en el rango de 100 a 499 habitantes.

Fuente: Sitio Web de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.

Como podemos observar, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Telmex han trabajado en conjunto para buscar que más comunidades rurales se encuentren comunicadas. Esto respecto a la telefonía; sin embargo, actualmente se requiere de un mayor número de servicios que, junto con la transmisión de voz, permitan el desarrollo.

Asimismo, podemos darnos cuenta que en materia de telecomunicaciones, cada entidad de la república mexicana presenta retos diferentes en cuanto a la implantación de la red telefónica. Sin embargo, cabe destacar que la meta principal es que cualquier habitante del país tenga acceso a los servicios de telefonía.

La SCT establece como meta dotar a las comunidades rurales con un teléfono comunitario, usando la tecnología satelital principalmente en las zonas de orografía más accidentada y que no cuentan con señal de telefonía celular. Para ello, Satmex brinda la posibilidad de implementar redes satelitales de voz, datos, vídeo e Internet, de realizar interconexiones de larga distancia, de dar solución a los enlaces de última milla y respaldo a múltiples puntos nacionales e internacionales.

En la figura 2-1 se muestra el panorama general de localidades comunicadas hasta el año 2000. Así, con el apoyo de Telmex y Satmex, la SCT comunicó, hasta el año 2000, 39,691 localidades rurales de entre 100 y 500 habitantes con el servicio telefónico básico<sup>28</sup>. En estas localidades ésta es la única infraestructura de telecomunicaciones en la comunidad y sólo se tienen las alternativas de comunicación que puede proporcionar un teléfono público. Se tiene instalada en cada localidad una terminal satelital con un teléfono integrado, equipo de regulación de la energía eléctrica y en algunos casos celdas solares. El equipo queda a cargo

<sup>28</sup> <http://www.cofetel.gob.mx>

de un agente telefónico, previamente seleccionado, quien se encarga del cuidado del teléfono, proporcionar el servicio y el cobro al usuario final y del pago a TELECOMM<sup>29</sup>. El servicio se administra bajo la modalidad de prepago. TELECOMM, a través del Centro Operativo y de las bandas L y Ku del satélite Solidaridad II opera, administra el servicio y su interconexión a la Red Pública Conmutada.

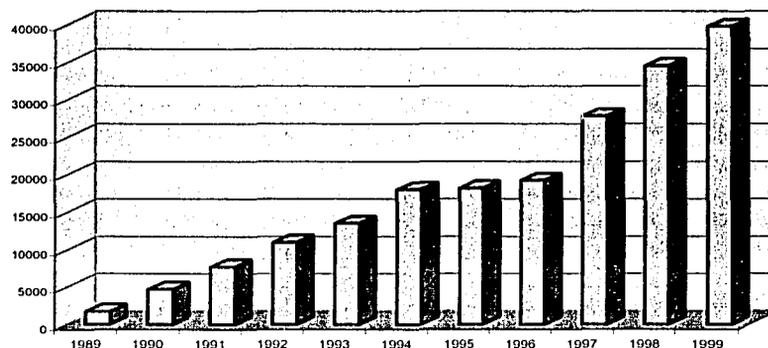


Figura 2-1 Localidades con servicio de telefonía rural

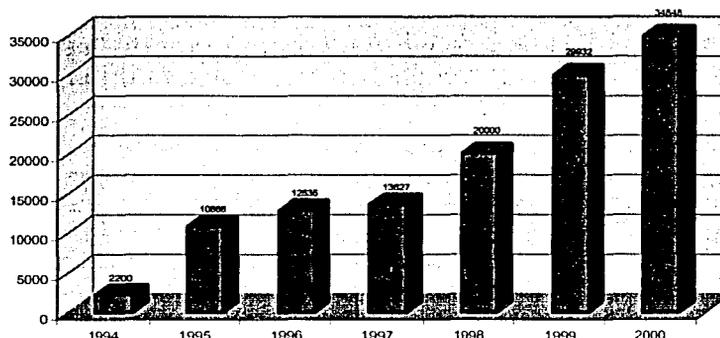
## 2.4 Proyectos en desarrollo.

### 2.4.1 Red Satelital de Televisión Educativa (EDUSAT)

Uno de los proyectos que se han desarrollado en apoyo a la educación es EDUSAT. En 1995 se inaugura la Red Satelital de Televisión Educativa (EDUSAT), cuya señal cubre actualmente todo el territorio nacional, el sur de los Estados Unidos, Centroamérica, el Caribe y parte importante de América del Sur. EDUSAT es actualmente administrado por la Dirección General de Televisión Educativa y por el Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa. Si bien sus orígenes se dan en la Telesecundaria, este elemento de comunicación, difusión y apoyo a la educación atiende hoy a todo el Sistema Educativo Nacional Mexicano con los satélites Solidaridad II y Satmex 5 y con programación en un número importante de canales de televisión que apoyan por igual los servicios de Telesecundaria, educación preescolar, primaria indígena, comunitaria, secundaria a distancia para adultos y bachillerato a distancia, a las escuelas normales, así como a la Universidad Pedagógica Nacional, a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto Politécnico Nacional entre otros servicios educativos que presta, a través de 16 canales de video y 24 de audio.

<sup>29</sup> El Organismo Telecomunicaciones de México, bajo las siglas de TELECOMM, agrupa a la antigua Dirección General de Telecomunicaciones así como, a la Dirección General de Telégrafos Nacionales.

La programación de Edusat es producida por el Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE) y por la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE) de la Secretaría de Educación Pública (SEP). A través de la red se transmiten, entre otros proyectos educativos, la Telesecundaria, Educación Media Superior a Distancia (EMSAD), Secundaria a Distancia para Adultos (SEA), Capacitación y Actualización Docente; programas de apoyo a todas las materias impartidas por el sistema de educación básica, así como producciones encaminadas a orientar e informar a la sociedad en general sobre aspectos de salud, psicología, derechos y valores, difusión cultural, ciencia y tecnología. La señal de Edusat llega también por televisión abierta a través del Canal 4 (Imagina) y del canal 22, así como a través de la Red de Televisoras Estatales de la República Mexicana y transmite también los canales CI@se y Discovery Kids.<sup>30</sup>



**Figura 2-2** Planteles educativos con equipos receptores del programa EDUSAT

En la figura 2-2 podemos notar que la aportación de la red EDUSAT al proyecto de llevar educación a la mayor parte de la población, independientemente de la ubicación geográfica en la que se encuentre, es año con año mayor, teniendo un despegue considerable en el último lustro.

#### 2.4.1.1 Telesecundaria.

La Telesecundaria es un servicio educativo que opera preferentemente en comunidades de aproximadamente 2500 habitantes, que cuentan con un mínimo de egresados de educación primaria, lo cual justifica el establecimiento de un plantel. Como objetivos tiene el llegar a todos, hasta en las zonas rurales más apartadas, con educación de alta calidad mediante la televisión por satélite, así como ofrecer tele-educación a estudiantes de 12 a 14 años.

<sup>30</sup> <http://edusat.ilce.edu.mx>

En México, el sistema Telesecundaria lleva 30 años de funcionamiento. Se trata del sistema de tele-educación basado en un plan de estudios más importante del mundo; sirve a más de 1 millón de estudiantes en 12.000 escuelas y abarca los tres primeros años de secundaria (12 a 14 años). Las emisiones televisivas por satélite de Telesecundaria se ven en todo México y en partes de América Latina y del sur de los Estados Unidos, y se están celebrando reuniones para llegar a un acuerdo con siete países de América Latina que están interesados en usar el sistema haciéndole ciertas modificaciones para adaptarlo a las necesidades concretas de cada país. Este método de enseñanza ha sido muy bien recibido tanto por parte de los docentes como de los estudiantes. Por ejemplo, las lecciones televisadas de geometría se difunden de 08:00 a 08:15. De 08:15 a 08:50, el profesor abre los libros correspondientes y hace una revisión de todos los ejercicios. Llegado este punto, los estudiantes ya tienen una buena comprensión de la presentación visual. Se imparten lecciones en varias asignaturas, entre ellas química, sociología, matemáticas y geografía.<sup>31</sup>

Este servicio educativo se ha consolidado como uno de los más eficaces para la ampliación de la cobertura y la búsqueda de la equidad en el acceso a la educación de ese nivel.

La calidad del servicio, sus ventajas y beneficios lo colocan como una opción para atender las necesidades educativas del nivel en las comunidades rurales, en las urbanas y urbano marginales; sin embargo el crecimiento del servicio impone como un reto el mejoramiento de los materiales de apoyo y la incorporación de otros medios que permitan a los estudiantes contar con más posibilidades de información y comunicación en el propio lugar de estudio.

Telesecundaria ofrece educación a estudiantes y formación a docentes en zonas rurales apartadas de México a un costo de 554 dólares por estudiante y por año, un costo inferior al del sistema normal de educación secundaria. La mayoría de los costos de inversión corresponden a la producción del programa y las instalaciones (cerca de 95 millones de dólares por año). El total de los gastos periódicos de difusión, del personal de las escuelas, la formación, el mantenimiento y las operaciones y los costos de administración central rondan los 331 millones de dólares. El costo anual total de Telesecundaria es de 425,75 millones de dólares para un total de 767.700 estudiantes. La parte de estos gastos correspondiente a la televisión (guiones, programación, materiales, antena de satélite, televisores, equipos de videocasete) es de tan sólo 44,34 millones de dólares por año –57,76 dólares por estudiante– más 2 millones de gastos de difusión, lo que equivale a 2,66 dólares por estudiante. Alrededor de 60 de los 554 dólares por estudiante se gastan en la programación televisiva y en impartir los cursos.<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Calderón José. Educación Secundaria por Satélite en México, Estudio Práctico. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE) Ciudad De México, México.

<sup>32</sup> *Ibidem*.

El modelo de Telesecundaria goza de tanta aceptación que se ha solicitado su extensión a las edades de 15 a 18 años, y Telesecundaria está trabajando para alcanzar este objetivo. Hay planes de tener en funcionamiento un programa completo de enseñanza secundaria en el ámbito nacional para el año 2002. El futuro de Telesecundaria es la interacción, con equipo informático e Internet, y se espera que a esto se llegará en los próximos años. RED ESCOLAR, un plan piloto que inició el ILCE en 1996, trabaja con computadoras e Internet en 144 institutos de enseñanza primaria y secundaria y en 32 centros de formación de docentes en todo el país.

Las tecnologías de la información y las telecomunicaciones crecerán sin duda en importancia en la Telesecundaria que deberá ir buscando la forma de acercar más a sus maestros y alumnos al conocimiento y el intercambio de aprendizaje desde las zonas rurales hasta los ámbitos urbanos, nacionales e internacionales.

Es así como la necesidad de comunicar cualquier rincón del país ha llevado al desarrollo de otros proyectos. Los telecentros son un claro ejemplo de lo que mencionamos anteriormente. Con su desarrollo se busca apoyar con mayor fuerza a la educación, al igual que a la telefonía y a la medicina.

## **2.4.2 Los Telecentros.**

Aunque no hay una definición única de telecentro que complazca a todos, la característica común es la de un espacio físico que proporciona acceso público a las Tecnologías de Información y comunicación (TIC) para el desarrollo educacional, personal, social y económico. Basándose en la premisa de que no toda la gente del mundo tiene acceso a un teléfono ni mucho menos a una computadora, servicio de fax, o conexión a Internet, los telecentros se han concebido para proporcionar una combinación de servicios de tecnología de información y comunicación, que van desde el servicio telefónico básico y el correo electrónico hasta conectividad completa a Internet.

### **2.4.2.1 Tipología de Telecentros**

Más allá de estos elementos comunes de acceso público y servicios de TIC, existe gran variedad en el modo de montar, financiar y operar un telecentro. Igualmente, prestan servicios diversos, atienden públicos variados, y usan diferentes tecnologías. A través de la experiencia de trabajo del Centro Nacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) en América Latina, África y Asia, se han identificado por lo menos seis tipos o modelos de experiencias de telecentro. Estos tipos no son exclusivos, ya que en algunos casos una experiencia puede combinar de manera híbrida dos o tres tipos diferentes.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> Gómez Ricardo, Telecentros en la Mira: ¿Cómo Pueden Contribuir al Desarrollo Social?. *Simpósio Latinoamericano y del Caribe: Las Tecnologías de Información en la Sociedad*. Aguascalientes, México, 1999.

Los telecentros se están introduciendo como una herramienta de desarrollo que puede ayudar a reducir las brechas y desigualdades sociales, económicas y de conocimiento.

### ***Telecentro Básico***

El Telecentro Básico se sitúa por lo general en zonas rurales o marginales, cuya población tiene acceso limitado a servicios en general (sean éstos de comunicación u otros servicios). Tienden a ser operaciones pequeñas, financiadas por agencias internacionales y establecidas por organizaciones no gubernamentales (ONGs) u otras agrupaciones sin fines de lucro, las cuales instalan en su sede uno o más computadoras y se conectan por teléfono a un proveedor de servicios de Internet. En algunos lugares donde no hay servicio telefónico, se están explorando alternativas innovadoras de acceso inalámbrico. Dada la naturaleza de estas actividades, el principal factor para su éxito es la capacitación de los operadores y de sus usuarios potenciales, la gente de las comunidades locales. El desafío mayor que enfrentan los telecentros básicos es su viabilidad financiera una vez terminado el apoyo de los donantes externos.

### ***Telecentros en Cadena***

La Cadena es una serie de telecentros, a veces operados independientemente por sus respectivos propietarios, pero interconectados y coordinados centralmente. Por lo general, una organización local facilita la creación de telecentros individuales conectados en red con apoyo técnico y/o financiero. El sector privado o el gobierno local pueden financiar la primera etapa de la puesta en marcha, y proporcionar algún apoyo técnico. Una vez establecidos, cada telecentro se maneja como un negocio pequeño, llegando con el tiempo a ser independiente tanto económica como técnicamente.

Generalmente tienen un solo o muy pocas computadoras para acceso público en cada telecentro, y usan conexiones telefónicas a los proveedores de Internet.

### ***Telecentro Cívico***

Un alto número de bibliotecas públicas, escuelas, universidades, organizaciones comunitarias y otras instituciones cívicas están comenzando a ofrecer acceso público a sus computadoras y conexiones a Internet. El eje principal de trabajo en estas organizaciones no es la actividad del telecentro como tal, ya que éste se ofrece al público como complemento a sus otros servicios culturales, educativos o recreativos.

Por lo general los telecentros cívicos ofrecen servicios limitados y poca capacitación para sus usuarios potenciales, y no anuncian sus servicios muy abiertamente o por fuera de su entorno inmediato. El acceso a las instalaciones está limitado por la prioridad otorgada a las actividades principales de las organizaciones mismas (calendario escolar, horario de atención al público, etc.). La conectividad tiende a basarse en una sola conexión telefónica en bibliotecas públicas o centros

comunitarios, o en redes locales (LAN) más sofisticadas y líneas dedicadas, en el caso de algunos colegios y universidades.

Algunas iniciativas de telecentros: en bibliotecas públicas en la Ciudad de México y sus alrededores

### ***Cibercafés***

Hemos visto un rápido crecimiento de servicios de tipo Café Internet en las zonas turísticas y barrios acomodados de muchas ciudades del mundo, lo cual está dando lugar a un fenómeno sumamente interesante que amerita mayor estudio. Estas son operaciones independientes, de carácter comercial, dirigidas a estratos altos de la sociedad, turistas o viajeros de negocios; sin embargo, pueden ser utilizados para fines sociales o de desarrollo. Además, en su modelo de operación comercial se puede encontrar respuesta a los problemas de viabilidad financiera de los otros tipos de telecentros de inspiración no comercial.

Si bien la infraestructura tecnológica y el tipo de conectividad utilizados varían de una experiencia a otra, los cibercafés en general cobran por tiempo de utilización del servicio, el cual está asociado al consumo de comidas y bebidas en el local. En algunos casos, los cibercafés comerciales ofrecen tarifas preferenciales para estudiantes o miembros de organizaciones comunitarias.

### ***Telecentros Comunitarios Multipropósito***

Estos telecentros comunitarios de uso múltiple se están introduciendo como proyectos piloto en varios países, en particular auspiciados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT. Los MCT ofrecen más que servicios básicos de conectividad, buscando incluir también aplicaciones especializadas como tele-medicina, tele-trabajo y tele-educación. También podrían prestar servicios postales y bancarios y funcionar como agencia para otros servicios comunales como electricidad y agua potable, además de servicios "privados" de información y comunicación como tele-comercio, alquiler de oficinas virtuales, cursos de capacitación vocacional y apoyo a la pequeña y mediana industria.

Los telecentros comunitarios multipropósito tienden a establecer conexiones Internet por medio de líneas dedicadas o ISDN (red digital de servicios integrados), con redes de área local que conectan a varios computadores disponibles para el acceso público (hasta 20 planeados para algunos lugares). Además, contarían con equipo especializado para aplicaciones tales como video-conferencias y tele-medicina.

### ***Tiendas telefónicas***

El número y tipo de servicios varía de acuerdo con las necesidades locales, y en algunos casos, comienzan a incluir servicios de fax y de correo electrónico. Es interesante anotar el ejemplo de Senegal, donde una tercera parte de las 9 mil

teletienda están ubicadas en zonas rurales, y que las que comienzan a ofrecer servicios de comunicación electrónica rápidamente tienden a adoptar el modelo de cibercafé.

De la variada gama de telecentros estudiados, se pueden observar ciertas tendencias.

- **Financiamiento** - Los pioneros del telecentro en América Latina reciben escaso financiamiento de parte del gobierno y de fuentes internacionales. De hecho, los primeros telecentros de la región fueron financiados por el sector privado local, por la comunidad y ONGs locales.
- **Usuarios** - Los estudiantes parecen ser los usuarios principales de los telecentros (82% de los usuarios, de acuerdo con los datos recogidos). Algunos de los proyectos de telecentros más recientes se dirigen a poblaciones marginales y están ubicados en áreas pobres y remotas.
- **Obstáculos** - Los problemas más significativos que enfrentan los telecentros parecen ser las dificultades financieras, y en segundo lugar, los problemas técnicos. En las grandes ciudades, los telecentros tienden a depender de los ingresos provenientes de servicios relacionados con el uso de los computadores. En las regiones más aisladas hay una variedad de estrategias para financiarse, entre ellas publicidad, asociaciones con el sector privado, ventas de artesanía, pagos por servicios de sitios Web y la producción y venta de videos.

#### 2.4.2.2 El Telecentro en México.

Desde el principio, establecimientos de este tipo en México han tenido diversos propósitos: no sólo proveer una fuente de comunicaciones de bajo costo a través del uso de la tecnología digital desarrollada sino, más importante, servir a la construcción de una base de datos digital de información destinada a ser usada por funcionarios locales y ciudadanos para asuntos públicos. Así, la iniciativa del telecentro mexicano es sólo parcialmente acerca de computadoras y de la conectividad a Internet. Su principal objetivo es relativo a la política de la información: la disponibilidad y el uso de la información de dominio público para fortalecer la participación en debates políticos públicos, mejoramiento de la administración municipal y el manejo de los recursos, y la creación de nuevas oportunidades de aprendizaje.

Una iniciativa en este rubro fue la Red de Información Rural de México (RIR), la cual promovió activamente el acceso público a la información disponible en la red mundial de Internet, así como su análisis. La RIR colocó su propio sitio web e invitó a todas las agencias federales a generar información útil a los productores rurales y a sus representantes políticos a colocar sus ofertas en línea a través de ligas a sus propios sitios web (la mayoría creados a mediados de 1995).

Bajo los auspicios del Programa de Desarrollo sustentable (PRODERS) de la SEMARNAP, una iniciativa de dos etapas de telecentro comenzó a principios de 1997. Un contrato de servicios fue firmado con el Departamento de Antropología de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAMI), y su autor asumió la responsabilidad de la organización de los telecentros por un periodo de seis meses en siete comunidades rurales en los alrededores de la Ciudad de México. El proyecto fue conocido como el Sistema de Información de la Red de Desarrollo Sustentable (SIRDS).

El primer objetivo fue colocar una computadora personal con una cuenta de Internet en un local público seguro y conveniente donde los usuarios podían empezar a recibir entrenamiento, revisar los archivos disponibles de los sitios web SIRDS, que contienen información local, y explorar la red Internet.

El costo inicial de cada telecentro osciló alrededor de los 3500 dólares. Un tercio de este total fue requerido para la computadora, el modem y la cuenta del proveedor de servicios de Internet, es decir, para el software y el hardware. Los dos tercios restantes cubrieron los honorarios y los costos de transporte del personal de campo responsable durante un periodo de cuatro meses. El personal de campo responsable construyó perfiles en línea de cada municipio participante. Censos y datos sociodemográficos proporcionados por el INEGI fueron reeditados y se crearon cartas y tablas de fácil comprensión para ser colocadas en el servidor.

Durante junio y julio de 1997, los telecentros fueron inaugurados en cada una de las siete localidades situadas en los límites de la Ciudad de México: San Pedro Atocpan y San Antonio Tecomitl (ambas en Milpa Alta), Centro de Tlahuac, Magdalena Contreras, San Mateo Tlaltenango (Cuajimalpa), y Magdalena Petacalco y Santo Tomás Ajusco (Ambas en Tlalpan). Tres de estos centro fueron colocados en librerías públicas, una en un centro cultural, dos en centros comunitarios y una en el cuartel general de una comunidad indígena.

Durante la segunda mitad de 1997, un segundo convenio fue firmado por la UAMI con el PRODERS. Este tratado obliga al mismo equipo a expandir sus actividades, estableciendo telecentros donde las circunstancias lo permitían, en tres regiones del estado de Michoacán y la región adyacente de la mariposa Monarca en el Estado de México. Los criterios para la selección de estos sitios fueron, en orden de importancia, la existencia de un grupo comprometido con el proyecto, la existencia de una organización local de apoyo, una locación segura para el telecentro y acceso a la línea telefónica.

El 9 de diciembre de 1997 los dieciséis telecentros fueron colectivamente inaugurados. Trece fueron instalados en el estado de Michoacán y tres en la región contigua del Estado de México. Las cuentas de Internet fueron contratadas con el Proveedor de Servicios de Internet más cercano. Solamente tres telecentros podían realizar una llamada local para la conexión a Internet, mientras que el resto necesitaba realizar una llamada de larga distancia.

El problema de la conectividad con el Proveedor de Servicios de Internet a un precio razonable surgió, y se volvió más agudo, durante la segunda etapa del programa de telecentros. El problema no surgió durante la primera mitad de 1997 debido a que todos los telecentros en las áreas que rodean a la Ciudad de México tenían acceso a líneas locales. En los instalados en provincia, sin embargo, el costo de mantener un servicio de modem vía llamadas de larga distancia las ciudades más cercanas (Morelia, Uruapan y Zamora) con los Proveedores de Servicios de Internet, fue prohibitivo.

De los siete telecentros originalmente creados en el Distrito Federal, tres continuaban en operación para junio de 1998. De los dieciséis telecentros abiertos de los estados de Michoacán y México, solamente tres estaban operando en esa fecha. Siete esperaban una conexión telefónica, otros dejaron de funcionar por los altos costos de las llamadas y unos cuantos estaban en un lugar incorrecto para recibir apoyo público.<sup>34</sup>

Por lo tanto, será importante para la COFETEL desarrollar una política adecuada sobre los tipos de acceso y tarifas disponibles para los telecentros o instituciones similares, en zonas rurales y pueblos.

La creación y operación de los telecentros en el ámbito local requiere un paquete de incentivos por parte de distintas instancias del Estado, un plan de negocios viable, la conexión adecuada (que los costos actuales discriminan en contra), una localidad bien ubicada y legítima en el contexto cultural local, personal capacitado, la aceptación por parte de los municipios, archivos con información y mapas sobre el municipio y las regiones, y muchos otros elementos menores. Pero la clave es reducir el riesgo para la inversión en estos instrumentos de las telecomunicaciones de uso múltiple creando condiciones para fomentar los telecentros en pueblos rurales. Esto implica un modelo mixto, al reconocer la prioridad y el bajo costo de oportunidad de los mismos, para la planeación de los programas del Estado. De esta manera, cada telecentro, operando con fines de lucro, pero con los subsidios indicados durante la etapa de arranque, puede ofrecer no sólo servicios diversos a los estudiantes locales, sino también conexiones para la biblioteca pública, el centro de salud y la escuela secundaria y, por supuesto, el palacio municipal.<sup>35</sup>

La SCT, a través de TELECOMM, transformará los espacios físicos de los telégrafos en Telecentros Comunitarios, para beneficio de comunidades rurales y zonas populares urbanas, en apoyo a su desarrollo económico y educativo, al ofrecer servicios de telecomunicaciones, informática y financieros básicos, así como de acceso a las redes de información.

<sup>34</sup> Robinson Scott . Telecenters in México: the first phase. United Nations Research Institute For Social Development (Unrisd) (1999).

<sup>35</sup> Ibidem.

En el caso de México, la red de oficinas de telégrafos que ya está computarizada, ofrecerá los servicios de acceso a educación, salud, comercio, prevención, seguridad, gobierno, cultura y entretenimiento. También se podrá consultar diversa documentación almacenada en bases de datos y tener acceso a los servicios de la Red Internet. Los servicios se ofrecerán en línea y tiempo real con tarifas accesibles, aprovechando la red nacional de más de mil 400 oficinas que ya están computarizadas y enlazadas por sistemas satelitales y enlaces de cómputo.

Cada telecentro se compone para el acceso a Internet por dos o cuatro computadoras (PC) de servicio y una impresora láser donde los usuarios que acuden a estos centros obtienen, independientemente del acceso al servicio de paquetería para los diferentes trabajos que tengan que realizar a servicios de comunicación como giros, telegramas, fax, telefonía pública, etc.

A la fecha operan 60 telecentros en 28 ciudades en toda la República Mexicana y éste programa pretende desarrollar una red de 2000 Centros Comunitarios de Informática y Comunicación integrando el servicio a 1400 oficinas Telegráficas y 600 Oficinas de Correos dentro del periodo 2001-2003.<sup>36</sup>

## **2.5 Otros proyectos.**

### **2.5.1 Sistema Nacional e-México.**

Como hemos mencionado, entre los muchos factores que determinan el desarrollo de un país, destaca el acceso a la información y la posibilidad de estar comunicados con el resto de la sociedad.

Pese a la apertura a la inversión privada en las telecomunicaciones en los últimos años y la entrada en vigor de nuevas leyes en la materia, se han dado pocos o nulos compromisos de cobertura social.

Lo anterior, ha dado como resultado un fuerte énfasis en las zonas más rentables de México, dejando pendiente de atender a aproximadamente 60 millones de mexicanos. Por ejemplo, véase la figura 2-3, en la Ciudad de México hay una tele-densidad del 33% y existen Estados de la República Mexicana con tele-densidad inferior al 6%. Esta gran diferencia es la que se quiere eliminar.

---

<sup>36</sup> <http://www.telecomm.net.mx>

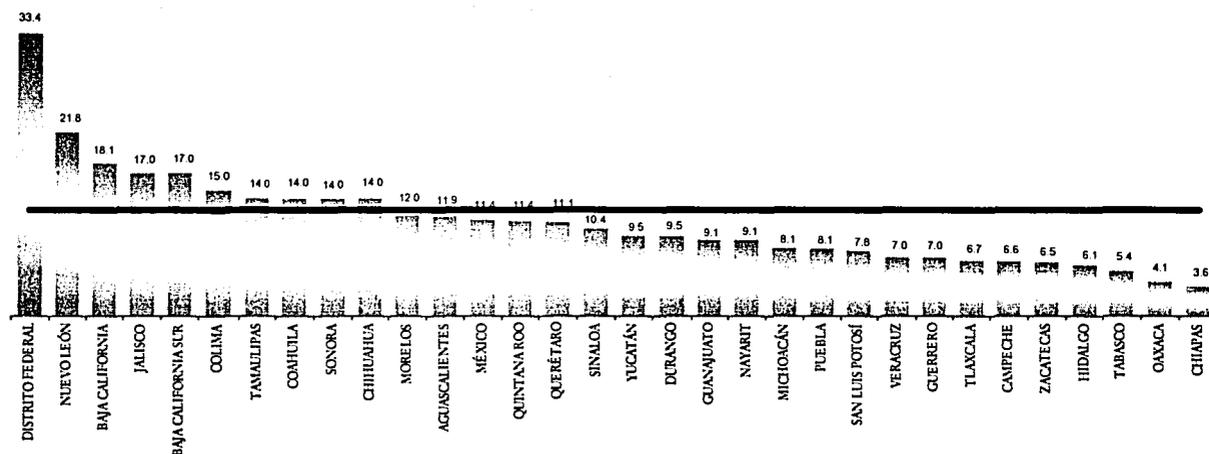


Figura 2-3 Densidad Telefónica (Líneas fijas en servicio por cada 100 habitantes).

Así, sigue existiendo un nivel bajo de desarrollo de las telecomunicaciones y de conectividad en el ámbito poblacional<sup>37</sup>:

- La tele-densidad (líneas telefónicas fijas por cada 100 habitantes) apenas es del 13.5%
- La penetración de líneas telefónicas fijas, a nivel viviendas, es de 36% y,
- El acceso a Internet no ha alcanzado aún al 5% de la población mexicana.

Al observar las estadísticas anteriores observamos que es necesario ampliar significativamente el nivel de conectividad existente en el país para favorecer especialmente a las familias de ingresos insuficientes para sufragar el costo de una línea telefónica y para tener acceso a contenidos digitales (datos, sonidos e imágenes), a través de Internet. Tal vez el proyecto de e-México ayude a conseguir este objetivo.

El Sistema Nacional e-México es un proyecto que articula intereses de distintos niveles de gobierno, de diversas entidades y dependencias públicas, de los operadores de redes de telecomunicaciones, de las cámaras y asociaciones vinculadas a las TICs, así como de diversas instituciones, a fin de ampliar la cobertura de servicios básicos como educación, salud, economía, gobierno y ciencia, tecnología e industria, así como de otros servicios a la comunidad.

<sup>37</sup> Gamboa Hiraes Eugenio. La Inserción de México en la Era Digital. 9 De Noviembre De 2001

Dentro de los objetivos de e-México, en relación con los servicios de Telecomunicaciones a zonas rurales están:

- Acelerar las tendencias históricas en la penetración de servicios de telecomunicaciones e informática, a fin de garantizar que la cobertura de los servicios y contenidos del Sistema Nacional e-México estén presentes en todo el territorio nacional y al alcance de toda la población.
- Brindar a través del Sistema Nacional e-México nuevas opciones de acceso a la educación y capacitación, promoviendo que la educación sea accesible para cualquier persona, respetando su identidad y su entorno cultural.
- Facilitar a la población en general y a los profesionales de la salud del país, el acceso a servicios y contenidos de salud a distancia, que permitan mejorar el nivel del bienestar de la población.
- Integrar a través del sistema e-México, a los diversos grupos lingüísticos y étnicos de México, así como a sectores específicos de la población como los mexicanos en el extranjero y personas con discapacidad, entre otros.

Asimismo, dicho sistema busca tener conectividad en las 2 mil 428 cabeceras municipales mediante la instalación de Centros Comunitarios Digitales (CCD), la transformación de diversas oficinas gubernamentales, como la red de oficinas de correos y telégrafos, así como el aprovechamiento de centros educativos y de salud.

Además de proporcionar acceso gratuito a Internet en todos los municipios del país, "e-México" se ha planteado ofrecer, en los próximos cinco años, una serie de servicios englobados bajo el nombre de "e-gobierno", que incluyen programas de educación, salud, comercio y trámite de licencias oficiales y licitaciones para obras públicas.

El costo aproximado de cada quiosco cibernético es de 550 mil pesos y se conectarán a través de redes de cables, fibra óptica y comunicación satelital.<sup>38</sup>

La instalación y operación de los CCD's (centros comunitarios digitales) contempla tres fases:

- Instalación de por lo menos un CCD en cada una de las 2,443 cabeceras municipales que existen en el país, incluidas las Delegaciones del Distrito Federal (2001-2002).
- Cubrir las cerca de 10 mil comunidades en las que radica más del 75 por ciento de la población del país (2002-2006) y
- Llegar a la mayor parte del territorio nacional (2006-en adelante).

<sup>38</sup> <http://e-mexico.gob.mx>

La infraestructura para el Sistema Nacional e-México quedará conformada por la creación de los CCDs y por la conectividad que sea proporcionada.

Como parte integral de la conectividad, está incluida la construcción de un centro de interconexión o punto neutral de acceso que permitirá el intercambio de tráfico de datos entre las redes de los operadores, haciendo eficiente el acceso a los contenidos del Sistema Nacional e-México.

El primer quiosco comunitario fue inaugurado el 21 de febrero por el Presidente de la República en una Población del estado de Durango con 17 mil habitantes, y el más reciente fue entregado a los habitantes de San Pedro Garza García, en Nuevo León.<sup>39</sup>

### 2.5.2 Más proyectos.

En México, los proyectos de la FAO<sup>40</sup> han aplicado la tecnología de computadoras para establecer redes de información para los productores agrícolas y las asociaciones de agricultores. Las redes han proporcionado datos fundamentales sobre temas tales como cosechas, mercados, precios, condiciones atmosféricas, servicios sociales y líneas de crédito. Los mensajes se han generado, procesado y transmitido por la Internet utilizando computadoras de bajo costo y entregados a los centros de información de las organizaciones de agricultores, cooperativas y consejos municipales equipados con computadoras, módem e impresoras. El proceso dio comienzo con una evaluación de los conocimientos locales y las necesidades de información de los agricultores y sus asociaciones, y se capacitó al personal en el uso del equipo y la organización de la red. Los centros de información distribuían a cada agricultor y a las asociaciones de agricultores la información recibida por la Internet, según las condiciones y los servicios locales disponibles. Por ejemplo, si no se podía acceder a la Internet se utilizaban materiales impresos.

Esta experiencia confirmó que la nueva tecnología de información y la utilización de redes informáticas electrónicas se pueden aplicar satisfactoriamente en las zonas rurales de los países en desarrollo siempre que:

- la tecnología de computadoras pueda adaptarse a las características de las zonas rurales;
- los usuarios participen plenamente en la identificación de la información que necesitan;
- se capacite al personal local en su utilización; y
- la tecnología de información pueda complementarse con medios más tradicionales en las comunidades rurales que no pueden acceder al uso de la Internet.

<sup>39</sup> *Ibidem.*

<sup>40</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Otro de los proyectos en desarrollo es el de UNETE (Unión de Empresarios para la Tecnología en la Educación) es una asociación civil fundada en 1999 y conformada por empresas e instituciones de gobierno cuya misión es contribuir a elevar el nivel educativo de México incorporando el cambio tecnológico a la educación básica, al llevar Internet, computadoras y televisión educativa a escuelas primarias y secundarias.

Además de apoyar al gobierno en el equipamiento de escuelas públicas en distintas comunidades rurales y urbanas, UNETE colabora con el ILCE (Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa) en el proyecto Red Escolar, el cual provee a las escuelas de computadoras multimedia, una conexión a Internet, antena y decodificador para la señal de EDUSAT, una televisión, una videocasetera y una amplia gama de contenidos educativos. En este esquema, el ILCE se encarga de los programas de estudio, los contenidos pedagógicos y la programación de la Red EDUSAT, mientras que UNETE aporta el equipo de cómputo y la instalación de los servicios de la red.

## **2.6 Programa Sectorial del Sector Comunicaciones y Transportes 2001-2006 del Programa Nacional de Desarrollo.**

En la presentación del Programa Sectorial del Sector Comunicaciones y Transportes 2001-2006, se refiere entre otras cosas, que el 1 de diciembre del año pasado se inició el Sistema Nacional e-México, para integrar a todos los municipios y eventualmente a toda la población y abrir oportunidades que permitan eliminar los desequilibrios económicos y sociales que existen entre distintas regiones y grupos sociales.

Además, se informa que todas las cabeceras municipales ya cuentan con las conexiones a alta o baja velocidad, y se tiene una base de casi 500 centros digitales que permiten acceso a la información. La meta es que al término de la presente administración, más del 90 por ciento de la población tenga acceso, a través del Sistema e-México y las telecomunicaciones, al conocimiento, la información y los servicios de manera equitativa e igualitaria.

Asimismo, se hace referencia a que los servicios estratégicos postal y telegráfico son el soporte para operar gran parte de los programas sociales y, en algunos casos, son el único medio de enlace para los habitantes de algunas comunidades porque cuentan con una cobertura que cubre todo el país. Así, la meta para el 2006 es contar con servicios de clase mundial, mantener la amplia cobertura, por lo que es necesario reestructurar aspectos operativos, comerciales, de organización y administrativos. Con la intensificación del giro paisano, se recuperó presencia en el mercado de transferencia de dinero, así como la diversificación de los servicios que se prestan, incluyendo los de telecomunicaciones a través de los centros comunitarios e-México.



## CAPÍTULO III

### SERVICIOS INTEGRADOS DE TELECOMUNICACIONES

#### 3.1 Introducción.

Hoy en día uno de los términos que más se menciona en el ámbito de las telecomunicaciones son los servicios integrados; sin embargo es necesario aclarar en que consisten estos servicios ya que es común que pase por nuestra mente la pregunta de cuáles son y cómo funcionan. Se le conoce como servicios integrados a los servicios de audio, voz y video proporcionados por un mismo medio. Dicho medio debe contar con el ancho de banda necesario para llevar a cabo la función mencionada anteriormente.

Los cambios actuales en las redes de telecomunicaciones están siendo destinados a proveer servicios integrados de banda ancha para cualquier persona, en cualquier lugar. La realización de este hecho depende tanto del desarrollo de productos y servicios en el mercado de las telecomunicaciones como de la implementación de nuevas tecnologías que puedan ofrecer servicios de banda ancha.

En el pasado, los sistemas y las soluciones de red eran desarrolladas de manera independiente y particular. Daban servicios especializados con una determinada arquitectura y con límites de flexibilidad, pero ahora con la rápida evolución de la tecnología es necesaria la integración y convergencia de nuevas funciones en las redes de Telecomunicaciones. Cualquier nuevo sistema tiene que tener como objetivos principales, una buena calidad de servicio QoS (Quality of Service), bajo costo y soluciones flexibles para hacer frente al crecimiento en la demanda. El desafío es proveer una serie de opciones en términos de servicios, terminales, y acceso a la red. Este sistema debe ser capaz de enfrentarse a diferentes requerimientos. Debe poseer flexibilidad, modularidad y escalabilidad.

La Red Digital de Servicios integrados (RDSI) o ISDN<sup>41</sup> en inglés, es una red de cubrimiento mundial que ofrece una interfaz única al usuario final para que pueda acceder a distintos servicios como son: conexiones telefónicas, transmisión de datos y video conferencia entre otros. Este tipo de sistema de telecomunicaciones terrestre es la base principal de la tendencia de los nuevos servicios y tecnologías de banda ancha. Por tal motivo es necesario su estudio y entendimiento para poder visualizar los avances tecnológicos destinados a proveer servicios de banda ancha. ISDN de banda ancha (B-ISDN)<sup>42</sup>, por ejemplo es un nuevo sistema que requiere tasas de transmisión mayores a las de un canal primario de 64 Kbps proporcionado por ISDN.

Sistemas como la telefonía móvil, arreglo de redes terrestres o alámbricas, y los sistemas satelitales, están siendo desarrollados para ofrecer servicios integrados de banda ancha. Los usuarios de estos sistemas no necesitan, o a menos que lo

<sup>41</sup> ISDN, Integral Services Digital Network.

<sup>42</sup> Broadband ISDN

deseen, conocer que sistema en particular esta utilizando para tener acceso a los servicios de banda ancha.

Los sistemas de Radiocomunicaciones ofrecen una buena plataforma para llevar a cabo el desafío de los servicios de banda ancha (SBA). Tienen la característica de producir sistemas escalables que son amables para el usuario. Se puede diseñar de acuerdo al tamaño de las comunidades a las que se les requiera dar los SBA, no olvidando la factibilidad económica y técnica.

Las Radiocomunicaciones de banda ancha tienden a cubrir la mayor parte de las telecomunicaciones para los usuarios que se encuentren dentro o fuera de zonas urbanizadas, gracias al aprovechamiento de la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre. Los sistemas con los cuales se lleva a cabo este servicio son los siguientes:

- Sistemas de distribución local multipunto.  
(LMDS, local multipoint distribution systems)
- Satélites multimedia de banda ancha.  
(BSM, broadband satellite multimedia)
- Sistemas móviles de banda ancha.  
(MBS, mobile broadband systems)
- Sistema global para comunicaciones móviles.  
(GSM, Global System for Mobile Communications)
- Sistema universal de telecomunicaciones móviles.  
(UMTS, Universal Mobile Telecommunications System)

En este capítulo presentamos las tendencias de diferentes sistemas que tienen como objetivo principal dar soluciones de acceso a los servicios de banda ancha. Estos sistemas son las redes digitales terrestres, los arreglos de redes inalámbricas y los sistemas satelitales.

### **3.2 ISDN.**

ISDN es una evolución de la Red Digital Integrada telefónica (RDI) a la cual se agregan nuevas funciones y características para proporcionar nuevos servicios. De acuerdo con la recomendación 1.120 de la UIT-T, la principal característica del concepto de ISDN es el soporte de un amplio rango de aplicaciones sobre la misma red o el mismo medio. ISDN se desarrolló para proporcionar un conector de acceso universal a una variedad de servicios ofrecidos dentro de la red pública, evitando así el tener conexiones a diferentes tipos de redes como son: la red pública telefónica

conmutada, líneas telefónicas privadas analógicas y digitales, telex y redes de conmutación de paquetes.<sup>43</sup>

### 3.2.1 Historia.

El crecimiento de la tecnología digital y el afán competitivo ha hecho migrar las redes análogas tradicionales (telefónicas en la mayoría de los casos) a unas con mayor desempeño como son las que están implementadas con tecnología digital.

**Años 60s:** Se encuentra la solución a un viejo problema, la pérdida de calidad de sonido en las llamadas a larga distancia. La solución consistía en utilizar canales de larga distancia digitales; en estos canales la voz era digitalizada y enviada como datos numéricos, volviéndola a convertir en una señal analógica en el otro extremo de la línea.

Puesto que en los enlaces digitales la información no sufre deterioro, las llamadas continentales podían tener la misma calidad de sonido que las llamadas locales. El esquema de digitalización elegido fue tomar muestras, que en Europa eran de 8 bits y en Estados Unidos de América, EUA, de 7 bits, a una velocidad de 8000 muestras por segundo; esto significaba que estos canales debían funcionar a 64000 bits por segundo en Europa (8 bits x 8000 muestras) y 56000 bits por segundo en EUA. (7 bits x 8000 muestras).

**Años 70s:** Las compañías telefónicas se enfrentan a un nuevo desafío; las grandes empresas están interesadas en poder interconectar sus computadoras; para satisfacer esta nueva demanda se crean las primeras redes experimentales de transmisión de datos.

**Año 1984:** Asamblea general de la CCITT<sup>44</sup>. En esta reunión se habla de los canales digitales, del imparable aumento de las comunicaciones por ordenador y de las nuevas demandas ya aparecidas o de previsible aparición (fax, videotexto, videoconferencia, televisión por cable, etc.), y se toma una decisión histórica: la red telefónica mundial deberá reconvertirse en una red de transmisión de datos. El plan es que, en el siglo XXI, las típicas líneas analógicas utilizadas por los teléfonos de voz se habrán sustituido por líneas digitales capaces de ofrecer cualquier tipo de servicio, inventado o por inventar; esta nueva red se bautiza con el nombre de RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).

La idea era muy buena, pero presentaba un problema enorme, la construcción de esta red. Si se quería que el proyecto fuera viable, la nueva RDSI debía crearse a partir de la vieja red de voz. El esquema finalmente elegido fue el de un desarrollo en

<sup>43</sup> <http://tejo.usal.es/~nines/d.alumnos/videoconfer/rdsi.html>

<sup>44</sup> CCITT. Este organismo, dependiente de la Organización de las Naciones Unidas, (ONU), tiene como función establecer los estándares técnicos utilizados en telefonía, con el fin de garantizar la compatibilidad entre los equipos de las diferentes compañías.

dos fases; en una primera fase se sustituirían las viejas centrales de redes por nuevas centrales computarizadas, que aunque serían compatibles con los sistemas antiguos podrían ofrecer los servicios requeridos por la nueva red; paralelamente, todos los canales de comunicación (no solo los de larga distancia) se irían reconvirtiendo en canales digitales. Esto permitiría la existencia de un período de transición durante el cual estarían entremezclados enlaces analógicos y digitales y que concluiría en la RDI (Red Digital Integrada), una red en la que el único enlace analógico sería el que une el teléfono del abonado con la central. Llegados a este punto, se entraría en la segunda fase, que consistiría en alargar los enlaces digitales hasta los abonados, la RDSI habría nacido.

**Actualmente:** Muchos países han completado la construcción de la RDI. No olvidemos que en la red telefónica, el canal de voz es la unidad básica de funcionamiento; esto significa que la RDI estará formada por grupos de canales de 64 kbps en Europa y 56 kbps en EE.UU., lo que también supone que esta deberá ser la velocidad de los canales RDSI.<sup>45</sup>

### 3.2.2 Características.

#### Principios de ISDN

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, Anteriormente llamada la CCITT) es la encargada de definir los estándares para ISDN dentro de su sector de estandarización de Telecomunicaciones (ITU-T), mediante lo que denomina recomendaciones, las cuales se basaron en los siguientes principios:

- Soporte de Aplicaciones de Voz y no Voz.
- Soporte de aplicaciones con enrutamiento (Circuit switching y packet switching) y no enrutadas (líneas dedicadas).
- Soporte de conexiones de 64Kbps.
- Arquitectura por capas que sea compatible con el modelo OSI.<sup>46</sup>
- Variedad de configuraciones físicas para dar competencia entre los productores, pero siempre siguiendo los estándares de conexión en la red.

#### Interfaz de usuario

El usuario final debe tener una aproximación a la red de una manera uniforme independiente del servicio que requiera y debe ser limitado y estandarizado el número de interfaces que puede existir. Cada camino de comunicación entre el usuario y la oficina central de ISDN ofrece distintas velocidades de acuerdo a los

<sup>45</sup> [http://www.disc.ua.es/asignatura/rc/trabajos/rdsi/CAP\\_5/5.html](http://www.disc.ua.es/asignatura/rc/trabajos/rdsi/CAP_5/5.html)

<sup>46</sup> OSI. (Open System Interconnection Reference Model). Modelo de referencia. Describe como la información en una computadora es transferida a una aplicación que reside en otra computadora. Es considerado como un modelo de arquitectura para comunicaciones entre computadoras y es usado como referencia en la comparación de diferentes tecnologías de transmisión de datos.

servicios requeridos por los usuarios, lo cual exige que existan complejas señales de control con el fin de que la red sepa en que forma puede hacer la multiplexación.

### **Beneficios**

Se obtienen servicios de un menor costo y mayor desempeño puesto que:

- Si se requiere un servicio nuevo no se compra una nueva red.
- Paga mantenimiento de una sola red.
- El servicio como es integrado es ofrecido a menor costo.
- No importa las necesidades del usuario se instala casi la misma red.

Sin embargo es un cambio que requiere un poco de tiempo debido a su costo.

### **Servicios**

Los servicios de ISDN, se pueden clasificar en tres tipos, de acuerdo a las necesidades de comunicación requeridas:

- Conmutación de circuitos.
- Conmutación de paquetes: Circuito virtual permanente y Datagramas
- Circuito virtual permanente.

Con lo que se logra soportar las necesidades actuales de los clientes y además algunos servicios nuevos, que surgen en el momento de tener acceso a la tecnología, como lo son:

- Teléfono (con servicios adicionales como chequeo de llamadas no deseadas).
- Redes de datos.
- Teletextos.(Terminales interactivas).
- Video Textos (Terminales no interactivas).

Que son de un ancho de banda bajo (64 Kbps), pero se pueden obtener nuevos servicios de mayores exigencias en ancho de banda, entre los cuales se encuentran:

- Televisión por cable
- Televisión por pedido
- Música de alta calidad

#### **3.2.3 Descripción.**

ISDN también denominada ISDN de banda angosta, es una red en la cual se intenta aprovechar más los canales de comunicación permitiendo al usuario obtener varios servicios por el mismo medio.

De acuerdo con el tipo de necesidades de los usuarios se dividió en dos: acceso básico y primario, el primero para un usuario pequeño y el segundo para uno de mayores necesidades.

Cada uno de estos accesos se divide en los canales que el usuario necesite, teniendo en cuenta en que si se pretende establecer conexiones por conmutación de circuitos, requiere un canal D con un tamaño proporcional al número de canales de conmutación de circuitos que va a requerir. Además del telefónico, ISDN debe ser capaz de ofrecer servicios de fax, teletex (una forma de correo electrónico para uso doméstico y de negocios), videotex (acceso interactivo a bases de datos), telemetría, alarmas, etc.

En su acceso básico destinado para uso doméstico y de pequeños negocios, ISDN proporciona una interfaz digital con dos canales B que trabajan en modo de circuitos a 64 Kbps para transmisión de voz o datos, y un canal D de 16 Kbps para transmitir principalmente información de control y señalización, ofreciendo entonces una capacidad o ancho de banda total de 144 Kbps. Los canales B y D se transmiten en tramas síncronas de 48 bits, que incluyen información de control, cada 250 s.

Realmente para esta conexión se requiere 196 kbps de ancho de banda y la diferencia entre estos anchos de banda es utilizada para manejar información entre los dos extremos de la red, por ejemplo para verificar si esta prendido o apagado el componente y si esta en estado de error o no, etcétera.

Para empresas que necesitan mayor capacidad de transmisión, ISDN proporciona en su acceso primario 23 canales B y un canal D a 64 Kbps (23B+D); esta elección de canales permite transportar una trama del acceso primario en un enlace T1 de 1.544 Mbps. En el estándar europeo se utiliza un enlace E1 a 2.048 Mbps para transportar 30 canales B y uno D (30B+D). El acceso primario permite el agrupamiento de canales B para formar canales de mayor velocidad: H0 (384 Kbps), H11(1536 Kbps) y H12 (1920 Kbps).

### **3.3 B-ISDN**

La Red Digital de Servicios Integrados (ISDN), esta dividida en dos partes: de banda angosta (N-ISDN) y de banda ancha (B-ISDN). N -ISDN opera a velocidades iguales o menores que las velocidades primarias (por ejemplo 1.544 Mbps), mientras que la B-ISDN opera a velocidades por encima de las velocidades primarias.

#### **3.3.1 Definición de B-ISDN.**

La Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (Broadband - ISDN) es una extensión de ISDN en servicios y velocidades, cuyo objetivo es transportar de manera integral voz, datos y video en la misma red. La recomendación I.211 del ITU-T agrupa a los servicios que puede ofrecer B-ISDN en dos tipos: interactivos, en los que el intercambio de información, entre dos usuarios o entre un usuario y un prestador de servicios, es bidireccional y de distribución, en los que el intercambio de información es primordialmente unidireccional, de un prestador de servicios a los usuarios.

Los servicios interactivos incluyen los servicios conversacionales, de mensajería y de recuperación de información, mientras que los servicios de distribución se subdividen en servicios de difusión, en los que el usuario no tiene control sobre la presentación de la información que recibe, y servicios cíclicos, que permiten al usuario acceder a la información de manera selectiva. Como ejemplos posibles proporcionados por B-ISDN podemos citar: videotelefonía, videoconferencia de banda ancha, vigilancia por video, interconexión de redes locales, telefax de alta velocidad, transferencia de archivos voluminosos, correo electrónico con video, videotex de banda ancha, educación a distancia, acceso a bibliotecas, televisión de alta definición, y periódicos electrónicos entre otros.

La necesidad de tener canales cuya velocidad de transmisión varíe de acuerdo al tráfico implica que, aunque algunos servicios de voz y de video necesitan ancho de banda garantizado, otros podrían implantarse usando recursos multiplexados estadísticamente para no desperdiciar ancho de banda.

B-ISDN utiliza un modo de transferencia asíncrono (ATM) a diferencia de N-ISDN, el cual utiliza el modo de transferencia síncrono (STM). STM aunque funciona muy bien para servicios que requieren de canales de velocidades fijas, no es eficiente para soportar los servicios por ráfagas de B-ISDN. STM tiene problemas para manejar una mezcla dinámica de servicios que utilizan una variedad de canales de velocidades diferentes debido a que su estructura es muy rígida. Mientras que ISDN utiliza canales de velocidades fijas, B-ISDN utiliza canales de velocidades variables. B-ISDN se encuentra aún en estudio, y se encuentran realizando experimentos pilotos en EUA, Japón, Australia y muchos países europeos, con el propósito de establecer en un futuro cercano redes públicas de telecomunicaciones que ofrezcan los servicios mencionados y más.<sup>47</sup>

### **3.4 Sistemas de Telefonía Móviles.**

Las primeras investigaciones referentes a UMTS toman lugar paralelamente al desarrollo comercial de GSM. Una gran suposición aceptada para este tiempo fue que la esencia de las redes de UMTS deberían estar basadas en redes digitales de servicios integrados de banda ancha (B-ISDN), en modo de transferencia asíncrona (ATM) y en técnicas de redes inteligentes (IN). B-ISDN fue considerado como la principal tecnología en redes WAN y UMTS fue vista como la tecnología que tenía la capacidad para lograr la convergencia de servicios inalámbricos con componentes fijos, celulares y por satélite.

#### **3.4.1 Tecnología UMTS**

El sistema universal de telecomunicaciones móviles es la tercera generación de tecnología en móviles, la cual permite transmisiones de datos a velocidades de 2

<sup>47</sup> <http://tejo.usal.es/~nines/d.alumnos/videoconfer/rdsi.html>

Mbits/s, además de la voz y los datos, permite a los dispositivos recibir señales de audio y video. La tecnología UMTS acelera hasta 200 veces la transmisión de datos desde una red inalámbrica de segunda generación y por tanto posibilita toda clase de servicios para los usuarios de este tipo de móviles.

UMTS es un estándar europeo que supera las actuales terminales de móviles porque podrá ofrecer servicios multimedia y permitirá navegar por Internet, designará el sistema de comunicaciones móviles e inalámbricas de tercera generación con capacidad para servir de soporte, en particular, a servicios multimedia de nuevo tipo que superen las posibilidades de los sistemas actuales de segunda generación, como el GSM, y con capacidad para un uso combinado de componentes terrestres y de satélites.

Hay que señalar que como tecnología todavía se encuentra en fase de desarrollo y como estándar aún no ha sido completamente homologado.

UMTS, siglas que en inglés hace referencia a los Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles, es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de "tercera generación" de la UIT, y lo que se explica más adelante sobre UMTS y los servicios UMTS es igualmente válido para otros miembros de la familia IMT-2000 (norma de telefonía móvil para 3G).

UMTS tendrá un papel protagónico en la creación del futuro mercado masivo para las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad que alcanzarán a 2000 millones de usuarios en todo el mundo en el año 2010. UMTS es la plataforma de prestaciones móviles preferida para los servicios y aplicaciones con gran contenido del mañana. En los últimos diez años, UMTS ha sido objeto de intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo y cuenta con el apoyo de numerosos e importantes fabricantes y operadores de telecomunicaciones ya que representa una oportunidad única de crear un mercado masivo para el acceso a la Sociedad de la Información de servicios móviles altamente personalizados y de uso fácil.

UMTS busca basarse en y extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales proporcionando mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada.

### **3.4.2 Necesidad de un nuevo estándar.**

La rápida actuación de Europa en relación con el desarrollo de la telefonía móvil de tercera generación se ha visto motivada por el gran éxito logrado por el sistema móvil de segunda generación GSM en el Viejo Continente, que ha llevado a la pronta saturación del espectro disponible para este sistema. Dado que el servicio GSM no podrá por más tiempo seguir soportando la demanda de los europeos, los servicios de tercera generación han de estar disponibles cuanto antes.

Los estándares de ETSI<sup>48</sup> no son obligatorios ni exclusivos, pero con la rápida aparición de UMTS en el mercado, la industria europea espera repetir el éxito obtenido con GSM, convertido en estándar mundial de facto para las comunicaciones móviles de segunda generación.

Con el fin de alcanzar el éxito comercial y técnico de los servicios de UMTS, y para cumplir con su plazo de lanzamiento previsto para 2001-2002, los fabricantes, organismos normalizadores, operadores y entes reguladores en los mercados clave de todo el mundo han emprendido una serie de pasos clave con miras a:

- Crear un marco regulatorio adecuado.
- Asegurar una disponibilidad oportuna de licencias.
- Asignar espectro adecuado a los operadores.
- Producir oportunamente servicios UMTS.

Fomentar el lanzamiento simultáneo de UMTS en varios países para estimular la captación de los servicios de 3G en el mercado mundial.

### **3.4.3 Servicios de UMTS.**

Apropiado para una variedad de usuarios y tipos de servicios, y no solamente para usuarios muy avanzados en aglomeraciones urbanas, UMTS ofrece:

#### **Facilidad de uso y costos bajos**

Los clientes quieren ante todo servicios útiles, terminales simples y una buena relación calidad-precio. UMTS proporcionará:

- Servicios de uso fácil y adaptables para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios.
- Terminales y otros equipos de "interacción con el cliente" para un fácil acceso a los servicios.
- Bajos costos de los servicios para asegurar un mercado masivo.
- Tarifas competitivas.
- Una amplia gama de terminales con precios accesibles para el mercado masivo, soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS.

#### **Nuevos y mejores servicios**

Los usuarios exigirán a UMTS servicios de voz de alta calidad, junto con servicios de datos e información de avanzada. Las proyecciones muestran una base de abonados de servicios multimedia en fuerte crecimiento hacia el año 2010, lo que posibilita

<sup>48</sup> ETSI . Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación

también servicios multimedia de alta calidad en áreas carentes de estas posibilidades en la red fija.

### **Acceso rápido**

UMTS aventaja a los sistemas móviles de segunda generación (2G) por su potencial para soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbit/s desde el principio. Esta capacidad sumada al soporte inherente del Protocolo de Internet (IP), se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y videoconferencia.

### **Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos a pedido.**

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. GPRS (Servicios de Radiotransmisión de Paquetes de Datos Generales), una extensión de GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos de velocidades bajas y medias.

UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad a los beneficios de:

- Conectividad virtual a la red en todo momento
- Formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente) según lo requieran los diversos servicios de transmisión de datos que están haciendo su aparición. UMTS también ha sido diseñado para ofrecer velocidad de transmisión de datos por contrato, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hará que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico.

### **Entorno de servicios amigable y consistente**

Los servicios UMTS se basan en capacidades comunes en todos los entornos de usuarios y radioeléctricos de UMTS. Al hacer uso de la capacidad de movilidad desde su red hacia la de otros operadores UMTS, un abonado particular experimentará la sensación de estar en su propia red local ("Entorno de Hogar Virtual" o VHE).<sup>49</sup>

UTRA, el sistema de acceso radioeléctrico de UMTS, soportará las operaciones con una alta eficiencia espectral y calidad de servicio. Posiblemente las terminales UMTS no puedan operar en todo momento a las velocidades más altas de transmisión de datos, y en áreas alejadas o excesivamente congestionadas los servicios del sistema

<sup>49</sup> <http://www.umtsforum.net/tecnologia.asp>

pueden llegar a soportar solamente velocidades de transmisión de datos más bajas debido a limitaciones de propagación o por razones económicas.

Con el fin de permitir a los abonados usar siempre su terminal, los servicios serán adaptables a diferentes disponibilidades de velocidad de transmisión de datos y otros parámetros de Calidad de Servicio (QoS). En las primeras etapas del despliegue de UMTS, la cobertura será limitada. Por consiguiente, el sistema UMTS permitirá la movilidad y cobertura con otras redes, por ejemplo, un sistema GSM operado por el mismo operador o con otros sistemas GSM o de 3G de otros operadores, incluyendo los satélites compatibles con UMTS.

Para que UMTS funcione comercialmente es preciso crear las correspondientes regulaciones en cada país, distribuir las licencias entre los operadores y sobre todo, potenciar su uso en diferentes países para que realmente sea global.

Los pasos previos ya han comenzado. Las primeras redes comerciales comenzaron a funcionar en 2001. La implantación se debe producir entre 2002 y 2005. A partir de ese momento comenzarán a desarrollarse los servicios avanzados de UMTS.

#### 3.4.4 Ventajas de UMTS

Las telecomunicaciones modernas son un estimulante necesario y poderoso para la economía de las naciones. En el futuro, una porción cada vez mayor de las operaciones comerciales dependerá de las telecomunicaciones. La tecnología inalámbrica moderna ofrece la posibilidad de llevar servicios de telecomunicaciones de avanzada a personas que viven fuera de las grandes aglomeraciones urbanas y que quizás ni siquiera cuentan hoy con telefonía fija. Esto permitiría administrar un negocio incluso desde un pequeño pueblo y, aún así, mantenerse en contacto con los clientes y proveedores. Con la tecnología satelital hasta los puntos más remotos de un país pueden tener acceso a servicios avanzados. La tecnología terrestre garantizará suficiente capacidad para las áreas más densamente pobladas. De este modo, lejos de ser un lujo de pocos, UMTS tiene la posibilidad de convertirse en el principal canal de telecomunicaciones del futuro y en un soporte indispensable para un desarrollo económico saludable de América Latina.

La tecnología satelital puede fácilmente proveer cobertura y servicio globales y se estima que tendrá un importante papel en la cobertura de UMTS en el ámbito mundial. UMTS está atravesando el proceso de normalización con el fin de asegurar una capacidad de cobertura y un traspaso efectivos y eficientes entre redes satelitales y terrestres.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> <http://averroes.cec.junta-andalucia.es>

### 3.5 Tecnología de acceso inalámbrico fijo.

El acceso inalámbrico fijo terrestre de banda ancha (FWA, fixed wireless access), presenta soluciones que consisten de LMDS y de algunos radio enlaces basados en sistemas punto-multipunto (P-MP), utilizando frecuencias por arriba de los 20 GHz. Estos sistemas son normalmente diseñados por medio de células del orden de 1-9 Km. de diámetro, dependiendo del número de usuarios en esa área y dependiendo también de las condiciones de propagación, como puede ser la lluvia, los hidrometeoros, la topografía, edificios o la obstrucción por vegetación.

LMDS fue originalmente introducido en los Estados Unidos y fue lanzado como un sistema de distribución de Televisión. Esta tecnología ha ganado mucha importancia en el resto del mundo, principalmente como un sistema para la convergencia de radiodifusión, contenidos y telecomunicaciones. Mientras el sistema fue diseñado para operar a una frecuencia de 28 GHz, existen otras bandas en las cuales LMDS puede operar. En Europa por ejemplo se trabaja en la banda de 40.5-43.5 GHz, pero otras bandas como 24,26 y 32 GHz han estado disponibles para su operación.<sup>51</sup>

LMDS y P-MP son parte de la alta capacidad de servicios fijos, para los cuales la Radio Conferencia Mundial 2000 (WRC 2000) asignó alrededor de 10 GHz en ancho de banda. Esta asignación se encuentra entre los 20 y 30 GHz, representan una alta capacidad de transporte cuando se usa en una arquitectura celular con un eficiente re-uso de frecuencias.

#### 3.5.1 Concepto de LMDS

LMDS es un sistema de comunicación inalámbrica de punto a multipunto, que utiliza ondas radioeléctricas a altas frecuencias, en torno a 28 y 40 GHz. Dado el gran ancho de banda disponible, LMDS puede ser el soporte de una gran variedad de servicios simultáneos: televisión multicanal (difusión, pago por evento, demanda de video), telefonía, datos, servicios interactivos multimedia (teleeducación, telemedicina, acceso a Internet en banda ancha, etc.). En este sistema existen bandas de frecuencia de unos 2 GHz con atenuación mínima ante los agentes atmosféricos.

LMDS se diferencia de otras tecnologías de transmisión inalámbrica, como WLL<sup>52</sup>, en que puede proveer acceso a los mencionados servicios multimedia a velocidades altas (hasta 8 Mbps).

---

<sup>51</sup> Marco Annoni, Laurissa Tokarchuck, Chris Adams and Manuel Dinis. " **Future Broadband Radio Access Systems for Integrated Services with Flexible Resource Management**". IEEE Commun. Mag, Agosto 2001, pp 56-63.

<sup>52</sup> WLL. (Wireless Local Loop). Bucle Local Inalámbrico. Es un sistema que conecta usuarios a la red de telefonía pública usando señales de radio como sustituto para la conexión entre los usuarios y la red.

El acrónimo LMDS se deriva de:

- **L (local):** Denota que las características de propagación de las señales en este rango de frecuencias delimita el área potencial de cobertura de una sola celda. El rango de un transmisor LMDS es aproximadamente 5 millas, según pruebas realizadas en áreas metropolitanas.
- **M (multipunto):** Indica que las señales son transmitidas según un método punto-multipunto. El enlace inalámbrico entre el suscriptor y la estación es una transmisión punto a punto.
- **D (distribución):** Se refiere a la distribución de las señales, las cuales pueden ser tráfico simultáneo de voz, datos, Internet y video.
- **S (servicio):** Señala la naturaleza del suscriptor en la relación entre operador y consumidor. Los servicios ofrecidos en una red LMDS dependen completamente del tipo de negocio del operador.

### 3.5.2. Funcionamiento de LMDS.

Debido a que esta tecnología utiliza como medio de transmisión el aire, la forma de operar es mediante cuatro componentes. El primero de ellos es un módulo externo que se conforma por una antena y un amplificador de bajo nivel de ruido, el cual recibe y envía la información digitalizada.

En segundo lugar se encuentra una unidad interna cuya función es procesar los datos por medio de interfaces. La señal es recibida por el tercer componente, las radiobases, las cuales se instalan en lugares estratégicos desde donde el proveedor se encargará de brindar el servicio de comunicación y de darle el soporte necesario a las aplicaciones, estableciendo enlaces directos entre los distintos usuarios del mismo.

El punto que cierra el círculo es el sistema de gestión. Éste consta de una central de gestión y monitoreo que administra y controla toda la infraestructura.

El territorio a cubrir se divide en células de varios kilómetros de radio (3-9 Km en la banda de 28 GHz, 1-3 Km en la banda de 40 GHz). El abonado al sistema recibe la señal mediante una de tres vías: desde el emisor principal de la célula, si existe visibilidad directa entre éste y el receptor; desde un repetidor, en zonas de sombra; mediante un rayo reflejado en alguna superficie plana (paredes de edificios, reflectores / repetidores pasivos, etc.). La antena receptora puede ser de dimensiones muy reducidas -antenas planas de 16 x 16 cm, con capacidad de emisión en banda ancha, señal de TV o datos a alta velocidad, telefonía o datos de baja velocidad.

### 3.5.3 Viabilidad del Sistema LMDS.

Hasta hace pocos años se creía que las altas frecuencias utilizadas en LMDS no permitirían ofrecer de forma viable un servicio masivo. La razón principal que se alegaba al respecto era la atenuación debido a la lluvia y las altas potencias de emisión necesarias en consecuencia para lograr un cierto alcance de la señal. Estas dos situaciones harían que el sistema no fuera viable económicamente. Sin embargo, el LMDS ha conseguido superar estas dificultades, fundamentalmente en la banda de 28 GHz, como demuestran desde hace varios años los sistemas en operación comercial existentes, entre los que destacan los de CellularVision en la ciudad de Nueva York y en 40 GHz, Philips. Las principales claves técnicas del sistema son tres: el teorema de Shannon de equivalencia entre ancho de banda y potencia, la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable, y la reutilización de frecuencias.

Por el teorema de Shannon de equivalencia exponencial entre potencia y ancho de banda, si se duplica el ancho de banda utilizado, sólo es necesario emitir la raíz cuadrada de la potencia para lograr la misma relación señal a ruido en recepción. En bajas frecuencias, el espectro es un recurso particularmente escaso que se ha ido saturando a medida que han surgido nuevos servicios de telecomunicación, por lo que se debía recurrir a emisiones de alta potencia para compensar la limitación de ancho de banda. Es algo parecido a lo que sucede en una habitación con mucho ruido de fondo: hablamos más alto para aumentar la relación señal a ruido y hacernos entender. Lo malo es cuando la habitación está "saturada" y todo el mundo debe hablar alto a la vez, hasta que llega un momento en que ni así logramos entender a nuestros interlocutores. En LMDS se utiliza la táctica contraria: como el ancho de banda espectral es un recurso menos escaso (se dispone de 1, 2 o 3 GHz), se utilizan sistemas de modulación en banda ancha para transmitir la señal (por ejemplo, modulación FM). Esto permite utilizar potencias mucho más bajas que en sistemas como la TV hertziana convencional o el MMDS (multipoint multichannel distribution system, que dispone de "sólo" 200 MHz de ancho de banda), que emplean modulación AM.

Este ahorro de potencia en emisión y recepción permite utilizar equipos más pequeños y baratos, y además convierte al LMDS en un sistema aceptable, ya que su contribución a la creciente polución electromagnética es mínima, y asimismo se minimiza el posible efecto pernicioso para la salud de las personas en las cercanías de los emisores: operadores del sistema en el centro emisor, vecinos de edificios con repetidores, y personas en los hogares o empresas que utilicen servicios bidireccionales con LMDS.

Las otras dos claves del sistema son la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable, y la reutilización de frecuencias. Emitiendo un haz con polarización muy estable, y captando solamente el haz de mayor potencia recibido en la antena (detección de haces muy estrechos, con discriminación de polarización), se desechan las contribuciones secundarias de señal procedentes de múltiples

reflexiones, lo que suprime interferencias e imágenes "fantasma". Además, esto proporciona robustez adicional frente a la lluvia. Por último, utilizando simultáneamente polarización opuesta y desplazamientos de las frecuencias centrales por canal, tanto para difusión en células adyacentes como para canales de retorno de banda ancha en la propia célula, se consigue duplicar el ancho de banda efectivo del sistema, por lo que en LMDS a 28 GHz no es necesario alternar frecuencias entre células adyacentes, algo imprescindible en otros sistemas celulares, con el consiguiente ahorro de este recurso natural escaso y de creciente valor.

#### 3.5.4 Ventajas del sistema LMDS respecto al cable y al MMDS

El sistema LMDS permite ofrecer, con gran fiabilidad y calidad de señal, prácticamente los mismos servicios que las redes de fibra óptica y cable coaxial.

Como con LMDS no es necesario cablear, las grandes ventajas potenciales del sistema son las siguientes:

- Se puede ofrecer el servicio y generar ingresos mucho antes en todo el área de cobertura (de 6 a 18 meses, frente a 5-7 años para completar una red de cable).
- Se puede ofrecer el servicio de forma económicamente viable, si no al 100% de la población, si a grandes franjas de población dispersas, a las que en ningún caso se puede dar servicio con cable de forma rentable.
- Por último, pero no menos importante, el operador con LMDS tendría mucho menores costes de reparaciones en planta exterior y mantenimiento, al no haber prácticamente red que mantener (sólo unos pocos repetidores por célula).<sup>53</sup>

#### 3.6 Sistemas Satelitales.

Los satélites siguen siendo una buena opción en lo que se refiere a costo-beneficio para servicios de banda ancha. Estos sistemas aseguran la posibilidad de tener una gran capacidad en ancho de banda, la infraestructura de comunicaciones se tiene y la flexibilidad y confiabilidad en los servicios son aceptables. Recientemente el desarrollo se enfoca en el acceso a la banda ancha representado por el trabajo en el canal de retorno (digital video broadcast return channel via satellite, DVB-RCS<sup>54</sup>) y la búsqueda de la solución para aplicaciones móviles en Satélite UMTS (S-UMTS).

Las comunicaciones satelitales son cada vez más destinadas a proveer servicios de Internet de alta velocidad en configuraciones Punto Multipunto P-MP. En Europa, esto ha sido de gran aceptación en servicios sobre portadoras DVB. Este último no

<sup>53</sup> <http://www.iies.es/teleco/publicac/publbit/bit99/lmds.htm>

<sup>54</sup> DVB-RCS. Proporciona las especificaciones para que un usuario transmita por medio de una antena.

es meramente un estándar para radiodifusión digital, pero define contenedores de información los cuales permiten sin problemas el transporte de paquetes IP y soportan cualquier tipo de servicios. Sistemas de satélites que obedecen al estándar DVB vía satélite han sido desarrollados para incluir técnicas de encapsulación que permitan paquetes de datos MPEG-2 para llevar tráfico UDP/TCP/IP<sup>55</sup> y trabajar juntos con un canal de retorno de marcado.

Un avance ha sido el desarrollo del estándar DVB-RCS. Este estándar posibilitará a los usuarios tener un canal en dos sentidos para la comunicación de datos de banda ancha satelital, a través de sus terminales terrenas en banda Ku/Ka. Actualmente velocidades por arriba de los 50 Mb/s en el canal de ida y 2 Mb/s en el canal de retorno son realmente alcanzables e imaginables. En un futuro, la velocidad del canal de retorno se espera incrementar a 8-10 Mb/s. Desde un punto de vista técnico, los avances en las tecnologías de procesamiento a bordo ciertamente nos mostrarán la oportunidad de evolucionar a un canal de retorno directo.

Los sistemas satelitales darán una amplia cobertura mejor que los servicios de redes terrestres, esta cobertura podrá llegar a las áreas sin medio físico terrestre. Cualquier ruta de migración para sistemas celulares de segunda o tercera generación debería tomar en cuenta los sistemas de satélites. Para que este hecho se lleve a cabo es necesario identificar y estandarizar el soporte tecnológico de los satélites. El objetivo es integrar los segmentos terrestres con los segmentos espaciales, incluyendo también los sistemas de telefonía celular.

En este escenario la red satelital puede ser considerada como una extensión integral de acceso de red. Esta solución provee movilidad a los usuarios a través de diferentes segmentos.

Un usuario universal accesa a la interface para servicios BSM abriendo diferentes sistemas. La motivación para este tipo de interfaces es abrir y expandir el mercado para terminales satelitales a través de una flexibilidad común al tener acceso a las redes de los sistemas satelitales. El sistema BSM esta siendo desarrollado para soportar un rango de aplicaciones de multimedia con velocidades requeridas por arriba de los 150 Mb/s. El objetivo es permitir acceso a los diferentes tipos de redes con servicios de banda ancha terrestres inalámbricos y terrestres alámbricos.<sup>56</sup>

Los actuales proyectos de satélites de órbita terrestre baja y los geoestacionarios se materializarán durante el 2002, proporcionando servicios multimedia fijos o móviles. Existen muchos de estos proyectos que son factibles, a pesar de su complejidad técnica. Todos requieren enormes inversiones para su lanzamiento y puesta en funcionamiento, que está prevista para el 2002:

---

<sup>55</sup> Protocolos para redes de datos. UDP. (User Datagram Protocol). Protocolo de datagrama de usuario. TCP (Transmission Control Protocol). Protocolo de control de transmisión. IP (Internet protocol). Protocolo de Internet.

<sup>56</sup> Marco Annoni, Laurissa Tokarchuck, Chris Adams and Manuel Dinis. "Future Broadband Radio Access Systems for Integrated Services with Flexible Resource Management". IEEE Commun. Mag, Agosto 2001, pp 56-63.

- **Órbita terrestre baja:** Teledesic (Teledesic - 288 satélites), Skybridge (Alcatel 64 satélites), Mission (Motorola - 72 satélites)
- **Geoestacionario:** WEST - Wideband European Satellite Communications (Matra Marconi Space), Millenium (Motorola), Cyberstar (Loral).

Gracias a estas grandes redes de información en el cielo, el acceso a la banda ancha estará disponible desde prácticamente cualquier lugar en el planeta.<sup>57</sup>

### 3.7 Principales elementos de un futuro sistema de acceso multimodo de banda ancha.

Un futuro sistema de radio para banda ancha deberá consistir de varios subsistemas de interconexión y de integración y deberán tener la característica de prestar servicios tanto a usuarios fijos y móviles. Tales sistemas deben incluir los sistemas de accesos inalámbrico MBS y BSM. Estos componentes serán de gran utilidad para el mercado, pero deben de ser llevados a cabo por medio de diferentes arquitecturas, tecnologías de acceso a banda ancha y cobertura.

Las redes de banda ancha se han desarrollado en diferentes direcciones y áreas. Han sido asociadas con estándares de las redes existentes como el cable y como los satélites. Usar flexibilidad e interoperabilidad entre redes requerirá de una armonización de operación, de proveer servicios y de un manejo de la red. El usuario debería poder moverse entre diferentes segmentos. Una supervisión y dirección común de servicios, de los recursos de la red y de los usuarios, una cobertura de segmentos fijos y móviles ha comenzado a ser necesaria. Esto requiere un fuerte enfoque en la integración de la red en el proceso de desarrollo.

### 3.8 Análisis del mercado "Internet de Banda Ancha" en México.

Mucho se habla de las ventajas que los servicios de acceso a Internet de banda ancha proporcionan a los usuarios de todos los sectores, en México se trata poco sobre las diversas tecnologías a las cuales se refiere el término de banda ancha.

Cada una de las tecnologías es óptima para un tipo de usuario diferente de acuerdo a sus necesidades, localización y las aplicaciones que pretende utilizar. En este análisis se ha realizado para algunas tecnologías: DSL<sup>58</sup>, ISDN, Internet por cable e Internet inalámbrico.

<sup>57</sup> <http://www.legalia.com/dti/telecomunicaciones/infraes.htm>

<sup>58</sup> DSL. Digital Subscriber Lines. Líneas Digitales por suscriptor.

La información que se presenta en los siguientes párrafos de este capítulo fue tomada de Select-IDC<sup>59</sup>. Desde 1964, IDC brinda información de mercado para la toma de decisiones de los directores de sistemas y a toda la industria y actualmente atiende a más de 38000 clientes corporativos en el mundo.

Select-IDC analiza el mercado de TI en México desde 1989 y el de las telecomunicaciones desde 1995, a través de servicios de información a fabricantes de equipos, canales de distribución, usuarios y operadores de redes en México. La información es la siguiente:

La tecnología DSL mejora la velocidad del par de cobre y alcanza una velocidad mayor que a las líneas privadas que actualmente se utilizan. Si bien es cierto que el Internet por cable puede ofrecer velocidades más rápidas, DSL es de las opciones más aceptadas porque permite llegar a un gran número de hogares y al sector empresarial también.

De acuerdo con Select-IDC, esta opción tecnológica es la que más va a crecer en los próximos años. Sobre todo en hogares y pequeñas y medianas empresas. Al cierre del año 2001, tuvo una participación del 12% del total de cuentas activas en México y se estima que para el año 2006, concrete el 46 % de las mismas.

Por su parte, se dice que el Internet por cable es una tecnología dirigida al sector empresarial, pero lo cierto es que la mayor parte del tendido del cable coaxial se encuentra ubicado en casas y no es muy común que pase por zonas industriales u oficinas. De hecho, en nuestro país la red de televisión por cable no llegó a crecer tanto como lo hizo en otros países como Estados Unidos y, por lo tanto, es muy poco probable que en el corto plazo tenga posibilidad de atender al sector empresarial. Lo importante es que con ésta es posible manejar aplicaciones de video y, además de ofrecer Internet a gran velocidad, está preparado para soportar llamadas de voz.

"La desventaja es que muchas ciudades del país ni siquiera cuentan con TV por cable y por tanto, el reto de las empresas de tendido de cable está en preparar sus equipos para hacerlos bidireccionales y en aumentar su cobertura en áreas donde no han tenido presencia, incluso en zonas industriales si es que verdaderamente quieren llegar a este sector", indica José Garcés, gerente de investigación en Telecomunicaciones e Internet de Select-IDC.

Otro reto que tendrá la industria cablera será convencer a los usuarios de TV por cable de su capacidad como operadores de telecomunicaciones capaces de brindar tanto entretenimiento como seguridad en el transporte de información. Su gran ventaja es que tienen muchos clientes cautivos y su servicio de Internet por cable es

<sup>59</sup> Empresa de Tecnología y Negocios la cual es representante de International Data Corporation (IDC), líder mundial en proveer información de mercado, análisis de la industria y planeación estratégica para apoyar a fabricantes, proveedores, canales y usuarios de las tecnologías de información (TI).

de muy buena velocidad. Actualmente el mercado de servicios de Internet por cable se encuentra en desarrollo y, en general, los líderes de esta industria apenas cuentan con el 30 % de sus abonados de TV por cable como clientes de Internet.

En cuanto a la tecnología ISDN, es importante mencionar que en principio este servicio iba dirigido a la gente que requería de acceso a Internet a mayor velocidad; al no tener competencia, esta tecnología fue acogida de buen agrado por los usuarios y en la actualidad está muy posicionada. Esta tecnología no se encuentra al alcance de todos, principalmente está dirigida a pequeñas y medianas empresas, e incluso algunos profesionistas independientes que requieren mayor velocidad y su nivel de ingresos se lo permite. El ISDN compite directamente con DSL y a pesar de que su costo es mayor y su velocidad no es la óptima, lo cierto es que hoy es la tecnología que más se utiliza en el mundo y por lo tanto es una opción probada. Esa es su gran ventaja frente a otras tecnologías.

Según estimaciones de Select-IDC, actualmente ISDN concentra el mayor número de cuentas de banda ancha en México con un 44% de participación, pero esto no quiere decir que continuará concentrando este porcentaje, pues su tecnología sirvió como una alternativa transitoria mientras las otras ofertas llegaban a México.

Por otra parte, el Internet inalámbrico se coloca como una muy buena opción pues, a pesar de existir mucho cobre instalado, éste no se ha distribuido a lo largo y ancho de México; además existen empresas que no pueden o no quieren, por los altos costos que esto implica, estar ubicadas en el área metropolitana. Con esta tecnología las compañías pueden instalarse en cualquier lugar y seguir comunicados y, si bien es cierto que esta tecnología es muy cara, se compensa por los ahorros en otros rubros.

"En el caso particular de México, donde se tiene proyectos de descentralización, de fortalecimiento a municipios con sistemas de comunicación, el Internet inalámbrico será una muy buena opción para que los satélites ya no estén subutilizados y sean rentables para la industria satelital", explica José Garcés. Sin duda esta opción tendrá un gran crecimiento en el futuro; de hecho, el mercado inalámbrico es el que muestra la tasa más alta de crecimiento que le representará para el 2006 una participación del total de cuentas del orden del 17% en comparación con el 3% que concentra actualmente.<sup>60</sup>

---

<sup>60</sup> Boletín informativo de Select-IDC. Num 60 11/Enero/2002

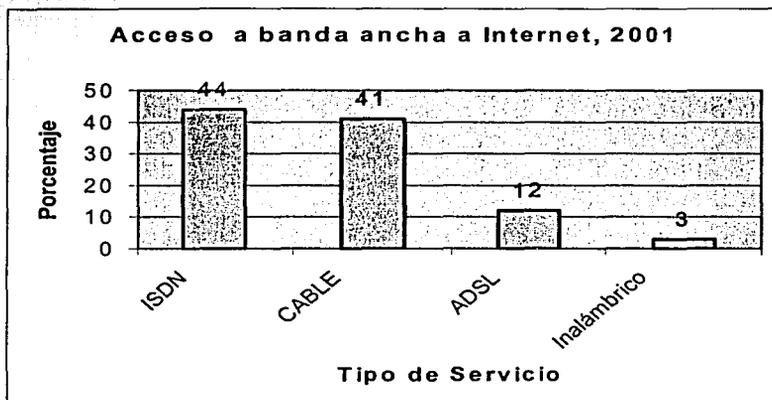


Figura 3-1 Gráfica de acceso a banda ancha a Internet en el año 2001.

La figura 3-1 muestra una gráfica que indica el tipo de servicio más empleado para acceder a los servicios de Internet de banda ancha en el año 2001. En este caso resultó ser ISDN.

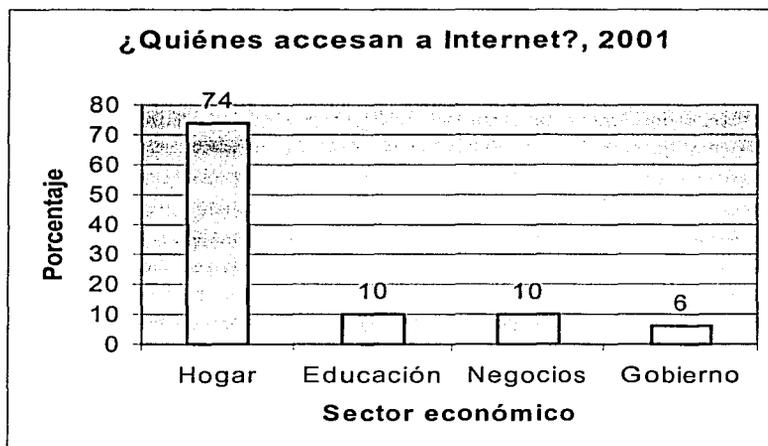


Figura 3-2 Gráfica que muestra el porcentaje de accesos a Internet en el año 2001 por cada sector económico.

La figura 3-2 nos arroja como resultado que en el año 2001 el sector económico que más accedió a Internet fue el del hogar (entiéndase por hogar a las casas particulares), el cual tuvo un 74% del número de accesos; por el contrario el 26% restante se dividió en los sectores educación, negocios y gobierno.

## Capítulo IV. Anchos de Banda Requeridos.

### 4. 1 Servicios de Banda Ancha

Cuando la capacidad disponible para el usuario de la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN) se incrementó sustancialmente, el rango de servicios que se podían soportar también se incrementó considerablemente. La ITU-T clasifica los servicios que pueden ser proporcionados por una Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (B-ISDN) en servicios interactivos y servicios de distribución. (Figura 4-1)

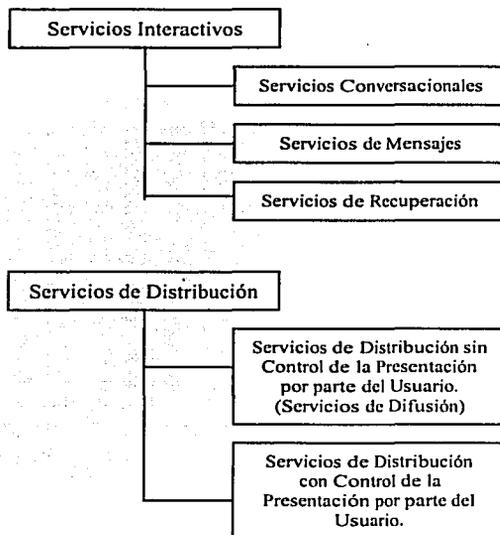


Figura 4-1 Servicios de Banda Ancha.<sup>61</sup>

Los servicios interactivos son aquellos en los cuales existe un intercambio de información de dos vías (diferente a la información de control-señalización) entre dos suscriptores o entre un suscriptor y un proveedor de servicios. Estos servicios incluyen servicios conversacionales, servicios de mensajes y servicios de recuperación. Los servicios de distribución son aquellos en los cuales la transferencia de información es principalmente de una vía, desde el proveedor del servicio hasta el suscriptor de B-ISDN. Estos servicios incluyen los servicios de difusión, en los cuales

<sup>61</sup> Stallings, William. ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM. Prentice Hall, 2a. ed., New Jersey, 1995.

el usuario no tiene control sobre la presentación de la información, y los servicios cíclicos, que permiten al usuario en cierta medida control de la presentación.

Las tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5, provenientes de la Recomendación I.211, listan cada una de estas cinco categorías junto con aplicaciones y características posibles.

#### 4.1.1 Servicios Conversacionales

Los servicios Conversacionales proporcionan los medios para una comunicación de dialogo bidireccional con transferencia de información de terminal a terminal, de tipo bidireccional y en tiempo real, entre dos usuarios o entre un usuario y un Host del proveedor de servicios. Estos servicios soportan la transferencia general de datos específicos de una aplicación de usuario dada. Esto es, la información es generada por los usuarios e intercambiada entre ellos; no es información pública.

Tabla 4.1 Servicios Conversacionales<sup>62</sup>

Tipo de Información	Ejemplos de Servicios de Banda Ancha	Aplicaciones
Imágenes en movimiento y sonido	Video-telefonía de Banda Ancha	Comunicación para la transferencia de voz (sonido), imágenes en movimiento e imágenes fijas obtenidas de video y documentos, entre dos localidades (persona a persona) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tele-educación</li> <li>▪ Tele-compras</li> <li>▪ Tele-publicidad.</li> </ul>
	Videoconferencia de Banda Ancha	Comunicación multipunto para la transferencia de voz (sonido), imágenes en movimiento e imágenes fijas obtenidas de video y documentos, entre dos o más localidades (persona a grupo, grupo a grupo) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tele-educación</li> <li>▪ Conferencia de negocios</li> <li>▪ Tele-publicidad</li> </ul>
	Video-Vigilancia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seguridad en edificios</li> <li>▪ Monitoreo de tráfico</li> </ul>
	Servicio de transmisión de información de Audio/Video	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transferencia de señal de TV</li> <li>▪ Diálogo de video / audio</li> <li>▪ Contribución de información</li> </ul>
Sonido	Señales de programas de sonido múltiples	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Canales de comentarios multi-lenguaje</li> <li>▪ Transferencia de programas múltiples</li> </ul>

<sup>62</sup> Händel, Rainer. Integrated Broadband Networks. Addison Wesley, United Kingdom, 1993.

Datos	Servicio de transmisión de información digital no restringida de alta velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transferencia de datos a alta velocidad</li> <li>Interconexión LAN</li> <li>Interconexión WAN</li> <li>Interconexión computadora-computadora</li> <li>▪ Transferencia de información de video</li> <li>▪ Transferencia de información de otros tipos</li> <li>▪ Transferencia de imágenes fijas</li> </ul>
	Servicios de transferencia de archivos de alto volumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transferencia de archivos de datos</li> </ul>
	Tele-acción de alta velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Control dentro de tiempo real</li> <li>▪ Telemetría</li> <li>▪ Alarmas</li> </ul>
Documentos	Telefax de alta velocidad	Transferencia tipo usuario-usuario de texto, imágenes, dibujos, etc.
	Servicio de comunicación por imágenes de alta resolución	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Imágenes profesionales</li> <li>▪ Imágenes médicas</li> <li>▪ Juegos Remotos</li> </ul>
	Servicio de comunicación por documentos	Transferencia tipo usuario- usuario de documentos mixtos *

\* Documentos mixtos se refiere a documentos que pueden contener textos, gráficos, información de imágenes fijas o en movimiento, así como anotaciones de voz.

#### 4.1.2 Servicios de Mensajes.

Los servicios de mensajes ofrecen comunicación usuario-usuario entre usuarios individuales vía unidades de almacenamiento con almacenaje y reenvío (store-and-forward), buzón de mensajes (mail box), y/o funciones de manipulación de mensajes (Vg. edición, procesamiento y conversión de información). En contraste con los servicios Conversacionales, los servicios de Mensajes no están en tiempo real. De aquí que, ellos establezcan menos demandas a la red y no requieren que ambos usuarios estén disponibles a un mismo tiempo. Los servicios análogos en el ámbito de Banda Angosta son el X.400 y el Telex.

Tabla 4.2 Servicios de Mensajes.<sup>63</sup>

Tipo de Información	Ejemplos de Servicios de Banda Ancha	Aplicaciones
Imágenes en movimiento (video) y sonido	Servicio de Video-mail	Servicio de buzón electrónico para la transferencia de imágenes en movimiento y el sonido acompañante
Documentos	Servicio de correo para documentos	Servicio de buzón electrónico para documentos mixtos*.

\* Documentos mixtos se refiere a documentos que pueden contener textos, gráficos, información de imágenes fijas o en movimiento, así como anotaciones de voz.

### 4.1.3 Servicios de Recuperación

Los servicios de recuperación proporcionan al usuario la capacidad de recuperar información almacenada en centros de información que, en general, está disponible para uso público. Esta información es enviada al usuario solamente bajo demanda. La información puede ser recuperada sobre una base individual; esto es, el momento en el que la secuencia de información comienza se encuentra bajo el control del usuario.

Tabla 4.3 Servicios de Recuperación.<sup>64</sup>

Tipo de Información	Ejemplos de Servicios de Banda Ancha	Aplicaciones
Texto, datos, gráficos, sonido, imágenes fijas, imágenes en movimiento.	Videotex de Banda Ancha	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Videotex, incluyendo imágenes en movimiento</li> <li>▪ Educación y entrenamientos remotos</li> <li>▪ Telesoftware</li> <li>▪ Tele-compras</li> <li>▪ Tele-publicidad</li> <li>▪ Recuperación de noticias</li> </ul>
	Servicio de recuperación de video	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propósitos de entretenimiento</li> <li>▪ Educación y entrenamiento remotos</li> </ul>
	Servicio de recuperación de imágenes de alta resolución	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propósitos de entretenimiento</li> <li>▪ Educación y entrenamiento remotos</li> <li>▪ Comunicación para imágenes profesionales</li> <li>▪ Comunicación para imágenes médicas</li> </ul>
	Servicio de recuperación de documentos	Recuperación de documentos mixtos desde centros de información, archivos, etc
	Servicio de recuperación de datos	Telesoftware

\* Documentos mixtos se refiere a documentos que pueden contener textos, gráficos, información de imágenes fijas o en movimiento, así como anotaciones de voz.

<sup>63</sup> Ibidem.

<sup>64</sup> Ibidem.

#### 4.1.4 Servicios de Distribución sin Control de la Presentación por parte del Usuario.

Los servicios en esta categoría son también conocidos como servicios de Difusión. Ellos proporcionan un flujo continuo de información, la cual es distribuida desde una fuente central hasta un número ilimitado de receptores autorizados conectados a la red. Cada usuario puede acceder al flujo de información pero no tiene control sobre él. En particular, el usuario no puede controlar el momento de comienzo o el orden de la presentación de la información difundida. Los usuarios interceptan simplemente el flujo de información.

**Tabla 4.4** Servicios de Distribución sin Control de la Presentación por parte del Usuario.<sup>65</sup>

Tipo de Información	Ejemplos de Servicios de Banda Ancha	Aplicaciones
Datos	Servicio de distribución de información digital no restringida de alta velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Servicio de datos no restringidos</li> </ul>
Textos, gráficos, imágenes fijas	Servicio de distribución de documentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diario electrónico</li> <li>▪ Publicaciones electrónicas</li> </ul>
Imágenes en movimiento y sonido	Servicio de distribución de de información de video	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distribución de señales de video/audio</li> </ul>
Video	Servicio de distribución de TV con calidad existente (NTSC, PAL, SECAM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distribución de Programas de TV</li> <li>▪ Distribución de Programas de TV</li> </ul>
	Servicio de distribución de TV de calidad extendida <ul style="list-style-type: none"> <li>- Servicio de distribución de TV con definición mejorada</li> <li>- TV de alta calidad</li> </ul>	
	Servicio de distribución de TV de alta definición	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distribución de Programas de TV</li> </ul>
	TV pagada (pago por evento, pago por canal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Distribución de Programas de TV</li> </ul>

<sup>65</sup> Ibidem

#### 4.1.5 Servicios de Distribución con Control de la Presentación por parte del Usuario.

Los servicios dentro de esta clase también distribuyen información desde una fuente central hacia un gran número de usuarios. Sin embargo, la información es proporcionada como una secuencia de entidades de información (Vg. frames) con repetición cíclica. Así, el usuario tiene la capacidad de acceso individual a la información distribuida cíclicamente y puede controlar el comienzo y orden de la presentación. Debido a la repetición cíclica, las entidades de información, seleccionadas por el usuario, serán siempre presentadas desde el principio.

**Tabla 4.5** Servicios de Distribución con Control de la Presentación por parte del Usuario.<sup>66</sup>

Tipo de Información	Ejemplos de Servicios de Banda Ancha	Aplicaciones
Texto, gráficos, sonido, imágenes fijas	Videografía de distribución por canal completo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Educación y entrenamiento remotos</li> <li>▪ Telesoftware</li> <li>▪ Tele-publicidad</li> <li>▪ Recuperación de noticias</li> </ul>

#### 4.2 Utilización del Espectro.

La administración del espectro es un factor importante en el diseño de los sistemas de comunicaciones. La asignación de una banda de frecuencias finita a un servicio particular es una función regulatoria que sirve para conservar el espectro de frecuencias. Dada una determinada banda de frecuencias dentro de la cual se trabaja, las compañías operadoras deben realizar la maximización del rendimiento de sus sistemas. A medida que las necesidades aumentan, ellas deberán convencer a los reguladores y a ellas mismas que están dispuestas a pagar por el uso de nuevas frecuencias.

Es por ello que existe el interés de todas las partes hacia la eficiencia del ancho de banda<sup>67</sup>, y por consiguiente la tendencia es cada vez más hacia el uso de técnicas de modulación eficientes con respecto al ancho de banda.

<sup>66</sup> Ibidem.

<sup>67</sup> La eficiencia espectral de cualquier esquema de modulación está definida como la razón de la tasa de datos de entrada ( $r_b$ ) entre el ancho de banda del canal asignado (B). Esto es, la eficiencia espectral está dada por:

$$\eta = r_b/B \text{ ( bit/s / Hz )}$$

### 4.3 Consideraciones de Ancho de Banda y Potencia.

Aunque los sistemas futuros podrán proporcionar mayores potencias de salida del satélite, el uso eficiente de la potencia de la señal continuará siendo un factor importante.

Un esquema de modulación envuelve la transmisión de un conjunto de símbolos en cada periodo de tiempo  $T_s$ . El mapeo de esos símbolos en una salida modulada, puede ser hecha de manera espectralmente eficiente mediante la representación de 2 o más bits de entrada tomados durante el intervalo  $T_s$  para especificar un símbolo. (Por ejemplo, en QPSK<sup>68</sup> 2 bits son usados para especificar cada una de las cuatro fases). El Ancho de banda es controlado por la tasa de señalización de símbolos. La tasa de símbolos y en consecuencia el Ancho de Banda ocupado decrecen debido a que cada símbolo representa más bits de entrada.

En la figura 4-2 se comparan varias técnicas de modulación con la curva de capacidad del límite de Shannon. Están graficadas las capacidades de canal de modulaciones M-aria PSK, M-aria DPSK (PSK Diferencial) y QAM-SC<sup>69</sup>. La comparación está hecha para la misma tasa de bits y se ha graficado contra la relación  $E_b/N_o$  promedio.

Debe señalarse que las modulaciones muestran un comportamiento teórico para condiciones ideales: forma de señal y detección óptimas. Como puede ser esperado, los sistemas reales caen cerca de estos objetivos por uno o más dB.

Los resultados ideales muestran que el mejor desempeño es logrado por modulaciones que combinan amplitud y fase para representar a los símbolos de entrada. Para valores de  $R/B > 2$ , estas técnicas son más apropiadas. Note, sin embargo, que es requerido un incremento en la relación  $E_b/N_o$ . Además de ello, es importante mencionar que una eficiencia espectral mayor puede ser alcanzada solamente a expensas de un incremento en la probabilidad de error.

<sup>68</sup> Quaternary Phase Shift Keying

<sup>69</sup> Quadrature Amplitude Modulation Suppressed Carrier

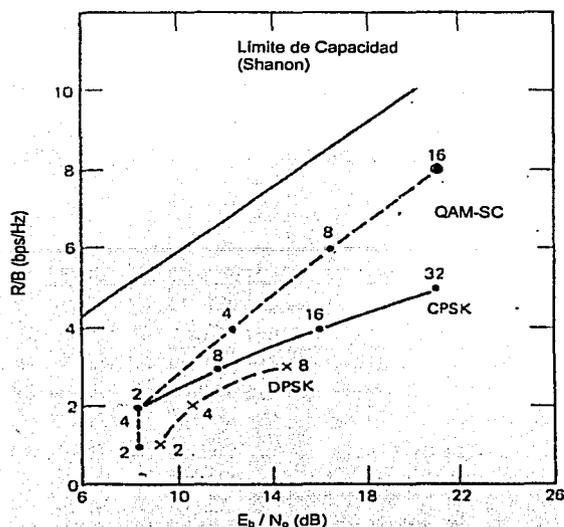


Figura 4-2 Capacidad de un canal en bps/Hz versus  $E_b / N_0$ .<sup>70</sup>

De las variadas técnicas de modulación que están disponibles, algunas exhiben una eficiencia espectral sumamente alta. Incluidas entre estas se encuentran las técnicas híbridas tales como las modulaciones en amplitud y fase APK<sup>71</sup>. Sin embargo, estudios en el ámbito de la aplicación de señales APK en canales con comportamiento no lineal muestran que el APK cae varios dB por debajo que el comportamiento de señales PSK. Y, especialmente en la región no lineal cercana a la saturación de los amplificadores satelitales, donde se obtiene una operación con alta eficiencia en potencia, las técnicas que son robustas frente a las distorsiones no lineales, como la PSK, son de interés primario.

Visto lo anterior, es evidente que para la determinación del ancho de banda ocupado por una señal y, por lo tanto, por un servicio, influyen diversos factores, entre ellos: la tasa de transmisión, la eficiencia espectral dada por el esquema de modulación utilizado, la razón de bits erróneos BER<sup>72</sup> y la relación  $E_b/N_0$ . Todos ellos interrelacionados entre sí. Así, debido a la complicación de presentar varios esquemas que muestren diferentes posibilidades de ancho de banda, en la parte restante del capítulo mostraremos solamente los requerimientos en tasas de datos de los diferentes servicios de banda ancha existentes.

<sup>70</sup> Bhargava, Vijay K. Digital Communications by Satellite. John Wiley & Sons, Inc., USA, 1981.

<sup>71</sup> Amplitude-phase shift keying

<sup>72</sup> BER: Bit Error Rate.

#### 4.4 Requerimientos.

Los servicios multimedia interactivos satelitales de banda ancha están dirigidos por el concepto de supercarretera /GII, donde los satélites pueden, tanto extender las redes de fibra dentro de áreas donde es económicamente prohibitivo tender las redes terrestres, como proporcionar una disponibilidad temprana de tales servicios. El mercado es predominantemente corporativo, para terminales fijas, en primera instancia, pero también incluye elementos domésticos significantes. Existe además una demanda de aplicaciones portables, y aún móviles, pero ellas son más difíciles de servir.

Los servicios multimedia requieren un ancho de banda considerablemente mayor, y de aquí que los operadores estén forzados a mirar hacia bandas de frecuencias más altas, Ka o V/Q o re-usar el espectro en la banda Ku mediante el empleo de nuevas tecnologías y/o técnicas.<sup>73</sup>

La figura 4-3 proporciona una estimación de los requerimientos de la tasa de datos para los servicios de B-ISDN presentados anteriormente. Como puede verse el rango potencial de la tasa de datos es amplio. La figura también da una estimación de la duración de las llamadas, que es otro factor importante en el diseño de la red.

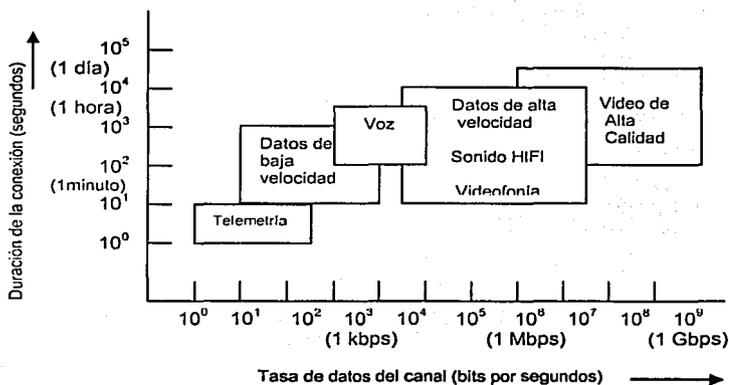


Figura 4-3 Tasa de datos y duración de servicios potenciales de B-ISDN.<sup>74</sup>

<sup>73</sup> Evans B. G. Satellite Communication Systems. IEEE, United Kingdom, 1999.

<sup>74</sup> Stallings, William. Op. cit.

Otra estimación de la tasa de datos requerida es mostrada en la tabla 4.6. Nótese que estos valores difieren de los presentados en la figura 4-3. En ambos casos, los números pueden ser solamente estimaciones para los servicios proyectados, y las diferencias remarcan la incertidumbre a que se enfrentan los diseñadores de B-ISDN. La columna marcada con CBR/VBR refiere si el soporte para ese servicio requiere una facilidad de transmisión de tasa de bits constante o de tasa de bits variable. La tabla además incluye el útil parámetro de razón de Burst, la razón del tiempo en el cual el canal está ocupado entre el tiempo en que la información es enviada. Esta cantidad proporciona una guía del tipo de tecnología de conmutación (conmutación de circuitos versus conmutación de paquetes) apropiada para B-ISDN.

Tabla 4.6 Características de varios tipos de tráfico.<sup>75</sup>

Tipo de Servicio	Categoría de Servicio	Rango del Ancho de Banda	CBR/VBR	Razón de Burst
Voz	Voz PCM	64 kbps	CBR	1
Voz	Voz ADPCM	32 kbps	CBR	1
Voz	Codificación predictiva	16 kbps	VBR	5-15
Voz	Voz de alta calidad	192-384 kbps	CBR	1
Voz	Correo de voz	16-64 kbps	CBR / VBR	1-3
Voz	Voz con calidad de CD	1.4 Mbps	CBR	1
Voz	Videokonferencia (componente de voz)	64-192 kbps	CBR	1
Datos	Interconexión LAN	1.5-100 Mbps	VBR	varía
Datos	Transferencia de archivos Host a Host	64 kbps - 1.5 Mbps	VBR	1
Datos	Transferencia de archivos PC	9.6-64 kbps	VBR	1
Datos	Sistema cliente / servidor	10-100 Mbps	VBR	1000
Datos	Acceso remoto a Base de Datos	1-10 Mbps	VBR	1000
Datos	Llamada de procedimiento remoto	6-60 Mbps	VBR	15-20
Datos	Correo electrónico	9.6 kbps- 1.5 Mbps	CBR	1
Datos	Procesamiento de Transacción	64 kbps-5 Mbps	VBR	40
Video	Video telefonía	64 kbps-2 Mbps	CBR / VBR	2-5
Video	Videokonferencia	128 kbps-14 Mbps	CBR / VBR	2-5
Video	Correo de imágenes/video	1-4 Mbps	CBR	1
Video	Videotex de Banda Ancha	64 kbps-10 Mbps	VBR	10
Video	TV con calidad NTSC	15-44 Mbps	VBR	2-5
Video	TV con calidad HDTV	150 Mbps	VBR	2-5
Video	Video Browsing	2-40 Mbps	CBR	1
Video	Fax-Grupo 4 (400 x 400)	64 kbps	CBR	1
Video	Rayos X Médicos (14 x 17 in)	1.5-10 Mbps	CBR / VBR	25
Video	Exploración médica MRI/CAT	10-200 Mbps	CBR / VBR	25
Video	Gráficos de alta resolución	100 Mbps- 10 Gbps	VBR	25

De los datos expuestos en la tabla 4.6 podemos comentar que una comunidad rural difícilmente buscaría obtener servicios tales como voz con calidad de CD, video-telefonía o TV con calidad HDTV antes de otras necesidades básicas, que evidentemente son primordiales; sin embargo, un servicio como el de la telemedicina puede ser tan indispensable que, al necesitar éste de imágenes de los Rayos X médicos y de la exploración médica, se requiera de una conexión de alta capacidad.

<sup>75</sup> Ibidem.

Ahora, vale la pena hacer una breve revisión de la exigencia de la tasa de datos para la transmisión de video, ello debido a que es el video el que guiará el requerimiento global de la tasa de datos. Los servicios fijos de satélite en la actualidad están dominados por la televisión, con un 75 por ciento de la capacidad total, con la telefonía y otros servicios de banda angosta contabilizando desde un diez hasta un veinte por ciento de los ingresos por transpondedor. Lo último está declinando a medida que la penetración de la fibra se incrementa, pero la demanda sigue creciendo. La transmisión de una señal de video analógica requiere del orden de 6 MHz de ancho de banda. Usando las técnicas directas de digitalización, la tasa de datos requerida para la transmisión de video digital puede ser tanto como 1 Gbps. Esto es claramente altísimo aún para una red basada en fibra óptica y en conmutadores de alta velocidad. Dos enfoques complementarios son utilizados para reducir las exigencias en la tasa de bits:

- El uso de técnicas de compresión de datos que remueven la información redundante o innecesaria.
- Permitir las distorsiones que son menos objetables para el ojo humano.

Saber qué información es necesaria y los tipos de distorsiones aceptables requieren un entendimiento profundo de la fuente de la imagen que se codificará así como de la visión humana. Con este conocimiento, se pueden aplicar varias técnicas de codificación para lograr la mejor imagen.

Qué calidad de imagen y tasa de datos son aceptables es función de la aplicación. Por ejemplo, la videofonía y la videoconferencia requieren tanto transmisión como recepción. Para limitar los requerimientos de ingeniería en el sitio del suscriptor, podríamos limitar drásticamente la tasa de transmisión de datos. Afortunadamente, en el caso del videófono, la resolución requerida, especialmente para aplicaciones residenciales, es modesta, y en el caso de la videoconferencia como en el de la videofonía, la tasa del cambio de las imágenes es generalmente baja. Esta última propiedad puede ser explotada con técnicas de redundancia- compresión interframe, opuestas a la mera técnica de compresión intraframe usados en sistemas tales como el facsímil.

La tabla 4.7 muestra la relación entre la calidad de las imágenes de video y la tasa de datos requerida.

Tabla 4.7 Aplicaciones de video comprimido.<sup>76</sup>

Mercado	Tasa de Datos	Norma	Resolución (Píxeles x Líneas)	Frames por segundo
Video-telefonía de tasa básica	56-128 kbps	P x 64	176 x 144	5-10
Videoconferencia de Negocios	≥ 384 kbps	P x 64	352 x 288	15-30
Multimedia interactiva	1-2 Mbps	MPEG	más de 352 x 288	15-30
NTSC Digital	3-10 Mbps	NTSC	720 x 480	30
TV de Alta Definición	> 15 Mbps	FCC	1200 x 800	60
Varias iniciativas de normas están en progreso				
P x 64: Conjunto de normas establecidas por la ITU-T para video-telefonía y conferencia. MPEG: Motion Pictures Experts Group, el cual fija normas ISO para video, particularmente CD-ROM NTSC: National Television Systems Committee, el cual fija normas para la televisión y el video reproducido y grabado en los EUA. FCC: Federal Communications Commission				

En la parte baja del espectro es de uso ordinario las líneas de telefonía analógica para soportar transmisión de video. La tasa de datos de video comprimido está limitada a cerca de 10 kbps, restringiéndose así la resolución de imagen y la tasa de frames, y por consiguiente, limitando la calidad de la imagen.

Las primeras cuatro categorías son llamadas comúnmente Sistemas de Codificación de Baja Tasa de Bits, definidos como sistemas que transmiten a tasas de datos de alrededor de 2 Mbps o menos. Para videoconferencias de negocios y multimedia interactiva, se tiene una resolución reducida en comparación con la difusión de televisión y una habilidad reducida del movimiento de las pistas. En general, esto produce una calidad aceptable. Sin embargo, si se presenta un movimiento rápido de la escena que está siendo televisada, aparecerán movimientos discontinuos en la pantalla. Aún más, si hay un deseo de transmitir imágenes de gráficos de alta resolución (Vg. durante una presentación en una videoconferencia), entonces la resolución en la pantalla será inadecuada. Para superar este último problema, el transmisor deberá ser capaz de conmutar entre un movimiento completo, transmisión de baja resolución y un frame congelado, transmisión de alta resolución con la misma tasa de datos.

<sup>76</sup> Ibidem.

La codificación de NTSC Digital corresponde a la calidad de la televisión de difusión que se da actualmente.

Finalmente, la norma de la calidad más alta es conocida como Televisión de Alta Definición (HDTV<sup>77</sup>). Este sistema es comparable en resolución con la proyección de películas de 35 mm y pondrá la calidad de recepción de TV en hogares y oficinas al nivel de la calidad que se da en la sala de cine. Con la HDTV, no sólo la resolución es mayor, sino que el sistema soporta pantallas más amplias.

Puede notarse que la figura 3 proporciona un rango más bien amplio de tasa de datos dentro de la mayoría de las categorías. Esto es por dos razones. La primera, que la tecnología de la codificación de video está evolucionando rápidamente, y la tabla intenta representar las tasas necesitadas para las nuevas técnicas. Segundo, se ha hecho una distinción entre dos tipos de señales:

- Contribución, donde la señal es transferida entre estudios y está sujeta a procesamiento de post-producción.
- Distribución, donde las señales son distribuidas para observarse y no están sujetas a tales procesamientos.

Generalmente, un mayor grado de compresión puede ser aplicado para las señales de distribución que para las señales de contribución.

Las estimaciones de la Figura 4.3 muestran que los servicios de banda ancha requieren que la red maneje un amplio rango de tipos de petición, desde aquellos con periodos cortos de conexión (Vg. transferencia de archivos) hasta aquellos que requieren periodos largos de conexión (Vg. servicios distributivos), dentro de un rango también amplio de tasa de datos. Además, se espera que muchos de estos servicios mostrarán la misma característica de horas-pico de los servicios de banda angosta.

<sup>77</sup> HDTV: High-definition televisión.

LIBRARY OF CONGRESS  
PHOTODUPLICATION SERVICE  
WASHINGTON, D.C. 20540

## CAPÍTULO V. CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES EN BANDA KA

### 5.1 Introducción.

Los servicios de comunicaciones satelitales son tradicionalmente designados como **fijos** si ellos atienden a usuarios estacionarios o **móviles** si ellos soportan a usuarios en movimiento por ejemplo en barcos, en aeroplanos o en algún otro vehículo. La tabla 5.1 lista las bandas de frecuencia disponibles para servicio fijo. De estas, la banda C y la banda Ku son las más utilizadas en nuestros días. El uso de frecuencias mayores fue desalentador en un principio y esto debido a severos problemas de propagación, principalmente debido a la atenuación por lluvia que se encontró en bandas de frecuencias mayores. De cualquier modo, dada la dificultad de encontrar posiciones orbitales para colocar satélites que operen en la banda C o Ku, que no interfieran con los satélites vecinos, nos lleva a enfocar nuestra atención e interés por las nuevas tecnologías de satélites en la banda Ka<sup>78</sup>.

Tabla 5.1 Bandas de frecuencias disponibles.

Banda del Satélite	Frecuencias de Subida (GHz)	Frecuencias de bajada (GHz)
C	5.850-7.075	3.4-4.2
Ku	12.75-13.25 13.75-14.8	10.7-12.75 17.3-17.7
Ka	27.5-30.0	17.7-21.2
Q / V	47.2-50.2	39.5-42.5

El termino Satélites en Banda-Ka, en inglés Ka-band satellites, es ahora generalmente reconocido como una nueva generación de comunicaciones satelitales que utilizan procesamiento y conmutación a bordo, con la finalidad de dar servicios en doble vía. Esto se puede lograr a través de haces de cobertura múltiple en zonas determinadas. Una variedad de órbitas son consideradas, además de la convencional órbita geoestacionaria, las órbitas bajas y las medias son planeadas dependiendo el tipo de servicio que se pretende ofrecer.

Los sistemas satelitales en Banda-Ka han sido descritos e identificados de diversas maneras, se les nombra también como satélites multimedia o *multimedia satellites*, satélites ATM o *ATM satellites*, Satélites conmutados de banda ancha o *Broadband switched satellites*, Satélites interactivos de banda ancha o *Broadband interactive satellites*. Es necesario no confundirse con estos términos, ya que los satélites en banda Ka pueden tener otras aplicaciones diferentes a servicios multimedia y a la plataforma ATM.

<sup>78</sup> Fuente: J.V. Evans. "The U.S. filings for multimedia satellites: a review". International Journal of Satellite Communications, 2000.

Las tecnologías de conmutación a bordo y de procesamiento se han empleado para dar servicios de comunicaciones móviles. La empresa Iridium fue una de las primeras en innovar con esta nueva tecnología, ella empleó enlaces entre satélites y estaciones terrenas que se interconectaban con las redes telefónicas públicas, pero debido a una mala planeación y un mal estudio de mercado, dejó de funcionar teniendo grandes pérdidas económicas. La telefonía celular le alcanzó y le robó el mercado.

Entender la relación entre los enlaces inter-satélites y las tecnologías a bordo como lo son los "Haces de Cobertura Múltiple" y "procesamiento y conmutación a bordo" es de manera esencial para la comprensión de la línea comercial que los satélites aspiran a desempeñar.

En efecto, la capacidad de conmutación hace que los satélites operen como una red telefónica pública, con la característica de ofrecer servicios digitales con una amplia variedad de tasas de transmisión de bits. A los usuarios se les ofrecen tasas de bits en demanda, esto quiere decir que solamente pagarán por la cantidad de información que se transmita durante el enlace. Esto contrasta con los satélites convencionales donde los usuarios tienen que pagar por enlaces permanentes. Por lo tanto es económico usar satélites donde existe una gran cantidad de información en movimiento, tales como canales de Televisión y enlaces de troncales telefónicas.

Los satélites en banda Ka ofrecen el equivalente de un "Circuito telefónico de derivación local", donde los usuarios pagan por un contrato de tiempo. El sistema satelital en esta banda permite también una alternativa, cobrar por cada bit de información transmitido. De cualquier modo, estos servicios requieren de un amplio ancho de banda ya que cada enlace debe operar de manera punto a punto. El primer método para usar eficientemente el espectro disponible es el de "los haces de cobertura múltiple", en el cual se cubre solamente una pequeña área de la tierra. Esto permite el re-uso de frecuencia de manera importante, de manera parecida a como la red celular telefónica hace re-uso del espectro.

El uso de haces de cobertura múltiple exige por si mismo la consideración de procesamiento y conmutación a bordo, esto para direccionar cada ruta de transmisión entre los diferentes haces radiados utilizados para enlaces de subida y de bajada. De igual manera, los enlaces entre satélites de banda Ka, demandan el uso de tecnologías de conmutación<sup>79</sup>.

---

<sup>79</sup> Fuente: Roger Stanyard and DTT Consulting. "Ka-Band Report Management Summary".

## 5.2 ¿ Por qué la Banda Ka?

La banda Ka es una porción del espectro de frecuencia que ofrece las siguientes ventajas:

- Disponibilidad de un amplio ancho de banda (3.5 GHz comparado con los 500 MHz de la banda C), que permite grandes tasas de transmisión.
- La generación de haces múltiples y haces de cobertura específica, permite el uso de frecuencias.
- Reducción del potencial de interferencia con los satélites vecinos y con los enlaces terrestres.
- El tamaño pequeño de los equipos y lo portátil que pueden ser.

Estas ventajas son muy atractivas, pero es preciso comentar que esto trae consigo grandes costos en la operación, y estos radican en que los enlaces en la banda Ka son más susceptibles a sufrir deterioros durante su propagación a través de la troposfera, lo cual no sucede en bandas de frecuencias inferiores. Por lo tanto prevenir o disminuir estos daños, resulta ser más difícil en altas frecuencias y requiere de un análisis y entendimiento preciso del fenómeno, así como de su correspondiente impacto sobre el desempeño y la disponibilidad de los sistemas. Una eficiente utilización de este rango de frecuencias, demanda que las limitaciones sobre la trayectoria sean previamente estudiadas y ajustadas para la planeación, diseño e implementación de un sistema satelital.

El operar en la banda Ka nos presenta diversas ventajas las cuales hacen muy atractiva la innovación de un sistema satelital de telecomunicaciones óptimo. Las más importantes son:

- a) Incremento del ancho de banda y de la capacidad de manejo de datos.

La operación en la banda Ka, ofrece ancho de banda adicional, así como una mayor capacidad sobre el manejo de datos para aplicaciones tanto en tierra como en el espacio. Cada vez más componentes de radiofrecuencia (RF) operan sobre un ancho de banda específico, el cual puede ser relacionado con un porcentaje de la frecuencia de la portadora. Construir componentes de radiofrecuencia que operen sobre un rango de frecuencia con un exceso de más del 10% de la frecuencia portadora es difícil y costoso. Las frecuencias de la banda Ka son aproximadamente un factor de 2 veces mayor que las frecuencias que componen a la banda Ku y un factor mayor de 5 que las frecuencias para la banda C.

**b) Reducción del tamaño de los componentes.**

Las longitudes de onda pequeñas de la banda Ka permiten el uso de antenas pequeñas, filtros y estructuras de guías de ondas que alcanzan desempeños comparables con los componentes de las bandas C y Ku. Las antenas VSAT<sup>80</sup> para la banda Ka, del orden de los 0.60 metros, pueden proveer la misma calidad de servicio que las antenas de 1.2 metros para los sistemas de la banda Ku y de las antenas de 3.2 metros para los sistemas de la banda C.

Las antenas pequeñas para la banda Ka alcanzan la misma ganancia que las antenas grandes para la banda C y Ku, ya que la ganancia se incrementa con la frecuencia  $f_{(dB)} = 20 \times \log ( f )$ . Esta ventaja es compensada por un incremento idéntico en las pérdidas en el espacio libre. El incremento de las pérdidas en el espacio libre, pueden ser compensadas manteniendo el tamaño de las antenas del satélite, pero la huella satelital de la antena decrece en proporción inversa con respecto a la frecuencia. Por lo tanto, para proporcionar servicios a la misma área de cobertura sobre la superficie de la tierra, las antenas de los satélites y la configuración del alimentador pueden llegar a ser más complejos en banda Ka.

**c) Pequeñas huellas Satelitales.**

Los mismos factores que permiten que el tamaño de los componentes sean pequeños en banda Ka, también permiten proporcionar una alta ganancia en las antenas del satélite con un razonable ajuste del tamaño de las antenas reflectoras teniendo, en consecuencia, un incremento en la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE) y por consecuencia una reducción de las dimensiones del ancho del haz de las antenas del satélite sobre la superficie de la tierra.

Utilizando una arquitectura de haces múltiples, se permite el re-uso de frecuencias, ofreciendo una gran eficiencia sobre el uso del espectro de frecuencias. La cobertura del haz puede ser tan pequeña como el área de una determinada ciudad<sup>81</sup>.

**5.3 Requerimientos para el diseño de sistemas en Banda Ka.**

Los satélites en banda Ka representan una tecnología de progreso, así como hubo muchos adelantos exitosos en el pasado, de esa misma manera esta tecnología representa un gran avance en las telecomunicaciones satelitales.

Algunos de los principales puntos importantes a tomar en cuenta en el desarrollo de sistemas en banda Ka son los altos costos y los detalles de las investigaciones de

<sup>80</sup> Siglas en inglés de Very Small Aperture Terminal (Terminal de apertura muy pequeña). El término VSAT es ampliamente utilizado en la industria satelital para describir a una estación terrena que recibe comunicaciones desde el satélite o se comunica con alguna otra estación. Debe ser utilizada para recepción, pero normalmente realiza también la función de transmisión.

<sup>81</sup> Fuente: Cruz H. y Hernández H. "Cálculo de enlace y atenuación por lluvia para comunicaciones por satélite en la banda Ka para México." Noviembre 2000.

mercado en las cuales se basa el plan de negocios. Ésta no es una tarea fácil. Planear soluciones de redes de satélites envuelve también investigaciones de diferentes mercados en todo el mundo. La banda Ka ofrece nuevos servicios en nuevos mercados, se le reconoce actualmente como una muy buena estrategia en el mercado de las telecomunicaciones.

La entrada al mercado de las comunicaciones en banda Ka se realizó paralelamente junto con la entrada de tecnologías complementarias para las cuales la demanda fue incierta. De entre las más notables son ATM y la televisión digital satelital. Otras más se están desarrollando y recordando que dependiendo del tipo de servicio que se pretende dar será la línea a seguir en el mercado. Los servicios se pueden dar a través de diferentes infraestructuras y el cliente de acuerdo a sus necesidades seleccionará la más adecuada.

En este trabajo, como ya se ha comentado, pretendemos dar un panorama sobre las comunicaciones satelitales en la banda Ka y de esta manera promover el desarrollo de la misma en nuestro país, puesto que las necesidades de mantener comunicadas a toda la gente son evidentes. No solo incrementará su nivel de comunicación, sino su nivel de vida principalmente en materia de educación. Aprovechando las potencialidades de esta banda, múltiples servicios de multimedia y tele-educación pueden hacerse llegar a las comunidades más alejadas y marginadas. De igual manera en como se hace un estudio de mercado, se puede hacer un estudio en cuanto al nivel de vida y se concluirá que el desarrollo de este nicho en materia de telecomunicaciones, es necesario.

A continuación comentaremos acerca de otros requerimientos necesarios para el diseño de sistemas, estos son principalmente enfocados a la propagación y están estrechamente relacionados con las condiciones climatológicas de la zona geográfica.

- **Indisponibilidad del enlace.** Relacionado con los intervalos de tiempo cuando la potencia de la señal no es suficiente en el receptor y por lo tanto no puede soportar la comunicación.
- **Degradación del Desempeño.** Relacionado al intervalo cuando la señal es detectable pero la calidad del servicio esta por debajo de un nivel específico de desempeño.
- **Interferencia de señal no deseada.** Relacionado a las señales de otros sistemas que comparten la misma banda o por interferencia de polarización cruzada, causada por despolarización en la trayectoria, lo que provoca deterioros en el desempeño y en la disponibilidad.

Información detallada de los elementos que generan deterioros en la señal como son el promedio de duración de estos en un nivel específico o la velocidad del cambio de un nivel de deterioro, pueden requerirse especialmente en el diseño de sistemas, así como también de las terminales del usuario.

La importancia de un elemento de degradación dado depende de los parámetros de un sistema. Por ejemplo: la frecuencia de operación influye en el fenómeno de la atenuación por lluvia; detalles de configuración en el plan del re-uso de frecuencias por doble polarización, influye en el fenómeno de la despolarización sobre la trayectoria; el ángulo de elevación, influye en el fenómeno de los desvanecimientos por centelleo.

#### **5.4 Los satélites en Banda Ka extienden la infraestructura de Banda Ancha.**

A mediados de los 90's una multitud de sistemas satelitales en banda ancha se han propuesto con plataformas "dedicadas o de soporte", "conmutación de haces / Procesamiento a bordo", coberturas nacionales/regionales/globales, en constelaciones LEO/MEO/GEO, con haces de radiación fijos/móviles/saltos. Estos sistemas ofrecen un gran potencial para comunicaciones interactivas multimedia para un usuario lejano con un equipo terminal pequeño y económico. La mayoría de los satélites propuestos y planeados son "satélites superpuestos", en los cuales ellos pueden dar conectividad directa usuario-usuario por medio de un solo salto, (por ejemplo configuración tipo malla). Los propósitos y planes de un satélite deben de converger principalmente en la cobertura que se pretenda dar a determinada región, en la cual se pueda ofrecer conectividad directa de un usuario a otro a través de un sólo "salto" y de esta manera pasar por alto las redes terrestres en su totalidad.

Los satélites superpuestos emplearán técnicas de procesamiento a bordo y jugarán un papel competitivo con los sistemas de redes terrestres. Los primeros satélites de banda ancha en aparición son: el ASTRA-1K, Wildblue-I, Anik-F2, los cuales son satélites de acceso que pueden ofrecer comunicaciones de doble vía a los usuarios no inscritos en la Red Satelital, acceso a la última milla, (por ejemplo utilizando una topología tipo estrella). Estos satélites de acceso tendrán una arquitectura de conmutación de haces y tendrán también como fin la integración de servicios con las redes de comunicación terrestres<sup>82</sup>.

El satélite en banda Ka que se propone en este trabajo es principalmente un satélite de acceso avanzado. Las características de este satélite están enfocadas a extender la infraestructura de banda ancha en México. Creemos que parte de las necesidades de nuestro país se pueden resolver con el estudio y análisis de este satélite. Podemos planear una mejor cobertura aprovechando la tecnología de los haces múltiples en determinadas ciudades y de esta manera hacer que los servicios necesarios de telecomunicaciones se puedan concretar para las diferentes comunidades en nuestro país.

<sup>82</sup> Fuente: A. Grami and K. Gordon. "Next Generation Ka-Band Satellite Concept to Extended the Reach of Canada's Broadband Infrastructure". IEEE 2001.

## 5.5 Características de un satélite Canadiense en banda Ka.

### 5.5.1 Antecedentes

Telesat Canadá fue incorporada en 1969. Desde ese entonces ha lanzado y puesto en operación de manera satisfactoria 30 satélites geoestacionarios.

A excepción del satélite Nimiq-1 el cual es un DBS (Direct Broadcast Satellite) los demás fueron satélites de servicios fijos (FSS)<sup>83</sup>, empleando las bandas C y Ku. El primer satélite Telesat fue el Anik 1, lanzado en 1972, fue el primer satélite comercial de comunicaciones de carácter doméstico. Las seis series de satélites Telesat, los Fs, algunos de ellos se lanzaron la década pasada. Por ejemplo el Anik F1 se lanzó en el año 2000, éste es el satélite de comunicaciones más poderosos en todo el mundo, ofrece servicios a través del continente Americano.

En este año se lanzará el **Anik-F2**, el cual tendrá carga útil en las bandas. ( C, Ku y Ka ) con cobertura en el norte de América. La carga útil del Anik-F2 con haces dirigidos que consisten de varios haces radiados de alta ganancia, proveerá a todas partes teniendo un bajo costo y una alta velocidad de acceso a los servicios de Internet. El Nimiq-2 será lanzado en el 2003 y este satélite será DBS con carga útil en la banda Ku idéntico a la mitad de Nimiq-1, tendrá también una parte de carga útil en la banda Ka destinada a servicios de banda ancha.

Tabla 5.2 Satélites Telesat. Principales características.

	Anik-A	Anik-B	Anik-C	Anik-D	Anik-E	Nimiq-1	Anik-F1	Anik-F2	Nimiq-2
Compañía Constructora	Hughes	RCA	Hughes	Spar	Spar	LMC	Hughes	Hughes	LMC
Satélite	HS 333	RCA 3000	HS 376	HS 376	GE 5000	A2100AX	HS 702	HS 702	A2100AX
Número de Satélites	3	1	3	2	2	1	1	1	1
Fecha de lanzamiento	1972-5	1978	1982-5	1982-4	1991	1998	2000	2002	2003
Vehículo de lanzamiento	Delta	Delta	Shuttle	Delta/Shuttle	Ariane	Proton	Ariane	Ariane	Atlas-V
Tiempo de vida (años)	7	7	10	10	12	12	15	15	12
Peso en masa (kg)	580	920	1140	1217	2930	3590	4600	5500	---
Arreglos de Potencia (W)	235	620	800	800	3900	8800	15000	15000	8070
Cobertura en banda C	Canada	Canada	---	Canada	Can + EUA parcial	---	N & S América	Can + CONUS	---
HPA en banda C	12 x 5 W	12 x 10 W	---	24 x 11 W	24 x 12 W	---	36 x 40 W	24 x 30 W	---
Transponder en banda C (MHz)	12 x 36	12 x 36	---	24 x 36	24 x 36	---	36 x 36	24 x 36	---
Cobertura en banda Ku, FSS	---	Canadá	Canadá	---	Canadá + lim USA	---	N & S América	Canadá + CONUS	---
HPA en banda Ku, FSS	---	6 x 20 W	16 x 15 W	---	16 x 50 W	---	48 x110+4 x110W	32 x 127 W	---

<sup>83</sup> Siglas en inglés de Fixed Satellite Service (FSS).

Transpondedor en banda Ku, FSS	---	6 x 72	16 x 54	---	16 x 54	---	48 x 27 + 4 x 54	32 x 27	---
Cobertura en banda Ku, DBS	---	---	---	---	---	Canadá + EUA	---	---	Canadá + US
HPA en banda Ku, DBS	---	---	---	---	---	32 x 120 W	---	---	32x120 W
Transpondedor en banda Ku, DBS	---	---	---	---	---	32 x 24	---	---	32x24
Cobertura en banda Ka	---	---	---	---	---	---	---	Canadá + CONUS	Canadá
HPA en banda Ka	---	---	---	---	---	---	---	31x90 + 6x90 W	2x90 W
Transpondedor en banda Ka (MHz)	---	---	---	---	---	---	---	45x56 + 6x500	2x500

El satélite avanzado propuesto es considerado como la próxima generación de satélites en banda Ka. Es de muy alta capacidad, permite terminales atractivas y provee aumentos en conectividad. Puede proporcionar servicios de costa a costa, con altas velocidades de acceso a la infraestructura de banda ancha.

El costo de cablear cada casa, oficina, hospital, clínica, centro comunitario, librería y escuelas en regiones rurales o alejadas de cualquier país, es alto y casi imposible por razones que ya se han comentado. En Canadá se espera que de 15% a 20% de usuarios residenciales y de negocios, nunca tendrán acceso terrestre a los servicios de banda ancha. Para este efecto, las soluciones satelitales de banda ancha son ideales para áreas remotas de Canadá. Los satélites en banda Ka como parte de la infraestructura de banda ancha en cada país, pueden ayudar a enlazar hogares, instituciones, negocios y oficinas gubernamentales con los amplios servicios multimedia de información, educación y entretenimiento, además de servicios médicos y sociales.

Un reciente estudio de mercado evaluó el tamaño del mercado satelital para proporcionar servicios de banda ancha a las instituciones y hogares de particulares. El estudio indica que los servicios satelitales de banda ancha pueden ser totalmente atractivos para entre 0.8 a 1.3 millones de usuarios particulares y de 17 a 25 mil instituciones médicas y de educación en Canadá<sup>84</sup>. El principal objetivo en el diseño es llegar a una alta capacidad de sistema en banda Ka tal que el costo de uso por suscriptor (\$/Kbps) sea mínimo, mientras encontramos todos los otros servicios pertinentes requeridos. El desempeño del satélite debe tener un rango entre 8 y 12 Gbps. Este amplio rango principalmente se necesita para las variaciones que puedan existir en el desempeño de la antena, tipo de módem, suposición de enlace y condiciones de desvanecimiento. Con un promedio de usuarios activos el tráfico fluye alrededor de 80 kbps ( la suma de 50 kbps para el enlace de subida y 30 kbps para los enlaces de bajada). El satélite en banda Ka estará listo para dar servicio simultáneamente a cerca de 100 a 105 mil usuarios activos.

<sup>84</sup> A. Grami and K. Gordon. "Next Generation Ka-Band Satellite Concept to Extended the Reach of Canada's Broadband Infrastructure". IEEE 2001.

La actividad de especificar o diseñar la carga útil, presenta numerosos cambios. Como se muestra en la figura 5.1 existen muchos factores que influyen en la arquitectura de un sistema satelital. Es prácticamente imposible encontrar todos los requerimientos relevantes, algunos de ellos se encuentran en conflicto con otros. Por ejemplo los requerimientos para seleccionar terminales pequeñas, de bajo costo y con alto desempeño, así como también la alta capacidad y potencia del satélite, garantizan que los haces radiados sean lo más pequeños posibles. Por otro lado, los requerimientos para minimizar el número de transpondedores, el número y tamaño de las antenas del satélite, la reducción del costo del satélite y su complejidad, demandan que los haces radiados sean lo más grandes posibles.

Para reducir los problemas en estas situaciones, varios aspectos de la carga útil necesitan ser cuidadosamente evaluados, por ejemplo el número y tamaño de las cornetas, el número y tamaño de los amplificadores de alta potencia, el número y ancho de banda de los transpondedores, por nombrar algunos. En resumen, para decidir el diseño de un sistema óptimo, diversas opciones de diseño se necesitan evaluar, de manera que los recursos del satélite puedan ser utilizados y los requerimientos tanto de los servicios como del sistema puedan ser totalmente cubiertos. La tabla 5.3 resume las principales características de los satélites.

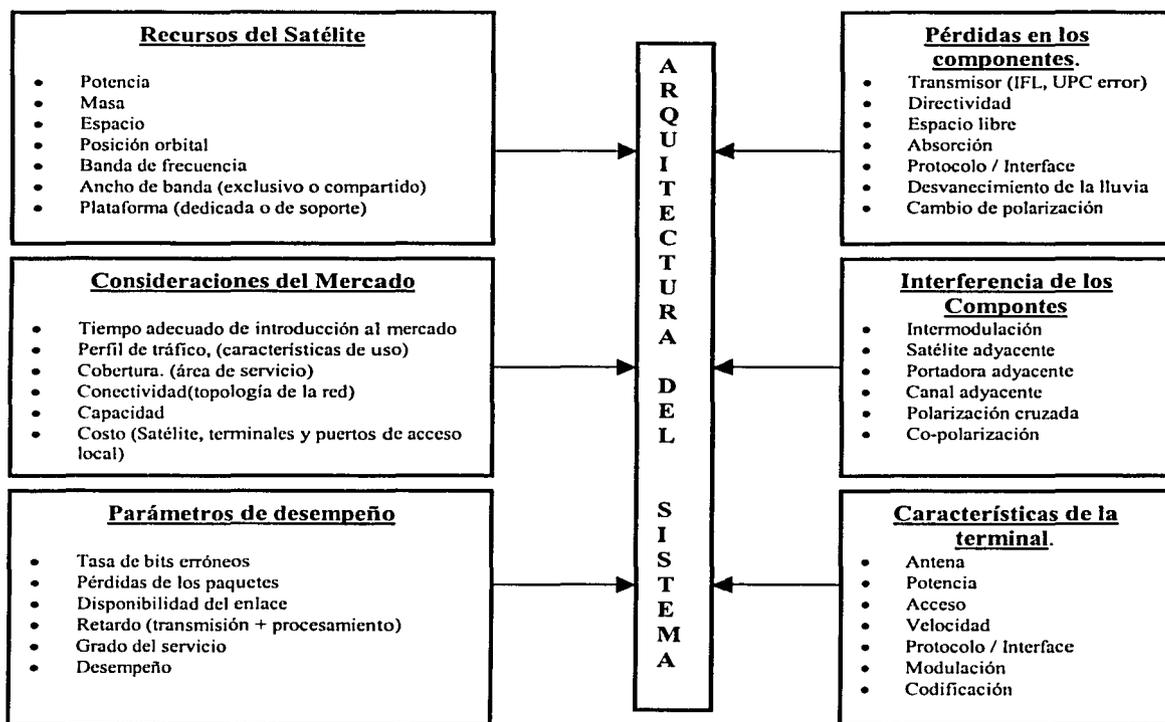


Figura 5-1 Factores que influyen en la arquitectura de un sistema satelital

Tabla 5.3 Características del sistema satelital

Tiempo de vida	15 años
Banda de Frecuencia / Polarización	Banda Ka -1 GHz (500 MHz exclusivos + 500 MHz compartidos) / Polarización doble
Servicio de Cobertura	Todo Canadá de costa a costa
Configuración de los haces	27 haces pequeños + 2 haces grandes + 1 haz nacional
Peso en carga útil / Potencia	900 kg / 12 kW DC
Número de transpondedores	59
Numero de TWTAs	80 (64 activos + 16 redundantes) x 120 W
Conectividad	Primeramente estrella + pequeña malla y de radiodifusión
Capacidad	Aproximadamente 10 Gbps.

### 5.5.2 Carga útil y características de Red

La tabla 5.4 muestra importantes parámetros asociados con el diseño y la figura 5.2 muestra la configuración de los haces de radiación. El satélite proporciona de manera independiente nueve subredes basadas en topología tipo estrella, en donde un usuario final puede comunicarse hacia un puerto de acceso local. La configuración de los haces hacia el usuario consiste de 27 haces de cobertura pequeña e idénticos, en forma elíptica y de alta ganancia, sobre el Sur de Canadá y otros dos haces de cobertura mayor sobre el Norte de Canadá. Existen nueve puertos de acceso local, espaciados y aislados, localizados en nueve alimentadores para los enlaces. Cada tres haces de enlace-usuario adyacentes en el sur, están asociados con un puerto de acceso local para formar una subred única. Los usuarios en los dos haces elípticos de mayor cobertura en el norte están conectados a un puerto de acceso local localizado en un área árida.

Para el enlace de retorno (enlace que va de la terminal del usuario hacia la estación del puerto de acceso local), los anchos de banda del enlace de subida - asignados a un grupo de tres haces y ocupados por varias portadora MF-TDMA<sup>85</sup> - son multiplexados dentro de dos transpondedores de banda ancha polarizados opuestamente, para que después sean dirigidos en el enlace de bajada hacia un grupo de puerto de acceso local. En cada enlace de retorno el transpondedor es manejado por un solo TWTA de 120 W.

Para el enlace de ida (enlace que va de la estación del puerto de acceso local hacia la terminal del usuario) el puerto de acceso local asociado a una subred (i.e., un grupo de haces) envía 5 portadoras TDM por 180 MHz de ancho de banda para cada tres haces de enlace al usuario. El resto del espectro del enlace de ida (180 MHz) reservado para un grupo, puede ser asignado a uno de los tres haces. Note que para el enlace de retorno y el enlace de ida, el ancho de banda adicional fuera del mínimo de 180 MHz, puede ser asignado a un haz-usuario, sólo si éste esta dentro de las reglas del re-uso de frecuencias.

<sup>85</sup> Siglas en inglés de Multiple Frequency -Time Division Multiple Access.

Para cada enlace de ida, los nueve haces enlace-usuario en el este tienen valores altos de PIRE para combatir el desvanecimiento, así que se utilizan doce TWTAs de 120 W para manejar doce transpondedores de 180 MHz. Los doce haces enlace-usuario en el oeste tienen valores altos de PIRE para extender su cobertura un poco más al norte, así que se emplean dieciseis transpondedores de 180 MHz. Los seis haces enlace-usuario restantes en la parte central de Canadá (al oeste de Ontario) tienen valores bajos de PIRE, así que sólo cuatro TWTAs de 120 W se necesitan para manejar los correspondientes ocho transpondedores de 180 MHz. Es una nota de gran valor la de que para aliviar el impacto de la interferencia de intermodulación, los TWTAs estén todos equipados con linealizadores.

Tabla 5.4 Carga útil, segmento terrestre y parámetros de diseño del enlace

	Ascendente		Retorno	Malla Nacional	Radiodifusión Nacional
	Haces de radiación (SUR)	Haces de radiación (NORTE)			
Ancho de banda neto, (con polarización)	4 X 180MHz	36 MHz	2 x 396 + 36 MHz	36 MHz	2 x 36 MHz
Factor de re-uso de la frecuencia	9	1	9	1	1
Ancho de banda utilizable	6.48 GHz	36 MHz	7.128 GHz	36 MHz	36 MHz
Configuración de los haces del enlace de subida	9 haces pequeños	1 haz pequeño	27 haces pequeños y 2 haces grandes	9 haces pequeños	1 haz nacional
Configuración de los haces del enlace de bajada	27 haces pequeños	2 haces grandes	9 haces pequeños	1 haz nacional	1 haz nacional
Numero total de TWTAs activos	32	2	18	4	8
Tamaño del TWTA	120 W	120 W	120 W	120 W	120 W
Transpondedores	36 x 180 MHz	2 x 36 MHz	17x396 + 1x432 MHz	1x36 MHz	2x36 MHz
No. de portadoras por Transpondedor	5	1	Cientos	20	1
Capacidad del Transpondedor	200 Mbps	40 Mbps (compartidos)	250 Mbps	10 – 20 Mbps	32 Mbps
G/T del satélite	19 dB/K	9 dB/K	19 dB/K	19 dB/K	4 dB/K
PIRE del satélite	65 dBW y 62 dBW	54 dBW	65 dBW	55 dBW	55 dBW
Interferencia de Co-polarización	18 dB	18 dB	18 dB	18 dB	18 dB
Interferencia de polarización cruzada	24 dB	24 dB	24 dB	24 dB	24 dB
Intermodulación del satélite (salida de back off)	16.5 dB (2.5 dB)	16.5 dB (2.5 dB)	15.5 dB (3.5 dB)	15.5 dB (3.5 dB) o saturación	ninguno
Tasa de transmisión del enlace de subida	40 Mbps	40 Mbps	2 Mbps	0.5 – 1 Mbps	36 Mbps
Técnica de acceso	TDM	TDM	MF – TDMA	MF – TDMA	TDM
Antena de transmisión de la estación terrena	5.6 m	5.6 m	66 cm – 1 m	66 cm – 1 m	5.6 m
PA de la estación terrena (UPC incluido)	100 W	100 W	2 W	2 W	100 W
Antena Receptora de la estación terrena	66 cm – 1 m	1 m	5.6 m	66 cm – 1 m	66 cm – 1 m
Disponibilidad del enlace.	99.50 %	99.50 %	99.50 %	99.50% - 99.7%	99.5% - 99.8%

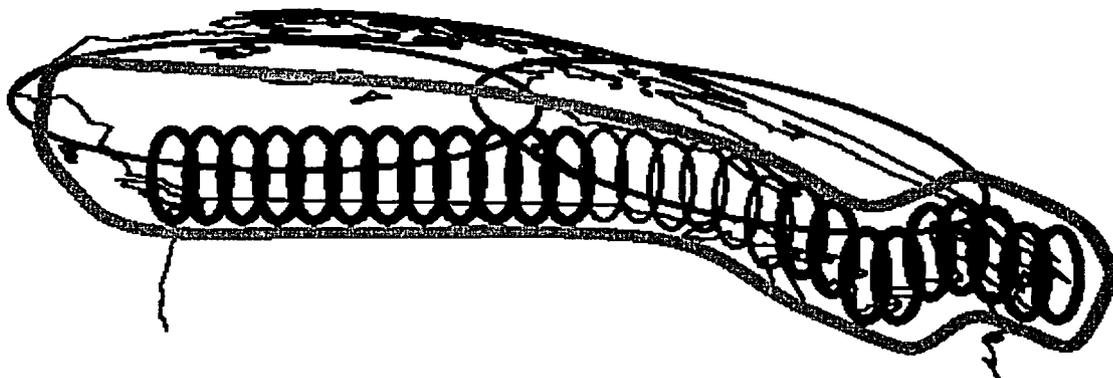


Figura 5-2 Configuración de los haces de cobertura.

Como se muestra en la tabla 5.4, una gran parte de los recursos del satélite es asignada a una configuración de estrella. De cualquier modo, una pequeña parte es utilizada para la conectividad de la malla. Para lograr la conectividad de usuario a usuario a través de un solo salto, un nuevo diseño aproximado es propuesto. Para permitir que las terminales del usuario tengan pequeñas antenas y amplificadores de potencia también pequeños, estos tendrán un enlace de subida utilizando pequeños haces radiados, pero emplearán un largo haz de enlace de bajada, éste en tamaño nacional. Para este efecto el espectro de subida radiado entre todos los 27 haces pequeños, es multiplexado dentro de un sólo transpondedor de 36 MHz con cobertura nacional. Por ejemplo, se necesita comunicar directamente a dos usuarios, uno en Vancouver y otro en Toronto, a través de un sólo salto. El usuario en Vancouver transmite usando el haz radiado de subida sobre Vancouver, mientras que el usuario en Toronto recibe bajo el haz nacional de bajada. En el proceso contrario, el usuario en Toronto transmite utilizando el haz radiado de subida sobre Toronto y el usuario en Vancouver recibe bajo el mismo haz nacional de bajada.

Para poder ofrecer una conectividad directa de malla, dos opciones parecen ser viables. En una primera opción, la regeneración de banda base puede ser empleada a bordo del satélite para convertir todas las portadoras de subida TDMA dentro de una sola portadora de bajada TDM de 36 MHz. Como resultado los usuarios terminales requerirán que la conectividad de malla sea la misma como la configuración de estrella, i.e., receptores TDM. En la segunda opción, la carga útil tiene una arquitectura de conmutación de haces sin procesamiento. Como resultado, las terminales de la malla deben estar equipadas con receptores TDMA, también para los receptores requeridos en las configuraciones de estrella. En la primera opción la complejidad se sitúa en los procesos a bordo del satélite y en la última opción la complejidad se sitúa en las terminales del usuario.

Dos transpondedores con haces de cobertura nacional están destinados para distribución de servicios de Broadcast, e.g. caching, streaming y multicasting. Los puertos de acceso local para estos servicios están localizados en áreas áridas.

### 5.5.3 Espectro de la Banda Ka

Los meritos de la banda Ka como lo es el amplio ancho de banda, pequeñas antenas y el reducido poder de interferencia, tienen mayor peso que las propias desventajas que incluyen significantes daños en la propagación así como también el costo en desarrollar satélites y estaciones terrenas. Como se observa en la figura 5.3, existe un total de 1 GHz de espectro nuevo disponible para la banda Ka. Únicamente facilitado por la tecnología de los haces de cobertura múltiple, la mayor parte de los 2 GHz del espectro disponible (1 GHz de espectro nuevo X 2 polarizaciones) es espacialmente reutilizado nueve veces, de esta manera se tiene alta capacidad del satélite alrededor de 16 GHz. La polarización es circular para facilitar la alineación de la antena en la terminal del usuario.

Enlace de subida												
	28.35 GHz		28.60 GHz		29.25 GHz	29.50 GHz		29.50 GHz	30.00 GHz			
RH	36 – MHz		180 – MHz		180 – MHz	36 – MHz		396 – MHz		36 – MHz		
CP	Ascendente(N)		Ascendente(S)		Ascendente (S)	Broadcast		Retorno (S)		Malla		
LH	36 – MHz		180 – MHz		180 – MHz	36 – MHz		396 – MHz		36 – MHz		
CP	No utilizado		Ascendente(S)		Ascendente (S)	Broadcast		Retorno (S)		Retorno (N)		
Enlace de bajada												
	18.30 GHz				18.80 GHz		19.70 GHz	19.95 GHz		19.95 GHz	20.20 GHz	
RH	396 – MHz				36 – MHz		36 – MHz	180 – MHz		180 – MHz	36 – MHz	
CP	Retorno (S)				No utilizado		Ascendente(N)	Ascendente(S)		Ascendente(S)	Broadcast	
LH	396 – MHz				36 – MHz		36 – MHz	180 – MHz		180 – MHz	36 – MHz	
CP	Retorno (S)				Retorno (N)		Malla	Ascendente(S)		Ascendente(S)	Broadcast	

S: Haces en la parte Sur  
 N: Haces en la parte Norte

RHCP: Polarización circular de mano derecha  
 LHCP: Polarización circular de mano izquierda.

Figura 5-3 Plan de frecuencias en la banda Ka.

Como se muestra en la figura 5.3 el espectro del enlace de ida, para la subida y para la bajada esta dividido en 20 segmentos de frecuencia de 36 MHz, 10 para cada polarización. El espectro del enlace de retorno, para la subida es dividido en 22 segmentos de frecuencia de 36 MHz, 11 en cada polarización. Para el haz del enlace-usuario así también como para los alimentadores para los haces de enlace, el espacio de aislamiento o de separación entre cualesquiera de dos haces que manejan la misma frecuencia y la misma polarización, es lo suficientemente grande para producir solo un modesto nivel de interferencia de co-polarización agregada. El ancho de banda asignado y el patrón del re-uso de frecuencia para el haz de enlace de subida son los mismos para los haces de bajada .

Los efectos de propagación en la banda Ka incluyen atenuación por lluvia, absorción de gases, atenuación por alta nubosidad, centelleos, despolarización, ruido atmosférico, humedad y nieve en las antenas. Con el fin de utilizar de una manera eficiente los recursos del satélite, diversas técnicas adaptativas son garantizadas. Para combatir el desvanecimiento por lluvia, las siguientes técnicas pueden ser empleadas:

- Diversidad de sitios para los puertos de acceso local
- ALC (Automatic Level Control) a bordo para enlaces de ida.
- Aumento en el PIRE para enlaces de ida.
- UPC (Uplink Power Control) Control de la potencia del enlace de subida para terminales y para puertos de acceso local.
- Largas antenas para aplicaciones críticas y
- Modems flexibles y avanzados para reducir la tasa de bits, la tasa de códigos y la eficiencia de modulación.

#### 5.5.4 Segmentos Terrestres

Las terminales del usuario generalmente son propias de los clientes y son fácilmente instaladas y puestas en operación en sus propios sitios. Para mantener por abajo los costos de las terminales del usuario, los requerimientos de potencia del SSPA para terminales son un poco modestos. Se espera que las terminales de usuario emplearan un UPC con un rango dinámico de alrededor de 3 dB. Es importante que las antenas de los usuarios tengan un buen desempeño de los lóbulos laterales, mejor que el convencional desempeño de 29 - 25 log ( $\theta$ ).

Es crítico que los módems empleen Turbo codes de alto desempeño<sup>86</sup>. Para bajas tasas de errores de bits desempeñadas sobre el satélite, turbo codes requieren que los valores de la relación portadora ruido  $E_b/N_0$  estén alrededor de 1.5-2.5 dB del límite de Shannon, todos dependiendo del tipo de código, tasa de código, estructura de código, retardo de código y complejidad de código. Los turbo codes son efectivos en lo que se refiere al ahorro de potencia y ahorro de ancho de banda, dependiendo del objetivo de la aplicación.

Para el enlace de retorno, las terminales del usuario pueden emplear la técnica de acceso MF-TDMA, a través de la cual las terminales pueden transmitir usando una serie de frecuencias de portadoras, cada una de las cuales es dividida en espacios de tiempo. En otras palabras, para preparar las terminales del usuario con la característica de ancho de banda sobre demanda, la frecuencia de portadora y el ancho de banda asignado así como también el espacio de tiempo y la velocidad de ráfaga son variados sobre la demanda a través del Centro de control de la Red. Para el enlace de ida, la técnica TDM debe ser empleada. Un principal mérito de TDM es la posibilidad de cambios en la tasa de información, que con los esquemas de código de canal y las técnicas de modulación pueden llevarnos a un grado aceptable de flexibilidad.

<sup>86</sup> Turbo codes. Es un tubo codificador formado por la combinación de dos simples codificadores. La entrada es un bloque de información de K bits. Los dos codificadores generan paridad de símbolos a partir de dos simples códigos convolucionales recursivos, cada uno con un pequeño número de estados. Los bits de información no son codificados. La principal innovación se trata de que un proceso P cambia los K bits originales de información antes de que entren al segundo codificador. La permutación P permite que las secuencias de entrada para el cual un codificador produce código de palabras de bajo peso usualmente provoquen que el otro codificador produzca código de palabras de alto peso. De tal manera, aunque los códigos constituyentes son individualmente débiles, la combinación es sorprendentemente poderosa. El código resultante tiene características similares a un bloque de código aleatoria con bits de información K.

Para darnos una integración funcional de los sistemas de satélite y los terrestres, los puertos de acceso local estarían totalmente interoperando con redes terrestres e interconectados a través de fibra óptica. Además la localización de un puerto de acceso local debería estar cerca del centro de un haz, en donde los valores de PIRE, G/T, y C/I<sup>87</sup> son altos. Cada puerto de acceso local manejará la capacidad de la red dentro de cada región geográfica, y tendrá acceso al centro de Control de la Red.

## 5.6 Aspectos a considerar para el diseño de una Terminal en Banda Ka.

Como ya hemos visto, operar en la banda Ka ofrece muchas ventajas y beneficios, pero no hay que olvidarnos de las consideraciones que se tienen que hacer para el diseño. Una de esas consideraciones es la realización de un costo efectivo y un alto desempeño de los equipos, especialmente el dispositivo terminal del usuario. Esta terminal del usuario es configurada como una unidad de salida ODU (Output Door Unit) y una unidad interna IDU (Input Door Unit), con la interface entre la ODU y la IDU provista por cables y medios de transmisión en bandas inferiores a la banda Ka. Además esta interface maneja señales de frecuencia intermedia IF entre las dos unidades.

Un ejemplo de tipo de terminales que manejan el estándar DVB-RCS<sup>88</sup> y llevan a cabo comunicaciones full duplex, la podemos observar en la figura 5.4, Este tipo de antena transmite en la banda Ka a 29.5-30.0 GHz y recibe en la banda Ku en las frecuencias 10.7 – 12.75 GHz.

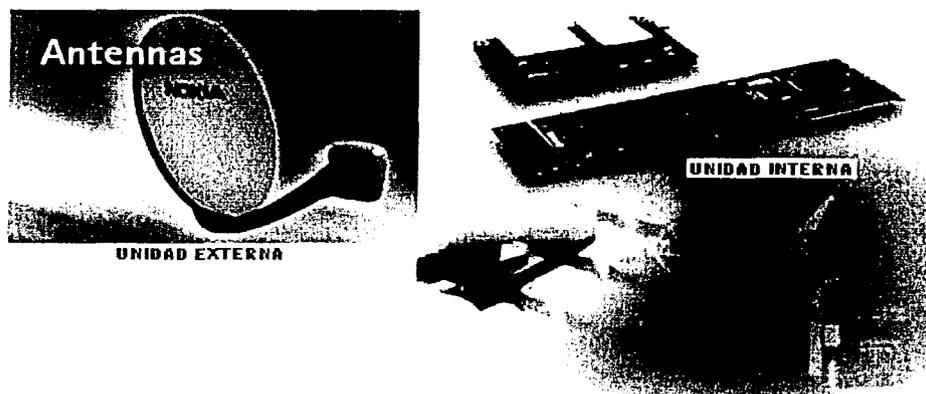


Figura 5-4 Terminal del Usuario

<sup>87</sup> G/T y C/I son parámetros que se refieren a la Figura de mérito y a la contribución de interferencia provocada por otros sistemas.

<sup>88</sup> DVB-RCS es un estándar para comunicaciones de internet vía satélite de dos vías a altas velocidades.

La tecnología en banda Ka ofrece complejas técnicas de procesamiento de señales y de modulación. Es necesario el conocimiento y la experiencia para el diseño de equipo de campo que transmita y reciba en el rango de frecuencias antes mencionado. Los costos adicionales de los elementos asociados con la instalación de las terminales de los usuarios, deben también ser considerados durante la etapa de diseño. La instalación de estas terminales requiere de técnicos capacitados, así como también considerar las especificaciones de las normas que regulan la emisión y radiación de los equipos.

Los diseñadores de equipos terminales deben buscar que la instalación de éstos no requiera de conocimientos muy complejos para el usuario. El equipo se debe diseñar con todos los elementos establecidos por las leyes regulatorias y por las normas, de tal manera que el usuario con las especificaciones necesarias pueda hacer uso e implementación de su equipo terminal. Esto conduce a minimizar costos de instalación y a darle una perspectiva favorable a nuestro sistema. En los siguientes párrafos comentaremos algunas características del diseño de equipos terminales, las cuales simplifican el tiempo y costo de instalación.

### **5.6.1 Asignación de los requerimientos del Sistema.**

Existen varios elementos que tiene un impacto directo en el costo de los equipos terminales. Las consideraciones de los sistemas que se toman en cuenta para el diseño de esto equipos, son las siguientes:

- Sistema de Sincronización.
  - Eficiencia espectral de las transmisiones en la terminal del usuario.
  - Eficiencia espacial de las antenas en la terminal del usuario.
  - Control de potencia adaptativo en la terminal del usuario.
- 
- **Sistema de Sincronización**

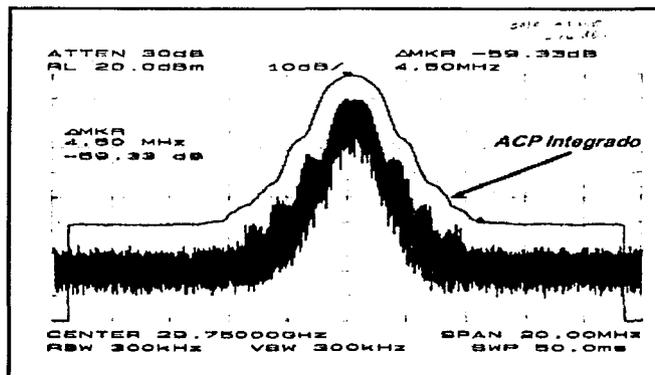
Para hacer eficiente la capacidad del sistema, los servicios de banda ancha necesitan de protocolos de acceso múltiple y a su vez requieren de agilidad de frecuencia y de precisión en el tiempo, una técnica de acceso ampliamente utilizada en las telecomunicaciones es MF-TDMA.

El uso de los protocolos y técnicas de acceso requiere de alta fidelidad de tiempo y de sincronización de la frecuencia en la que opera la red y cada terminal de usuario activo. Una aproximación del costo efectivo para llevar a cabo una alta fidelidad y sincronización de la red, consiste en hacer una distribución adecuada de la sincronización en los diferentes niveles del sistema, hacia los equipos terminales. Si las técnicas de ayuda para la sincronización no son provistas por el sistema, entonces la implementación de los equipos terminales tiene que llevar la

responsabilidad de ser capaz de proporcionar alta precisión de sincronización de manera autónoma. Esto trae como consecuencia la incorporación de equipo costoso, como lo es un oscilador, en la estación terminal del usuario. Por lo tanto tendría un impacto negativo en el costo de la estación terminal.

- **Eficiencia espectral de las transmisiones en la terminal del usuario.**

Otro sistema crítico a tratar es el nivel de potencia de cada canal adyacente que el sistema esta diseñado a tolerar. Desde el punto de vista de las terminales, esta consideración se traduce a requerimientos que se imponen ante limitaciones en las emisiones del espectro de salida en la onda transmitida en el ancho de banda designado. La figura 5.5, tomada directamente de la pantalla de un analizador de espectros, es una toma instantánea de una forma de onda transmitida en QPSK, con el transmisor manejado a 1 dB de punto de compresión. El ancho de banda ocupado de esta forma de onda es 1 MHz. El aspecto confuso es el nivel instantáneo espectral, y el aspecto claro del espectro instantáneo es la potencia integrada en 1 MHz de ancho de banda.



**Figura 5-5** Espectro de una forma de onda QPSK, amplificador de potencia operando a un punto de compresión de 1 dB

Esta gráfica espectral indica que la potencia integrada del canal, centrada a 1.5 MHz de la frecuencia de la portadora transmitida, es de  $-27$  dB con respecto a la potencia integrada transmitida del canal centrada a la frecuencia de la portadora. El deseo de limitar la potencia integrada transmitida debajo del nivel de umbral a un espacio de frecuencia dado es posible de asignar a una frecuencia adyacente para otro usuario.

Hay dos parámetros fundamentales en terminales de usuarios a ser definidas por estas características:

- 1.- La limitación en la potencia del canal adyacente (ACP)
- 2.- La separación mínima en frecuencia, denominada como  $\Delta f$ , de la portadora transmitida, la cual es impuesta a la limitación del ACP.

Con un umbral bajo del ACP se tiene la menor interferencia al canal adyacente del usuario. El menor  $\Delta f$  se traduce en más usuarios a los que se les puede dar servicio por unidad de ancho de banda. De todas formas, el imponer alguna de las dos limitantes en alguno o en ambos parámetros, significará un costo mayor de potencia en las terminales de usuarios para el amplificador que es requerido. Por ejemplo, la figura 5-6 nos indica como el ACP varia en función del nivel de la potencia en la entrada, relativo a 1 dB de punto de compresión, del amplificador de potencia. En esta figura  $\Delta f$  es fijado a 1.5 veces el ancho de banda de la portadora transmitida. En esta figura  $\Delta f$  es fijado a 1.5 veces el ancho de banda de la portadora transmitida. Por ejemplo, en la información dada en esta figura indica que para reducir el ACP de -27 dB a -30 dB se requiere de un retroceso en la potencia de la entrada alrededor de 1.7 dB. Otro dato, que no se muestra aquí, indica que la potencia de salida del amplificador será reducida por una cantidad equivalente a los dB's de reducción en el nivel de manejo de entrada. Por consiguiente, los 3 dB de ejecución adicional de ACP es logrado mediante un aumento o costo de 1.7 dB en la potencia de salida. Por lo tanto, para mantener el mismo desempeño de la terminal, la potencia del amplificador tendría que ser incrementada por 1.7 dB.

El ejemplo anterior corresponde a imponer el ACP restringido al espacio de frecuencia  $\Delta f$ , que es 1.5 veces el ancho de banda de la portadora transmitida. La situación para la terminal de usuario es además exacerbada si el espacio de frecuencia  $\Delta f$  es reducido a 1 vez el ancho de banda de la portadora transmitida. Los datos medidos indican que los 3 dB beneficia en la ejecución de ACP, pero esta reducción del espacio de frecuencia solamente será lograda con un incremento de potencia, siendo así, el doble de la potencia de transmisión requerida. Esto es obviamente un impacto severo y debe ser balanceado de nueva cuenta con la utilización del ancho de banda del transpondedor del satélite.

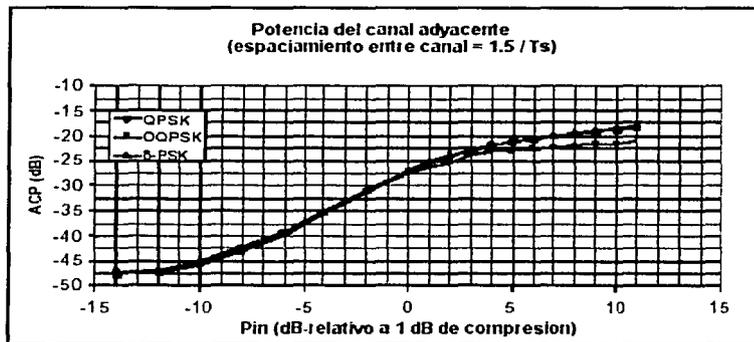


Figura 5-6 Potencia del canal adyacente en función del nivel de la potencia de entrada. Este último corresponde a 1 dB del punto de compresión para el amplificador.

- **Eficiencia espacial de antenas en la terminal del usuario**

Para reducir la sensibilidad a interferencia proveniente de otras bandas de frecuencia, principalmente de las transmisiones de un satélite adyacente, un receptor limitador de lóbulos laterales es colocado en la antena del usuario. La figura 5-7

proporciona el patrón de radiación de un reflector de 1 m de diámetro en la banda Ka.

Esta figura ilustra el patrón de radiación medido en el plano de acimut, más o menos 10 grados del punto de ganancia máxima de la antena. La línea punteada en la figura es un típico diseño de un limitador de lóbulos laterales.

Para facilitar el costo efectivo en la producción a gran escala de reflectores terminales de los usuarios, los diseñadores de las antenas deben de mantener márgenes entre los límites de los lóbulos laterales requeridos y el patrón de radiación medido. Este margen debe ser asignado como una tolerancia de producción que permita la manufacturación a volúmenes grandes. En la figura 5-7, el margen de diseño esta representado por la separación entre los límites de los lóbulos laterales y el patrón de radiación.

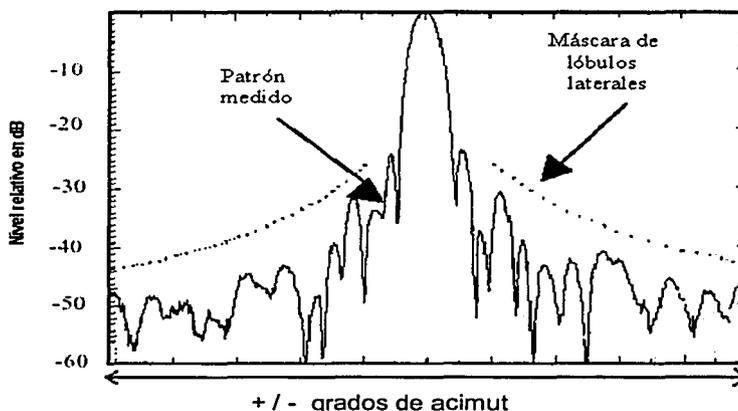


Figura 5-7 Patrón de radiación en banda Ka para una ODU de 1 m.

Mientras se desea disminuir los problemas de los lóbulos laterales, con el fin de minimizar las interferencias en las terminales del usuario, se deben de tomar en cuenta diversas precauciones en cuanto a particulares restricciones. Si la limitación de los lóbulos laterales llega a sobre pasar las restricciones, esto nos lleva a que el diseño de la antena no sea aceptable. Por ejemplo los diseñadores de antenas pueden mantener constante el tamaño del reflector y aumentar el funcionamiento de los lóbulos laterales a expensas de la eficiencia de la antena y por lo tanto, una disminución considerable en el PIRE y en la relación G/T, debido a la disminución de la ganancia de la antena.

Otra alternativa es incrementar el tamaño del reflector, por medio del aumento del funcionamiento de los lóbulos laterales mientras se mantiene constante el PIRE y la relación G/T. Las consideraciones que deben tomarse para esta alternativa se refieren a que si el incremento del tamaño del reflector satisface o no todos los requerimientos regulatorios y que si estos cambios hacen estéticamente atractivo los dispositivos terminales para los clientes.

- **Control de potencia en el equipo terminal de usuario.**

Una técnica para mitigar el desvanecimiento de la señal debida a la atenuación por lluvia en las frecuencias de la banda Ka es la implementación de técnicas de modulación, codificación y control de potencia; esto obviamente se realiza en el terminal del usuario. En condiciones adecuadas, de cielo despejado, técnicas adecuadas de modulación eficiente del ancho de banda son utilizadas por las terminales de los usuarios, en este caso realizando la función también de operar con niveles de potencia reducidos, con el fin de incrementar la capacidad del sistema.

Cuando se está operando en situaciones donde el enlace entre la terminal del usuario y el satélite es degradado por la atenuación producida por la lluvia, es aquí, donde menor eficiencia pero más técnicas robustas de modulación son puestas en operación por los equipos terminales con el objetivo de incrementar los niveles de potencia de transmisión. Esto garantiza la transferencia de datos en condiciones en que el enlace es degradado y el desempeño del sistema es reducido comparado con la operación en condiciones de cielo despejado.

Los aspectos importantes considerados para la implementación del control de potencia adaptivo en las técnicas de mitigación, son los siguientes:

La primera se trata de que la terminal del usuario, debe por si misma estar midiendo el nivel de potencia absoluta y estar lista para corregir y precisar el nivel de potencia de transmisión. Esto se le denomina como control de potencia de lazo abierto.

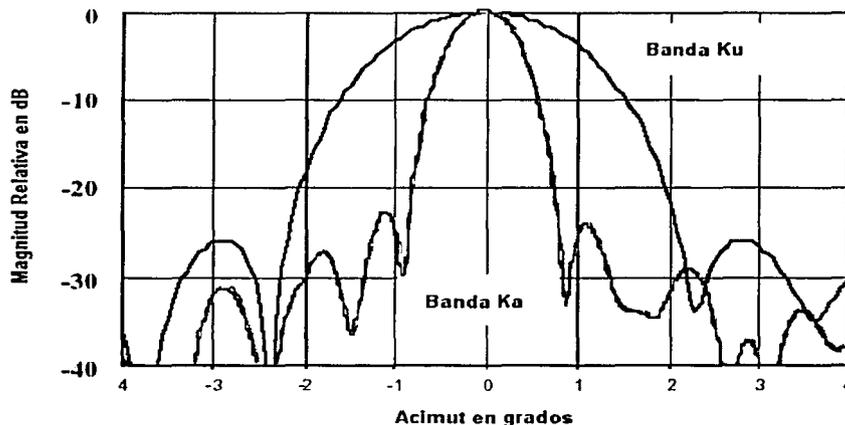
La segunda se trata de que la terminal del usuario recibe instrucciones para incrementar o decrementar su potencia de transmisión dependiendo de su nivel actual de potencia. Esto se le denomina como control de potencia de lazo cerrado.

Desde la perspectiva en costo por parte de la terminal del usuario, nos dice que el control de potencia de lazo cerrado es mucho menos costoso de implementar que el control de potencia de lazo abierto. Éste último requiere que la capacidad de detección del nivel de potencia sea implementada en la unidad externa (ODU) de la terminal del usuario. Los componentes requeridos para precisar la medida del nivel de la potencia de transmisión, con las condiciones del medio en el que las unidades externas están sujetas, son muy costosas. El control de potencia de lazo cerrado, por otro lado, puede ser implementado económicamente teniendo una unidad interna (IDU) del equipo terminal del usuario, la cual esta sujeta a mejores condiciones del medio que la unidad externa. Aquí se monitorea y controla el nivel suministrado hacia el amplificador de potencia. Esto es inherentemente simple y menos costoso desde el punto de vista de implementación, en comparación del control de potencia de lazo abierto.

### 5.6.2 Instalación de la Terminal.

Además de los costos que por si mismo comprende el equipo de la terminal, otro costo más se agrega y éste se refiere al costo asociado con la instalación de la terminal del usuario. Como se ha mencionado anteriormente, la instalación de la unidad externa (ODU) del equipo terminal, debe llevarse bajo una experiencia previa sobre el funcionamiento y también se deben de tomar en cuenta los lineamientos de regulación en los que se refiere a la instalación del transmisor, por lo tanto se requiere de entrenamiento técnico.

Una característica ventajosa que se necesita implementar en la ODU, es tener una antena bifuncional de dos vistas. Esto quiere decir que ODU transmite y recibe patrones de radiación de las antenas, siendo estos espacialmente alineados. La figura 5-8 ilustra la medición de datos que caracterizan un transmisor en banda Ka, particularmente de la compañía Raytheon y un receptor en banda Ku, DVB-RCS.



**Figura 5-8** Patrones de radiación de las antenas, ODU polarizada linealmente con la característica bifuncional de dos vistas.

Es evidente como los patrones de radiación caen exactamente en un punto. Esta es una característica importante de la antena y en el diseño debe buscarse intencionalmente esta particularidad en la ODU de la terminal. Si esto no sucede, entonces los patrones de transmisión y recepción no estarían espacialmente alineados, tendrían una separación angular entre los picos de los haces respectivos y por lo tanto un error en la dirección de los haces de radiación. Este tipo de error se presenta con mayor frecuencia en sistemas con polarización circular al hacer la conmutación de la polarización circular derecha a la polarización circular izquierda.

Una ODU que es implementada con la característica bifuncional de dos vistas, tiene dos beneficios. El primero se refiere a que el apuntamiento óptimo de la antena en la instalación, requiere sólo la presencia de una señal de bajada del satélite. El

apuntamiento de la antena basado precisamente en la potencia de la señal de bajada, garantiza que la antena sea óptimamente alineada para la transmisión sin la necesidad de transmitir. Esta característica garantiza una eficiente instalación.

El segundo beneficio se refiere a que los haces tanto de transmisión como de recepción están optimizados en términos de máxima ganancia en la dirección del satélite. Esto contrasta con la situación de una ODU que tiene inherentemente un error de apuntamiento entre las bandas de frecuencia de transmisión y recepción. Un error de apuntamiento provoca pérdidas en los márgenes de enlace disponible<sup>89</sup>.

---

<sup>89</sup> Fuente: P. McGree Thomas. "Aspects of cost effective broadband interactive Ka band satellite terminal design". Raytheon Company. Marlboro Massachussets 01752.

## CAPÍTULO VI PROCESAMIENTO A BORDO DEL SATÉLITE

### 6.1 La razón del Procesamiento a Bordo del satélite

Más de dos terceras partes de la inversión de una red telefónica se requieren para la última milla de conexión (Vg. la conexión entre el suscriptor y la central telefónica). La comunicación entre las centrales telefónicas es realizada por un sistema de transmisión digital de alta velocidad usando cable coaxial pero sobre todo con sistemas de fibra óptica. Las redes telefónicas existentes están limitadas para proveer altas tasas de transmisión de bits a los suscriptores por lo que grandes inversiones de miles de millones de dólares requerirían las compañías telefónicas para proveer gran ancho de banda a cada suscriptor vía fibras ópticas.

Las compañías de televisión por cable, por el contrario, han instalado medios de transmisión de gran ancho de banda – usando cable coaxial – para distribución de una sola vía a los usuarios. La densidad de suscriptores de televisión por cable no es tan alta como la de la red telefónica, aunque una unión de la tecnología telefónica con la red de distribución de TV por cable se está llevando a cabo.

Sin embargo, para suministrar gran ancho de banda, por los medios antes mencionados, a cualquier persona en cualquier lugar que ésta se encuentre se requiere, primero, una inmensa inversión y, segundo, tiempo para su realización. La respuesta de los técnicos de redes es el Modo de Transferencia Asíncrono, ATM<sup>90</sup>. Este concepto es básicamente un multiplexor con una salida de alta velocidad (nominalmente 155 Mb/s) y todas las posibles bajas velocidades a la entrada.

Como puede verse en la Figura 6-1, el concepto de la red de ATM por satélite es muy similar a la oferta actual en tierra. Ambos sistemas incluyen terminales de usuarios, acceso al medio físico de transmisión e interfaces para los elementos de conmutación.

En Europa, en la actualidad están instalados más de 40 millones de receptores de TV satelital. Si estos receptores se les aumenta la capacidad de transmisión, un acceso de usuario, barato y de altas tasas de comunicación asimétrica, puede ser obtenido<sup>91</sup>.

<sup>90</sup> ATM: Asynchronous transfer mode

<sup>91</sup> Wittig, Manfred. Satellite Onboard Processing for Multimedia Applications. IEEE Communications Magazine, June (2000), 134 – 140.

Además, en los satélites de difusión de TV existentes se debe instalar una tarjeta de conmutación, suministrando así a los suscriptores, capacidad de transmisión de señales mediante una VSAT<sup>92</sup> para servicios interactivos. Para permitir una potencia de transmisión razonablemente pequeña con platos de diámetros pequeños, el satélite tiene que estar provisto de antenas de alta ganancia, lo que consecuentemente resulta en antenas de haces múltiples. Esto significa que la carga útil del satélite multimedia debe estar provisto de capacidad de conmutación.

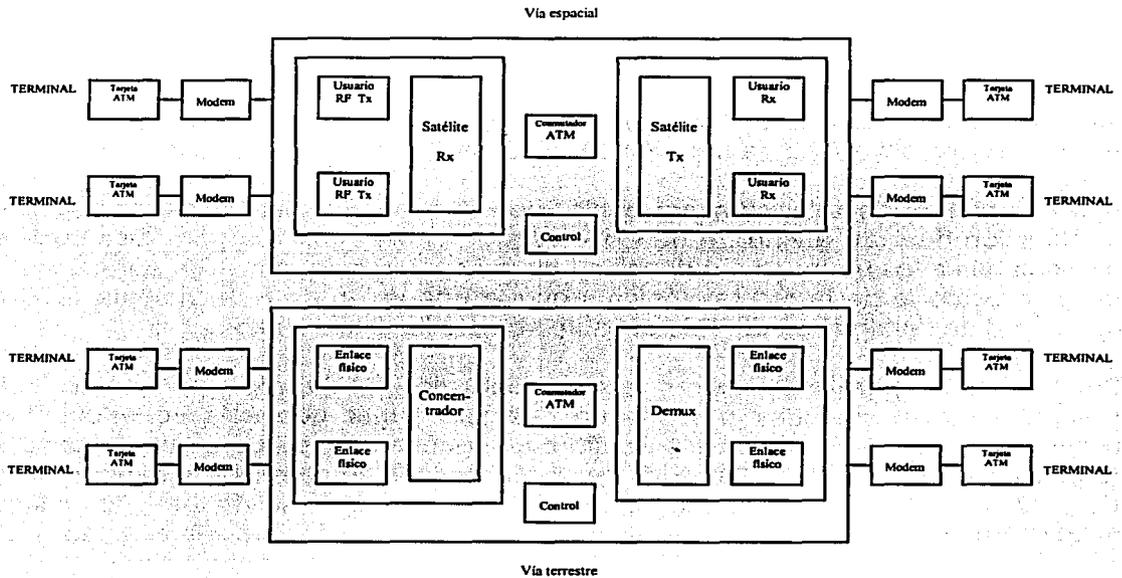


Figura 6-1 Concepto de la Red ATM<sup>93</sup>.

La desventaja muy común de los satélites geoestacionarios de comunicaciones, el gran retardo de cerca de 250 ms para los enlaces de subida y bajada, no es muy relevante para servicios de datos interactivos ni para la entrega de gran cantidad de datos en demanda (aplicaciones típicas de multimedia).

Para aplicaciones multimedia de banda ancha, los satélites GEO con antenas de una gran cantidad de haces de alta ganancia, procesamiento a bordo, y conmutación a bordo son el paso lógico para migrar del servicio de difusión de TV a los servicios interactivos multimedia.

<sup>92</sup> VSAT: Very Small Aperture Terminal.

<sup>93</sup> Gilderson, Jim and Cherkaoui, Jafaar. Onboard Switching for ATM via Satellite. IEEE Communications Magazine, July (1997), 66- 70.

Actualmente, el papel de los servicios de satélite en banda Ka para comunicaciones de multimedia se discute ampliamente. Las guías principales para esta tendencia son la necesidad de anchura de banda adicional y el diseño flexible de huellas de satélite que llega a ser posible con el advenimiento de las tecnologías de antenas activas. Las asignaciones de la banda Ka proporcionan un factor de dos a tres veces más anchura de banda en comparación con la banda Ku, teniendo una disminución pequeña en la disponibilidad. Las perspectivas adicionales se proporcionan con el surgimiento de las tecnologías emergentes, especialmente con el Procesamiento a Bordo -OBP<sup>94</sup> - y los Enlaces Inter satélite -ISL<sup>95</sup> - .

Aquí nos concentramos en un escenario para redes de satélite basadas en constelaciones de satélites geoestacionarios, aunque la mayor parte de los conceptos pueden extenderse prontamente al ámbito de los no GEO.

Un sistema OBP diseñado y parcialmente desarrollado por la Agencia Espacial Europea - ESA<sup>96</sup> - suministra a cada terminal de usuario -UTS<sup>97</sup>- una capacidad de recepción de datos a muy altas velocidades. El sistema OBP está diseñado de tal manera que puedan ser servidos, por la red con OBP, un gran número de UTS (más de 150,000 para una capacidad de conmutador de 262 Mb/s)<sup>98</sup>.

## 6.2 Los bloques del Procesamiento a Bordo y sus requerimientos.

La funcionalidad ofrecida por los sistemas OBP es idealmente ajustada para proporcionar servicios requeridos por la sociedad informática de hoy. Los elementos que constituyen un sistema OBP son:

- Las UTS.
- Una carga útil de conmutación a bordo del satélite.
- La estación de control maestro.

Un aspecto principal de las grandes redes de información es el servicio de Internet. Las conexiones a la red son requeridas por una gran población; el mercado principal es el de los usuarios residenciales. Típicamente, desde el usuario hacia el proveedor de servicios debe ser transportado un tráfico en ráfagas; y desde el proveedor de servicios hacia el usuario, el servicio de video comprimido sería idealmente proporcionado por una canal con tasa constante de transmisión de bits -CBR<sup>99</sup>-. Son necesarias capacidad de transmisión de paquetes y capacidad de recepción de video para estas aplicaciones. Sin embargo, otras aplicaciones como la videoconferencia requeriría conexiones CBR de tipo punto a multipunto o inclusive multipunto a multipunto.

<sup>94</sup> OBP: On Board Processing.

<sup>95</sup> ISL: Inter Satellite Links.

<sup>96</sup> ESA: European Space Agency

<sup>97</sup> UTS: User Traffic Station.

<sup>98</sup> Wittig, Manfred. Op. Cit.

<sup>99</sup> CBR: Constant Bit Rate.

Los requerimientos que debe cumplir un sistema OBP son:

- El de proveer servicios compatibles con la infraestructura ISDN existente.
- El de proveer servicios de difusión restringida y de difusión abierta no ofrecidos por ISDN terrestre.
- El de proporcionar servicios compatibles con TCP/IP para aplicaciones de datos.
- El de prestar servicios de video comprimido por demanda de tipo punto a punto o punto a multipunto.

Un posible sistema OBP soporta estos servicios en la siguiente manera (Fig. 6-2)

El núcleo de este sistema consiste en un conmutador para las señales digitales localizadas a bordo del satélite. El servicio básico proporcionado es una conexión punto a punto de ISDN. La interfase de usuario puede ser el servicio básico, el primario o una fracción del acceso primario de acuerdo con las recomendaciones del sector de estandarización de las Telecomunicaciones de la ITU (ITU – T). Los servicios punto a multipunto son agregados y son llamados servicios de red extendida –ENS<sup>100</sup>-. En suma, el protocolo TCP/IP es soportado.

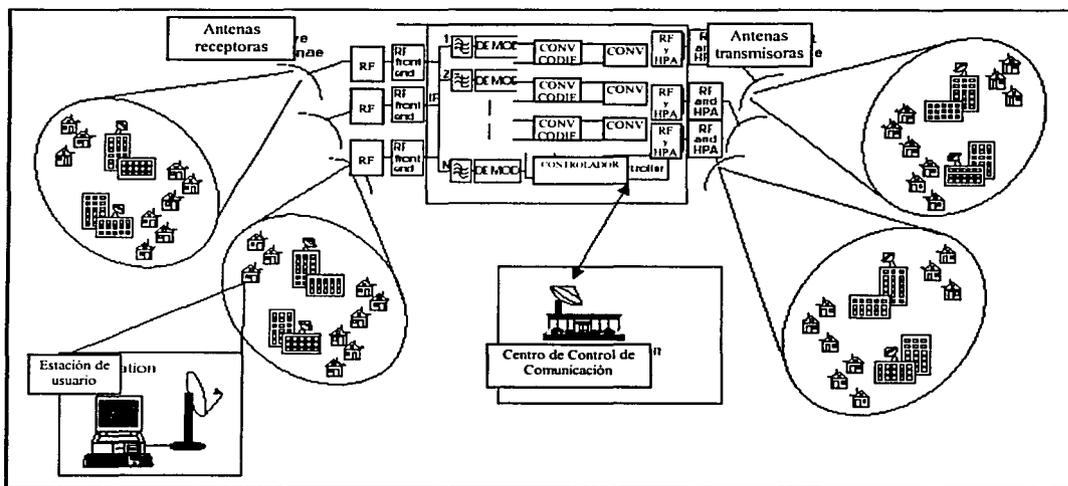


Figura 6-2 La arquitectura del Sistema de Procesamiento a Bordo<sup>101</sup>.

<sup>100</sup> ENS: Extended Network Services.

<sup>101</sup> Wittig, Manfred. Op.Cit.

### 6.3 Las terminales

Los nuevos sistemas de banda Ka soportan típicamente varias clases de terminales, caracterizadas por la aplicación, el tamaño, el desempeño, la movilidad, y finalmente pero no menos importante, el precio. Mientras operadores de red y proveedores de contenidos usan terminales grandes que sostienen velocidades para una sola portadora de 155 Mbps y más, las terminales de usuario entran varias categorías. Los ejemplos se muestran en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Parámetros de Terminales de Usuario típicas<sup>102</sup>.

Tipo	Tamaño de la Antena m	PIRE dbW	Tasa de datos del enlace de retorno	Disponibilidad de subida %	Tasa de datos del enlace de ida Mbps	G/T cielo despejado dB/K
A	0.45 x 0.60	41	128 kbps	99.0	32	12.7
B	0.90	46	384 kbps	99.0	32	14.5
C	3	67	47 Mbps 2048 kbps	99.0 99.9	155	18.0

Muchos de los servicios orientados al consumidor, tales como navegación en Internet y el video en demanda generarán modelos de tráfico altamente asimétricos con un tráfico de ráfaga con baja tasa de transmisión de datos en el enlace de regreso, y con alta tasa de transmisión de datos en el enlace de ida. Esto queda razonablemente bien con el hecho de que hoy el precio de las terminales pequeñas y así la penetración significativa en el mercado está limitada todavía por el precio del amplificador de potencia de la banda Ka. Sólo valores relativamente pequeños de PIRE y bajas tasas de transmisión de datos en el canal de retorno de varios cientos de kbps por portadora pueden ser obtenidas, mientras varios Mbps son posibles sobre el enlace de ida debido al PIRE del satélite, que es mucho más alto que el de la terminal pequeña.

El canal de la banda Ka se caracteriza por valores relativamente altos de atenuación por lluvia. Para lograr la disponibilidad requerida, es necesario aplicar el control de potencia en el enlace de subida. Esto implica que un margen suficiente está disponible para las terminales pequeñas. Las tasas que se pueden conseguir dependen fuertemente de las figuras de disponibilidad especificadas; esto es mostrado en la Tabla 6.1 para el tipo 'C' de terminales de usuario.

<sup>102</sup> Noeldeke, Christoph M. *Air interface and payload architecture for GEO multimedia communications satellites*, Space Communications 17 (2001) 49 – 58.

## 6.4 Esquema de Acceso.

Para el éxito comercial en el mercado de las pequeñas terminales de usuario, una red de satélite de multimedia de banda Ka soportará poblaciones de terminales pequeñas (referidas en la Tabla 6.1 como tipos A y B) de hasta varios centenares de miles por satélite. Esto pone el segmento del mercado previsto entre las clásicas transmisiones (con decenas de millones de terminales con capacidad de recepción únicamente) y los servicios clásicos de satélite punto a punto y de tipo VSAT. El número de terminales para grandes usuarios finales (terminales de tipo C en la Tabla 6.1) es típicamente dos órdenes de magnitud por debajo, debido a que no se espera que el número de proveedores de contenidos exceda los 10 por cobertura de satélite<sup>103</sup>.

Para terminales pequeñas, el tráfico en el enlace de regreso es de ráfaga, intermitente y con un bajo promedio de tasa de transmisión de datos, reflejando por ejemplo, el patrón del tráfico asimétrico de la navegación por Internet. El ancho de banda de la portadora de subida es, por otro lado, limitado por el PIRE de la terminal. Para proporcionar un eficiente procesamiento a bordo, es obligatorio combinar estos portadoras de pequeño ancho de banda en grupos que se digitalicen y procesen simultáneamente. Debido a la característica de ráfaga del tráfico, es además ventajoso proporcionar la posibilidad de compartir temporalmente estas portadoras de pequeño ancho de banda. Esto conlleva a la selección de un esquema de Acceso Múltiple por División de Tiempo y de Multi-Frecuencia, MF – TDMA<sup>104</sup>, para el enlace de subida. Los puertos de acceso locales y proveedores de servicio operaran típicamente en un solo canal por Portadora –SCPC<sup>105</sup>- o en TDMA.

En el enlace de bajada, es posible proporcionar el acceso de banda ancha directamente a terminales pequeñas, mediante la Multiplexación por División de Tiempo –TDM<sup>106</sup>-. Una sola portadora o un número pequeño de éstas por haz de cobertura es posible. Este enfoque permite operar los amplificadores de potencia en o cerca del estado de saturación. La combinación de MF- TDMA y TDM permiten la distribución de la capacidad de ancho de banda por demanda. El principio de los esquemas de acceso se ilustra en la Fig. 6-3.

<sup>103</sup> Ibidem.

<sup>104</sup> MF – TDMA: Multi-Frequency Time Division Multiple Access.

<sup>105</sup> SCPC: Single Channel per Carrier.

<sup>106</sup> TDM: Time Division Multiplex.

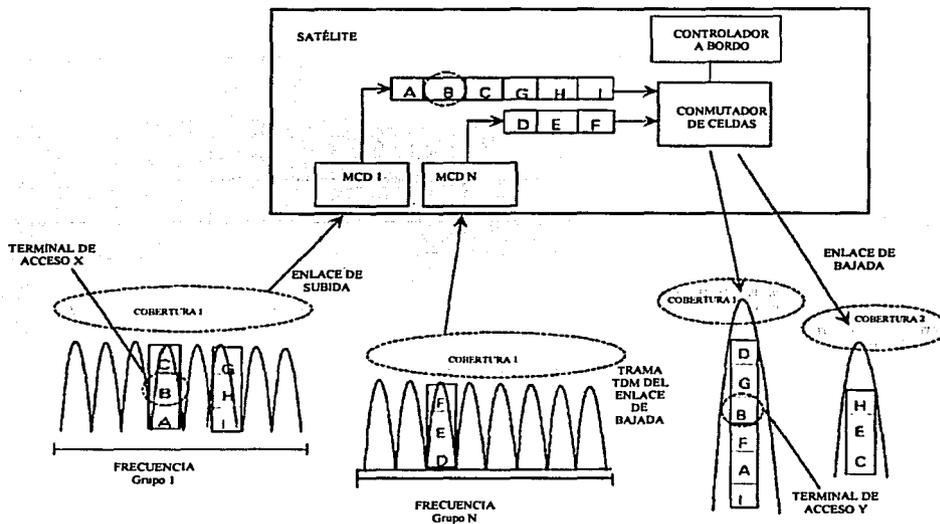
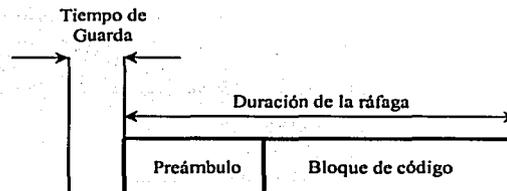


Figura 6-3 Esquema de acceso para sistemas OBP en banda Ka<sup>107</sup>

### 6.5 Aspectos de Sincronización

Para las redes basadas en satélites GEO regenerativos, existen varias opciones para obtener y mantener el sincronismo. La solución más directa es la transmisión asíncrona con sincronización por ráfaga. Este enfoque implica que los datos que deben transmitirse son mandados en paquetes individuales, cada uno de estos precedido por un preámbulo. Para evitar los choques, un tiempo de guarda se introduce entre las ráfagas subsecuentes. El demodulador a bordo y el que se encuentra en tierra demodulan cada ráfaga individualmente conforme van llegando. En este esquema, las terminales no necesitan estrictamente estar sincronizadas con un reloj central. Es suficiente que el error con respecto a un reloj de la referencia se limite a una fracción razonable del tiempo de guarda. La desventaja principal de tal esquema es el hecho de que ese ancho de banda se malgasta para tiempo de preámbulo y tiempo de guarda. La estructura relacionada se ilustra en la Fig. 6-4 para el caso de un solo bloque de código por ráfaga.

<sup>107</sup> Noeldeke, Christoph M. Op.Cit.



**Figura 6-4** Estructura de ráfaga para preámbulo de sincronización<sup>108</sup>.

En sistemas síncronos, las terminales en tierra deben sincronizar sus relojes a una referencia central de tiempo; para redes basadas en satélites GEO regenerativos, esta referencia se localiza típicamente a bordo del satélite. Un esquema del bucle se usa en este caso. Generalmente, para una terminal en tierra, varios pasos se requieren a fin de obtener la certeza requerida. Secuencias específicas de sincronización del enlace de subida y del enlace de bajada son introducidas periódicamente en el flujo de datos; éstos se usan para realizar la correlación en tierra y a bordo del satélite. Varias rondas de comunicación entre el satélite y la terminal pueden ser necesitadas.

El principio se ilustra en la Fig. 6-5. Comparado con la sincronización por ráfaga, este esquema hace mejor uso del ancho de banda de transmisión, debido a que el tiempo de guarda se reduce a una fracción del tiempo de símbolo. Por otro lado, el esquema se limita a terminales con una tasa baja de efecto Doppler, excluyendo los usuarios terrestres móviles con tasas de datos altas.

<sup>108</sup> Ibidem.

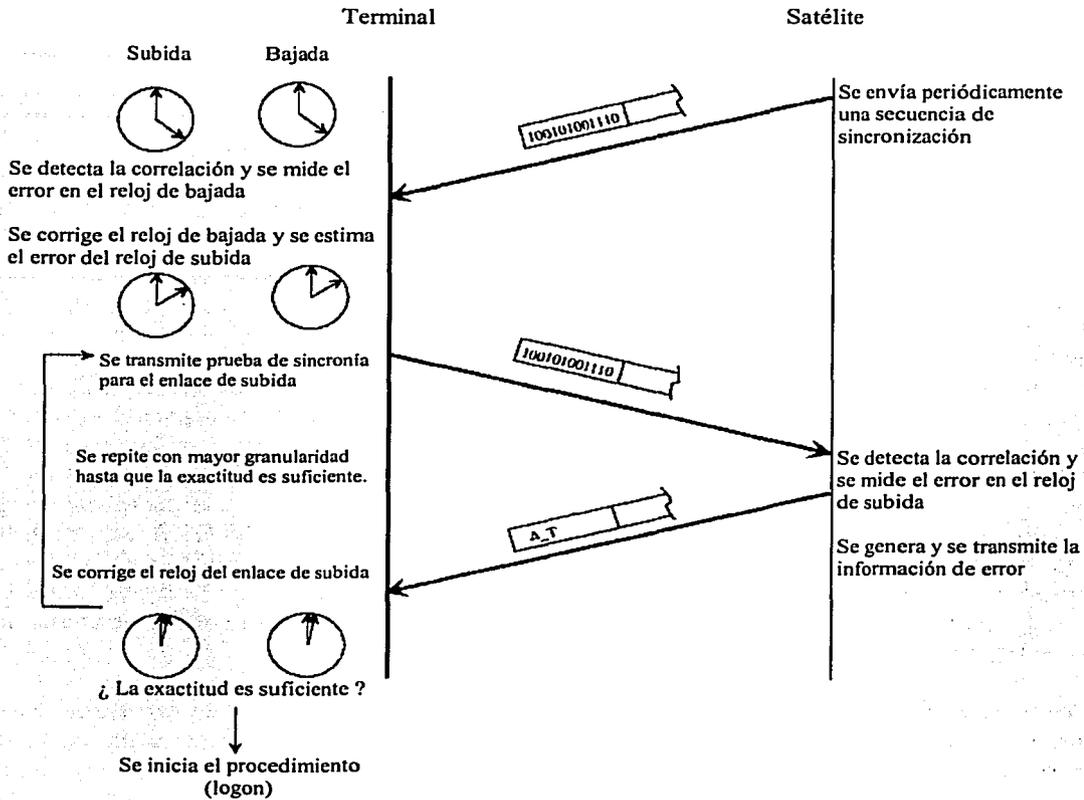


Figura 6-5 Esquema de sincronización para la operación por bit síncrono<sup>109</sup>.

### 6.6 La modulación y la codificación

La Modulación QPSK<sup>110</sup> es aún el esquema de modulación mayormente usado para la comunicación satelital, debido al buen equilibrio entre la eficiencia espectral y la robustez. La combinación de QPSK con códigos convolucionales ha probado tener un excelente desempeño considerando la relación BER vs.  $E_b/N_0$ , además del costo de implementación.

En general, los enlaces de satélite están sujetos a degradaciones intermitentes. En la banda Ku y superiores esto es especialmente debido al desvanecimiento por lluvia, esta característica se hace más significativa cuando nos desplazamos a la banda Ka.

<sup>109</sup> Ibidem.

<sup>110</sup> Quaternary Phase Shift Keying

Por otro lado, los enlaces de datos sobre satélite requieren generalmente transmisiones casi libres de errores para aumentar la eficiencia de los protocolos de capas más altas, que pueden ser severamente afectadas si existen pedidos de retransmisión en un enlace de satélite que esté considerablemente afectado por el retardo de la señal. Además, la conmutación a bordo de paquetes o celdas requiere una transmisión bastante segura de etiquetas de paquete y de encabezados de celdas. Estas limitaciones sólo pueden ser reunidas si una codificación FEC<sup>111</sup> se aplica. Un esquema de codificación comprobado es el uso de bloques concatenados y de códigos convolucionales.

Generalmente, códigos Reed-Solomon se aplican como el código exterior y códigos convolucionales de longitud limitada a 7 se usan como el código interior.

Para la regeneración a bordo con la conmutación subsiguiente de la celda o el paquete, la decodificación a bordo es obligatoria. Los paquetes o las celdas tienen que ser mapeados con los bloques de código, y la descodificación realizada en forma de bloque. Mientras que los paquetes MPEG2-TS que son de 188 bytes de longitud quedan razonablemente bien en un solo bloque de código, esto no es el caso para paquetes más cortos como, por ejemplo, las celdas regulares de ATM con 53 bytes de longitud total. En tales casos, es necesario acortar el código del bloque, o relacionar varias celdas (típicamente hasta 4) en un solo bloque. Con el objetivo de limitar la complejidad del procesamiento a bordo, se recomienda relacionar un solo bloque de código por cada ráfaga de transmisión.

En los canales de satélite que utilizan el ATM, la transmisión de bits erróneos ocurre en forma de ráfaga: Debido a que el ATM fue diseñado para ser robusto con respecto a errores en los bits distribuidos aleatoriamente, los errores de ráfaga introducen pérdida de celdas si los errores no pueden ser corregidos, o inserción de celda incorrecta en un destino equivocado si los errores son "corregidos" erróneamente. Para un BER de  $10^{-7}$  la proporción de celdas perdidas puede ser alta, como  $10^{-6}$ .<sup>112</sup>

## 6.7 Señalización

Los enlaces de satélite tienen que proporcionar los recursos de transmisión en el nivel físico para soportar el Control de Acceso al Medio –MAC<sup>113</sup>-, las conexiones con las redes y los protocolos de capas más altas. Los canales físicos relacionados pueden ser configurados tanto como accesos dedicados dentro de la trama de TDMA - el cual es llamado canal de señalización fuera de banda-, transmitido a cuestas en los encabezados de los paquetes (referidos como señalización en banda) o bien, multiplexados con el tráfico de datos. La señalización fuera banda puede ser soportada por campos dedicados de datos en la trama TDM. En contraste con sistemas transparentes, en redes basadas en OBP, los canales de señalización lógica pueden terminar a bordo.

<sup>111</sup> FEC: Forward Error Correction

<sup>112</sup> Gilderson, Jim and Cherkaoui, Jafaar. Op. Cit.

<sup>113</sup> MAC: Medium Access Control.

Dentro del enfoque de la capa MAC, circuitos virtuales –VC<sup>114</sup>– son definidos desde la terminal inicial hasta el conmutador a bordo y desde el conmutador a bordo hasta la terminal receptora en tierra, y tienen un diferente mapeo en las tramas MF – TDMA y en las tramas TDM. Como una consecuencia, un sendero virtual –VP<sup>115</sup>– es mapeado sobre un grupo de ranuras de subida o bajada de VC con el mismo destino. Las tablas de traducción de las VC están localizadas también a bordo y son usadas para el direccionamiento dentro del puerto de entrada del conmutador. Con este mapeo VC/VP, la señalización estándar puede ser usada para los parámetros de desempeño de la calidad de servicio y una máxima interconexión con las redes terrestres.

### 6.8 La trama.

La estructura de la trama soporta las variadas características de señalización descritas anteriormente. En la Fig. 6-6 se muestra cómo la trama TDMA del enlace de subida se organiza para satisfacer la transmisión continua, los campos de señalización, la transmisión asíncrona por ráfagas, y la conmutación de celdas.

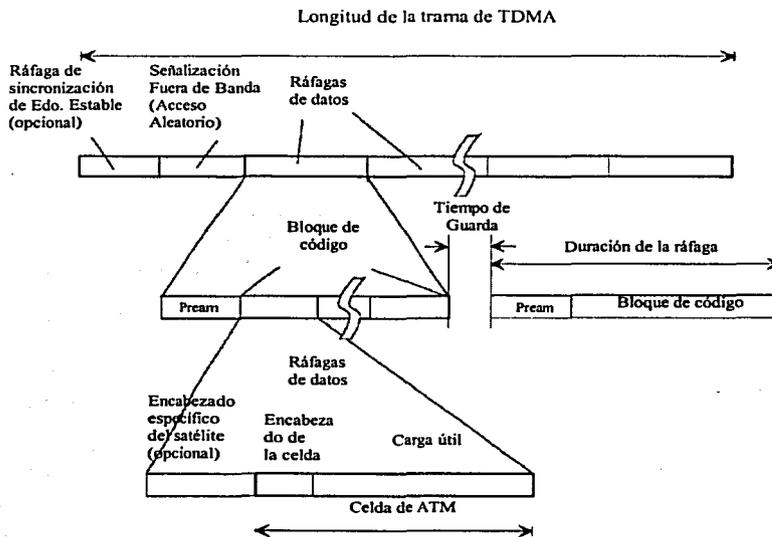


Figura 6-6 Estructura de la trama para el enlace de subida<sup>116</sup>.

<sup>114</sup> VC: Virtual Circuits.

<sup>115</sup> VP: Virtual Path.

<sup>116</sup> Noeldeke, Christoph M. Op.Cit.

En la trama TDMA, un campo dedicado se usa para sostener la sincronización en la forma de ráfagas de sincronización de estado estable. Esta característica es especialmente útil para el caso de la transmisión continua, donde preámbulos de ráfaga no están disponibles. La señalización que se transmite en contención, por ejemplo para obtener una asignación preliminar de recursos de transmisión, usa típicamente un campo dedicado de señalización fuera de banda. Las ráfagas de datos incluyen un preámbulo y un bloque de código y se separan por un tiempo de guarda. El bloque del código contiene uno o más celdas ATM, que pueden ser aumentadas por un encabezado específico de satélite para formar un paquete para utilizarse en satélite. El encabezado de la celda contiene una etiqueta regular de ATM en la forma de un Identificador Virtual de Sendero y un Identificador Virtual de Canal; el encabezado opcional específico de satélite lleva una señalización eventual en-banda.

## **6.9 Conmutación a Bordo.**

La selección de la estructura del conmutador para un satélite depende de los requerimientos típicos encontrados en las redes terrestres, pero además de limitaciones impuestas por el ambiente espacial. Los parámetros típicos usados en la determinación de una estructura conveniente son la capacidad y tasa de transmisión de los puertos, además de consideraciones en la implementación. Basados en estos factores, un diseño será seleccionado al conocer los requerimientos del sistema, así como criterios de desempeño en términos de CL, el rendimiento y el retardo. Para los sistemas satelitales, limitaciones adicionales son impuestas. Estas incluyen una incrementada tolerancia a fallos, los límites en la tecnología para alta radiación y consideraciones en la carga útil.

### **6.9.1 Capacidad del conmutador y configuración**

Debido a que se tiene un sistema que emplea haces de cobertura, hay un mapeo entre los puertos de entrada del conmutador y la distribución geográfica de los haces. El hecho de que el mapeo sea uno a uno depende del nivel de multiplexaje a la entrada del satélite y de la carga de procesamiento permitida en los puertos de entrada. Dependiendo de la configuración, esquema de acceso y nivel de multiplexaje, la velocidad individual de los puertos variará.

### 6.9.2 Tolerancia a fallas.

El sistema debe proporcionar suficiente tolerancia a fallas para cumplir con la confiabilidad de que terminará su vida útil. Fallas puntuales deben ser prevenidas, lo cual introduce la posibilidad de una unidad completa de redundancia dependiendo de la arquitectura utilizada. La tolerancia a fallas es agregada mediante la introducción de la detección de errores y fallas así como la redundancia, tanto interna como externa en el conmutador. Esta detección y la capacidad de aislamiento pueden ser usadas para detectar actividades que dañan las tabletas que se encuentran a bordo, así como reaccionar a fallas que requieren la entrada en operación del equipo de respaldo. Hay, sin embargo, un costo asociado con la implementación de la redundancia, y el costo dependerá de la tolerancia a fallas inherente al diseño del conmutador y de qué tan difícil es proporcionar el nivel necesario de redundancia para cumplir los requerimientos de la misión. La conmutación con redundancia para mapear las entradas y salidas puede proveer el nivel necesario de tolerancia a fallas con la adición de componentes de repuesto. Para dispositivos de memoria, códigos de control y corrección de errores pueden ser usados para detectar y corregir los errores y aislar las localidades y dispositivos de memoria afectados por las fallas.

### 6.9.3 Parámetros de desempeño

Los datos pueden estar constituidos por tráfico de alta prioridad o tráfico de baja prioridad. Los de prioridad alta deberán ser colocados en los buffers de rápido movimiento y deberán ser servidos preferentemente. El punto de vista de almacenamiento y priorización lleva a la red hacia un enfoque sensible al tiempo que es crítico para las aplicaciones en tiempo real y además resuelve problemas de congestión y contención de un cierto alcance.

Específicamente para ATM, la congestión es definida como la condición donde la carga ofrecida (demanda) desde el usuario hacia la red excede los límites de diseño de esta última para garantizar la Calidad de Servicio ofrecida a los usuarios. El punto donde la demanda excede la capacidad es llamado el punto de congestión. Hay cuatro parámetros que caracterizan los sistemas de conmutación ATM<sup>117</sup>:

*Rendimiento:* Este puede ser definido como la tasa a la cual las celdas parten del conmutador, medido en número de celdas emitidas por unidad de tiempo. Depende principalmente de la tecnología y dimensiones del conmutador.

*Probabilidad de bloqueo de la Conexión:* Debido a que ATM está orientado a conexión, habrá conexiones lógicas entre la entrada y la salida lógicas durante la fase de configuración de la conexión. Entonces, la probabilidad de bloqueo de la conexión se define como la probabilidad de que no haya suficientes recursos entre la entrada y la salida del conmutador para asegurar la calidad de todas las conexiones existentes y de las nuevas.

<sup>117</sup> Verma, Sandeep. Broadband via Satellite. IEEE. (1998), 603 – 606.

**Probabilidad de Pérdida de Celda:** En los conmutadores ATM, cuando más celdas de las que puede manejar el conmutador se encuentran compitiendo por entra a la cola, las celdas se perderán. La probabilidad de pérdida de celda debe mantenerse dentro de límites determinados para asegurar la confiabilidad del conmutador.

**Retardo del conmutador:** Es el tiempo en el que se conmuta una celda a través del conmutador ATM. Los valores típicos del retardo de conmutación están en el rango de los 10 a los 1000 microsegundos. Este retraso está conformado por el retardo en cola, que es debido al tiempo que las celdas permanecen en la cola del conmutador para evitar la pérdida de éstas, y el retardo fijo de conmutación, que es debido a la transferencia interna de la célula a través del hardware.

Dependiendo de la órbita, el retardo de conmutación tendrá un efecto variable sobre el retardo global (transmisión + conmutación). Para una órbita GEO, por ejemplo, el tiempo de propagación en un sentido es cercano a los 125 ms. Esto significa que el retardo a bordo es despreciable en comparación con el de transmisión. Sin embargo, a causa de este retardo la pérdida de celdas puede llegar a ser importante debido a las retransmisiones que ocasionarán largos retardos en los sistemas con petición automática de reenvío. Debido a estos retardos y el deseo de evitar las retransmisiones por la pérdida de celdas a bordo, puede ser necesario implementar buffers más grandes que los encontrados en los conmutadores terrestres o el uso de esquemas más predictivos para evitar la congestión a bordo.

#### 6.9.4 Realización de la conmutación

La conmutación a bordo puede ser desempeñada con base, tanto en paquetes específicos de satélite, como sobre ATM. La conmutación basada en ATM es ventajosa en términos de eficiencia de rendimiento y posibilita una integración completa con las redes ATM terrestres. El esquema es ilustrado en la figura 6-7.

El esquema de conmutación soporta conexiones virtuales punto a punto así como también punto a multipunto y se basa en una doble tabla. Las celdas recibidas del enlace de subida se marcan adicionalmente por su Identificador del Control del Acceso al Medio de la Fuente para identificación interna en el conmutador. Este identificador contiene la información sobre la dirección lógica de la terminal de donde se recibió la celda. En la tabla de direccionamiento de entrada, la etiqueta de ATM se evalúa para determinar el sendero físico de una entrada a un puerto de la salida de la red del conmutador. En caso de conexiones ATM punto a multipunto, varios senderos se generan y la celda se duplica por consiguiente. Con la transmisión de enlace de bajada de TDM, hay generalmente un mapeo uno a uno desde el puerto de la salida de la red del conmutador hacia el haz dedicado del enlace de bajada. En una segunda tabla, la tabla de direccionamiento de salida, la transposición de etiqueta de ATM se realiza y eventualmente se agrega el identificador MAC de la terminal de destino que recibe la celda.

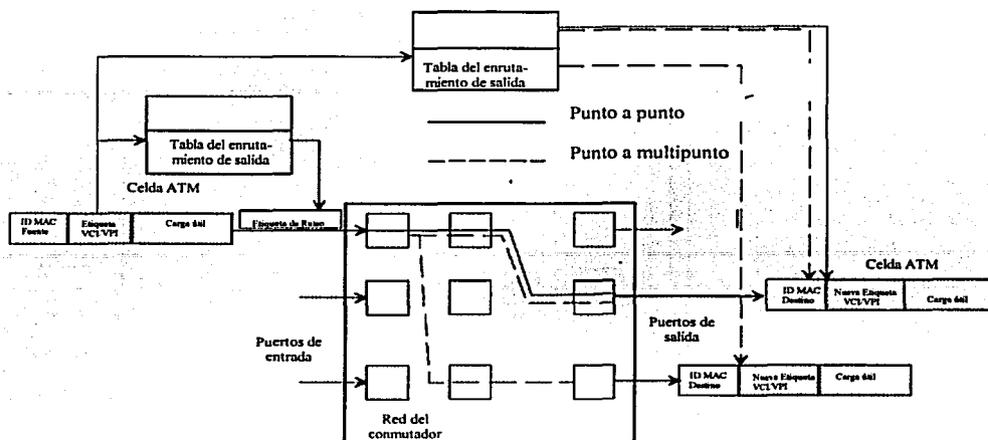


Figura 6-7 Esquema de enrutamiento para conmutación basada en ATM<sup>118</sup>.

## 6.10 La arquitectura de la carga útil

Además del equipamiento sobre un satélite de comunicaciones convencional, la carga de OBP contiene demoduladores a bordo, un conmutador de banda base y moduladores.

El número de haces regionales determina la masa y la potencia de consumo de la carga útil para un área de cobertura geográfica y rendimiento de información dados. La principal contribución de masa es debida al equipo de Radiofrecuencias (RF). El consumo de potencia disminuye a medida que el número de haces de cobertura se incrementa; esto, debido a la potencia reducida que se transmitirá por haz de cobertura.

Son necesarios aún varios desarrollos tecnológicos para reducir la masa de la cadena recepción de 30 GHz, que está compuesta de LNA<sup>119</sup>, convertidores de bajada, matrices de conmutación de microondas. Los componentes del equipo de radiofrecuencia para el enlace de bajada son principalmente el TWTA y los filtros de salida, multiplexadores y conmutadores de microondas. Una tecnología avanzada de empaquetamiento es indispensable para reducir la masa y el volumen. Otro bloque principal es el demodulador y el modulador. El número de estas unidades depende del número de haces de subida / bajada.

<sup>118</sup> Noeldeke, Christoph M. Op. Cit.

<sup>119</sup> LNA: Low Noise Amplifier.

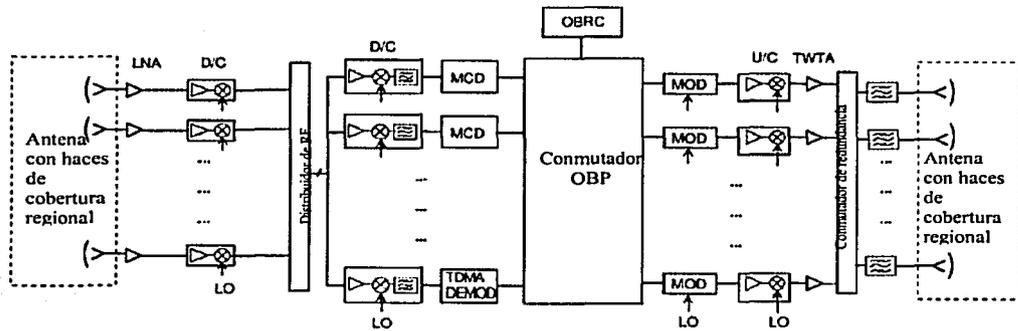


Figura 6-8 Arquitectura Genérica de Carga Útil<sup>120</sup>.

En la figura 6-8, se muestra una arquitectura típica de la carga útil que soporta el servicio de haz múltiple en la banda Ka con OBP. La cadena de recepción se compone de una antena de haz de cobertura receptora con Amplificador de Bajo Ruido, doble conversión de bajada y redes de distribución de RF. Las subbandas como se definen en la figura 6-9 son filtradas, digitalizadas, y procesadas en demoduladores multiportadoras –MCD<sup>121</sup>– y demoduladores de TDMA para los grupos multiplexados de portadoras de banda angosta y las portadoras de banda ancha, respectivamente.

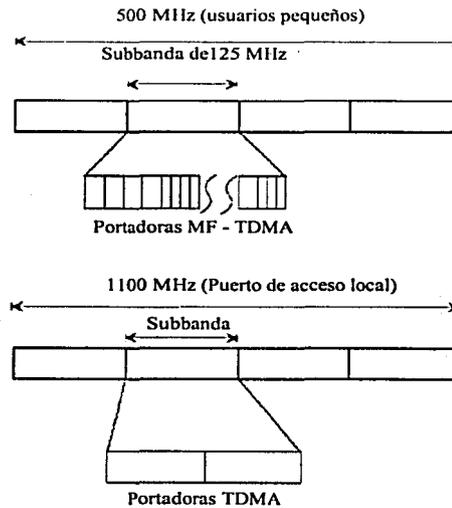


Figura 6-9 Asignaciones de Anchos de Banda para usuarios y Puertos de acceso local<sup>122</sup>.

<sup>120</sup> Noeldeke, Christoph M. Op. Cit.

<sup>121</sup> MCD: Multi-Carrier Demodulators

<sup>122</sup> Noeldeke, Christoph M. Op. Cit.

Topológicamente, el conmutador del OBP es la unidad funcional central; proporciona flujos de datos de bajada con formato a la salida para modulación, conversión de subida, y para la transmisión en el enlace de bajada. Las funciones de señalización y de protocolo son soportadas por un controlador de los recursos a bordo –OBRC<sup>123</sup>-. Mientras la adaptación a la forma de onda del enlace de subida se realiza dentro del demodulador, la realización del formato de la corriente de datos de enlace de bajada es hecha dentro del conmutador de OBP.

Los demoduladores que se encuentran a bordo, tanto para banda angosta así como también para operación de banda ancha, son equipos clave para cargas útiles con OBP. Los demoduladores de multiportadoras sirven para separar espectralmente, demodular, decodificar y extraer de los frames las ráfagas de datos recibidos en portadoras estrechas, mientras los demoduladores de banda ancha demodulan y decodifican portadoras simples.

**Tabla 6.2** Especificaciones para demoduladores de multiportadoras y de banda ancha<sup>124</sup>.

Parámetro	Demodulador Multiportadora	Demodulador TDMA de Banda Ancha
Ancho de Banda Aprovechable	125 MHz	125 MHz por portadora
Número de Portadoras	8 – 1024	1
Esquema de Acceso		TDMA u operación continua
Máxima velocidad por portadora	100 kbps – 20 Mbps	δ 200 Mbps
Frecuencia de entrada		625 MHz
Sincronización		Por ráfaga, preámbulo o bit sincrónico
- Operación TDMA		Secuencia periódica de sincronización
- Operación Continua.		

Debido al gran número de portadoras de banda angosta que se procesan en un solo satélite, es de suprema importancia que el procesamiento sea hecho eficientemente. Si típicamente 50 rayos de cobertura son servidos por un solo satélite, y si fuera posible cubrir completamente las bandas de 500 MHz, se estima que el número de MCDs activos será de alrededor de 50, sin incluir dispositivos de redundancia. Figuras semejantes se requieren para los demoduladores de banda ancha. La integración a gran escala de estos dispositivos es así una clave para obtener sistemas con OBP competitivos. Algunas especificaciones típicas se listan en la Tabla 6.2, y un esquema a bloques se da en la Fig. 6-10.

<sup>123</sup> OBRC: On Board Resource Controller

<sup>124</sup> Noeldeke, Christoph M. Op. Cit.

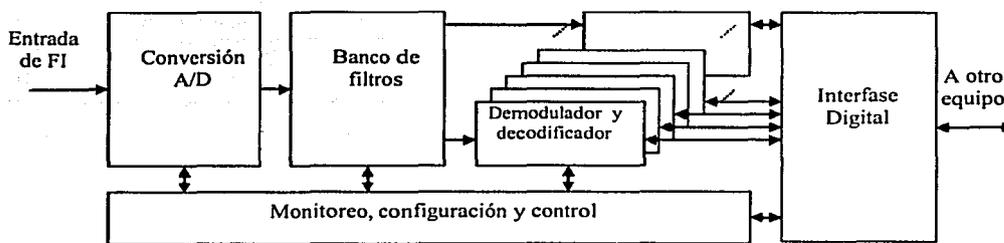


Figura 6-10 Diagrama a bloques del demodulador de multiportadora<sup>125</sup>.

Mientras los demoduladores son el principal volumen del hardware de OBP, proporcionando la interfase funcional al enlace de subida, la red de conmutación y sus unidades de control son la llave para la conectividad con la red. Típicamente, un puerto de entrada y uno de salida tienen que ser provistos por una haz de cobertura o por enlace intersatelital, respectivamente. Un resumen de las especificaciones puede ser encontrado en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3 Especificaciones de la Red Genérica de Conmutación<sup>126</sup>.

Parámetro	
Número de puertos de entrada	64
Máxima velocidad por puerto de entrada	155 Mbps
Número de puertos de salida	64
Velocidad en el puerto de salida	155 Mbps
Velocidad en la interfase del enlace de bajada	155 Mbps, 32 Mbps
Categoría de los servicios	CBR

### 6.11 El Centro de Control Maestro.

Un factor responsable del tremendo crecimiento económico de los sistemas de comunicaciones es la interoperabilidad de diferentes computadoras, terminales y sistemas de transmisión.

Una nueva red debe ser compatible con los protocolos y algoritmos existentes. Estos se logra por un conjunto de normas que permiten la transferencia de información entre sistemas diferentes.

La traducción de protocolos y algoritmos de las terminales de suscriptor en comandos que controlan el flujo de información dentro de una red de comunicaciones por satélite de banda ancha es la tarea del Centro de Control Maestro (MCC).

<sup>125</sup> Ibidem.

<sup>126</sup> Ibidem.

Estas funciones del control de las comunicaciones cubren enteramente el rango de servicios que serán proporcionados: circuitos conmutados, tanto ISDN como ENS, y servicios de conmutación de paquetes.

El MCC proporciona las funciones de procesamiento para:

- El concepto de control total de la comunicación. (Protocolos internos)
- Control de la conmutación de circuitos/paquetes.
- Administración de la red completa.

Con objeto de limitar los esfuerzos y hacer un uso óptimo del equipo y software existentes, se ha adoptado el siguiente enfoque: El MCC, localizado en tierra, es físicamente un centro de conmutación terrestre. Solo unas cuantas modificaciones en algunos módulos de software se necesitan para satisfacer los requerimientos específicos del procesamiento a bordo. Una unidad de interfase especial, el procesador de enrutamiento, está siendo desarrollada para la tarea de traducir los protocolos usados en el centro de conmutación a los protocolos específicos del satélite.



## CAPÍTULO VII FACTORES DE PROPAGACIÓN EN BANDA KA

### 7.1 Introducción.

Uno de los principales aspectos que se debe tomar en cuenta para poder realizar un análisis del comportamiento de las comunicaciones en la banda Ka es la forma en que se propagan las ondas en dicha banda, es decir, como es que se ven afectadas por cada uno de los factores que intervienen durante su trayectoria y con mayor razón en las comunicaciones vía satélite.

Las futuras comunicaciones vía satélite en la banda de frecuencia Ka estarán sujetas a la degradación producida por la troposfera la cual es mucho más severa que en otras encontradas en bandas de frecuencias más bajas. Estas complicaciones incluyen absorción de la señal debido a la lluvia, nubes y gases, además de otras irregularidades producidas por la atmósfera. Por ejemplo, la atenuación debido a la lluvia a una frecuencia de 20 GHz es tres veces mayor que a 11 GHz. No obstante alguno de estos impedimentos pueden ser disminuidos mediante el tamaño de las antenas en las estaciones terrenas y la potencia en los amplificadores. Como consecuencia, muchos de los sistemas en la banda Ka se espera que utilicen diferentes formas de como disminuir el desvanecimiento de las señales que pueden ser implementadas relativamente más fácil y a menor costo.

El método tradicional para la medición de los efectos de la atmósfera en los enlaces de comunicaciones espacio-tierra involucra el asignamiento de "márgenes" para un desarrollo aceptable, usualmente basado en niveles anuales o mensuales del funcionamiento del enlace. El margen buscado es aquel ubicado en el diseño del sistema que permita contar con un funcionamiento aceptable. Muchos de los sistemas que operan en la banda C y Ku cuentan con un diseño en el cual su meta es lograr márgenes que se ubican en el rango de 99.5 a 99.99% para lograr un buen funcionamiento del enlace. Sistemas en banda Ka con margen bajo generalmente operarán con mucho menor capacidad, frecuentemente en un rango del 98 a 99.5 %.

Los factores que afectan a los enlaces vía satélite en la banda Ka son los siguientes:

- Atenuación causada por los hidrometeoros (lluvia, nubes, capa de fusión, etc).
- Absorción de gases causada por oxígeno y vapor de agua.
- Rápidas variaciones en los niveles de la señal debido a los efectos en la troposfera.
- Despolarización debido a hidrometeoros o hielo.
- Incremento del ruido debido a los elementos de atenuación en la trayectoria.

Los factores que producen atenuación, actuando solos o en combinación sobre la trayectoria de la señal, pueden ocasionar degradaciones en la calidad de la transmisión analógica e incrementar mayores rangos de error en los bits para transmisiones digitales.

De los factores enlistados anteriormente, la atenuación por lluvia es el efecto dominante en general para los enlaces en la banda Ka, sin embargo, no se pueden despreciar los efectos producidos por la influencia de los hidrometeoros sobre la polarización y los efectos del índice refractivo.

Como nos podemos dar cuenta, son varios los factores que provocan el desvanecimiento de una señal en las comunicaciones vía satélite y en especial en la banda de frecuencias que queremos emplear. Algunos de dichos factores resultan ser más perjudiciales que otros por los que se les ha dado mayor importancia en el análisis de su comportamiento.

## 7.2 Propagación atmosférica.

Las ondas electromagnéticas atraviesan cuatro regiones distintas cuando se trata de un enlace vía satélite. Estas regiones básicas son: el espacio libre, la troposfera, la ionosfera y fuera del espacio libre.

El espacio libre presenta menos pérdidas que las otras tres regiones además de contar con un índice refractivo igual a uno, por el contrario la troposfera y la ionosfera poseen índices de refracción más grande y más pequeño que la unidad respectivamente. En estas capas los fenómenos de la refracción y la absorción se elevan. En la figura 7-1 se observan las capas de la atmósfera. En el caso de la ionosfera, ésta es una parte especial de la atmósfera. No es una capa separada sino que forma parte de la termosfera. La comunicación a larga distancia por radio es posible ya que las diferentes regiones de la ionosfera reflejan las ondas radiales de regreso a la Tierra. A medida que se asciende en la ionosfera, la temperatura aumenta. Aquí es donde suceden las auroras.

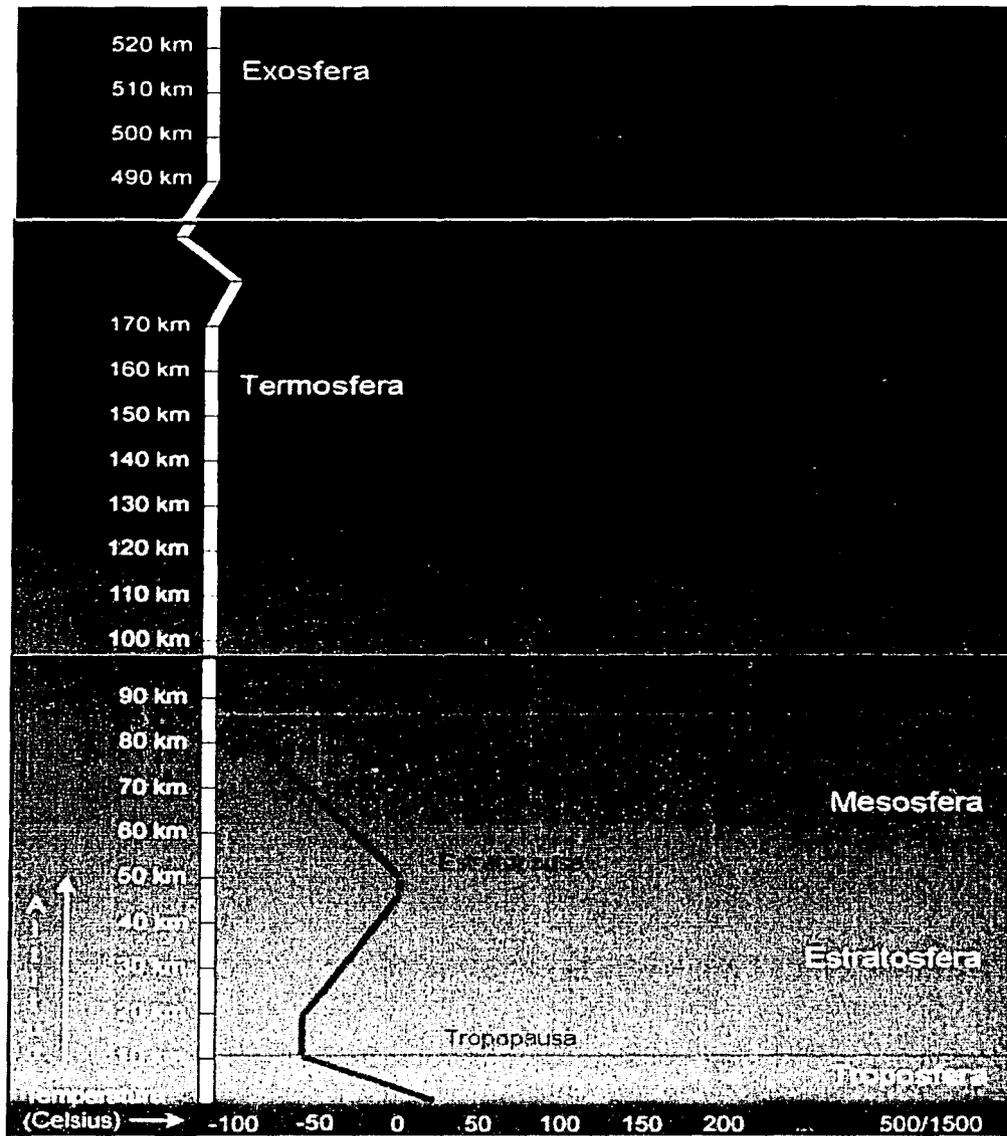


Figura 7-1 Capas de la atmósfera.

### 7.2.1 Efectos en la Ionosfera.

En el caso de la Ionosfera podemos mencionar dos efectos importantes que se deben considerar en el modelo de propagación de las ondas electromagnéticas. Estos dos efectos son conocidos como centelleo ionosférico y rotación de Faraday de la polarización.

Otros efectos que se presentan en la ionosfera son variaciones en el ángulo de llegada y absorción, pero estos resultan ser insignificantes en los sistemas de comunicaciones que operan en frecuencias de GHz ya que siguen un comportamiento inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia ( $1/f^2$ )

#### 7.2.1.1 Centelleo Ionosférico

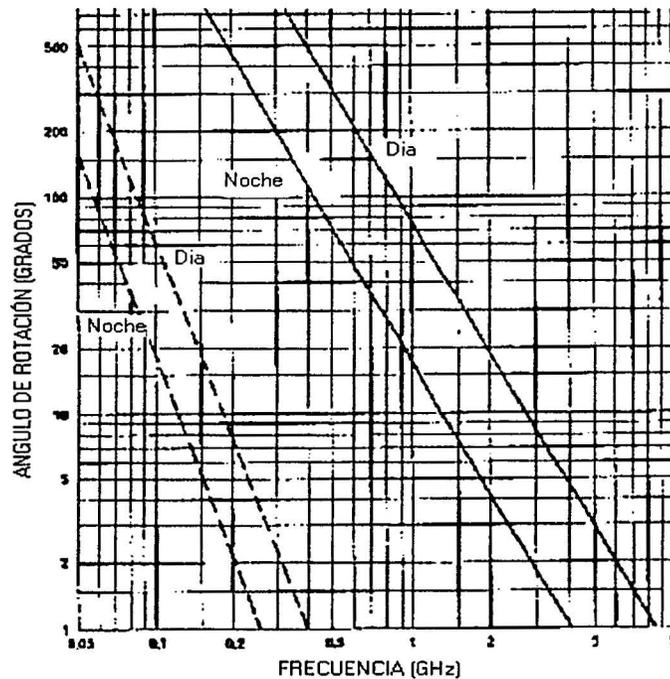
Este fenómeno consiste en pronunciadas variaciones de corta duración (entre 1 y 15 segundos) de la amplitud, de la fase, del ángulo de polarización y del ángulo de llegada de las ondas electromagnéticas que alcanza la tierra desde el espacio en el rango de frecuencias de microondas. El centelleo es atribuible a fluctuaciones en la densidad de los electrones en la Ionosfera. La localización de la estación terrena, la estación del año, el tiempo local y la cantidad de actividad solar influyen en la magnitud y la ocurrencia del centelleo ionosférico; la latitud geomagnética, la actividad solar y el tiempo local son los factores de mayor importancia.

Dentro de los límites de  $\pm 20^\circ$  del Ecuador geomagnético, un centelleo de gran intensidad puede ocurrir por unas cuantas horas justamente después de la puesta del sol en la ionosfera sobre un enlace satelital. El centelleo llega a ser menos intenso en latitudes intermedias, pero se incrementa en latitudes elevadas<sup>127</sup>.

#### 7.2.1.2 Rotación de Faraday de la polarización.

La Rotación de Faraday consiste en una rotación del vector de polarización lineal debido a la ionización de la ionosfera. Dicha rotación es proporcional a  $1/f^2$ . Insignificante por encima de los 10 GHz. Produce pérdidas por desacoplo de polarización. Puede compensarse girando la polarización de la antena receptora, a no ser que sea la misma antena de transmisión, ya que el giro es contrario en uno y otro sentido del enlace. La polarización circular apenas se ve afectada. En la figura 7-2 podemos observar como se comporta el ángulo de rotación en grados con respecto a la frecuencia.

<sup>127</sup> Fuente: "Cálculo de enlace y atenuación por lluvia para comunicaciones por satélite en la banda Ka para México". Cruz Sánchez H. y Hernández Bautista H. Noviembre 2000.



**Figura 7-2** Gráfica que muestra el comportamiento del ángulo de rotación en grados respecto a la frecuencia.

En la gráfica podemos observar que a frecuencias mayores de 10 GHz el efecto resulta insignificante por lo que para nuestro estudio en la banda Ka no es un factor importante.

### 7.2.2 Efectos de la Troposfera.

En esta capa nos podemos encontrar efectos como desviación del haz, centelleo, atenuación y un incremento de la temperatura de ruido en el cielo. Sin embargo todos estos fenómenos mencionados anteriormente no son significantes en el diseño de sistemas de comunicaciones por satélite a excepción de aquellos que operan con un ángulo de elevación muy pequeño. Con respecto a la atenuación que se da en esta capa de la atmósfera, ésta es debida a ciertos factores que ya se han mencionado al inicio de este capítulo siendo la de mayor importancia la producida por los hidrometeoros como el agua, la nieve, la lluvia, el granizo, además de la producida por los gases.

### 7.2.2.1 Centelleo Troposférico.

El centelleo es inducido por turbulencias en la atmósfera con dependencia del tiempo, el cual resulta afectarle diez veces más que en el centelleo ionosférico. El Centelleo en la troposfera se calcula con base en el modelo de la ITU recomendado para su uso en el rango de frecuencias de 4 GHz a 20 GHz, sin embargo, las mediciones que se han realizado recientemente con el ACTS (Advanced Communications Technology Satellites) y con el Olympus han demostrado que esta recomendación también es aplicable en la predicción de los efectos del centelleo hasta los 30 GHz<sup>128</sup>. Para calcular el centelleo se requiere de la frecuencia, ángulo de elevación, diámetro de la antena, temperatura promedio, y promedio de la humedad relativa.

La desviación estándar de la amplitud del centelleo está dada por:

$$\sigma_x = \sigma_{xref} f^{7/12} (g(x) / (\text{sen}(\theta)))^{1.2}$$

donde

f = frecuencia (GHz)

$\theta$  = ángulo de elevación

$\sigma_{xref} = 3.6 \times 10^{-3} + 1.0 \times 10^{-4} N_{wet}$

$N_{wet} = 3730U (e_s / (T+273))^2$

U = humedad relativa promedio

$e_s$  = Presión del vapor de agua en saturación (mbar)

T = Temperatura (°C)

$g(x) = \sqrt{3.86(x^2 + 1)^{11/12} \text{sen} [11/6 \tan^{-1}(1/x)] - 7.08x^{5/6}}$

$x = 1.22 \text{ hD}^2 (f/L)$

D = Diámetro de la antena (m)

L = eficiencia de apertura de la antena

$L = 2h / ((\sqrt{\text{sen}^2(\theta) + 2.35 \times 10^{-4}}) + \text{sen}(\theta))$

h = 1000 m altura de la capa turbulenta

El nivel de dispersión  $A_p$  (dB) , excedido para p% del tiempo, esta dado por:

$$A_p = \sigma_x (-0.061(\log_{10}p)^3 + 0.072(\log_{10}p)^2 - 1.71\log_{10}p + 3)$$

<sup>128</sup> Fuente: A. W. Dissanayake, J.E. Allnutt y F. Haidara. "A prediction model that combines rain attenuation and other impairments along earth-space paths" IEEE Trans. Antennas Propagation, vol 45, no. 10, p.1547-1558, 1997.

Para  $0.01\% \leq p \leq 50\%$

### 7.2.2.2 Atenuación debida a la capa de fusión.

La capa de fusión es la región que se encuentra alrededor del isoterma de  $0^\circ$  donde las partículas de hielo y nieve se fusionan para formar gotas de lluvia. Esta capa tiene un espesor de aproximadamente 500 m. La atenuación producida por las partículas de hielo fusionándose pueden alcanzar niveles significantes, sobre todo para los enlaces con un ángulo de elevación pequeño. La atenuación específica en la capa de fusión, sin embargo, no siempre es significativamente más grande que en la región de lluvia debajo de ella. El análisis de atenuación por lluvia normalmente cuenta los efectos de esta capa para tasas de lluvia moderadas y altas. Este efecto debe considerarse por separado para tasas de lluvia bajas. Existen varios modelos para predecir estos efectos, de los cuales uno de los más sencillos en su aplicación y que relaciona la proporción de lluvia y la atenuación específica en la capa de fusión es el modelo siguiente<sup>129</sup>:

$$\alpha_m = aR^b \text{ (dB)}$$

donde:

$$a = e^{1.58 \ln(f) - 6.23}$$

$$b = e^{0.029 \ln(f) + 0.031}$$

R – tasa de lluvia en mm/h

f – frecuencia (GHz)

El ancho de la capa de fusión se toma de 0.5 km y la longitud de la trayectoria a través de esta capa,  $L_m$ , es  $L_m = 0.5 / \sin(\theta)$ , donde  $\theta$  es el ángulo de elevación. Por lo tanto, la atenuación debida a la capa de fusión esta dada por:

$$A_m = \alpha_m L_m \text{ (dB) para } L_m \leq 10 \text{ km}$$

### 7.2.2.3 Atenuación por niebla y nubes.

La niebla es la condensación de vapor de agua atmosférica en gotas de agua que se mantienen suspendidas en el aire. La niebla es producida de dos formas diferentes: formada sobre el agua por el resultado del movimiento horizontal de una masa de aire caliente por encima de una masa de aire frío y formada debido al aire que ha estado sobre la tierra durante las horas de luz solar, precediendo en la noche a la formación de estas.

<sup>129</sup> Fuente: A. W. Dissanayake y N. J. McEwan. "Radar and attenuating properties of rain and bright band", IEEE Conf. Publ. 169-2, pp125-129, 1978.

La atenuación por niebla usa un procedimiento similar al de la lluvia, solo que los valores de atenuación son menores ya que el contenido de agua es menor. En la figura 7-3 se puede observar el coeficiente de atenuación debido a la niebla para diferentes contenidos de agua en el rango de frecuencias de 10 a 180 GHz<sup>130</sup> en distintas temperaturas.

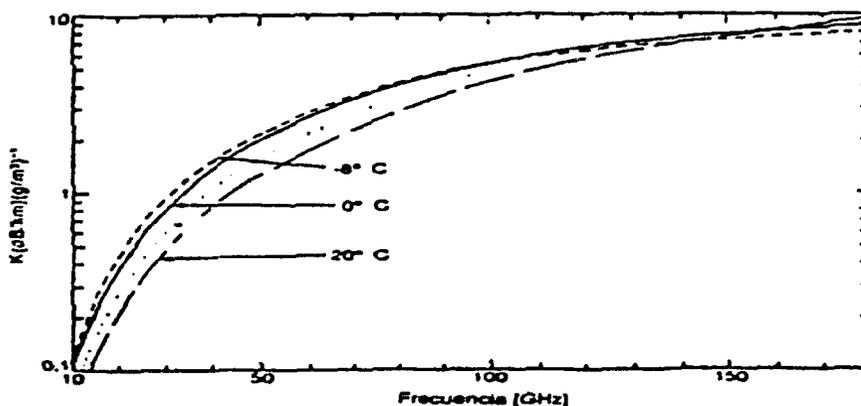


Figura 7-3 Coeficientes específicos de atenuación debido a la niebla para diferentes contenidos de agua y temperatura, como una función de la frecuencia.

Las nubes también provocan atenuación en las ondas electromagnéticas, es por ello que también es necesario tomarlas en cuenta en el diseño de un enlace vía satélite.

#### 7.2.2.4 Atenuación por nieve y granizo.

Otro tipo de atenuación que existe y que también debemos considerar a pesar de ser mucho menor que la producida por la lluvia es la ocasionada por la nieve y el granizo. Decimos que es mucho menor ya que la constante dieléctrica del hielo es menor que la constante dieléctrica del agua. El efecto de dispersión que se genera cuando la onda electromagnética cruza secciones de copos de nieve, agujas de hielo y piedras de granizo es considerablemente bajo en comparación con la dispersión generada por gotas de agua del mismo tamaño. La atenuación debida a la nieve húmeda será mayor que para el hielo, particularmente en la capa de fusión, donde los copos de nieve cubiertos de agua producen entre 10 y 15 dB más que la atenuación por lluvia.

<sup>130</sup> Ibidem.

La absorción y el esparcimiento debido al granizo en la lluvia son mayores que a la provocada por la lluvia sola y depende del tamaño y la forma del granizo y de la presencia y grosor de la capa de agua que las pudiese cubrir.

Estudios realizados han comprobado que la nieve y las partículas de granizo pueden causar despolarización debido a la naturaleza no esférica de las partículas de hielo.

### 7.2.2.5 Atenuación por absorción de gases.

Las principales causas por las que se da la atenuación por gases en la propagación de ondas electromagnéticas en la banda Ka son la absorción por las moléculas de oxígeno y por el vapor de agua que se encuentran en las diferentes capas de la atmósfera, así como en la lluvia y en las nubes. La figura 7-4 muestra la atenuación total debida a los gases en las condiciones de una atmósfera de presión, 20° C de temperatura y densidad del vapor de agua de 7.5 g/m<sup>3</sup>.

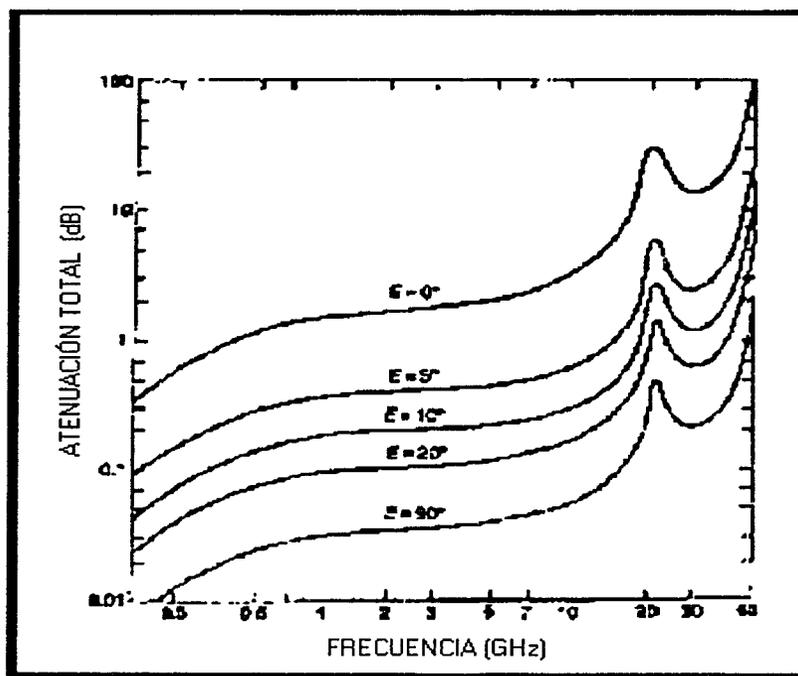


Figura 7-4 Atenuación total debida a los gases a una atmósfera de presión, 20° C de temperatura y a una densidad de vapor de agua de 7.5 g/m<sup>3</sup>

La absorción que sufren las ondas electromagnéticas a su paso por las moléculas de Oxígeno y de vapor de agua se debe a que el campo electromagnético incidente produce un momento magnético en las primeras y un momento eléctrico en las segundas. Esta absorción depende de la presión y de la temperatura<sup>131</sup>. Para longitudes mayores a 3 cm, la absorción de gases es pequeña y puede ser despreciada, excepto en enlaces largos de más de 60 km<sup>132</sup>.

La absorción por oxígeno puede considerarse como un efecto constante y tiene variaciones muy pequeñas. La atenuación debida a la absorción de los gases se incrementa a partir de los cambios en la cantidad de vapor de agua en la atmósfera. Esta variación de vapor de agua es diferente a distintas alturas sobre el nivel del mar y la contribución a la atenuación de la absorción por vapor de agua es dependiente de su concentración y de la temperatura.

Para un enlace satelital la atenuación total debida a gases provocada por la absorción del oxígeno y del vapor de agua, es función de la frecuencia, del ángulo de elevación del enlace, la altura a la que se encuentre la estación terrena sobre el nivel del mar y la densidad de vapor de agua en ese lugar.

El cálculo para la absorción por gases es calculada como la suma de la absorción de vapor de agua y oxígeno:

$$A_g = A_o + A_w = (\gamma_o h_o + \gamma_w h_w) / \text{sen}(\theta)$$

Atenuación específica (oxígeno y vapor de agua):

$$\gamma_o = \left[ \frac{7.1}{f^2 + 0.36} + \frac{4.5}{(f - 57)^2 + 0.98} \right] f^2 \times 10^{-3}$$

$$\gamma_w = \left[ \frac{0.067 + \frac{3}{(f - 22.3)^2 + 7.3}}{\rho_w} \right] \rho_w f^{22} \times 10^{-4}$$

donde  $\rho_w$  es la densidad media de vapor de agua. Típico 10 g/m<sup>3</sup>.

Alturas equivalentes:

$$h_o = 6 \quad h_w = 2.2 + \frac{3}{(f - 22.3)^2 + 3}$$

<sup>131</sup> Ibidem.

<sup>132</sup> Fuente: Collier, Christopher G. "Applications of weather radar system. A guide to uses of radar data in meteorology and hydrology. U.S.A." Paraxis Publishing Ltd., 1996.

### 7.2.2.6 Atenuación por lluvia.

En frecuencias superiores a los 10 GHz la lluvia es un factor dominante en lo que a atenuación de señales se refiere. Esto se debe a que la energía electromagnética es absorbida y convertida en calor por las gotas de lluvia, lo que desvía las ondas de la dirección de recepción. La forma y el tamaño de las gotas de lluvia que en ocasiones son comparables con la longitud de onda, están relacionadas directamente con la pérdida de energía electromagnética. Esta absorción, conocida como atenuación por lluvia, limita el rango efectivo durante eventos de precipitación y debe recibir consideración durante la fase del diseño del sistema.

En el cálculo del rendimiento del enlace, el margen de atenuación de lluvia constituye un importante contribuyente. Por tanto, para alcanzar la disponibilidad del sistema deseada, el rendimiento se establece con base en las condiciones de lluvia. El margen de atenuación de lluvia puede ir desde 5 dB hasta 30 dB, dependiendo de los objetivos de disponibilidad del sistema, del rango del enlace, de la banda de frecuencias, y de la zona de lluvia.

Debido a las fallas que este fenómeno atmosférico puede causar en las telecomunicaciones, se hace necesario realizar un análisis de lluvia para predecir sus efectos en enlaces de microondas a fin de disminuir las posibilidades de falla en la transmisión de señales de los satélites. La información que se obtiene con estos estudios permite construir mapas de lluvia que sirven a los que diseñan y construyen satélites, de manera que la potencia con que sean diseñados sea la adecuada.

De acuerdo con la recomendación ITU 837-1 y 838, la Tierra ha sido dividida en diferentes zonas de lluvia en las cuales, con base en información climática de largo plazo, cada zona presenta una probabilidad de índices diferentes de precipitación anual. La figura 7-5 que se muestra a continuación representa el cuadro que define la taza de lluvia de acuerdo a la región y al porcentaje de tiempo que se desea tener, además la figura 7-6 muestra el mapa que ubica a la región de Norteamérica que nos indica las zonas en las que se encuentra ubicado México.

Porcentaje de tiempo %	Estadística de Tasa de Lluvia Acumulada														
	Intensidad de Lluvia Excedida (mm/h)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1	<.01	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0,3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	12	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Figura 7-5 Cuadro de Estadísticas de Tasa de Lluvia Acumulada

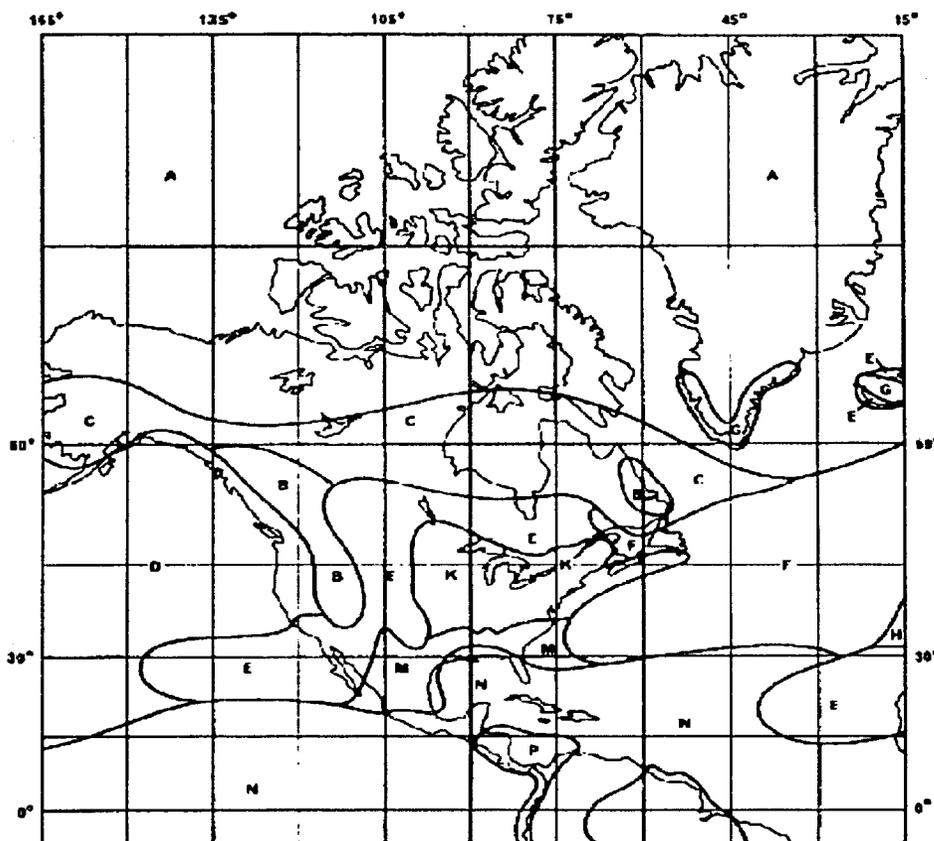
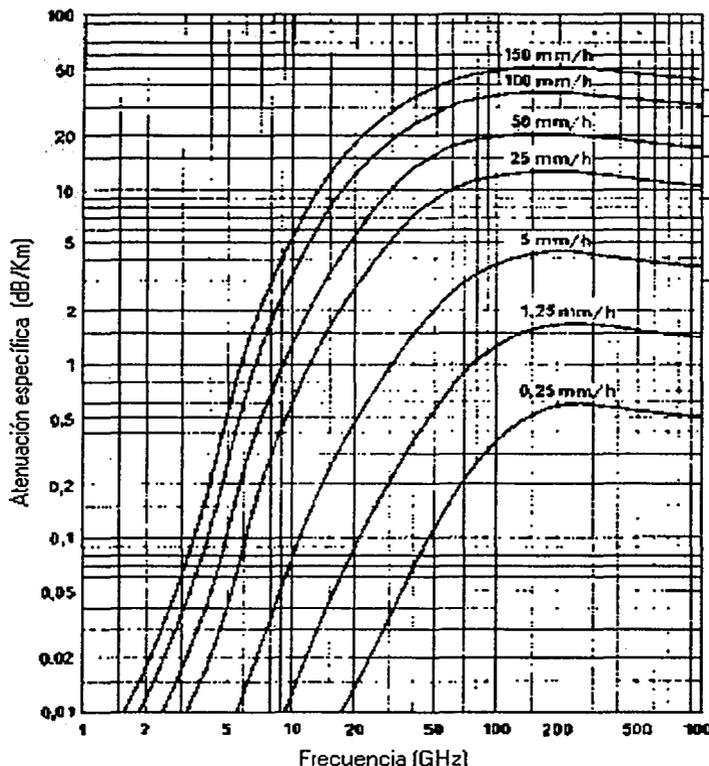


Figura 7-6 Mapa de Norteamérica donde se ubican las diferentes zonas de lluvia.

La atenuación por lluvia es el principal problema en la banda Ka. Esta atenuación depende del tamaño de las gotas y de su deformación al caer, pero sobre todo de la intensidad con la que cae y de la cantidad global de agua en el aire. Debido a la dificultad de medir los anteriores parámetros se expresa la atenuación específica ( $\gamma$ ) en función de la intensidad de lluvia ( $I$ ) medida en mm/h. Esta atenuación tiene un comportamiento casi cuadrático en función de la frecuencia en el rango que va de aproximadamente 1.5 a 100 GHz como lo podemos ver en la figura 7-7 para razones de lluvia de 0.25, 1.25, 5, 25, 50, 100 y 150 mm/h.



**Figura 7-7** Gráfica que muestra la atenuación específica con respecto a la frecuencia para diferentes razones de lluvia.

Como se puede observar, los valores máximos de atenuación se dan arriba de los 100 GHz en cada una de las razones de lluvia analizadas. Para frecuencias menores de 100 GHz la atenuación específica provocada por la lluvia no es máxima aunque se observa que dentro de estos valores la atenuación crece muy rápidamente al aumentar la frecuencia para cualquier razón de lluvia. También dicha atenuación depende algo de la polarización (H-V). La gráfica muestra un valor medio.

En general la atenuación por lluvia se produce por:

- La disposición por efecto Joule debido al comportamiento del agua como dieléctrico imperfecto.
- La dispersión de la energía en direcciones diferentes a la de propagación.

La condición de lluvia no afecta al enlace en toda su trayectoria<sup>133</sup> y lo hace en forma distinta a lo largo del área de precipitación. Con tanta variación en el fenómeno de atenuación por lluvia, además de ser un evento aleatorio, no existe hasta el momento un modelo preciso con el que se pueda predecir la atenuación provocada por la lluvia en un enlace, solamente se ha logrado estimar niveles de atenuación que nos permitan realizar un diseño de un sistema de comunicaciones que cuente con un desempeño aceptable.

En los modelos de predicción de atenuación por lluvia, la tasa de lluvia es uno de los parámetros esenciales.

Para el cálculo de la atenuación por lluvia existen varios modelos propuestos entre los cuales destaca el modelo global de distribución de lluvias de Crane y el que propone la ITU-R en la recomendación PN.618-4,1996. Asimismo, se ha buscado mejorar los modelos ya existentes para lograr que sean más precisos además del surgimiento de otros modelos. Uno de estos modelos es el propuesto por Asoka Dissanayake, Jeremy Allnutt y Fatim Haidara, conocido como método DAH para el cálculo de atenuación por lluvia. Este método arroja resultados más precisos en cuanto al cálculo de atenuación por lluvia y por otros fenómenos en banda Ka.

El método DAH está basado en el método de la ITU que es uno de los métodos más empleados para el diseño de sistemas de comunicaciones satelitales. Este modelo fue corroborado, además, para su aplicación en banda Ka utilizando los datos recopilados en los experimentos en Banda Ka realizados con los ACTS. En este modelo se calculan los valores de atenuación con base en la intensidad de lluvia a un nivel de probabilidad de 0.01%. Es aplicable al rango de frecuencias de 4 a 35 GHz y con un rango de porcentajes de indisponibilidad de 0.001% a 10%. Los datos que se requieren para aplicar el método son: latitud de la estación terrena  $\phi$  (grados), altitud de la estación terrena sobre el nivel del mar  $h_s$  (Km), punto de la tasa de lluvia al 0.01% de un promedio anual  $R_{0.01}$  (mm/h), porcentaje de probabilidad de exceso para el cual se va a calcular la atenuación  $p$ , ángulo de elevación  $\theta$  (grados), frecuencia  $f$  (GHz), ángulo de polarización  $\zeta$  (grados) y radio efectivo de la tierra  $R_e = 8500$  Km.

<sup>133</sup> Fuente: Crane, Robert K., "Electromagnetic wave propagation through rain. Wiley series in remote sensing". New York. Wiley, 1996.

Altura de congelamiento durante la lluvia  $h_{fr}$  (Km):

$$h_{fr} = 5 \quad \text{para } 0^\circ \leq \phi \leq 23^\circ$$

$$h_{fr} = 5 - 0.075(\phi - 23) \quad \text{para } \phi \geq 23^\circ$$

Trayectoria inclinada  $L_s$  (Km):

$$L_s = (h_{fr} - h_s) / \text{sen } \theta$$

Proyección horizontal de la trayectoria inclinada (Km):

$$L_g = L_s \cos \theta$$

Se toma la intensidad de lluvia  $R_{0.01}$  (mm/h) excedida para 0.01% de un promedio anual y se calcula la atenuación específica  $\gamma$  (dB/Km) con ayuda de los coeficientes dependientes de la polarización de la frecuencia<sup>134</sup>:

$$\gamma = k (R_{0.01})^\alpha \quad (\text{dB/Km})$$

Se calcula el factor de ajuste horizontal  $rh_{0.01}$  para 0.01% del tiempo:

$$Rh_{0.01} = 1 / (1 + 0.78 (\sqrt{(L_g \gamma / f)} - 0.38(1 - 10^{-(2L_g)})))$$

Donde  $f$  es la frecuencia en GHz

Ahora se calcula la longitud ajustada del enlace  $L_r$  (km) a través de la lluvia:

$$L_r = L_g rh_{0.01} / \cos \theta \quad \text{para } \zeta > \theta$$

$$L_r = (h_{fr} - h_s) / \text{sen } \theta \quad \text{para } \zeta \leq \theta$$

Donde  $\zeta = \tan^{-1} ((h_{fr} - h_s) / L_g rh_{0.01})$

Calcular el factor de ajuste vertical  $rv_{0.01}$  para el 0.01% del tiempo:

$$rv_{0.01} = 1 / (1 + \sqrt{\text{sen } \theta} (31(1 - e^{-0(1-\chi)}) (\sqrt{(L_r \gamma / f^2)}) - 0.45))$$

Donde:

$$\chi = 36 - \phi \quad \text{para } \phi < 36^\circ$$

$$\chi = 0 \quad \text{para } \phi \geq 36^\circ$$

La longitud efectiva  $L_e$  (Km) a través de la lluvia se calcula como:

$$L_e = L_r rv_{0.01}$$

Y la atenuación excedida en 0.01% del promedio anual se obtiene como:

$$A_{0.01} = \gamma L_e \quad (\text{dB})$$

Finalmente la atenuación excedida para otras indisponibilidades en el rango de 0.001% a 10% se estima a partir de la anterior de la siguiente forma:

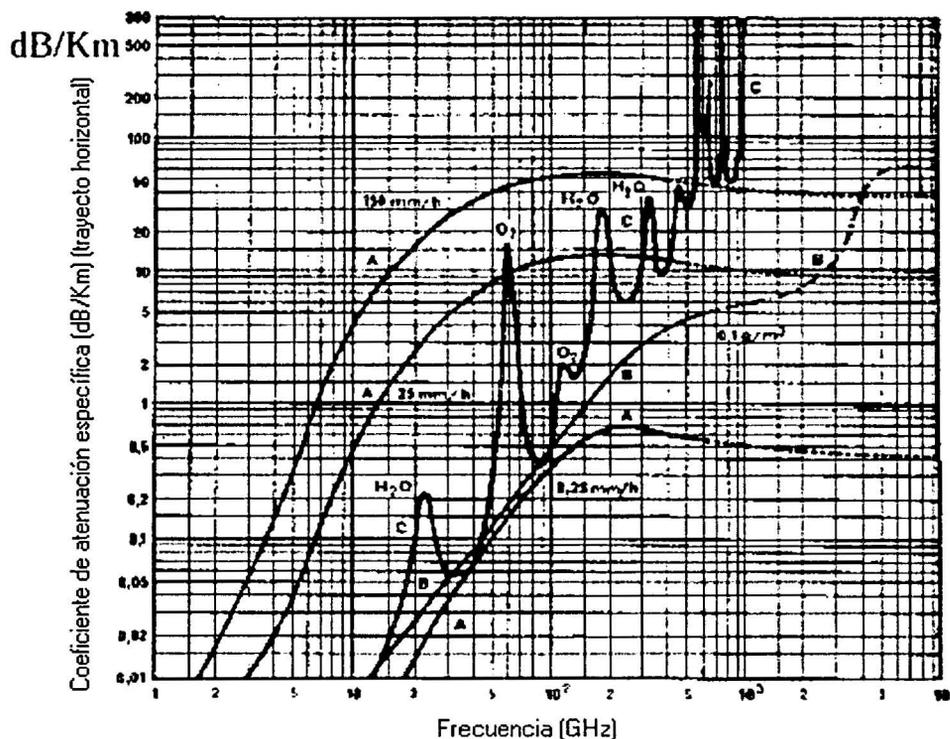
$$A_p = A_{0.01} (p/0.01)^{-(0.655 + 0.033 \ln p - 0.045 \ln A_{0.01} - \text{sen } \theta(1 - p))} \quad (\text{dB})$$

<sup>134</sup> Fuente: ITU Recommendation ITU-R RPN.837, 1995.

Donde  $p$  es el porcentaje de indisponibilidad de interés.

La aplicación de los modelos mencionados anteriormente para el cálculo de los márgenes de atenuación por lluvia se llevarán a cabo en el capítulo IX de este trabajo.

Después de haber realizado un análisis de la atenuación provocada por los principales hidrometeoros que se presentan en la atmósfera, en la figura 7-8 se muestra el comportamiento que tienen cada uno en la misma gráfica para comparar sus efectos.



- A- Atenuación específica de la lluvia.
- B- Atenuación específica de la niebla.
- C- Atenuación por los componentes gaseosos.

**Figura 7-8** Gráfica que compara la atenuación provocada por cada hidrometeoro a distintas frecuencias.

Como podemos observar, la atenuación por lluvia es la más importante a considerar en el diseño de enlaces satelitales en la banda Ka.

### 7.2.2.7 Refracción Troposférica.

Otro aspecto importante que debemos tomar en cuenta y que se produce en la troposfera es la refracción troposférica. Para analizar dicho efecto es necesario tomar en cuenta tres aspectos:

- Índice de Refracción. El índice de refracción es resultado de las características que existen en cierta etapa de la atmósfera. Este parámetro puede variar dependiendo de la cantidad de vapor de agua que se tenga. Es así como los efectos refractivos varían considerablemente con las condiciones meteorológicas y por algunas causas anormales la curvatura de las ondas gradualmente tienden hacia abajo, o tienden hacia arriba. La pérdida de señal debido a la refracción se observa en el cambio de ángulo de llegada debido a que la señal es rotada. Variaciones en la refractividad atmosférica pueden producir multitrayectorias que difieren en el rango de media longitud de onda causando graves desvanecimientos. Fluctuaciones irregulares de escala pequeña en el índice de refracción pueden producir grandes cambios en la fase y la amplitud de las señales, resultando en efectos de centelleo, los cuales reducen significativamente el ancho de banda disponible. Estos efectos pueden incrementarse con el incremento de la frecuencia.

El índice es muy próximo a la unidad, aunque existe una pequeña diferencia que depende de las condiciones atmosféricas:

$$n \approx 1 + (77.6 / T) (P + (4810 P_{\text{agua}} / T)) 10^{-6}$$

$$n(0) \approx 1.000289$$

$$n(1\text{Km}) \approx 1.000250$$

Por comodidad se maneja el COINDICE, definido con tres cifras enteras:

$$N = (n-1)10^{-6}$$

Se considera una ATMOSFERA STANDARD, definida como un valor medio de las propiedades de la troposfera. Existen varios modelos, donde  $h$  (en Km) mide la altura sobre el nivel del mar.

Modelo Lineal (UITR):

$$N(h) = 289 - 39h \text{ unidades N}$$

Modelo Exponencial :

$$N(h) = 289e^{(-0.135 h)} \text{ unidades N}$$

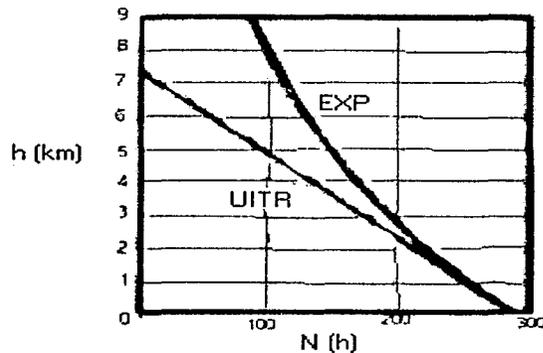


Figura 7-9 Comportamientos del modelo exponencial y el modelo lineal (UITR).

- **Curvatura del Rayo.** La variación del índice de refracción con la altura genera una curvatura de los rayos definida por la ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } (\phi_1) = n_2 \text{ sen } (\phi_2) = \dots = n_i \text{ sen } (\phi_i) = \text{cte}$$

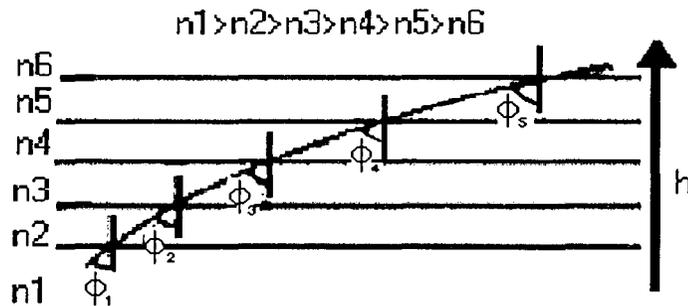


Figura 7-10 Curva que se genera con la variación del índice de refracción.

El radio de curvatura ( $r$ ) del rayo se obtiene diferenciando la expresión anterior y expresando el resultado en función del diferencial de longitud ( $dl$ ).

$$dn \text{ sen } (\phi) + n \cos (\phi) d\phi = 0$$

$$\Rightarrow 1 / r = d\phi / dl = - (1/n) (dn/dh) \text{ sen } (\phi)$$

$$dl = dh / \cos(\phi)$$

- **Radio Equivalente de la Tierra.** Un procedimiento muy extendido en el diseño de radioenlaces consiste en tener en cuenta el efecto de la refracción troposférica modificando el radio de la Tierra ( $a$ ) y suponiendo una trayectoria recta para el rayo.

El nuevo radio  $a'$  se calcula como:

$$1/a' = (1/a) - (1/r) \approx (157 + (dN/dh))10^{-6}$$

$$a = 6370 \text{ Km}$$

$$n \approx 1 ; \text{sen}(\phi) \approx 1$$

$$(dN/dh)_{\text{nivel mar}} \approx -39$$

$$a' = Ka \approx (4/3)a \approx 8490 \text{ Km}$$

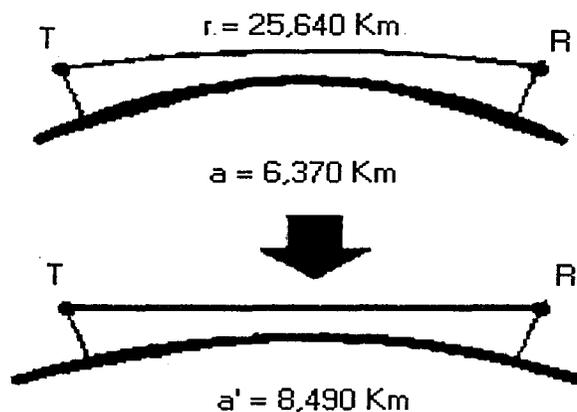


Figura 7-11 Radio equivalente de la Tierra.

Estos tres aspectos son importantes para un cálculo de enlace confiable y poder contar con un diseño de sistema adecuado.

### 7.2.3 Efectos sobre la polarización.

Debido a que los hidrometeoros no presentan una forma no esférica por naturaleza, se da una despolarización de las ondas electromagnéticas. El efecto de polarización cruzada puede ser significativo en comunicaciones donde ambas líneas de polarización son cruzadas. Para los hidrometeoros, el grado de cambio sobre la polarización es dependiente del tipo de polarización incidente como también del tamaño, la forma y la orientación de las gotas de agua. La polarización cruzada debido a la lluvia (ITU-R.PN618) se calcula a partir de distintos parámetros:

atenuación por lluvia para la misma probabilidad, frecuencia, ángulo de elevación, ángulo de polarización.

Al igual que la lluvia, las partículas de hielo también causan despolarización a cierta altura. De la misma manera al contener gotas de agua y partículas de hielo, las nubes también ocasionan despolarización. Igualmente sucede con el granizo y en cualquier otro fenómeno que tenga una gran concentración de partículas de hielo y agua.

### **7.3 Otros factores de propagación.**

Además de los factores que ya hemos mencionado en este capítulo y que resultan ser los más importantes dentro de la propagación de las ondas electromagnéticas y en particular en la banda Ka, existen otros que posiblemente no sean tan importantes pero si requieren de ser mencionados y tener conocimiento de ellos para contar con un mejor diseño de sistema.

Efectos producidos por el cielo despejado como son los conductos de evaporación, reflexión de la lluvia y de las nubes y el ruido térmico, también están presentes en el fenómeno de propagación.

El ruido térmico se produce debido a los gases atmosféricos y las precipitaciones. Por lo general a este ruido se le identifica como ruido de cielo. Este es expresado tanto en términos de temperatura de antena como en una temperatura de cielo. El ruido térmico resulta ser pequeño y finito, limitando la sensibilidad, la cual a su vez puede ser compensada con un receptor más sensible.

Finalmente es necesario mencionar también la atenuación causada por partículas de materia como el polvo y la arena en el aire. Estas partículas provocan efectos de esparcimiento que en realidad son despreciables para las longitudes de onda milimétricas en estudio.

## CAPÍTULO VIII SISTEMAS SATELITALES EN LA BANDA KA.

### 8.1 Introducción.

El crecimiento del Word Wide Web y el Internet, han despertado un especial interés en el uso de sistemas satelitales para proporcionar servicios de datos multimedia. Por lo tanto, esto conduce a que diversas empresas y compañías dedicadas o no a proporcionar servicios de telecomunicaciones en banda ancha, comiencen con el estudio de la banda Ka y la consideren como una ventana más de espectro disponible para dar estos servicios.

El sistema ACTS es el primer satélite con tecnología digital y con capacidad de 1 Gigabit. Este satélite opera en las frecuencias de la banda K y la banda Ka (20 GHz y 30 GHz, respectivamente). ACTS es el satélite pionero de las tecnologías en cuanto a cobertura a través de saltos, además de tener la capacidad de procesamiento y conmutación a bordo.

Localizado en la órbita geoestacionaria, ACTS es el primer satélite con la capacidad de operar con comunicaciones digitales a velocidades comparables con las que se puede tener en fibras ópticas y con una misma calidad de transmisión, ofreciendo también ventajas en cuanto a desempeño y costo. Por lo tanto es una nueva tecnología compatible con las tecnologías de comunicaciones terrestres.

Analizando estas características que el satélite ACTS nos presenta, además de los resultados que arrojaron todos los experimentos y pruebas que a través de éste se realizaron, nos permite depositar toda nuestra confianza en el uso de la banda Ka. Sin lugar a dudas, las características que esta banda presenta son muy atractivas para usuarios y proveedores de servicios. Esto lo vamos a notar en los párrafos siguientes, en los cuales diversos sistemas de comunicaciones satelitales han prontamente gestionado y presionado en cuanto se refiere a concesiones y permisos para aprovechar las ventajas de esta banda.

Observaremos como los sistemas de satélites han hecho uso de las nuevas tecnologías de banda ancha que han surgido al mercado y como las han aplicado en los que se refiere a las constelaciones de satélites que rodean todo el planeta. Esto es muy importante puesto que nos permite entender el panorama sobre las nuevas tecnologías y sistemas satelitales que se encuentran en operación o que en algún tiempo lo estuvieron realizando.

## 8.2 Satélites de Comunicaciones Alemanas

La red de comunicaciones alemana es llamada la Deutsches Fernmelde Satellitensystem (DFS) -Kopernikus. Ésta consiste de dos satélites, uno que esta en respaldo del otro. Ellos son localizados en las órbitas geoestacionarias en las posiciones longitudinales siguientes 23.5°E y 28.5°E. El sistema DFS-Kopernikus ha estado operando desde que se lanzó el segundo satélite en 1992. Se encuentran operando en la banda Ka utilizando las frecuencias 29.58 GHz para el enlace de subida y 19.78 para el enlace de bajada. Este sistema es utilizado para conexiones punto a punto en transmisiones de voz y de datos. El primer satélite fue destinado para pruebas y para recolectar información experimental de la banda Ka en su fase inicial. Los satélites DFS-Kopernikus funcionan no como repetidores regenerativos. Los transpondedores tienen un ancho de banda de 90 MHz, permitiendo una velocidad de datos máxima de 140 Mbps utilizando formas de onda QPSK.

## 8.3 Satélites de Comunicaciones Italianas

La red de comunicaciones italianas, la Red digital de Servicios Integrados (RDSI), incluye a ITALSAT como el principal sistema de comunicaciones italianas. Dos satélites, F1 y F2, fueron lanzados en 1991 y en 1996. F1 fue un satélite experimental con limitadas características operacionales mientras que el F2 si fue en su totalidad un satélite operacional. Ambos satélites están ubicados en la órbita geoestacionaria en las longitudes 10.2°E y 13.2°E, para F1 y F2 respectivamente. Cada satélite contiene tres cargas útiles, dos de las cuales envuelven lo que es la banda Ka exclusivamente, la tercera carga útil para F1 es la carga de propagación. La carga útil de haces múltiples proporciona seis haces para cubrir el largo territorio de Italia. Esta carga incluye seis repetidores regenerativos, uno para cada haz con una velocidad de 147.5 Mbps con un ancho de banda disponible de 110 MHz.

Un sistema de conmutación satelital TDMA (SS-TDMA) es empleado para acceder y enrutar las comunicaciones punto-punto y punto-multipunto dentro y fuera de las regiones de cobertura. Estos seis haces operan para diferentes frecuencias de subida y de bajada. Las frecuencias ocupan rangos de 27.5-30 GHz para enlaces de subida y 18.5-20 GHz para enlaces de bajada.

La forma de onda utilizada es QPSK. La cobertura Global utilizando QPSK, produce un solo haz para toda la extensión territorial italiana. Esto proporciona una operación transparente (no es regenerativo) a través de tres canales, tres transpondedores que pueden operar en cualquier modo, de saturación o linealmente. Los transpondedores tienen la capacidad de 25 Mbps en cada canal y con un ancho de banda de 36 MHz. Las frecuencias de los canales están en el rango de los 29.5-30 GHz para enlaces de subida y 19.7-20.2 GHz para enlaces de bajada.

#### 8.4 Satélites de Comunicaciones Europeas ESA

La Agencia Espacial Europea (ESA) ha estado desarrollando un sistema de transmisión de datos con el propósito de transferir altas velocidades de datos desde un usuario satelital de órbita baja hacia el usuario en la estación terrena. El segmento espacial de transmisión de datos consiste de dos satélites transmisores de datos, DRSs, (Data Relay Satellites) en la órbita geoestacionaria. Sus posiciones longitudinales son seleccionadas de tal manera que puedan proporcionar cobertura sobre todo Europa y maximizar las oportunidades de contacto con satélites de órbita baja.

Un satélite experimental, Olympus, fue lanzado para realizar diversos experimentos y mostrar principalmente el desempeño de la tecnología. En 1992, Olympus fue usado para mostrar la transferencia de datos en ambas direcciones utilizando la banda Ka.

En el año 2000 un satélite preoperacional fue lanzado, Artemis, con la finalidad de transmitir grandes volúmenes de datos científicos. Artemis es un satélite geoestacionario posicionado en una longitud de 16°E. Para la banda Ka tiene tres canales de 250 MHz centrados en las frecuencias de 26.85, 27.10 y 27.35 GHz para transmisión de datos de subida. Dos canales pueden ser usados simultáneamente, cada uno de los cuales tiene velocidades de datos de 100 Mbps con modulación QPSK o 50 Mbps con modulación BPSK. Por lo tanto la velocidad máxima es 200 Mbps.

#### 8.5 Satélites de comunicaciones Japonesas.

Japón tiene una larga historia en experimentos y operaciones en la banda Ka. El satélite CS lanzado en 1977, fue utilizado para desarrollar experimentos y demostraciones de sistemas preoperacionales. El satélite CS-2 lanzado en 1983 tiene limitadas capacidades de operación, sirviendo a compañías de Telégrafos, a Corporaciones Telefónicas y también a organizaciones públicas y gubernamentales.

El satélite CS-3 lanzado en 1988, incorporó mayor número de transpondedores y canales en la banda Ka. Este incremento permitió mayor desempeño del satélite y con esto se logró dar servicio a grandes áreas metropolitanas japonesas. Todos estos satélites fueron lanzados en la órbita geoestacionaria, para diferentes longitudes. Estos satélites el CS-2 y el CS-3 tienen 6 y 10 transpondedores de conmutación a bordo en banda Ka, respectivamente. Cada transpondedor tiene un ancho de banda de 100 MHz soportando una velocidad de datos de 65 Mbps. La modulación es BPSK o FM, dependiendo del tipo de servicio.

Los satélites fueron remplazados por satélites N-Star, lanzados en 1995 y 1996. Estos satélites están localizados en la órbita geoestacionaria, en las posiciones orbitales de 132°E y 136°E. Cada satélite tiene dos cargas útiles en la banda Ka. La carga de haces múltiples tiene 8 enlaces de subida y 3 enlaces de bajada cubriendo todo el territorio japonés. Cada enlace, de subida o de bajada tiene dos canales con ancho de banda de 200 MHz, utilizando diferentes frecuencias. Las frecuencias de los enlaces de subida y de bajada están en el rango de 28.305--30.425 GHz y 18.505--20.145 GHz, respectivamente. La carga útil de los haces múltiples proporciona comunicaciones SS-TDMA con conmutación a bordo. La otra carga útil, que consiste de un transpondedor, cubre con un solo haz al territorio de Japón, utilizando 5 transpondedores con un ancho de banda de 100 MHz. Las frecuencias de los enlaces de subida y de bajada de este haz se encuentran en los rangos de 27.575-28.155 GHz y 17.775-18.355 GHz, respectivamente.

Otro sistema de comunicaciones japonés emplea los satélites Superbird. Los dos satélites que están en operación fueron lanzados en la órbita geoestacionaria en el año de 1992, para las longitudes de 158°E y 162°E. Múltiples alimentadores generan un haz que toma la figura aproximada del territorio japonés. Otro alimentador genera una haz para Tokio. 10 transpondedores con anchos de banda de 100 MHz son empleados en la banda Ka. Las frecuencias de los enlaces de subida y de bajada se encuentran en el rango de 27.5-30.0 GHz y 17.775-19.315 GHz, respectivamente.

### 8.6 Astrolink

El Sistema Astrolink propuesto por Lockheed Martin empleará nueve satélites geoestacionarios en cinco posiciones orbitales diferentes, así como se ilustra en la figura 8-1. La capacidad Total de cada satélite es de 7.7 Gb/s, pero colocando dos satélites en la misma posición orbital y operando con polarización ortogonal, una capacidad total de 15.4 Gb/s es dirigida sobre las Américas, sobre Europa y Asia, véase la figura 8-2. Enlaces cruzados entre satélites operando a 60 GHz proporcionan promedios de tráfico de ruteo alrededor del planeta y cada enlace tiene una capacidad de 1 Gb/s.

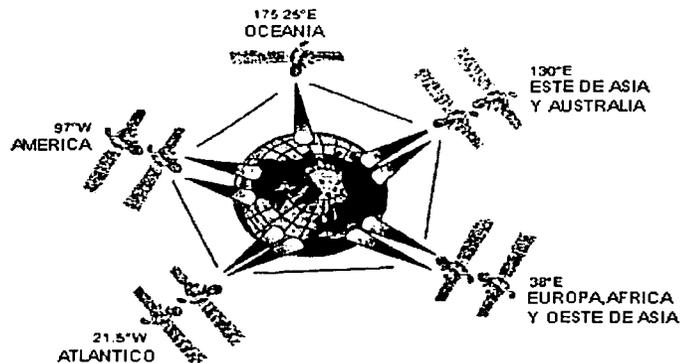


Figura 8-1 Constelación del sistema Astrolink

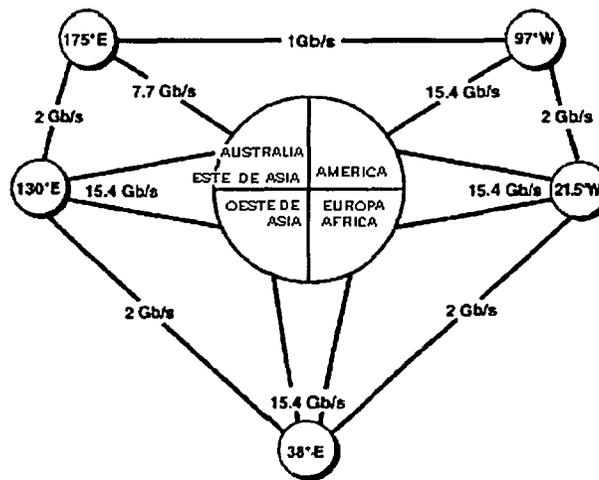


Figura 8-2 Posiciones orbitales del sistema Astrolink

En su original diseño, Lockheed planeo usar un sistema de 64 haces de cobertura en forma de saltos para proporcionar una cobertura global. En un siguiente rediseño, 80 haces fijos de enlace de subida son formados usando arreglos de fase activos que soporte usuarios. Los haces son asignados a un ancho de banda adecuado para soportar tráfico en el rango de los 20-330 Mb/s. Estos canales están sujetos a un análisis de división de frecuencia para seleccionar cada portadora, la cual es entonces demodulada y decodificada. Un switch de paquetes rutea los paquetes hacia un canal apropiado de enlace de bajada, donde estos son multiplexados junto con otros paquetes destinados para el mismo haz o para los enlaces entre satélites. Los paquetes son entonces re-codificados y modulados sobre una portadora. Hasta 52 haces de enlace de bajada "fijos o saltos" pueden liberar tráfico para cada usuario en los 80 haces de enlace de subida. Hasta 16 de esos haces son polarizados en forma dual y son capaces de liberar dos veces más el tráfico para las regiones que ellos están cubriendo.

Astrolink propone equipar a los usuarios con terminales que empleen antenas de 65, 85 y 120 cm de diámetro, las cuales pueden ser operadas con niveles de potencia en el rango de 0.25-10 W, a velocidades en el rango de los 16 kb/s-9.216 Mb/s (con grandes antenas y altas potencias, las tasas de transmisión serían altas). Estas terminales se interconectarían con las redes terrestres conmutadas por medio de un puerto de acceso local empleando antenas con diámetro de 2.4 o 4.5 m y una potencia de hasta 200 W. Este último podría tener tasas de transmisión en el rango de los 50-150 Mb/s.

El sistema Astrolink probablemente se presume que sería construido en etapas, con solo un satélite inicialmente localizado en un espacio de una órbita. Aún así, cada satélite sería grande y esto representa una considerable inversión.

### 8.7 Cyberstar

En contraste con otros, el sistema Cyberstar propuesto por Loral representa un sistema de bajo costo con menos riesgo al introducirse al mercado. Loral propone lanzar tres satélites geoestacionarios con la finalidad de alcanzar cubrir grandes centros de población del planeta. Le han sido asignadas las siguientes posiciones orbitales: 28°E, 105°E y 115°W. Loral originalmente había propuesto satélites con 27 haces de radiación interconectados a través de un procesador a bordo, sus planes parecieron haber cambiado y ahora se cree que están aspirando a satélites de tamaño considerable con alrededor de 72 haces de radiación operando a altas potencias. Estos grandes satélites generarán más de 16 kW de potencias en sus 10 años de su vida útil. La capacidad total esperada por estos satélites se espera que sea del orden de los 9 Gb/s.

Loral aparentemente ha realizado muchos esfuerzos considerables para el diseño del sistema Cyberstar. De cualquier manera, su reciente adquisición de satélites AT&T, Orion y los satélites Mexicanos provocarán que se posponga la construcción de Cyberstar hasta que éste desarrolle nuevos negocios con los bienes y recursos existentes.

### 8.8 Galaxy/Spaceway.

Hughes ha propuesto construir una flotilla de satélites geoestacionarios para un sistema llamado Galaxy/Spaceway. Esta supuesta constelación consistirá de 21 satélites en 16 posiciones orbitales. La porción Spaceway de este sistema se parece a lo propuesto por Lockheed Martin en Astrolink, en el que como ya se comentó consiste en nueve satélites colocados en cinco posiciones orbitales con enlaces inter-satélites entre cuatro de ellos.

Hughes pidió permiso y le fue concedido lanzar dos satélites en banda Ka en cada una de las siguientes posiciones: 101°W, 99°W, 49°W, 25°E y 111°E, así como también un solo satélite en 36°E, 40°E y 164°E. Hughes también requirió permiso para lanzar un satélite híbrido en las bandas Ku/Ka en las posiciones 36°E, 40°E, 124.5°E, 149°E, 173°E y 67°W. El permiso para operar satélites en banda Ka para estas posiciones orbitales le fue concedido. Hughes ha asegurado el permiso para operar 20 satélites en 15 posiciones orbitales, haciéndolo potencialmente el propietario de una grande flotilla de satélites geoestacionarios en la banda Ka

### 8.9 GE \*Star

Como Lockheed Martin y Hughes, GE Americom Communications, ha propuesto un sistema de nueve satélites GEO ocupando cinco posiciones orbitales. GE Americom está interesado en comprar satélites que cada uno produzca 44 haces de cobertura para transmisión y para recepción, operando con un patrón de re-uso de frecuencia que puede ser utilizada cuatro veces. Las señales recibidas en estos haces son separadas por medio de filtros, el resultado son seis sub-bandas de 24 MHz para regiones con mayor tráfico (24 haces) y tres sub-bandas de 24 MHz para regiones

con menor tráfico (20 haces). Cada una de las 204 sub-bandas es entonces procesada en banda base para recuperar las cadenas de bits digitales, las cuales son enrutadas hacia el haz apropiado de enlace de bajada. Los haces del enlace de bajada operarían a 40 Mb/s, con un valor del PIRE en el centro del haz de, 54 o 51 dBW para regiones con mayor tráfico y 51 dBW para regiones con menor tráfico.

GE Americom no ha intentado procurar el mercado de las terminales terrenas, pero planea trabajar con empresas manufactureras para así asegurar que las terminales producidas sean compatibles con sus sistemas satelitales. Terminales con antenas de tamaño de 75 y 150 cm son propuestas, operando a 1 W y logrando velocidades de 384 Kb/s y 1.544 Mb/s, respectivamente.

### 8.10 Morning Star.

La compañía satelital Morning Star, L.L.C., de Washington D.C. ha propuesto un sistema de cuatro satélites GEO diseñados para regiones del Norte de América, Europa y Asia. Morning Star aseguró posiciones orbitales en 147°W, 62°W, 30°E y 107.5°E. Así como el propósito de Hughes Galaxy, Morning Star propone usar satélites híbridos en las bandas Ku/Ka, pero solo ha sido autorizado para operar con la porción de banda Ka. Como originalmente se propuso, cada satélite empleará hasta 10 receptores operando en los 30 GHz y combina su tráfico dentro de un solo haz de enlaces de bajada a 20 GHz hacia un puerto de acceso local como estación terrena. Éste puerto de acceso local enviaría señales de subida en los 30 GHz, los cuales serían separados y transmitidos por medio de haces de cobertura para los 12 GHz (banda Ku). Mientras el uso de la banda Ku no sea autorizado, este arreglo tendrá que ser modificado.

Los satélites Morning Star emplean transpondedores con la característica de translación-frecuencia sin procesamiento a bordo. Esto, junto con la ausencia del re- uso de frecuencia, limita su capacidad a 0.7 Gb/s. El diseño es único, la conectividad puede ser provista de un haz hacia otro haz, pero requiere dos transmisores a través del satélite (lo que se conoce como doble salto). Este es un desperdicio de los recursos del satélite, pero se cree que Morning Star planea principalmente ofrecer servicios de películas y de Internet, ambos se originarían en el puerto de acceso local de las estaciones terrenas.

### 8.11 Teledesic

Un sistema LEO fue escogido por Teledesic ya que se encontró que grandes velocidades de datos eran incompatibles con el retardo que se presenta con las distancias de un sistema geoestacionario. Además, para mitigar el desvanecimiento de la lluvia, el servicio destinado a un área de cobertura de cada satélite se limitó a un cono de +40° y -40° alrededor del nadir. Esto entonces aumentó a 840 el número de satélites necesarios para tener una cobertura global. Cada satélite en el sistema fue capaz de enlazarse con sus ocho vecinos cercanos y emplea antenas con arreglo de fase para tener una cobertura en forma de células y de esta manera distribuir adecuadamente el tráfico.

El sistema Teledesic es actualmente examinado con el fin de obtener un efectivo rediseño de tal manera que el número de satélites sea reducido a 288 o menos. Además, esto parecería que Teledesic ha abandonado la idea de servir a miles de consumidores, quienes necesitan de solo una modesta tasa de transmisión para conectarse al Internet. Lo que actualmente Teledesic intenta, es interconectar proveedores de servicios de Internet (ISPs) a velocidades muy grandes.

Teledesic probablemente seguirá siendo de los sistemas satelitales más avanzados, y con 288 satélites resultará ser muy caro. Dado el gran número sistemas competentes a Teledesic, es posible que se realizarán cambios en el diseño o en el número de satélites con el fin de reducir gastos en inversión e incrementar modificaciones en el financiamiento del sistema.

### 8.12 @ Contact

Un sistema que consiste de 16 naves espaciales en órbitas circulares intermedias a 10 600 km de altitud (periodo de 6 h) es propuesto por @ Contact. Los satélites serán desplegados en cuatro satélites por plano, estos serán planos inclinados a  $65^\circ$  con respecto al ecuador e igualmente espaciado en longitud geográfica. Esto permite que se ofrezcan servicios sobre intervalos de latitud  $\pm 65^\circ$  aproximadamente. @ Contact propone usar bandas de frecuencia de 500-MHz en GSO FSS banda Ka, también una banda igual en la ventana NGSO y 100 MHz en la banda para la cual MSS ha sido autorizada. Enlaces entre satélites serán incluidos operando en la banda V (60GHz). Cuatro enlaces intersatelitales son tomados en cuenta para cada satélite con su vecino más cercano en un plano y en plano cruzado.

Cada uno de los 16 satélites llevará dos antenas con 61 haces a los cuales @ Contacts llama "MBA cluster". Estos son dirigidos de acuerdo con el lugar que se pretenda dar el servicio por medio de haces fijos. Dos vías de entrada para evitar interferencia con los Satélites GSO son propuestas. Una es conmutar operaciones hacia otro satélite tomando en consideración que un satélite en órbita circular intermedia pasa enfrente de él arco de la órbita geoestacionaria. La segunda envuelve la conmutación de frecuencia de las bandas FSS hacia las bandas MSS.

Los 61 haces formados por cada una de las antenas son operadas con polarización ortogonal de uno a otro y crean haces que son de  $2.5^\circ$  en extensión angular. Puesto que un arreglo de fase es contemplado, el escaneo de los haces será limitado  $\leq 20^\circ$  desde un eje mecánico del arreglo, esto para minimizar las pérdidas.

El plan de frecuencia implica la división de cada segmento de 500-MHz en siete segmentos de 70.7 MHz, los cuales cada uno de ellos se asigna a cada haz de radiación. Las frecuencias son re-usadas en haces separados de uno a otro a través de anchos de bandas. Estos canales son enrutados hacia un procesador en banda base.

### 8.13 Hughes – SE

Hughes ha puesto su confianza en un sistema llamado "SE", el cual consiste de ocho satélites geoestacionarios y es dirigido para completar el sistema Expressway para el cual Hughes recibió una licencia en Mayo de 1997. SE proporcionará servicios a altas velocidades por encima de 155 Mb/s, con alta disponibilidad (99.99 %), utilizando antenas de 3.5 m y diversidad de sitios. Hughes propone que los ocho satélites sean colocados dos por órbita para 26.2 °W, 69°W, 117°W y 99° E.

SE es planeado como un sistema satelital tipo "Troncalizado". Cada satélite emplea dos reflectores parabólicos con arreglos de multicornetas, cada una de ellas produce 16 haces de transmisión y 16 haces de recepción para un total de 32 (polarización dual). Estos haces aparecen para ser seleccionados de un total de 64. Cada haz del enlace de bajada es capaz de soportar seis ráfagas de bits a 155-Mb/s multiplexados por división de tiempo, en canales de 250 MHz. Los canales correspondientes para la subida son para frecuencias en el rango de los 27.975 a 29.875 GHz. Para el receptor, dos bancos de filtros de entrada son utilizados para seleccionar los seis canales para cada uno de los 64 haces posibles. Estas señales son aplicadas a la matriz de conmutación de microondas 64 x 64, esto para enrutar el tráfico hacia 128 convertidores de subida, los cuales manejan dos multiplexores de salida.

Una combinación de acceso TDMA, saltos de frecuencia y diversidad de polarización permite el acceso a las estaciones terrenas de hasta 6 de los haces transmitidos. La capacidad total de un sistema es por lo tanto 64 x 6 x 155 Mb/s o mejor dicho 59.5 Gb/s.

La carga útil será construida en la nave espacial HS 702, la cual esta diseñada para tener un tiempo de vida de 15 años con una potencia de 15 kW. Éste sistema satelital se espera que tenga un costo de \$2.3 billones de dólares. Cada terminal empleará antenas de 3.5 m de diámetro con amplificadores de tubo de ondas progresivas de 50 W.

### 8.14 Hughes –SNGSO<sup>135</sup>

Este sistema es similar al sistema @Contact, en lo que se refiere a los satélites con periodo de 6-h en órbitas circulares intermedias y con una altitud de 10352 km. Estos satélites serán desplegados cinco en cada uno de los cuatro planos igualmente separados alrededor del Ecuador e inclinados a 55°. Esto permite coberturas hasta  $\pm 80^\circ$  de latitud en todo tiempo por medio de al menos un satélite. Dos satélites pueden estarse observando más del 90 por ciento del tiempo con una latitud de 75°, evitando interferencia con satélites geoestacionarios por medio del enrutamiento del tráfico a través del satélite más lejano del arco de la órbita geoestacionaria. Las comunicaciones entre los satélites se realizará por medio de cuatro láser ópticos.

<sup>135</sup> SNGSO. Sistema Satelital de órbita no geoestacionaria

El sistema SNGSO operará sobre 500 MHz de las bandas FSS (18.8 –19.3 GHz para el enlace de bajada y 28.6–29.1 GHz para el enlace de subida). SNGSO es destinado para dar servicio a terminales de muy pequeña apertura (VSATs) con tamaños de antenas de 32 x 32 cm para velocidades de hasta 2 Mb/s con potencia de 4 W y 52 x 52 cm para velocidades hasta 10 Mb/s con potencia de 6 W.

Los paquetes destinados para cada haz son producidos por el procesador en banda base en una ráfaga TDM a 104 Mb/s y el total del desempeño para un solo haz es 360 Mb/s. Los 20 haces son formados por arreglos de radiación directa (dos para transmisión y dos para recepción). Cada par de arreglos transmisión/recepción forman 10 haces para cada una de las dos polarizaciones. Hughes demanda un re-uso de frecuencia multiplicado por 20.

### 8.15 Motorola –Celestri

Motorola originalmente propuso un sistema en banda Ka llamado "Millenium", mediante un único subsidiario (Comm, Inc). Este sistema daría servicio a Estados Unidos, Centro y Sur de América desde órbitas geoestacionarias. Subsecuentemente, Motorola se inclina por un nuevo sistema conocido como " M-Star" que usaría enlaces de subida en banda "V" y enlaces de bajada en banda Q.

Existe un tercer proyecto en el cual Motorola ha propuesto un sistema conocido como Celestri, el cual representa una fusión de los dos sistemas mencionados anteriormente. Celestri empleará 63 satélites LEO en banda Ka a 1400 Km de altura. Los satélites M-Star operando encima de la banda Ka utilizaría arriba de 3 GHz de ancho de banda, lo que permite el sistema troncalizado entre las estaciones terrenas. Es así como se supone que las cargas útiles de la banda Ka y la banda V podrían ser combinadas en los 63 satélites LEO del sistema Celestri. El sistema esta diseñado para ofrecer a los suscriptores alta velocidad en la transmisión de datos (de 64 Kb/s a 155 Mb/s) y con estas consideraciones convertirse en un cercano competidor con el Sistema Teledesic.

La porción de Banda Ka y banda V de los satélites Leo en el sistema Celestri empleará 9 satélites distribuidos en 7 orbitas planas inclinadas a 48° del ecuador. Con este arreglo, cada satélite es visible arriba de 16° de elevación el 100% del tiempo en todas las latitudes arriba de 60° , y dos satélites son visibles al menos el 90% del tiempo arriba de 55 ° de latitud. Cada satélite tendrá 432 haces de bajada y 260 de subida en banda Ka. Este gran número de haces permite el re-uso de la frecuencia hasta 35 veces utilizando una agrupación de 7 células.

Los enlaces intersatelitales ópticos, mecánicamente guiados permitirán la conexión a los 6 satélites más cercanos. Cada satélite tendrá la capacidad de soportar hasta 1.83 Gb/s. El máximo demandado sobre un grupo sencillo de 7 células puede variar entre 0.23 y 0.34 Gb/s, dependiendo de la cantidad de terminales que acceden al satélite. El anunciado costo del Sistema Celestri (12.9 billones de dólares) lo hace él más caro de los sistemas propuestos.

El proyecto de Motorola trajo fuertes objeciones por parte de Teledesic, la cual reclamaba que no será posible operar 2 sistemas Leo en la banda Ka sin interferencia mutua. Sin conceder este punto, Motorola subsecuentemente anunció que se estaba uniendo a Teledesic en la construcción de la licitación del Sistema en banda Ka.

### 8.16 PanAmSat

PANAMSAT ha solicitado autorización de lanzar y operar 6 satélites geoestacionarios en banda ka. Estos serán colocados con previa autorización dentro del arco de 45° W a 169° E.

PANAMSAT propone satélites que proporcionan 12 huellas independientes con la capacidad de ser reposicionadas para cubrir cualquier masa de tierra visible en el planeta. Los anchos del haz serán de 1° y 3° y serán seleccionadas antes de enviar para igualar cargas de tráfico esperados. Cada rayo puede ser operado en cualquier polarización vertical u horizontal. Cada satélite será equipado con 24 transpondedores en banda Ka teniendo una frecuencia de separación de 60 MHz y 54 MHz de ancho de banda utilizable. El ruteo entre rayos o haces será llevado a cabo con una matriz de conmutación de microondas (MSM), aparentemente sin ningún filtro adicional que subdivida el tráfico. Cada transpondedor es capaz de llevar tráfico del usuario a una gran variedad de rangos arriba de 51.2 Mb/s. La capacidad total es entonces de aproximadamente 1.22 Gb/s.

Los satélites serán equipados con operadores ISL en cada banda Ka o banda V. El acceso a estos es presumiblemente vía el MSM.

Estos satélites intentan proporcionar una gran variedad de servicios para los usuarios, en competencia con INTELSAT y otros sistemas existentes.

### 8.17 SkyBridge.

Este será denominado el Alcatel-Alsthom de Francia, el cual solicita a la FCC para lanzar 64 satélites LEO operando en la banda Ku en las frecuencias determinadas en el apartado de la FSS para satélites geoestacionarios. Skybridge II requirió el permiso para construir y lanzar 96 satélites LEO operando en banda Ka. Los satélites a 1468 Km de altitud, están organizados en 2 subconstelaciones (6 satélites en cada uno de los 8 planos) que están cambiando uno respecto al otro, causando que los satélites estén cruzando el cielo en pares. Interferencias con satélites geoestacionarios son evitadas mediante la selección adecuada del satélite de cada par que descansa fuera de la zona exclusiva alrededor del arco de la orbita geoestacionaria.

Los planos de las órbitas serán inclinados a 55° respecto al ecuador proporcionando cobertura entre 70°N y 70°S. Estos arreglos permiten visibilidad continua entre los 28° y 68° de latitud. Un enlace esta abajo siempre y cuando cualquier estación terrena involucrada pudiera requerir de apuntar dentro de un margen de  $\pm 7^\circ$  del arco

de la órbita geoestacionaria o debajo de 15° de elevación. El Skybridge II está diseñado para proporcionar el Sistema troncalizado a alta velocidad entre comunicaciones terrestres localizadas en cualquier parte del mundo y una misión de servicio similar que el de Skybridge. Los enlaces de Sistema Troncalizados son establecidos entre estaciones de tránsito terrenas operando bidireccionalmente a 800 Mb/s. Los servicios de enlace para usuarios cuentan con un ancho de banda en rangos arriba de 60 Mb/s al usuario y 6 Mb/s en la trayectoria de salida. Skybridge II puede operar arriba de 1.25 GHz en el espectro de la banda Ka.

La arquitectura del Skybridge II es similar a la propuesta original del Skybridge. Cada satélite puede desplegar como 50 huellas contiguas, cada una iluminando células de 400 km de diámetro sobre la tierra, con la totalidad del área proporcionada por el satélite teniendo un diámetro de 5180 km. Estas huellas son formadas por un arreglo de antenas que realizan un escaneo electrónico, permitiendo que las huellas permanezcan sobre un objetivo de área de servicio que esté sobrevolando el satélite. Doce de las huellas (designado "huellas de tránsito") pueden ser direccionadas a cualquier lugar dentro de la región de 5180 Km y ser utilizados para establecer enlaces hacia las estaciones que transita, de las cuales podría haber 4 por cada 5180 km de diámetro. Cada una de las 12 huellas de tránsito pueden ser operadas en ambos sentidos de polarización, el rango de tráfico entregado a cada salida en particular (puerto de acceso local), que puede ser incrementado mediante la asignación de ambas polarizaciones a ese enlace. Similarmente, desde que las estaciones de tránsito emplearán dos antenas, ellas pueden incrementar sus rangos de accesos del sistema mediante el enlace con dos satélites que están en el campo de vista. Los enlaces de tránsito entre ellos ocupan 500 MHz del espectro disponible. Las 12 huellas de tránsito están interconectadas mediante un procesador a bordo, el cual también proporciona conexiones a cuatro ISL's ópticos.

Las terminales de los usuarios pueden solamente acceder a un puerto local que está en la misma huella satelital (por ejemplo dentro de los 200 km del radio iluminado por cada huella). Este es el mismo arreglo "conmutación de haces" propuesto por Skybridge y requiere que el puerto de acceso local esté localizada dondequiera que exista una comunidad de usuarios. Las terminales de los usuarios acceden a los puertos de acceso local con 250 MHz del espectro, y estos puertos pueden responder a 500 MHz, reflejando la asimetría anticipada del tráfico.

### 8.18 WildBlue<sup>136</sup>

WildBlue es una compañía que planea dar un servicio económico de acceso a Internet de alta velocidad por satélite a los hogares y a las pequeñas oficinas sin tomar en cuenta sus ubicaciones en los Estados Unidos y Canadá para el año 2003. Esta innovadora compañía fue fundada para acelerar el acceso a clientes a los servicios de banda ancha.

---

<sup>136</sup> [www.wildblue.com](http://www.wildblue.com)

WildBlue fue fundada como KaSTAR Satellite Communications en Colorado, abril de 1995. En mayo de 1997, la FCC (Federal Communications Commission) asignó a WildBlue la licencia para servicios fijos por satélite en la banda Ka, en las posiciones orbitales: 73°W y 109.2°W, ambos en la órbita geoestacionaria. WildBlue también posee la concesión del 90% de la capacidad comercial en banda Ka sobre el satélite Telesat ANIK F2 en la longitud 111.1°Oeste. La primera fase del sistema de WildBlue, incluirá el despliegue de un satélite para cada una de las posiciones asignadas, las cuales darán cobertura a todo norte, centro y sur de América.

WildBlue ha seleccionado Loral Space System como el principal contratista satelital para la construcción del primer satélite, que ha sido llamado Wildblue -1, el cual será un avanzado satélite con haces en banda Ka, con cobertura en América.

Los satélites del sistema WildBlue se enlazarán con las PCs para dar acceso a Internet de alta velocidad, por lo que sólo bastará colocar el equipo de WildBlue para que la velocidad de la conexión del hogar o de la oficina sea 50 veces más rápida que la proporciona un Módem comercial de 56 K. Para dar un acceso a Internet de alta velocidad sin ningún problema en donde quiera que uno viva o trabaje. Wildblue utilizará un gran número de huellas satelitales en lugar de una simple huella de cobertura continental.

### 8.19 Hot Bird 6<sup>137</sup>

En octubre de 1999, Eutelsat ordenó a Alcatel Space la construcción del último satélite de la serie Hot bird, el HOT BIRD 6. Éste tendrá un total de 32 transpondedores activos. Veintiocho de esos transpondedores operarán en la banda Ku y los cuatro restantes en la banda Ka.

Los objetivos de Hot Bird 6 son:

- Proveer un respaldo completo de la capacidad del Hot Bird 5.
- El proveer cuatro canales adicionales en la banda de 10.70 –10.95 GHz. Las frecuencias de esos canales son las correspondientes frecuencias de los canales del Hot Bird 4 para el enlace de bajada y para el enlace de subida se realiza en la banda de 13.75 – 14.00 GHz. Esos cuatro canales pueden ser utilizados como un respaldo de la capacidad de los canales del Hot Bird 4 sobre el territorio Europeo, o bien, como una capacidad extra.
- Proveer cuatro nuevos canales en la banda Ka, teniendo para el enlace de subida la banda correspondiente de 29.50 – 30.00 GHz y la banda de 19.70 – 20.20 GHz para el enlace de bajada. Esos canales pueden ser operados tanto en modo transparente o conectados a una unidad de Skyplex. En modo transparente esos canales ofrecen un ancho de banda de 72 MHz, mientras que cuando se opera con una unidad Skyplex el ancho de banda en la bajada es de 33 MHz.

<sup>137</sup> [www.eutelsat.com](http://www.eutelsat.com)

La cobertura de recepción en la banda Ka está formada por un grupo de cuatro haces elípticos, cada uno de ellos conectado a uno de los cuatro canales en la banda Ka en el enlace de subida. Por otro lado, los cuatro canales son conectados a una cobertura común para el enlace de bajada.

El Hot bird 6 es construido por el consorcio internacional Alcatel Space de Francia, quién es el principal contratista e incluye a DASA de Alemania y Alenia Aerospazio de Italia como los principales sub-contratistas. Alcatel Space proveerá varias plataformas de subsistemas así como también la integración del satélite, las pruebas y supervisión de las actividades en el sitio de lanzamiento. DASA manufacturará el arreglo solar, además de los subsistemas de control y propulsión. Alenia Aerospazio manufacturará la parte de RF de subsistema TCR y las unidades Skyplex. Loral Space System proveerá el repetidor de comunicaciones. El satélite está basado en una estabilización de tres ejes y con una plataforma: SPACEBUS 3000.

### 8.20 Anik F2<sup>138</sup>

En los últimos años la línea que buscan los sistemas satelitales es extender los servicios de Internet a todas las áreas, incluyendo las que ya poseen este servicio. En este sentido, el sistema Anik F2 en banda Ka ofrecerá conexiones digitales de alta velocidad, en las dos direcciones, tanto de subida como de bajada a lo largo de Norte de América. El sistema Anik F2 dará servicios a un gran número de usuarios con un bajo costo en las terminales pequeñas así como también en los precios de conexión.

Siguiendo con los avances tecnológicos por un lado y por otro lado la demanda pública de accesos rápidos y de bajo costo a información multimedia, los proveedores de servicios de telecomunicaciones, incluyendo las compañías telefónicas, de cable y de satélites están haciendo esfuerzos por ayudar a crear el camino para la construcción de la super carretera de la información. La última meta de esta revolución de la información es el asegurar que todo el mundo tendrá acceso de alta velocidad a Internet en todo tiempo y en todo lugar y con un costo razonable. Con ese fin los satélites están singularmente calificados para asegurar acceso universal a los hogares, negocios, clínicas, centros comunitarios, librerías y escuelas en áreas donde los costos de instalación de redes digitales de banda ancha, resultan muy elevados.

Se planea lanzar el Anik F2 a finales del año 2002 en la posición orbital de 111.1 latitud oeste de la órbita geoestacionaria. Éste satélite contará con un equipo capaz de trabajar en las bandas C, Ku y Ka. Su principal función será el proporcionar acceso a Internet y servicios multimedia con una gran calidad de servicio y con una conexión a alta velocidad.

<sup>138</sup> C. Sanchez Hugo, H Bautista Horacio. " Cálculos de enlace y atenuación por lluvia para comunicaciones por satélite en la banda Ka para México" Cd. Universitaria 2001. Facultad de Ingeniería, UNAM.

## **8.21 Grupo SES: Comunicaciones en Banda Ancha por Satélite con cobertura global.**

Grupo SES: Comunicaciones en Banda Ancha por Satélite con cobertura global. El Grupo SES gestiona una amplia red de servicios y comunicaciones en banda ancha por satélite y sin interrupciones, proporcionando a sus clientes cobertura mundial. Con sede en Luxemburgo, Societé Eurpénne des Satellites (SES) opera el sistema de satélites ASTRA, líder en Europa. Además, es accionista de Nordic satellite AB, AsiaSat y Star One, operadores líderes en su ámbito de influencia.

El Grupo SES pretende convertirse en el principal proveedor mundial de servicios de comunicaciones en banda ancha por satélite. La actividad de SES se centra en proporcionar acceso a una gran variedad de canales de TV y radio, a los entornos multimedia más variados y diversificados, a una infraestructura de comunicaciones bidireccionales más eficiente y económica para empresas usuarias y además se encarga de suministrar todo tipo de equipos de fácil utilización en recepción vía satélite.

Con el fin de proporcionar conectividad global, SES es además accionista de los principales operadores de satélites del mundo. De este modo, mediante una red que enlaza los satélites europeos ASTRA y Sirius con los de Brasilsat en Latinoamérica y con los de AsiaSat en Asia, SES consigue establecer una conectividad global sin interrupciones.

### **8.21.1 SES S.A. El sistema de Satélites ASTRA.**

En Europa, ASTRA, que constituye el núcleo del negocio de SES, es el sistema de satélites europeo líder en recepción directa al hogar (DTH). ASTRA opera en las posiciones orbitales a 19.2°E y a 28.2°E. Uno de cada dos hogares europeos con TV recibe ASTRA ya sea directamente por satélite o por cable. ASTRA ofrece más de 1000 canales de TV y Radio de alta calidad. Fiel a su tradición innovadora, SES se ha convertido en la empresa pionera en el desarrollo de la transmisión y multidifusión de servicios multimedia para empresas y consumidores. Desde 1998, la plataforma de servicios ASTRA-NET, que opera a través de la filial SES multimedia, promueve los servicios multimedia en banda ancha en los distintos mercados. Además, a través del Sistema interactivo de Banda Ancha (Broadband Interactive System, BBI), SES ofrece comunicaciones bidireccionales en banda ancha por satélite directamente a terminales de PC. Utilizando frecuencias en la banda Ka.

### **8.21.2 Nordic Satellite AB – Los satélites Sirius.**

SES participa con un 50 % del capital en Nordic Satellite AB (NSAB), compañía que opera los satélites Sirius, que proporcionan en Europa soluciones de comunicación flexibles y con una buena relación costo-eficacia para la difusión de TV y radio, así como para la transmisión de servicios multimedia e Internet.

Los satélites Sirius de NSAB operan en las posiciones orbitales 4.8°E, 5°E y 13°W.

### **8.21.3 AsiaSat Satellite Telecommunications Holdings Ltd. Los satélites ASIASAT.**

SES es un socio estratégico de AsiaSat, con una participación del 34.1% de su capital. Creada en 1988 y con sede en Hong Kong, AsiaSat es el primer operador privado de satélites en Asia. La flota de AsiaSat proporciona capacidad de transpondedores de alta calidad a una gran variedad de empresas de telecomunicaciones y canales de TV y radio en el amplio continente Asiático.

Más de 50 empresas privadas procedentes de todo el mundo y dedicadas a la transmisión de canales de TV y radio operan a través de AsiaSat, el sistema de satélites que ofrece, tanto en analógico como en digital, más de 100 canales de TV y 90m de radio que llegan a un total de más de 82 millones de hogares en la zona Asia/Pacífico. AsiaSat proporciona también una variedad de servicios de telecomunicaciones, como redes de telefonía públicas, redes privadas VSAT, Internet de alta velocidad y servicios multimedia. Los satélites de AsiaSat operan en las posiciones orbitales a 100.5°E, 105.5°E y 122°E.

En Hong Kong se instaló una plataforma ASTRA-NET de servicio multimedia que proporciona transmisión y multidifusión de servicios multimedia a toda la zona de cobertura geográfica de AsiaSat.

### **8.21.4 Star One S.A. Los satélites de Brasilsat.**

SES es accionista del 19.99% del capital de Star One S.A que opera los satélites Brasilsat, el sistema de satélites más grande de Latinoamérica. Proporciona capacidad para la transmisión de canales de TV y radio a las plataformas de TV de pago, a importantes grupos corporativos, a entidades financieras, a compañías de telecomunicaciones y petroleras, así como también a la industria. La penetración de Brasilsat supera los 7 millones de hogares de Brasil.

Además de las redes públicas de telecomunicaciones, redes corporativas y compañías audiovisuales, Star One está iniciando el desarrollo de servicios en banda ancha en el mercado Latinoamericano.

Los satélites Brasilsat operan en las posiciones orbitales a 65°W, 70°W, 84°W y 92°W.

El grupo SES está consolidando el futuro de las comunicaciones en banda ancha, ofreciendo servicios "one-stop-shop" y la conectividad en banda ancha a los proveedores de servicios audiovisuales y multimedia para enviar y recibir comunicaciones en banda ancha por todo el mundo.

### **8.21.5 ASTRA: El sistema de Satélites para la difusión en Europa de TV, radio y Servicios Multimedia.**

Dedicada inicialmente a la difusión de servicios de TV y radio en Europa, el Sistema de Satélites ASTRA se ha convertido hoy en una importante infraestructura global de comunicaciones en banda ancha.

El sistema de Satélites ASTRA dispone actualmente de 11 satélites que están ubicados en dos posiciones orbitales: 19.2°E y 28.2°E. La flota de satélites a 19.2°E se utiliza para la transmisión de servicios de TV y radio, tanto analógicos como digitales, así como contenidos multimedia, que son recibidos por la inmensa mayoría de los hogares europeos. Los satélites que operan en la segunda posición orbital de SES transmiten servicios digitales al Reino Unido e Irlanda. La totalidad de los satélites ASTRA operan en la gama de frecuencias de banda Ku (10.70-12.75GHz).

ASTRA 1H también proporciona capacidad de canal de retorno en la gama de frecuencias de banda Ka (29.50 – 30.00 GHz), permitiendo comunicaciones bidireccionales por satélite directamente a las terminales de las PCs. ASTRA 1 H es el primer satélite que proporciona capacidad en banda Ka para usos comerciales en toda Europa, convirtiéndose en el pionero de las comunicaciones interactivas de banda ancha en el continente Europeo.

Otros tres satélites están próximos a lanzarse en lo que resta de este año, con el fin de dar servicio a la creciente demanda de servicios digitales por satélite en el Reino Unido e Irlanda. ASTRA 2C será situado en su posición orbital, a 28.2°E. Para afrontar la cobertura y expansión geográfica de ASTRA hacia el este Europeo y la zona occidental de la comunidad de Estados independientes, el satélite ASTRA 1K proporcionará capacidad adicional y de reserva en las transmisiones de la posición de 19.2°E, a la vez que reforzará la capacidad de comunicaciones interactivas en la banda ancha.

A través de Deutsches Telekom, SES operará también en la posición orbital de 23.5°E. ASTRA 3A proporcionará capacidad para sustituir el satélite FM3 Kopernikus DFS1 de Deutsches Telekom, SES utilizará la capacidad adicional de los transpondedores para la transmisión de contenidos multimedia e Internet, destinados a los mercados europeos de habla alemana.

La política de co-posicionamiento de SES asegura la recepción de los servicios transmitidos por ASTRA a través de pequeñas antenas parabólicas fijas. Ningún otro operador europeo ha podido competir en el número y variedad de canales transmitidos vía ASTRA para la misma cobertura.

### 8.21.6 Instalaciones de control terrestre.

Las instalaciones de control terrestre son el corazón del Sistema de Satélites ASTRA.

Los satélites ASTRA están dirigidos y controlados 24 horas al día por un equipo de ingenieros altamente calificados, con el fin de asegurar un servicio de máxima calidad: excelente disponibilidad y confiabilidad del servicio, la más alta calidad de transmisión y soluciones flexibles para satisfacer las necesidades de los clientes.

Desde el Centro Terrestre de Control de satélites (SCF), cuartel general de SES en Beyzdorf, Luxemburgo, se dirige la flota de satélites ASTRA. SCF realiza el seguimiento, Telemetría y Control (TT&C) de la totalidad de los satélites SATRA a 19.2 °E y 28.2°E, incluyendo los enlaces ascendentes, así como también instalaciones para el desarrollo de servicios multimedia.

La estación terrestre en Chipre enlaza la flota de ASTRA con la de AsiaSat, permitiendo la conectividad euroasiática mediante una solución de instalación única.

La flota de satélites de AsiaSat está dirigida y controlada permanentemente desde el Centro de Instalaciones de Control Terrestre de Satélites situado en Hong Kong, que comprende el Centro de Control de Satélites con sede en Causeway Bay, que se encuentra enlazado con la Estación de TT&C, ubicada en Starley, en la costa sureste de la isla de Hong Kong.

Los satélites Sirius de NSAB están dirigidos y controlados de forma continua desde el Centro de Control de Esrabge, en el Norte de Suecia, por un equipo de profesionales especializados y pertenecientes a la compañía de telecomunicaciones sueca, Swedish Space Corporation.

El Centro realiza servicios TT&C tanto directamente como a través de una estación de TT&C a distancia, mediante sistemas complejos de seguimiento y control.

El Centro de Control de Satélites de Star One dirige y controla la flota BrasilSat a través de su sistema de TT&C, que consiste en una estación-base en tierra localizada en Guaratibia y una estación de apoyo, ubicada en Tangua, en la zona de Río de Janeiro.

## 8.22 Tabla comparativa de los sistemas satelitales en banda Ka.

En estas tablas se presentan de manera resumida las características de la mayor parte de los sistemas anteriormente anotados.

Compañía	Sistema	Orbita	Cobertura	Frecuencia de subida (GHZ)	Frecuencia de bajada (GHZ)	Forma de onda	Tasa del usuario	Arquitectura
Alemania	DFS-Kopernikus	GEO	Regional	29.58	19.78	QPSK	64-2048	TDMA
Italia	Italsat	GEO	Regional	27.5-30.0 29.5-30.0	18.5-20.0 19.7-20.2	QPSK	32-128	TDMA
DRS-ESA	ESA	GEO	Regional	29.5-30.0	17.7-20.2	QPSK	2 x 500	-
Japón	CS-2 / CS-3	GEO	Regional	27.515- 28.995	17.775- 19.195	BPSK o FM	192- 6144	TDMA,FDMA ,DAMA
Japón	N-Star	GEO	Regional	28.305- 30.425	18.505- 20.145	--	--	SS-TDMA
Japón	Superbird	GEO	Regional	27.5-30.0	17.775- 19.315	--	--	--

Fuente: James Yoh, Charles C. Wang and Gary W. Goo. SURVEY OF Ka-BAND SATELLITES FOR WIDEBAND COMMUNICATIONS. The Aerospace Corporation.

Compañía	Sistema	Orbita	Cobertura	No. de satélites	Capacidad (Gb/s)	Capacidad de ISL	Conmutación a bordo
Lockheed Martín	Astrolink	GEO	Global	9	9.6	1 Gb/s	FPS
Loral	Cyberstar	GEO	Global limitado	3	4.9	1 Gb/s	BBS
Hughes	Galaxy/ Spaceway	GEO	Global	20	4.4	1 Gb/s	BBS
Ge Americom	GE*Star	GEO	Global limitado	9	4.7	---	---
Morning Star Satellite Comm	Morning Star	GEO	Global limitado	4	0.5	--	---
Teledesic	Teledesic	LEO	Global	840→288	13.3	1 Gb/s	FPS
@Contac LLC	-	ICO	±65°	16	7.3	Radio	ATM - BPS
Hughes Comm Inc.	SE	GEO	E.U.A. contorno	2	59.5	Óptico	MSM
Hughes Comm Inc	SNGSO	ICO	±80°	20	7.2	Óptico	MSM
Motorola	Celestri	LEO	±60°	63	1.8	Óptico	FPS
PanAmSat Corp.	--	GEO	Global limitado	6	1.2	Radio	MSM
Skybridge	Skybridge	LEO	±70°	96	0.8	Óptico	BBS

FPS: Fast Packet Switched. BBS: Bulletin Board System. MSM: Microwave Switch Matrix

Continuación de la Tabla.

Sistema	Transpondedor por satélite	BW de los Transpondedores (MHz)	Potencia de los TWTA (W)	PIRE (dBW)	Potencia del satélite (W)	Peso (kg)	Vida del satélite (años)
Astrolink	68	125	56	56	10500	2185	12
CyberStar	54	125	60	57	10300	1900	12
Galaxy/Spaceway	48 en Ka 24 en Ku	125 en Ka 36 en Ku	20 y 60 en Ka 75 en Ku	54	7500	2000	15
GE *Star	44	423	48 o 95	58	8060	1768	15
Morning Star	16	50 en Ka 24 en Ku	5 en Ka 100 en Ku	50 en Ka 56 en Ku	5600	1360	12
PanAmSat	24	54	40 y 60	49-58	7500	--	15
Teledesic	≥ 64	396	75	50	6400	747	10
@Contact	122	70	Arreglo de fase	57 en FSS 64 en MSS	8700	2540	10
SE	64	128 - 250	75	64	13500	~3000	15
SNGSO	--	--	50	< 55	10000	~2500	12
PanAmSat	24	54	40 y 60	52.4-61.0	-	-	-
Skybridge	32	31	Arreglo de fase	25 transit 23 servicio 8 gateway	9000	2650	10

## CAPÍTULO IX CÁLCULOS DE ENLACE Y COSTOS.

### 9.1 Introducción

Después de haber analizado en los capítulos anteriores la situación que viven las comunidades rurales y las características de los sistemas satelitales en banda Ka, en este capítulo se llevará a cabo el estudio real de la factibilidad de prestar servicios integrados de Telecomunicaciones a dichas comunidades por medio de la banda Ka. Para ello es necesario realizar una serie de cálculos que nos permita tener un panorama general de las características y condiciones en las que funcionaría nuestro sistema de comunicaciones. Como sabemos México es uno de los países que cuenta con gran variedad de condiciones climatológicas, por lo que hay que tomar en cuenta cada una de las regiones para poder asegurar que nuestro enlace no tenga serios problemas al momento de estar en operación.

Como primer punto a tratar, para poder llevar a cabo un diseño de un enlace satelital, es necesario contar con una ubicación orbital donde se situaría nuestro satélite. Para poder contar con un caso que se pudiera dar en un futuro, en este capítulo proponemos el estudio para un posible satélite mexicano que se colocaría en la posición orbital que quedaría disponible al terminar el tiempo de vida del satélite Solidaridad II. Como sabemos dicho satélite ya cuenta con aproximadamente 8 años de operación y solo le quedarían 7 años más dependiendo de que tan eficiente siga siendo su funcionamiento y administración. Lo anterior da tiempo suficiente para poder llevar a cabo un proyecto que permita la construcción de un nuevo satélite en la banda Ka para México.

Contando con una posición orbital que nos permita realizar el análisis de los enlaces de subida y bajada, queda por definir los puntos estratégicos donde se requeriría de estaciones terrenas. Para nuestro estudio se tomó la decisión de analizar aquellos puntos donde se pudieran localizar un mayor número de comunidades rurales, cuidando el detalle de que se abarcara a cada uno de los distintos tipos de condiciones climatológicas con los que contamos en nuestro país. Más adelante mencionaremos los puntos seleccionados y sus características que presentan para efectuar el estudio de los enlaces.

Definidos los dos aspectos importantes mencionados anteriormente, solo falta contar con las fórmulas adecuadas para nuestros cálculos. Dichas fórmulas las mencionaremos también dentro de este capítulo y su importancia dentro del análisis.

Finalmente, con los resultados obtenidos, podremos saber las características de cada una de las partes que compondrían a nuestro sistema y poder realizar un análisis de costos para dar un panorama general de lo que se requeriría invertir en un proyecto como el que se propone en este trabajo de investigación.

## 9.2 Parámetros requeridos para el cálculo de enlace.

Antes de realizar el estudio de los parámetros de un enlace, en la figura 9-1 se muestra el concepto básico de un enlace ascendente y descendente.

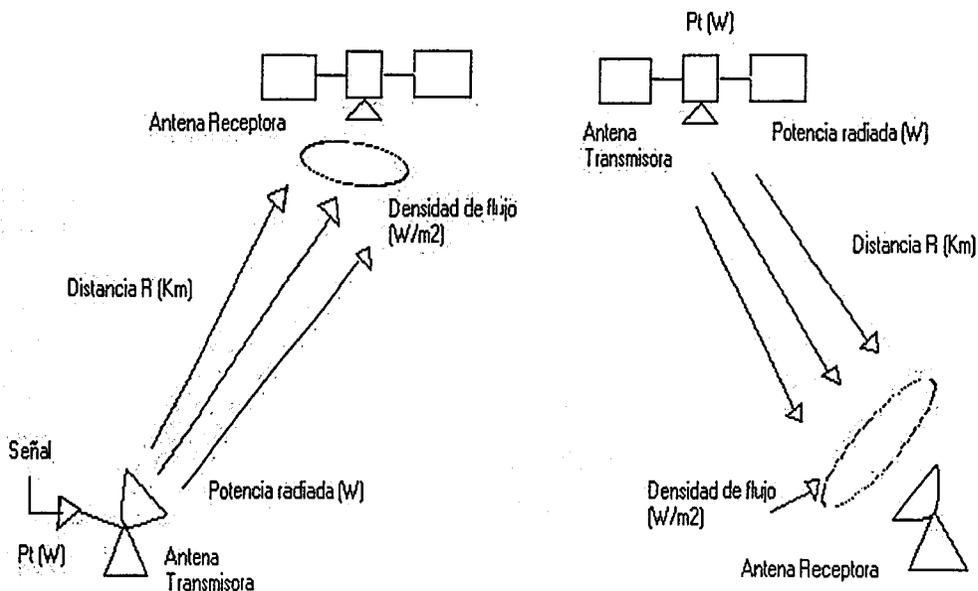


Figura 9-1 Concepto básico de un enlace (ascendente y descendente).

Como se observa en la figura 9-1, para llevar a cabo el análisis del cálculo del enlace se requiere de obtener el valor de ciertos parámetros fundamentales los cuales nos permitirán obtener, a través de fórmulas, otros parámetros importantes.

### 9.2.1 Posición Orbital y ubicación de las estaciones terrenas.

Para comenzar hemos propuesto que nuestra posición orbital donde se pudiera ubicar nuestro satélite es la que tiene actualmente el satélite Solidaridad II. Dicha posición es  $113^\circ$  Oeste. Teniendo la posición orbital, falta por definir la posición de nuestras estaciones terrenas las cuales, como ya mencionamos anteriormente, serían aquellas localizadas en lo que suponemos sean lugares cercanos a grandes comunidades rurales y que nos proporcionen resultados representativos de las regiones. Lo anterior se realizó con ayuda de datos estadísticos proporcionados por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática).

Las ciudades seleccionadas con sus respectivas características se observan en la tabla 9.1.

Tabla 9.1 Ciudades seleccionadas para los cálculos de enlaces.

Ciudad	Altura snm <sup>139</sup> (Km)	Latitud	Longitud	Zona de lluvia
La Paz	0.01	24.14°	110.31°	F
Tijuana	0.02	32.53°	117.04°	F
Guadalajara	1.55	20.68°	103.35°	D
Monterrey	0.53	25.67°	100.31°	D
México D.F. (Cuauhtemoc) <sup>140</sup>	2.23	19.44°	99.14°	D
Oaxaca	1.55	17.07°	96.72°	D
Xalapa	1.46	19.54°	96.93°	D
Villahermosa	0.02	17.99°	92.93°	G
Tuxtla Gutiérrez	0.60	16.75°	93.12°	G
Chilpancingo	1.25	17.55°	99.5°	D

La columna de zona de lluvia que aparece en la tabla 9.1 se obtuvo de observar el mapa de distribución de lluvias del modelo de Crane (Anexo 1). El hecho de ubicar a cada ciudad en una región específica nos permite tener la intensidad de lluvia que se tiene en cada una de ellas y así poder calcular la atenuación por lluvia promedio que se adquiere. Los valores de dicha intensidad se encuentran en la tabla A.1 (ver anexo 1).

### 9.2.2 Distancia de las estaciones terrenas al satélite, ángulos de elevación y acimut.

La distancia de cada una de las estaciones terrenas seleccionadas al satélite propuesto esta definida por la siguiente fórmula:

$$e = [(R + h)^2 + (R + H)^2 - 2(R + h)(R + H)\cos \beta]^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

e = Distancia de la estación terrena al satélite.

R = Radio de la Tierra = 6378 Km.

h = Altura sobre el nivel del mar de la estación terrena.

H = Altura del satélite en forma perpendicular sobre el ecuador = 35786 Km.

$\beta$  = 90 + Ángulo de elevación.

<sup>139</sup> Altura sobre el nivel del mar.

<sup>140</sup> Para el Distrito Federal, el INEGI maneja características por delegaciones. En este caso tomamos la delegación Cuauhtemoc por contar con la menor altura sobre el nivel del mar.

El ángulo de elevación se calcula con la siguiente fórmula:

$$\phi = \tan^{-1} \left[ \frac{(\text{Cos}A \text{Cos}B - 0.151263)}{\text{Sen}(\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}A \text{Cos}B))} \right] \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

A = Longitud del Satélite – Longitud de la estación terrena  
 B = Latitud de la estación terrena.

Otro ángulo importante a considerar es el ángulo de Acimut de la antena. Este ángulo se calcula con la fórmula siguiente:

$$\text{Az} = 180^\circ \pm \tan^{-1} | \text{Tan} A / \text{Tan} B | \dots\dots\dots (3)$$

Donde las variables A y B son las mismas que en el caso del ángulo de elevación. Para nuestro estudio, al situarse todas las estaciones terrenas elegidas al norte de la posición de nuestro satélite, correspondería sumarse 180° al caso en que quedará al noreste de dicha posición, en caso contrario se restaría.

Con las fórmulas anterior se registraron los valores que se muestran en la tabla 9.2A para cada una de las estaciones terrenas.

**Tabla 9.2A** Ángulo de elevación y distancias de las estaciones terrenas al satélite.

Ciudad	Angulo de elevación (°)	Acimut (°)	Distancia al satélite (Km)
La Paz	61.5917	186.55°	36,457.67
Tijuana	51.8894	172.6°	36,969.41
Guadalajara	63.3820	205.71°	36,372.89
Monterrey	56.8050	207.46°	36,687.88
México D.F. (Cuauhtemoc)	62.2408	216.55°	36,424.38
Oaxaca	62.5855	224.85°	36,402.18
Xalapa	60.6489	220.74°	36,494.78
Villahermosa	58.8027	229.80°	36,586.11
Tuxtla Gutiérrez	59.8690	231.44°	36,530.27
Chilpancingo	64.2151	218.53°	36,322.53

Para el cálculo de los márgenes de atenuación por lluvia también se requirió de obtener los coeficientes  $\alpha$  y  $k$  de acuerdo a la polarización empleada. Se decidió realizar los cálculos para la polarización horizontal que nos representa el valor más alto que pudiera ocasionar mayor atenuación por lluvia. En la tabla 9.2B se observan los valores obtenidos.

Tabla 9.2B Coeficientes  $\alpha$  y  $k$ 

Frecuencia (GHz)	Coficiente $\alpha$	Coficiente $k$
17.7	1.127	0.058
20.2	1.095	0.095
27.5	1.039	0.170
31	1.011	0.218

### 9.2.3 Márgenes de atenuación por lluvia.

Definidos los parámetros anteriores se pueden obtener los márgenes de atenuación por lluvia en cada punto seleccionado por medio del modelo DAH mencionado en el capítulo VII. Con ayuda de un programa de computadora (Ver anexo 2), se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 9.3.

Tabla 9.3 Márgenes de Atenuación por Lluvia obtenidos para distintas disponibilidades y distintas frecuencias para los enlaces descendentes y ascendentes.

Disponibilidad	Atenuación 17.7 GHz (dB)						Atenuación 20.2 GHz (dB)					
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.50	99.00	99.99	99.98	99.95	99.90	99.50	99.00
<b>Ciudad</b>												
La Paz	11.48	8.78	5.99	4.39	1.99	1.38	15.62	11.95	8.15	5.98	2.72	1.88
Tijuana	10.98	8.39	5.73	4.20	1.91	1.32	14.90	11.40	7.78	5.71	2.59	1.79
Guadalajara	17.81	13.62	9.29	6.82	3.10	2.14	24.15	18.47	12.60	9.25	4.20	2.90
Monterrey	22.49	17.20	11.74	8.61	3.91	2.70	30.57	23.38	15.95	11.70	5.32	3.67
México D.F (Cuauhtémoc)	14.89	11.39	7.77	5.70	2.59	1.79	20.14	15.40	10.51	7.71	3.50	2.42
Oaxaca	18.17	13.90	9.48	6.96	3.16	2.18	24.61	18.82	12.84	9.42	4.28	2.96
Xalapa	18.77	14.35	9.79	7.18	3.26	2.26	25.43	19.45	13.27	9.74	4.42	3.06
Villahermosa	35.12	26.86	18.33	13.44	6.11	4.22	47.79	36.54	24.94	18.29	8.31	5.74
Tuxtla Gutierrez	31.43	24.04	16.40	12.03	5.47	3.78	42.69	32.65	22.28	16.34	7.43	5.13
Chilpancingo	19.26	14.73	10.05	7.37	3.35	2.31	26.12	19.98	13.63	10.00	4.54	3.14

Disponibilidad	Atenuación 27.5 GHz (dB)						Atenuación 31 GHz (dB)					
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.50	99.00	99.99	99.98	99.95	99.90	99.50	99.00
<b>Ciudad</b>												
La Paz	29.93	22.87	15.62	11.46	5.21	3.60	38.40	29.36	20.04	14.70	6.68	4.62
Tijuana	28.42	21.73	14.83	10.88	4.94	3.42	36.41	27.84	19.00	13.94	6.33	4.38
Guadalajara	45.24	34.60	23.61	17.32	7.87	5.44	56.37	43.11	29.42	21.58	9.81	6.78
Monterrey	57.53	43.99	30.02	22.02	10.01	6.92	71.80	54.91	37.47	27.49	12.49	8.63
México D.F (Cuauhtémoc)	37.44	28.63	19.54	14.33	6.51	4.50	46.52	35.58	24.28	17.81	8.09	5.59
Oaxaca	45.93	35.12	23.97	17.58	7.99	5.52	57.15	43.70	29.82	21.88	9.94	6.87
Xalapa	47.53	36.34	24.80	18.19	8.27	5.71	59.17	45.25	30.88	22.65	10.29	7.11
Villahermosa	89.58	68.51	46.75	34.29	15.58	10.77	110.70	84.66	57.77	42.38	19.26	13.31
Tuxtla Gutierrez	79.69	60.94	41.59	30.51	13.86	9.58	98.33	75.19	51.31	37.64	17.10	11.82
Chilpancingo	48.94	37.42	25.54	18.73	8.51	5.88	60.98	46.63	31.82	23.34	10.61	7.33

Estos valores serán utilizados para el cálculo de las pérdidas debido a la propagación sumados a otros valores que se obtendrán más adelante.

### 9.2.4 Ganancia de una antena y Patrón de radiación.

La ganancia de una antena está dada por la siguiente fórmula:

$$G_{max} = \eta \left( \frac{\pi * D}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots(4)$$

y en decibeles:

$$[G_{max}]_{dB} = 10 \log G_{max} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

D= Diámetro de la antena (m).

$\lambda$  = Longitud de onda.

$\eta$  = Eficiencia de la apertura de la antena<sup>141</sup>.

Cabe aclarar que la longitud de onda esta definida como el cociente de la velocidad de la luz<sup>142</sup> y la frecuencia de operación en Hertz ( c / f ).

Respecto al patrón de radiación, este se define mediante el ancho del haz que es aquél en el que la potencia de radiación máxima de la antena se reduce hasta la mitad. Esto ocurre cuando dicha potencia se ve disminuida -3 dB de su valor máximo también medido en dB's.

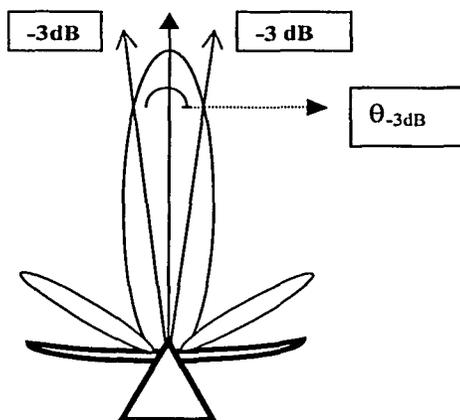


Figura 9-2 Ancho del haz  $\theta_{-3dB}$

<sup>141</sup> La eficiencia de apertura de la antena tiene un valor típico de 0.6

<sup>142</sup>  $c = 3 \times 10^8$  m/s

El ancho del haz  $\theta_{-3dB}$  se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\theta_{-3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} \dots\dots\dots(6)$$

**9.2.5 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (o Efectiva) P.I.R.E.**

El P.I.R.E. es el producto de la potencia transmitida y la ganancia de la antena (respecto a la antena isotrópica).

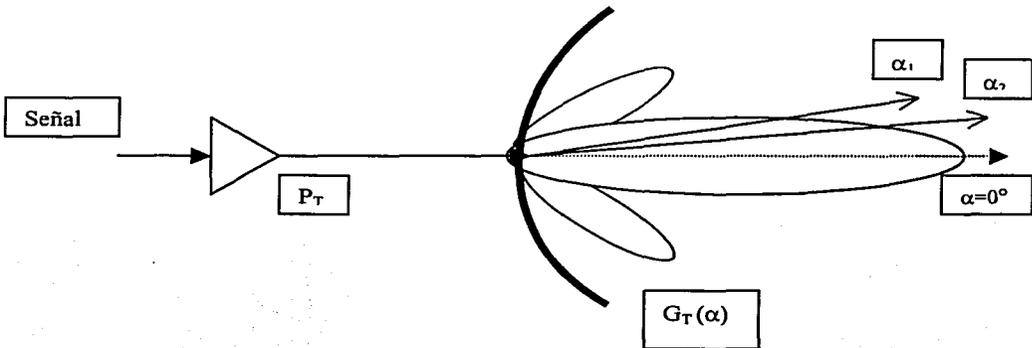


Figura 9-3 P.I.R.E.

$$PIRE_{\alpha} = P_T G_{T\alpha} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

$P_T$  = Potencia del transmisor (W).

$G_{T\alpha}$  = Ganancia de la antena transmisora. (función del ángulo  $\alpha$  )

Para el cálculo de la ganancia transmisora en decibeles, se lleva a cabo el siguiente cálculo:

$$[G_{T\alpha}]_{dB} = [G_{max}]_{dB} - 12 \left( \frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right)^2 \dots\dots\dots(8)$$

Donde el factor  $12 \left( \frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right)^2$  corresponde a las pérdidas por desapuntamiento que hablaremos más adelante.

Como podemos observar en la figura 9-3 , cuando  $\alpha = 0^\circ$ , el PIRE es máximo. Para obtener el PIRE en dBW se emplea la fórmula siguiente:

$$[PIRE_\alpha]_{dBW} = [P_T]_{dBW} + [G_{max}]_{dB} - 12 \left( \frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right)^2$$

Donde debemos tomar en cuenta que el factor de potencia " $P_T$ " se refiere a la potencia que llega a la antena, por lo que considera las pérdidas desde el amplificador de alta potencia (HPA) hasta la entrada de la antena. Siendo así nuestra fórmula finalmente queda de la siguiente manera:

$$[PIRE_\alpha]_{dBW} = [P_{HPA}]_{dBW} - L_{FTX} + [G_{max}]_{dB} - 12 \left( \frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right)^2 \dots\dots\dots(9)$$

donde:

$L_{FTX}$  = Pérdidas desde el amplificador de alta potencia hasta la antena.

### 9.2.6 Densidad de Flujo en el Punto Receptor.

La densidad de flujo, considerando a nuestro transmisor como una fuente isotrópica, es la potencia contenida en una unidad de área y que es recibida por nuestro receptor. A esta densidad de potencia se le conoce como densidad isotrópica. Si esta densidad isotrópica es afectada por medio de una ganancia en la antena transmisora, se obtiene la densidad de flujo.

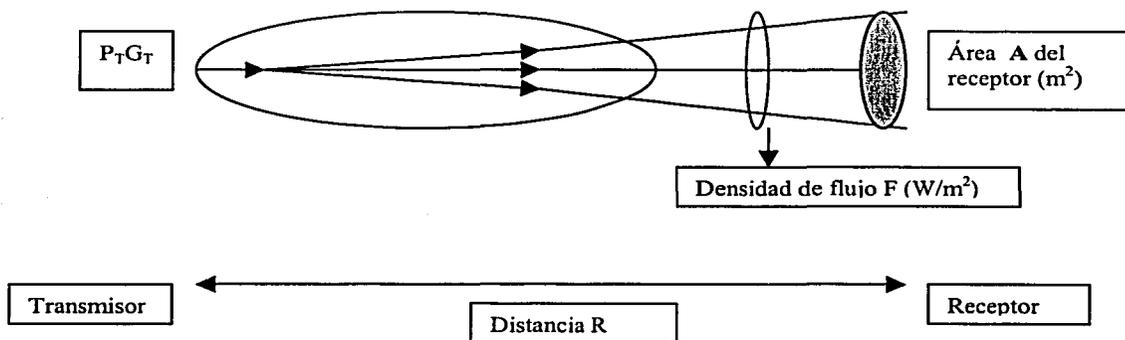


Figura 9-4 Densidad de flujo en el punto receptor.

$$\text{Densidad de flujo } F = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \text{ (W/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{Potencia recibida} = FA \text{ (W)} \dots\dots\dots(11)$$

en el área A.

El área A también se le conoce como área efectiva  $A_{ef}$ .

### 9.2.7 Pérdida de Potencia por Propagación en el Espacio Libre.

Como ya se vio en el punto anterior la potencia total recibida depende del área efectiva de la antena receptora, que definiéndola en términos de la ganancia de la antena transmisora quedaría:

$$P_R = FA_{ef} = (P_T G_T) \frac{A_{ef}}{4\pi R^2} = (\text{PIRE}) \frac{A_{ef}}{4\pi R^2} \dots\dots\dots(12)$$



Fracción capturada del PIRE

El área efectiva es función de la ganancia  $G_R$ :

$$G_R = \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\pi D^2}{4} ; \text{ si } \eta \text{ fuese igual a 1}$$



Área real de la captura

Pero  $\eta \neq 1$ , por lo que  $G_R = A_{ef} \frac{4\pi}{\lambda^2} \longrightarrow A_{ef} = \frac{G_R}{(4\pi/\lambda^2)}$

Por lo tanto:

$$P_R = \left( P_T G_T \frac{G_R}{L} \right) \dots\dots\dots(13)$$

y la variable "L" resulta ser la atenuación o pérdida de potencia por propagación en el espacio libre, definida por:

$$L = \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots(14)$$

Finalmente las pérdidas de potencia por propagación en el espacio libre y la potencia total recibida en decibeles se definen respectivamente como:

$$[L]_{dB} = 32.44 + 20 \log (R_{(Km)}) + 20 \log (f_{(MHz)}) \dots\dots\dots(15)$$

$$[P_{TR}]_{dBW} = [PIRE]_{dBW} + [G_R]_{dB} - [L]_{dB} \dots\dots\dots(16)$$

### 9.2.8 Pérdidas Adicionales.

Además de las pérdidas ocasionadas por el espacio libre, existen otras que debemos tomar en cuenta dependiendo de las características de nuestro enlace.

- ❖ **Pérdidas entre transmisor y antena ( $L_{FTX}$ ).** Estas pérdidas se deben a las ocasionadas por el alimentador, conexiones, etc. desde el amplificador de alta potencia (HPA) hasta la antena.
- ❖ **Pérdidas entre antena y receptor ( $L_{RTX}$ ).** Estas pérdidas se dan desde la antena de recepción hasta la entrada del LNA debido a las conexiones y al alimentador principalmente.
- ❖ **Pérdidas por desapuntamiento de las antenas.** Se dan por mal apuntamiento de las antenas. Estas pérdidas se consideran con el factor que se adiciona cuando el PIRE obtenido no corresponde al máximo ( $\alpha = 0^\circ$ ).
- ❖ **Pérdidas por absorción atmosférica.** De estas pérdidas ya se comentó en el capítulo VII. Son las producidas por absorción de gases.
- ❖ **Pérdidas por lluvia.** Al igual que las pérdidas comentadas anteriormente, de las pérdidas por lluvia ya se han hablado en el capítulo VII ya que resultan ser las de mayor importancia debido a la frecuencia en estudio. Como ya lo vimos, éstas dependen de la zona geográfica en la que se ubica la estación terrena y se calcula para distintas disponibilidades.

### 9.3 Ruido.

El ruido es otro de los parámetros importantes para el cálculo de enlaces. Debido a que su estudio es amplio, lo hemos separado de los demás parámetros para analizarlo más a detalle.

Como se da en los sistemas de comunicaciones, la señal sufre de la adición de señales no deseadas durante su recorrido ocasionadas por factores que desafortunadamente no se tienen controlados. A estas señales se les conoce como ruido. El ruido depende de las condiciones a las que se encuentre funcionando nuestro sistema.

El ruido es un parámetro que no puede eliminarse totalmente por lo que es necesario tomarlo en cuenta para el diseño de un sistema de comunicaciones. La finalidad de nuestro diseño es que se logre que la magnitud del ruido que se introduce en la señal

sea mínimo comparado con la magnitud de nuestra señal de interés y así conseguir que el sistema pueda captarla correctamente. A la relación que se tenga entre nuestra señal y el ruido se le conoce como relación portadora a ruido.

### 9.3.1 Densidad de ruido.

La densidad de ruido es la cantidad de potencia de ruido por unidad de frecuencia. Esta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$N_o = \left( \frac{N}{B} \right) \text{ (W / Hz)} \dots\dots\dots(17)$$

donde:

N = Potencia de ruido térmico generado en una resistencia. Esta dado por  $N=kTB$ .

B= Ancho de banda (Hz).

k = Constante de Boltzman.<sup>143</sup>

T = Temperatura de ruido [K].

Si sustituimos N en la ecuación (17) entonces tenemos:

$$N_o = kT \text{ (W / Hz)} \dots\dots\dots(18)$$

### 9.3.2 Figura de ruido.

Es el cociente de la potencia total del ruido a la salida de un amplificador entre la porción de dicha potencia que es producida por un ruido ya existente a la entrada de un amplificador. Para la temperatura de ruido a la entrada se toma el valor de  $T_0 = T_{\text{ambiente}}$  que es de 290K (17°C).

$$F = \frac{(T_o + T_e)G_{amp}}{T_o G_{amp}} = 1 + \frac{T_e}{T_o} \dots\dots\dots(19)$$

### 9.3.3 Temperatura de ruido de un atenuador.

La temperatura de ruido de un atenuador esta dada por:

$$T_L = T_f \left( 1 - \frac{1}{L} \right) \text{ [K]} \dots\dots\dots(20)$$

donde:

$T_f$  = Temperatura física de un atenuador (290 K).

L = Atenuación producida por el atenuador.

<sup>143</sup> k =  $1.38 \times 10^{-23}$  [ J / K ]

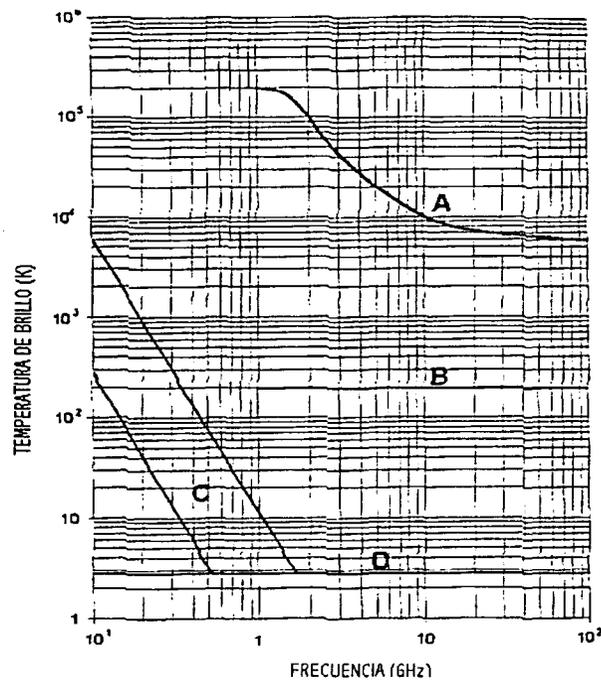
### 9.3.4 Temperatura de ruido de la lluvia.

Como sucede en el caso del atenuador, la lluvia también se comporta igual a diferencia de que su valor de temperatura física es de 280K.

$$T_{Lluvia} = 280 \left( 1 - \frac{1}{L_{Lluvia}} \right) \text{ [K]} \dots\dots\dots(21)$$

### 9.3.5 Temperatura de ruido de la antena.

En el caso de la antena, se deben tomar en cuenta varios factores que contribuyen a la temperatura de ruido provenientes de los fenómenos que es capaz de captar. El caso del ruido ocasionado por la lluvia, el ruido del espacio, el ruido de la tropósfera en condiciones de cielo despejado y el ruido de la tierra, son los factores que se toman en cuenta para la temperatura de ruido de la antena. Este valor cambia con el ángulo de elevación, el diámetro y con su tipo de alimentación.



**Figura 9-5** Fuentes de ruido extraterrestre: Sol en reposo (A), Luna (B), gama de ruido galáctico (C), ruido cósmico (D)<sup>144</sup>.

<sup>144</sup> Fuente: Landeros A. S. "Seminario de Ingeniería en Telecomunicaciones", Facultad de Ingeniería, semestre 2001-1, UNAM.

Arriba de 10 GHz, la temperatura de ruido de la antena se debe prácticamente a la atmósfera, lo que hace que resulte muy variable debido a sus condiciones. El valor exacto es generalmente dado por el fabricante de la antena, el cual la obtiene experimentalmente en condiciones estándares de clima. En la figura 9-5 se muestra como afectan cada una de las fuentes de ruido extraterrestre en la temperatura de la antena.

Para el cálculo total del ruido de la antena, es necesario considerar las condiciones de lluvia que se tengan ya que este fenómeno incrementa considerablemente su valor. Es así como la temperatura de ruido de la antena se calcula de la siguiente manera:

$$T_a = \frac{T_{\alpha_{CD}}}{L_{Lluvia}} + T_{Lluvia} \dots\dots\dots(22)$$

Donde:

- $T_{\alpha_{CD}}$  = Temperatura de la antena con cielo despejado.
- $L_{Lluvia}$  = Atenuación de la lluvia a determinada disponibilidad.
- $T_{Lluvia}$  = Temperatura de la lluvia.

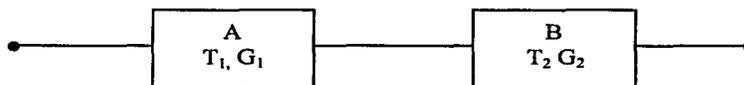
### 9.3.6 Ruido de la antena del satélite.

Para el caso de la antena de un satélite, el ruido que se produce resulta ser en su mayoría el ruido que proviene de la Tierra. Se considera una temperatura de ruido de 290K. En condiciones de lluvia, el ruido que se genera no tiene mayor relevancia ya que solo abarca una pequeña porción del área de cobertura, por lo que no se le agrega un valor adicional al ruido de la antena del satélite.

### 9.3.7 Temperatura de ruido equivalente.

Para poder definir la temperatura de ruido total de un sistema, es necesario analizar como se relacionan las temperaturas de ruido de dos sistemas conectados en cascada.

Defínense los sistemas A y B con sus respectivas características de Ganancia y Temperatura de la siguiente manera:



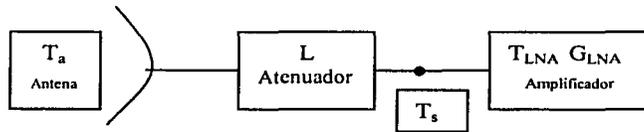
La temperatura de ruido equivalente de los dos sistemas está dada por:

$$T_e = T_1 + \frac{T_2}{G_1} \dots\dots\dots(23)$$

Como se observa en la fórmula, la temperatura de ruido de cada elemento siguiente se reduce en proporción a la ganancia del anterior para sumarse posteriormente.

**9.3.8 Temperatura de ruido de un sistema.**

Definido el concepto anterior, podemos determinar la temperatura de ruido de un sistema como el que se tiene en un enlace de comunicaciones vía satélite. Por lo general se toma como referencia la terminal de la antena o la entrada del amplificador. Es común tomar como punto de referencia la entrada del amplificador cuando se encuentra un atenuador entre la antena y el amplificador, ya que se aprovecha que el amplificador tenga una alta ganancia con una temperatura de ruido relativamente baja provocando que las temperaturas de ruido de los elementos posteriores no representen una cantidad considerable en el ruido del sistema, como se observa en el siguiente diagrama:



La temperatura de ruido total referido a la entrada del LNA será:

$$T_s = \frac{T_a}{L} + T_L + T_{LNA} \dots\dots\dots(24)$$

Donde el último termino representa la temperatura de ruido del LNA a la entrada. En esta fórmula también se ven involucrados los parámetros de disponibilidad y de precipitación en el primer término donde interviene la temperatura de la antena.

**9.4 Relación Portadora sobre Ruido.**

Es la relación que nos permite conocer que tanto esta afectando el ruido a nuestra señal. Esta relación se obtiene dividiendo la potencia total recibida entre la potencia total del ruido del enlace.

$$\frac{C}{N} = \frac{P_{Tr}}{N} = \frac{PIRE}{LkB} * \frac{G_R}{T_s} \dots\dots\dots(25)$$

Fórmula que resulta de sustituir las variables de la potencia total recibida "P<sub>Tr</sub>" y de la potencia total del ruido de las ecuaciones (13) y (17). Al término (G<sub>R</sub> / T<sub>S</sub>) se le conoce también como **Figura de mérito** de la estación receptora.

Generalmente se utiliza la relación portadora sobre densidad de ruido al ser independiente del ancho de banda que se emplea:

$$\frac{C}{N_o} = \frac{PIRE}{Lk} * \frac{G_R}{T_S} \dots\dots\dots(26)$$

Expresada en decibeles:

$$\left( \frac{C}{N_o} \right)_{dB} = PIRE_{dBW} - L_{dB} - k_{dB} + \left( \frac{G_R}{T_S} \right)_{dB} \quad (dBHz) \dots\dots\dots(27)$$

La variable "L" representa al total de pérdidas que se ven involucradas en la trayectoria del enlace.

La relación portadora sobre densidad de ruido que vimos anteriormente es la relación total del enlace. Para cada segmento del enlace existe una relación portadora sobre densidad de ruido: una relación para el enlace de subida, otra para el enlace de bajada y otra para el segmento espacial denominada relación portadora a ruido de intermodulación. En la figura 9-6 se representa a cada una de ellas de manera esquemática.

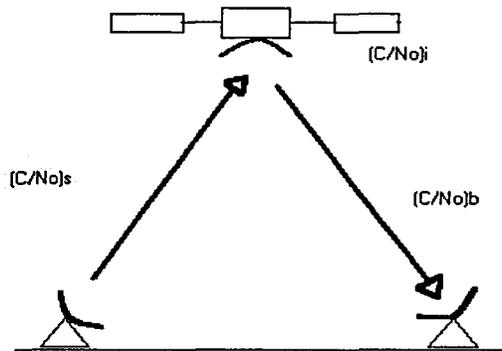


Figura 9-6 Etapas de la Relación portadora sobre ruido de un enlace.

### 9.4.1 Enlace de Subida: (C/No)s

Para el cálculo de la relación portadora sobre densidad de ruido de subida es necesario tomar en cuenta parámetros importantes del satélite como su figura de merito, ganancia y pérdidas por alimentación. En la figura 9-7 podremos observar con mayor detalle cada uno de los parámetros a considerar en el análisis del enlace de subida.

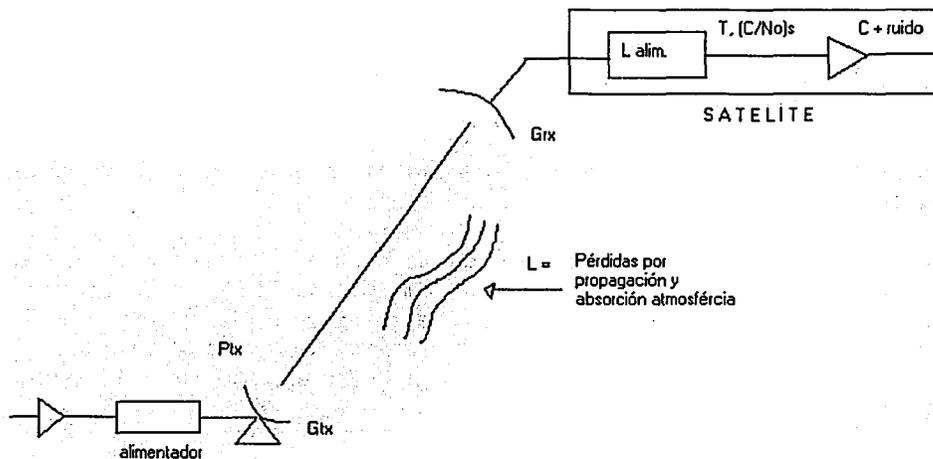


Figura 9-7 Relación Portadora sobre Ruido del enlace de subida.

Donde podemos definir que:

$$\text{Potencia recibida de la portadora } C = \left[ \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{L} \right] \left[ \frac{G_{Rx}}{L_{alim}} \right]_{\text{Satélite}}$$

Densidad de Ruido  $No = kT$ .

Por lo tanto la relación portadora sobre densidad de ruido de subida esta definida por:

$$\left( \frac{C}{No} \right)_s = \left( \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{L} \right) \left( \frac{1}{L_{alim}} \right) \left( \frac{G_{Rx}}{T} \right) \left( \frac{1}{k} \right) \dots\dots\dots(28)$$

↳ Figura de mérito del satélite

### 9.4.2 Enlace de bajada: (C/No)<sub>b</sub>

Para el caso del enlace de bajada se realiza un procedimiento parecido al enlace de subida solo hay que tener cuidado de que algunos de los parámetros que se calcularon para el enlace de subida que pertenecían al satélite ahora son parámetros de la estación terrena y viceversa. En la figura 9-8 se puede apreciar mejor esta diferencia.

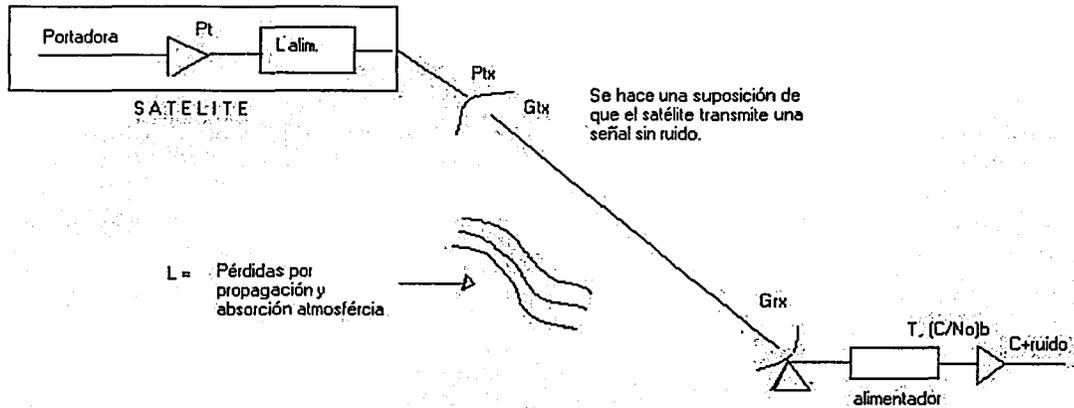


Figura 9-8 Relación Portadora sobre Ruido del enlace de bajada.

Donde, realizando el mismo análisis que en el enlace de subida, tenemos que:

$$\text{Potencia de la portadora } C = \left[ \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{L} \right] \left[ \frac{G_{Rx}}{L_{alim}} \right]_{\text{Estación Terrena}}$$

$$\text{Densidad de Ruido } No = kT$$

Finalmente, a relación Portador sobre Densidad de Ruido de bajada queda definida como:

$$\left( \frac{C}{No} \right)_B = \underbrace{\left( \frac{P_{Tx} G_{Tx}}{L} \right) \left( \frac{1}{L_{alim}} \right)}_{\text{Estación terrena}} \left( \frac{G_{Rx}}{T} \right) \left( \frac{1}{k} \right) \dots\dots\dots (29)$$

### 9.4.3 Relación Portadora sobre Ruido de Intermodulación.

La relación portadora sobre ruido de intermodulación es la que se produce debido al ruido introducido por los productos de intermodulación cuando en un transpondedor existe más de una portadora. Debido a que un amplificador de potencia tiene una característica no lineal, al introducir más de una señal simultánea, se generan espurias por el efecto llamado intermodulación, que va aumentando al operar en la parte menos lineal del amplificador que se ubica cerca del punto de saturación.

La falta de linealidad que presentan los amplificadores de potencia no afectan a la calidad del enlace cuando se maneja una sola portadora y tiene un efecto menor cuando solamente existen dos o tres. Sin embargo, cuando se manejan múltiples portadoras se genera un gran número de ondas espurias que pueden degradar la calidad de los enlaces.

La figura 9-9 nos muestra una gráfica del comportamiento de la relación portadora sobre ruido de intermodulación respecto al back-off<sup>145</sup> de entrada.

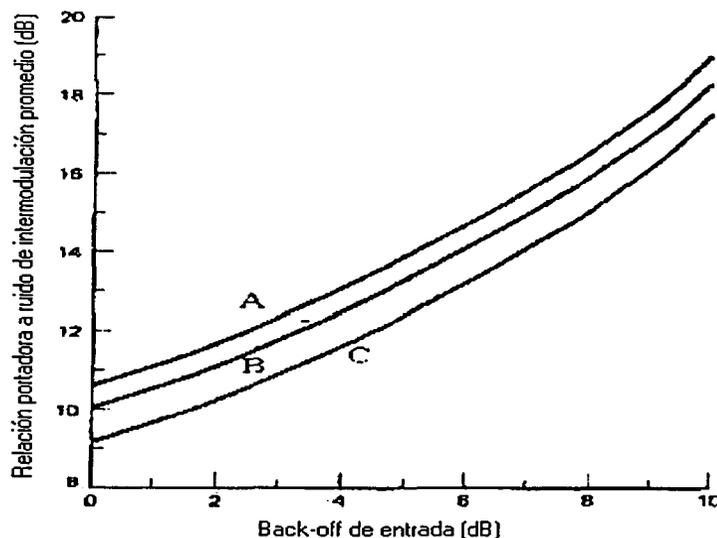


Figura 9-9 Curvas típicas de  $(C/N_0)$  de un TWT para 6, 12 y 500 portadoras; A, B y C respectivamente<sup>146</sup>.

<sup>145</sup> Se le conoce como "back-off" a la reducción de la potencia de la portadora a la entrada para que se produzca una reducción de potencia a la salida y se mantenga operando al amplificador en su parte lineal.

<sup>146</sup> Fuente: Landeros A. S. "Seminario de Ingeniería en Telecomunicaciones", Facultad de Ingeniería, semestre 2001-1, UNAM.

Para transpondedores con TWT se puede estimar un valor aproximado en el centro del transpondedor, por medio de la ecuación:

$$\left(\frac{C}{No}\right)_i = K_n + 0.82BO_i \quad \text{para } 2 < BO_i < 12 \dots\dots\dots(30)$$

donde  $K_n$  tiene los valores 10, 9.5 y 8.6 para  $n=6, 12$  y 500 portadoras en un transpondedor, respectivamente.

En la gráfica de la figura 9-10 podemos observar las típicas variaciones del Back-off de salida en función del Back - off que se tiene a la entrada. Un modelo simple pero muy útil consiste en la aproximación de las curvas mediante las dos siguientes relaciones<sup>147</sup>:

$$\begin{aligned} OBO_t \text{ (dB)} &= 0.9(IBO_t \text{ (dB)} + 5) & IBO_t < -5 \text{ dB} \\ OBO_t \text{ (dB)} &= 0 \text{ dB} & -5 < IBO_t < 0 \text{ dB} \end{aligned} \dots\dots\dots(31)$$

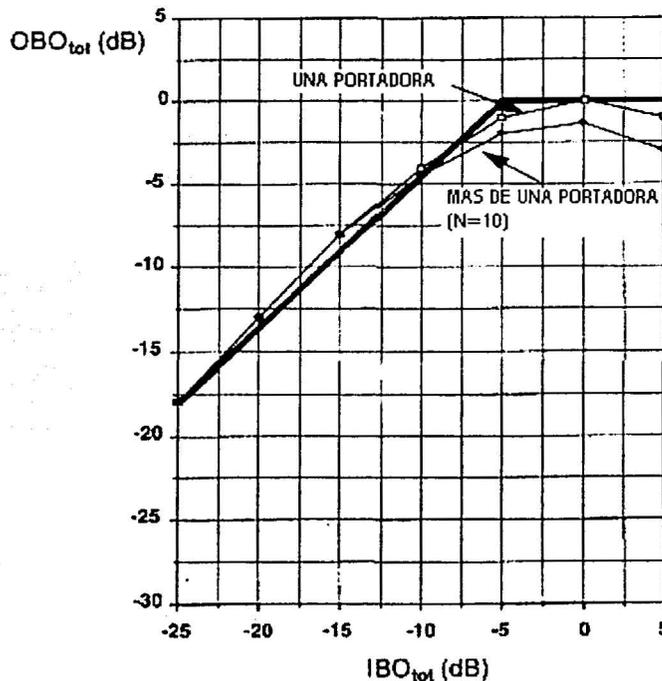


Figura 9-10 Back Off de Salida en función del Back Off de Entrada<sup>148</sup>.

<sup>147</sup> Fuente: Maral. G. "VSAT NETWORKS", ed. John Wiley & Sons, 1995, p. 254.

<sup>148</sup> Ibidem.

**9.4.4 Relación C/No total de un enlace.**

La calidad total del enlace, a nivel portadora, teniendo en cuenta todas las contribuciones de ruido y de aquellas provenientes de la interferencia con otros sistemas adyacentes que operan en la misma banda de frecuencias y aumenta si las posiciones orbitales son cercanas, puede calcularse de la relación siguiente:

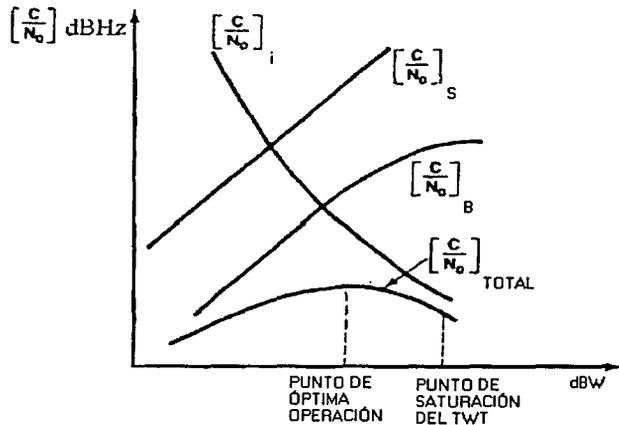
$$\left(\frac{C}{No}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{No}\right)_S^{-1} + \left(\frac{C}{No}\right)_B^{-1} + \left(\frac{C}{No}\right)_i^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)^{-1} \dots\dots\dots(31)$$

El último término corresponde a la contribución por interferencia con otros sistemas. Los términos anteriores deben de calcularse con los valores de las relaciones, es decir, no deben estar en decibeles. El valor obtenido al final debe ser menor cada una de las relaciones que forman al enlace. Se debe aclarar que la relación de C/N con C/No esta dada por:

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{dB} = \left(\frac{C}{N}\right)_{dB} + B_{dB} \dots\dots\dots(32)$$

donde B representa el ancho de banda que ocupa la señal en dB.

En la figura 9-11 podemos observar el comportamiento de las relaciones mencionadas anteriormente en función del back-off de entrada.



**Figura 9-11** Comportamiento de las relaciones portadora sobre densidad de ruido de un enlace<sup>149</sup>.

<sup>149</sup> Fuente: Landeros A. S. "Seminario de Ingeniería en Telecomunicaciones", Facultad de Ingeniería, semestre 2001-1, UNAM.

### 9.4.5 Relación Portadora sobre Densidad de Ruido necesaria para un Enlace Digital.

Debido a que nuestro sistema de comunicaciones vía satélite se basará en un enlace digital, es necesario establecer la relación portadora sobre densidad de ruido para un enlace digital. Dicha relación esta en función de la cantidad de errores que se pueden aceptar en un enlace de estas características para conservar la fidelidad de la información transmitida. Esta cantidad de errores se determina con base en un análisis probabilístico que depende principalmente de la proporción de bits erróneos recibidos durante la transmisión.

En las comunicaciones vía satélite, en el caso de que se trate de comunicaciones digitales, la forma de modulación más comúnmente empleada es la de modulación por desplazamiento de fase ya que permite hacer más eficiente el uso de ancho de banda. BPSK y QPSK son los tipos de modulación que se usan con mayor frecuencia y que emplean la modulación por desplazamiento de fase.

En este tipo de modulaciones, los bits erróneos son ocasionados por el ruido térmico, por la interferencia de símbolos, por fluctuaciones de fase y por la imperfecta sincronización de los pulsos. Para tener conocimiento de la proporción de bits erróneos se obtiene una relación  $E_b / N_o$ , que corresponde a la energía por bit de entrada entre la densidad de potencia del ruido también en la entrada. Esta relación esta dada por:

$$\frac{E_b}{N_o} = \left( \frac{1}{R_b} \right) \left( \frac{C}{N_o} \right) \dots\dots\dots(32)$$

que en decibeles se expresa de la siguiente manera:

$$\left( \frac{E_b}{N_o} \right)_{dB} = \left( \frac{C}{N_o} \right)_{dB} - 10 \log(R_b)$$

Para mejorar la calidad de la comunicación digital reduciendo la proporción de bits erróneos se aplica la codificación para detección y corrección de errores. Lo anterior trae como consecuencia la de emplear mayor ancho de banda, aunque se evita el aumentar la potencia requerida para el enlace. Se conocen dos tipos de control de errores: la técnica de repetición automática en caso de detectarse un error (ARQ)<sup>150</sup> y la corrección de errores sin retorno (FEC)<sup>151</sup>, es decir, efectúa una corrección de errores en el destino sin necesidad de retransmitir la señal.

<sup>150</sup> ARQ son siglas en inglés de Automátic Repeat reQuest.

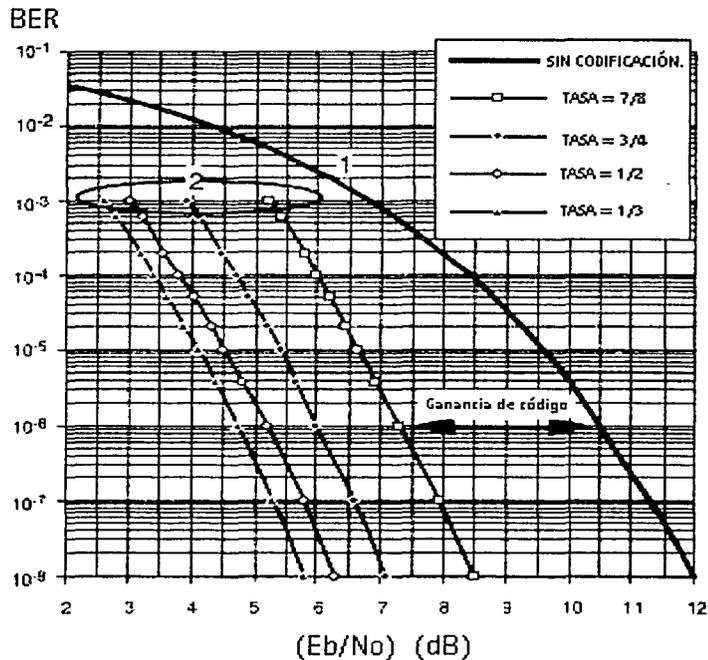
<sup>151</sup> FEC son siglas en inglés de Forward Error Correction.

La relación de código de una señal FEC representa el número  $k$  de bits de una palabra de mensaje o paquete y el número  $n$  total de bits transmitidos,  $r = k/n$ . A "r" se le conoce como **tasa de codificación**.

Tomando en cuenta los conceptos anteriores, podemos definir que el ancho de banda necesario para la transmisión de señales digitales esta dado por:

$$B = \frac{1.2R_b}{r} \text{ (Hz)} \dots\dots\dots(33)$$

En la figura 9-12 se puede apreciar la relación entre la proporción de bits erróneos y los valores de  $(E_b / N_0)$  para diferentes tasas de codificación para un módem.



**Figura 9-12** Comparación entre los valores de BER que se obtienen en función de la relación  $(E_b/N_0)$  de un módem de desplazamiento de fase con diferentes tasas de codificación de protección contra errores.<sup>152</sup>

<sup>152</sup> Fuente: Maral, G. "VSAT NETWORKS", ed. John Wiley & Sons ,1995, p. 219.

## 9.5 Costo de los equipos que se encuentran en el mercado para banda Ka.

### Costo de los elementos que intervienen en un enlace satelital.

La configuración de las estaciones terrenas puede ser en estrella o en malla. Para la configuración de estrella se necesitaría una estación maestra y diversas estaciones esclavas dependientes de la estación maestra. Para la configuración en malla se tendría una combinación de ambas estaciones pero la mayoría de ellas dependientes entre sí.

La configuración que en este trabajo se manejó fue la configuración en estrella y por lo tanto necesitamos que el diámetro de la antena de nuestra estación maestra sea el adecuado para tener una amplia ganancia y poder transmitir con mayor potencia y de esta manera cubrir las necesidades de transmisión, de tráfico y número de portadoras.

Fabricante	Modelo	Diámetro [m]	Ganancia [dB]		Frecuencia de Operación [GHz]		Temp. de Ruido [K]	Costo con montaje [DLLS]
			Rx	Tx	Rx	Tx		
Andrew	ES56 KA-1 gregorian	5.6	59.2	62.0	17.7 a 21.2	27.5 a 30.0	96 @ 10° el 64 @ 30° el 59 @ 50° el	126670

El diámetro de la antena que utilizamos para nuestro cálculo es de 5.6 m.

Para las estaciones esclavas podríamos considerar las siguientes antenas:

Fabricante	Modelo	Diámetro [m]	Ganancia [dB]		Frecuencia de Operación [GHz]		Temp. de Ruido [K]	Costo con montaje [DLLS]
			Rx	Tx	Rx	Tx		
Prodalin	3067	0.67	41.0	44.5	19.7 a 20.2	29.5 a 30.0	47 @ 20° el 44 @ 30° el	150
Prodalin	3098	0.98	44.3	47.8	19.7 a 20.2	29.5 a 30.0	45 @ 20° el 42 @ 30° el	400
Prodalin	3120	1.2	46.1	49.5	19.7 a 20.2	29.5 a 30.0	44 @ 20° el 41 @ 30° el	455
Q-par Angus	610 mm Cassegrain	0.61	37	43	18	40	43 @ 20° el 39 @ 30° el	140

Los amplificadores de alta potencia, HPA, que se encuentran en el rango de las frecuencias transmisión y de recepción.

- Para las estaciones maestras

Fabricante	Modelo	Tipo	Frecuencia de Operación [GHz]	Ancho de banda [MHz]	Ganancia [dB]	Potencia máxima [Watts]	Costo [DLS]
XICOM	XTD-120Ka	TWT	27.5 a 29.5	750	70	120	150296
XICOM	XTD-150Ka	TWT	27.5 a 29.5	750	70	150	167000
<b>XICOM</b>	<b>XTD-150Ka1</b>	<b>TWT</b>	<b>28.35 a 30.0</b>	<b>750</b>	<b>70</b>	<b>250</b>	<b>210500</b>
XICOM	XTD-250Ka	TWT	28.0 a 31.0	500	40	250	195000
XICOM	XTD-500Ka	TWT	28.0 a 31.0	250	40	500	320000
Milimeter Wave	VKA2400 A	Klystron	30.055 a 30.435	400	43	325	200000
Milimeter Wave	VKA2400 B	Klystron	30.055 a 30.435	400	43	500	220050
Milimeter Wave	VKA2400 C	Klystron	28.250 a 29.600	750	35	750	247100

El amplificador en negritas fue el que se utilizó para hacer los cálculos de enlace.

- Para las estaciones esclavas.

Fabricante	Modelo	Tipo	Frecuencia de Operación [GHz]	Ancho de banda [MHz]	Ganancia [dB]	Potencia máxima [Watts]	Costo [DLS]
SPACEK LABS INC.	SP2412-15-23	SSPA	18.0 a 30.0	500	15	0.25	1800
SPACEK LABS INC.	SP2412-15-27	SSPA	18.0 a 30.0	500	15	0.5	2300
SPACEK LABS INC.	SP268-20-29	SSPA	22.0 a 30.0	500	20	0.9	3100
SPACEK LABS INC.	SP276-18-23	SSPA	24.0 a 30.0	500	18	0.25	2100
SPACEK LABS INC.	SP270-18-27	SSPA	24.0 a 30.0	500	18	0.5	3100

Los amplificadores de bajo ruido, LNA, que se encuentran en el rango de las frecuencias transmisión y de recepción.

Fabricante	Modelo	Rango de frecuencias [GHz]	Ganancia [dB]	Temperatura de ruido [K]	Figura de ruido [dB]	Costo [DLS]
Microwave Amplifiers	AL18	18 a 20	20	170	2.0	5000
<b>MITEQ</b>	<b>JSD4 18002600 19 8P</b>	<b>18 a 26</b>	<b>35</b>	<b>159</b>	<b>1.9</b>	<b>4500</b>
MITEQ	JSD4 18002600 21 8P	18 a 26	35	180	2.1	3175
MITEQ	JSD4 18002600 26 8P	18 a 26	35	238	2.6	1750
MITEQ	JSD4 18002600 21 8P	18 a 26	25	180	2.1	4200
MITEQ	JSD4 18002600 25 8P	18 a 26	25	226	2.5	2950
MITEQ	JSD4 18002600 30 8P	18 a 26	25	289	3.0	1500
SATE-LLINK	SHA2000 18M (sin enfriamiento)	19.5 a 20.5	18	120	1.5	9990
SATE-LLINK	SHAC2000 31M (sin enfriamiento)	19.5 a 20.0	30	101	1.3	29500
SPACEK LABS INC	SLKKa-12-6	18.0 a 40.0	12	627	5.0	1900
SPACEK LABS INC	SLKKa-30-6	18.0 a 40.0	30	627	5.0	2400
SPACEK LABS INC	SLKKa-30-6W	18.0 a 40.0	30	627	5.0	2650
SPACEK LABS INC	SL224-18-3	20.0 a 24.0	18	149	1.8	1600
SPACEK LABS INC	SL224-18-3w6	20.0 a 24.0	18	160	1.9	1850
SPACEK LABS INC	SL224-35-3W	20.0 a 24.0	35	160	1.9	2600

El amplificador en negritas fue el que se utilizó para hacer los cálculos de enlace.

**Los Demoduladores que se encuentran en el rango de las frecuencias transmisión y de recepción.**

Fabricante	Modelo	Tipo de modulación	Potencia de portadora deseada [DBM]	Rango de tasa de transmisión	FEC	Eb Para No QPSK	Costo [dls]
Comtech	SLM-8650	BPSK QPSK OQPSK	-30 a -55 (≤ 2 Mbps) -30 a -45 (> 2 Mbps)	4.8 Kbps a 9.312 Mbps	1/2	4.2 @ 10 <sup>-3</sup> BER	8800
						4.8 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						5.5 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						6.1 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						6.7 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
					7.2 @ 10 <sup>-8</sup> BER		
					3/4	5.2 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						6.0 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						6.7 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						7.5 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						8.2 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
					7/8	8.8 @ 10 <sup>-8</sup> BER	
						6.4 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						7.2 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						7.9 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
8.6 @ 10 <sup>-6</sup> BER							
Comtech	SLM-3650	BPSK QPSK OQPSK 8PSK	- 15 a -55	2.4 Kbps a 5.9 Mbps	1/2	3.8 @ 10 <sup>-3</sup> BER	4750
						4.6 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						5.3 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						6.0 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						6.6 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
					7.2 @ 10 <sup>-8</sup> BER		
					3/4	4.9 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						5.7 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						6.4 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						7.2 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						7.9 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
					7/8	8.5 @ 10 <sup>-8</sup> BER	
						6.1 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						6.9 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						7.6 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
8.3 @ 10 <sup>-6</sup> BER							
8.9 @ 10 <sup>-7</sup> BER							
9.6 @ 10 <sup>-8</sup> BER							

Comtech	SDM-8000	BPSK QPSK 8PSK 16QAM	-30 a -55 (≤ 2 Mbps) -30 a -45 (> 2 Mbps)	4.8 Kbps a 9.312 Mbps	1/2	4.2 @ 10 <sup>-3</sup> BER	9000
						4.8 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						5.5 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						6.1 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						6.7 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
						7.2 @ 10 <sup>-8</sup> BER	
					3/4	5.2 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						6.0 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						6.7 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						7.5 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						8.2 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
						8.8 @ 10 <sup>-8</sup> BER	
					7/8	6.4 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						7.2 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						7.9 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
8.6 @ 10 <sup>-6</sup> BER							
9.2 @ 10 <sup>-7</sup> BER							
9.9 @ 10 <sup>-8</sup> BER							

Comtech	SDM-300A	BPSK QPSK 8PSK	-30 a -55	2.4 Kbps a 5.0 Mbps	1/2	4.6 @ 10 <sup>-3</sup> BER	4125
						5.3 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						5.9 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
						6.4 @ 10 <sup>-8</sup> BER	
					3/4	6.0 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						6.8 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
						7.5 @ 10 <sup>-7</sup> BER	
						8.0 @ 10 <sup>-8</sup> BER	
					7/8	6.1 @ 10 <sup>-3</sup> BER	
						6.8 @ 10 <sup>-4</sup> BER	
						7.2 @ 10 <sup>-5</sup> BER	
						7.9 @ 10 <sup>-6</sup> BER	
8.6 @ 10 <sup>-7</sup> BER							
9.4 @ 10 <sup>-8</sup> BER							

<b>Comtech</b>	<b>SLM-300L</b>	<b>BPSK QPSK OQPSK</b>	<b>19.2 Kbps a 4.375 Mbps</b>	<b>1/2</b>	4.8 @ $10^{-5}$ BER	<b>4125</b>
					5.4 @ $10^{-6}$ BER	
					6.0 @ $10^{-7}$ BER	
					6.5 @ $10^{-8}$ BER	
				<b>3/4</b>	5.9 @ $10^{-5}$ BER	
					6.6 @ $10^{-6}$ BER	
					7.2 @ $10^{-7}$ BER	
				<b>7/8</b>	8.0 @ $10^{-8}$ BER	
					5.7 @ $10^{-3}$ BER	
					6.3 @ $10^{-4}$ BER	
					7.0 @ $10^{-5}$ BER	
					7.8 @ $10^{-6}$ BER	
					8.4 @ $10^{-7}$ BER	
					9.2 @ $10^{-8}$ BER	

Nota: Los costos de los equipos fueron consultados en páginas de Internet de empresas dedicadas a la fabricación de dichos equipos. Estas páginas se encuentran en las referencias del capítulo. Los elementos en negritas fueron los que se utilizaron en el cálculo de enlace.

## CAPÍTULO X RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 10.1 Resultados Obtenidos.

Para poder determinar los parámetros de las antenas de las estaciones terrenas se partió de las siguientes características tanto del satélite como de las antenas transmisoras.

Basándonos en el modelo empleado por el sistema Anik-F2, el cual como ya se mencionó anteriormente se trata de un sistema de comunicaciones vía satélite en estrella con banda Ka, se tienen las siguientes características:

<b>Parámetros del satélite</b>	
Ancho de banda necesario	4.5 MHz
Ancho de banda del transpondedor	56.25 MHz
Potencia del transpondedor en saturación	55 dBW
Número de portadoras	11
Potencia por portadora	45 dBW
Frecuencias de Tx	27.5 a 31 GHz
Frecuencias de Rx	17.7 a 20.2 GHz
Figura de mérito enlace de subida	-14 dB/K
Figura de mérito enlace de bajada	-16 dB/K

Para el caso de las estaciones terrenas, se emplearon las características que presentan las antenas transmisoras del sistema de comunicaciones del Anik-F2. Como se mencionó en el capítulo V, estas estaciones son conocidas como puertos de acceso local o gateways con las siguientes características:

<b>Estación Terrena Transmisora</b>	
Rango de Frecuencias de Tx	27.5 – 31 GHz
Polarización de Tx	Horizontal
Diámetro de la antena	5.6 metros
Ganancia de la antena Promedio	62.0 dB
PIRE	56 dBW
Amplificador de alta potencia	250 W

Con estas características se aplicaron las fórmulas vistas en el capítulo IX para cada uno de los enlaces de subida y bajada en cada una de las ciudades seleccionadas. Cabe mencionar que las características de la antena para el enlace de subida se mantuvieron constantes en cada una de las ciudades para ver el comportamiento que tendría cada puerta de enlace en cualquier punto del territorio nacional. A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada una de las ciudades seleccionadas y para las distintas tasas de velocidades de transmisión y distintas disponibilidades. Respecto a las frecuencias, se manejaron las de 27.5 GHz y 17.7

GHz en el enlace de subida y de bajada, respectivamente. En un segundo caso se utilizaron las frecuencias de 31 GHz y 20.2 GHz de la misma forma.

Con ayuda de un programa de computadora (anexo 3), obtuvimos los siguientes resultados de diámetros de antenas en las estaciones receptoras (en metros):

**TX=27.5 GHz, Rx= 17.7 GHz.**

### La Paz

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	0.8451	0.6171	0.4476	0.3724	0.3413	0.3113	0.2826	0.2632
128	0.8459	0.6173	0.4476	0.3725	0.3413	0.3113	0.2826	0.2632
500	0.8437	0.6126	0.4438	0.3692	0.3383	0.3086	0.2801	0.2609
1000	0.8507	0.6136	0.4439	0.3693	0.3383	0.3086	0.2801	0.2609
1500	0.8580	0.6145	0.4441	0.3693	0.3384	0.3086	0.2801	0.2609
2048	0.8497	0.6042	0.4360	0.3625	0.3321	0.3029	0.2750	0.2561
4096	0.8814	0.6082	0.4365	0.3627	0.3322	0.3030	0.2750	0.2561
9312	0.9080	0.5767	0.4086	0.3389	0.3103	0.2830	0.2568	0.2391

### Tijuana

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	0.8085	0.5987	0.4404	0.3694	0.3398	0.3113	0.2837	0.2651
128	0.8091	0.5988	0.4404	0.3694	0.3398	0.3113	0.2837	0.2651
500	0.8055	0.5941	0.4367	0.3662	0.3369	0.3085	0.2812	0.2628
1000	0.8104	0.5949	0.4368	0.3663	0.3369	0.3086	0.2812	0.2628
1500	0.8154	0.5956	0.4369	0.3663	0.3369	0.3086	0.2813	0.2628
2048	0.8055	0.5854	0.4289	0.3596	0.3307	0.3029	0.2761	0.2579
4096	0.8265	0.5884	0.4294	0.3597	0.3308	0.3029	0.2761	0.2579
9312	0.8247	0.5561	0.4018	0.3361	0.3090	0.2829	0.2578	0.2408

### Guadalajara

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	1.8132	1.0778	0.6533	0.4911	0.4289	0.3720	0.3201	0.2867
128	1.8874	1.0811	0.6534	0.4912	0.4289	0.3720	0.3201	0.2867
500	2.5970	1.0910	0.6486	0.4870	0.4252	0.3687	0.3173	0.2842
1000	-	1.1189	0.6498	0.4872	0.4253	0.3688	0.3173	0.2842
1500	-	1.1490	0.6510	0.4874	0.4254	0.3688	0.3173	0.2842
2048	-	1.1615	0.6403	0.4786	0.4176	0.3620	0.3114	0.2789
4096	-	1.3274	0.6452	0.4795	0.4180	0.3622	0.3115	0.2790
9312	-	2.3484	0.6137	0.4495	0.3910	0.3384	0.2909	0.2605

## Monterrey

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	-	1.6831	0.8740	0.6091	0.5132	0.4287	0.3546	0.3085
128	-	1.7328	0.8749	0.6093	0.5133	0.4287	0.3546	0.3086
500	-	2.1235	0.8727	0.6045	0.5090	0.4251	0.3515	0.3058
1000	-	3.9547	0.8802	0.6053	0.5093	0.4251	0.3516	0.3059
1500	-	-	0.8878	0.6061	0.5095	0.4252	0.3516	0.3059
2048	-	-	0.8795	0.5957	0.5004	0.4175	0.3451	0.3002
4096	-	-	0.9131	0.5990	0.5015	0.4178	0.3452	0.3003
9312	-	-	0.9434	0.5664	0.4707	0.3909	0.3225	0.2804

## México D.F. (Cuauhtemoc)

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	1.2578	0.8332	0.5491	0.4326	0.3862	0.3428	0.3023	0.2757
128	1.2654	0.8339	0.5491	0.4326	0.3862	0.3428	0.3023	0.2757
500	1.3007	0.8303	0.5446	0.4288	0.3828	0.3398	0.2997	0.2733
1000	1.3720	0.8353	0.5450	0.4289	0.3829	0.3399	0.2997	0.2733
1500	1.4566	0.8404	0.5454	0.4290	0.3829	0.3399	0.2997	0.2733
2048	1.5353	0.8303	0.5357	0.4212	0.3759	0.3336	0.2942	0.2683
4096	2.4065	0.8521	0.5373	0.4216	0.3761	0.3337	0.2942	0.2683
9312	-	0.8507	0.5052	0.3944	0.3515	0.3117	0.2748	0.2505

## Oaxaca

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	1.9065	1.1148	0.6685	0.4997	0.4351	0.3762	0.3227	0.2884
128	2.0003	1.1186	0.6687	0.4997	0.4351	0.3762	0.3227	0.2884
500	3.0657	1.1317	0.6638	0.4955	0.4314	0.3730	0.3199	0.2859
1000	-	1.1648	0.6652	0.4957	0.4315	0.3730	0.3199	0.2859
1500	-	1.2010	0.6666	0.4959	0.4316	0.3730	0.3200	0.2859
2048	-	1.2197	0.6556	0.4870	0.4237	0.3662	0.3140	0.2806
4096	-	1.4309	0.6612	0.4879	0.4241	0.3663	0.3141	0.2807
9312	-	3.9749	0.6300	0.4575	0.3968	0.3423	0.2934	0.2621

## Xalapa

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	2.0903	1.1788	0.6945	0.5141	0.4457	0.3836	0.3274	0.2915
128	2.2526	1.1842	0.6948	0.5142	0.4457	0.3836	0.3274	0.2915
500	8.4415	1.2065	0.6899	0.5099	0.4419	0.3802	0.3245	0.2889
1000	-	1.2552	0.6916	0.5101	0.4420	0.3803	0.3246	0.2890
1500	-	1.3102	0.6934	0.5104	0.4421	0.3803	0.3246	0.2890
2048	-	1.3509	0.6823	0.5013	0.4340	0.3733	0.3186	0.2836
4096	-	1.7445	0.6894	0.5024	0.4345	0.3735	0.3187	0.2837
9312	-	-	0.6600	0.4714	0.4066	0.3491	0.2976	0.2649

## Villahermosa

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	-	-	1.9606	1.0627	0.8117	0.6126	0.4554	0.3665
128	-	-	2.0802	1.0658	0.8123	0.6127	0.4554	0.3665
500	-	-	3.9318	1.0745	0.8086	0.6079	0.4515	0.3633
1000	-	-	-	1.1002	0.8132	0.6088	0.4517	0.3633
1500	-	-	-	1.1280	0.8180	0.6096	0.4518	0.3633
2048	-	-	-	1.1379	0.8078	0.5992	0.4436	0.3567
4096	-	-	-	1.2870	0.8279	0.6025	0.4441	0.3568
9312	-	-	-	2.0548	0.8234	0.5700	0.4158	0.3334

## Tuxtla Gutiérrez

Velocidad de Tx [kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	-	-	1.5107	0.9003	0.7082	0.5506	0.4224	0.3477
128	-	-	1.5350	0.9014	0.7084	0.5507	0.4224	0.3477
500	-	-	1.6878	0.8997	0.7037	0.5462	0.4187	0.3447
1000	-	-	2.0327	0.9083	0.7056	0.5466	0.4188	0.3447
1500	-	-	2.7419	0.9171	0.7076	0.5470	0.4189	0.3447
2048	-	-	7.1231	0.9095	0.6965	0.5373	0.4112	0.3384
4096	-	-	-	0.9486	0.7046	0.5390	0.4115	0.3385
9312	-	-	-	0.9944	0.6765	0.5069	0.3849	0.3162

## Chilpancingo

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99
64	2.2619	1.2270	0.7122	0.5231	0.4518	0.3873	0.3292	0.2922
128	2.5307	1.2343	0.7125	0.5232	0.4518	0.3873	0.3292	0.2922
500	-	1.2674	0.7078	0.5188	0.4479	0.3839	0.3263	0.2897
1000	-	1.3350	0.7099	0.5191	0.4480	0.3840	0.3263	0.2897
1500	-	1.4147	0.7120	0.5194	0.4482	0.3840	0.3264	0.2897
2048	-	1.4875	0.7010	0.5101	0.4400	0.3770	0.3203	0.2843
4096	-	2.2708	0.7096	0.5114	0.4405	0.3772	0.3204	0.2844
9312	-	-	0.6825	0.4802	0.4124	0.3525	0.2993	0.2655

TX = 31 GHz , RX = 20.2 GHZ.

## La Paz

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	1.3740	0.8895	0.5741	0.4470	0.3969	0.3503	0.3070	0.2787
128	1.3873	0.8905	0.5742	0.4470	0.3969	0.3503	0.3070	0.2787
500	1.4598	0.8887	0.5696	0.4432	0.3935	0.3472	0.3043	0.2763
1000	1.6031	0.8969	0.5702	0.4434	0.3935	0.3473	0.3044	0.2763
1500	1.7992	0.9053	0.5708	0.4435	0.3936	0.3473	0.3044	0.2763
2048	2.0690	0.8975	0.5608	0.4354	0.3864	0.3409	0.2988	0.2712
4096	-----	0.9348	0.5633	0.4360	0.3867	0.3410	0.2988	0.2712
9312	-----	0.9757	0.5312	0.4082	0.3615	0.3186	0.2791	0.2533

## Tijuana

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	1.2787	0.8467	0.5577	0.4393	0.3922	0.3481	0.3069	0.2799
128	1.2867	0.8474	0.5578	0.4393	0.3922	0.3481	0.3070	0.2799
500	1.3241	0.8441	0.5532	0.4355	0.3888	0.3451	0.3043	0.2775
1000	1.3994	0.8497	0.5537	0.4356	0.3888	0.3451	0.3043	0.2775
1500	1.4893	0.8554	0.5542	0.4358	0.3889	0.3451	0.3043	0.2775
2048	1.5751	0.8456	0.5444	0.4278	0.3817	0.3388	0.2987	0.2723
4096	2.5646	0.8701	0.5463	0.4283	0.3820	0.3389	0.2987	0.2724
9312	-----	0.8750	0.5142	0.4008	0.3571	0.3166	0.2790	0.2543

## Guadalajara

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	-----	1.9324	0.9575	0.6498	0.5406	0.4456	0.3635	0.3130
128	-----	1.9905	0.9586	0.6499	0.5406	0.4456	0.3635	0.3130
500	-----	2.4510	0.9567	0.6449	0.5361	0.4418	0.3603	0.3103
1000	-----	4.7314	0.9656	0.6459	0.5365	0.4419	0.3603	0.3103
1500	-----	-----	0.9748	0.6468	0.5368	0.4420	0.3604	0.3103
2048	-----	-----	0.9664	0.6359	0.5272	0.4340	0.3537	0.3046
4096	-----	-----	1.0070	0.6398	0.5286	0.4344	0.3539	0.3046
9312	-----	-----	1.0521	0.6061	0.4965	0.4065	0.3307	0.2845

## Monterrey

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	-----	8.2853	1.4295	0.8702	0.6892	0.5396	0.4169	0.3451
128	-----	-----	1.4406	0.8709	0.6894	0.5397	0.4169	0.3451
500	-----	-----	1.4968	0.8670	0.6843	0.5352	0.4133	0.3421
1000	-----	-----	1.6075	0.8723	0.6857	0.5355	0.4134	0.3421
1500	-----	-----	1.7472	0.8776	0.6871	0.5359	0.4135	0.3421
2048	-----	-----	1.9044	0.8669	0.6758	0.5263	0.4059	0.3358
4096	-----	-----	6.1808	0.8894	0.6813	0.5276	0.4062	0.3359
9312	-----	-----	-----	0.8872	0.6488	0.4955	0.3799	0.3138

## México D.F. (Delegación Cuauhtemoc)

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	2.4437	1.3276	0.7527	0.5451	0.4676	0.3980	0.3358	0.2965
128	2.6339	1.3341	0.7529	0.5451	0.4676	0.3980	0.3358	0.2965
500	10.0467	1.3615	0.7479	0.5406	0.4636	0.3946	0.3329	0.2939
1000	-----	1.4202	0.7499	0.5409	0.4637	0.3946	0.3329	0.2939
1500	-----	1.4871	0.7521	0.5413	0.4639	0.3947	0.3329	0.2939
2048	-----	1.5393	0.7403	0.5316	0.4555	0.3875	0.3268	0.2885
4096	-----	2.0464	0.7490	0.5329	0.4560	0.3877	0.3269	0.2885
9312	-----	-----	0.7194	0.5005	0.4270	0.3624	0.3053	0.2694

## Oaxaca

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	----	2.0227	0.9854	0.6637	0.5503	0.4519	0.3672	0.3153
128	----	2.0938	0.9866	0.6639	0.5503	0.4519	0.3672	0.3153
500	----	2.7066	0.9853	0.6588	0.5457	0.4481	0.3640	0.3125
1000	----	11.4272	0.9954	0.6599	0.5461	0.4482	0.3640	0.3126
1500	----	----	1.0059	0.6609	0.5465	0.4483	0.3640	0.3126
2048	----	----	0.9984	0.6498	0.5367	0.4401	0.3574	0.3068
4096	----	----	1.0451	0.6541	0.5382	0.4406	0.3575	0.3069
9312	----	----	1.1089	0.6203	0.5057	0.4124	0.3341	0.2866

## Xalapa

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	----	2.2116	1.0380	0.6898	0.5683	0.4637	0.3742	0.3197
128	----	2.3292	1.0397	0.6900	0.5684	0.4637	0.3742	0.3197
500	----	3.7947	1.0405	0.6849	0.5637	0.4598	0.3709	0.3169
1000	----	----	1.0544	0.6862	0.5642	0.4599	0.3709	0.3169
1500	----	----	1.0688	0.6876	0.5646	0.4600	0.3710	0.3169
2048	----	----	1.0645	0.6762	0.5546	0.4517	0.3642	0.3111
4096	----	----	1.1314	0.6816	0.5564	0.4522	0.3643	0.3111
9312	----	----	1.2676	0.6486	0.5233	0.4232	0.3405	0.2906

## Villahermosa

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	----	----	----	1.8964	1.2927	0.8790	0.5870	0.4367
128	----	----	----	1.9445	1.2984	0.8796	0.5870	0.4367
500	----	----	----	2.2972	1.3209	0.8756	0.5822	0.4329
1000	----	----	----	3.4887	1.3710	0.8807	0.5828	0.4330
1500	----	----	----	----	1.4274	0.8859	0.5833	0.4331
2048	----	----	----	----	1.4668	0.8749	0.5730	0.4252
4096	----	----	----	----	1.8513	0.8969	0.5751	0.4256
9312	----	----	----	----	----	0.8925	0.5415	0.3981

## Tuxtla Gutiérrez

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	----	----	3.6663	1.4886	1.0691	0.7589	0.5292	0.4063
128	----	----	5.5946	1.5006	1.0710	0.7591	0.5292	0.4063
500	----	----	----	1.5616	1.0725	0.7540	0.5248	0.4028
1000	----	----	----	1.6818	1.0878	0.7562	0.5251	0.4029
1500	----	----	----	1.8347	1.1037	0.7583	0.5254	0.4030
2048	----	----	----	2.0120	1.1004	0.7466	0.5159	0.3956
4096	----	----	----	10.1284	1.1751	0.7554	0.5170	0.3958
9312	----	----	----	----	1.3413	0.7259	0.4852	0.3701

## Chilpancingo

Velocidad de Tx [Kbps]	Disponibilidad [%]							
	99.99	99.98	99.95	99.90	99.85	99.75	99.50	99.00
64	----	2.3834	1.0778	0.7081	0.5803	0.4709	0.3777	0.3213
128	----	2.5690	1.0800	0.7083	0.5804	0.4709	0.3777	0.3213
500	----	9.8372	1.0833	0.7033	0.5757	0.4669	0.3744	0.3185
1000	----	----	1.1013	0.7049	0.5762	0.4670	0.3745	0.3186
1500	----	----	1.1202	0.7065	0.5767	0.4672	0.3745	0.3186
2048	----	----	1.1199	0.6950	0.5666	0.4587	0.3677	0.3127
4096	----	----	1.2114	0.7015	0.5686	0.4593	0.3678	0.3128
9312	----	----	1.4612	0.6698	0.5354	0.4302	0.3438	0.2921

Como podemos observar en los resultados, existen algunas combinaciones de velocidades de transmisión con disponibilidades que no cumplen con las condiciones para que se pueda establecer un enlace, esto es, que la relación portadora sobre ruido total resulta ser mayor que alguna de sus componentes de acuerdo a los parámetros que se fijaron al principio. Los parámetros que se utilizaron para el cálculo de los enlaces fueron tomados de algunos equipos que se encuentran en el mercado y que operan dentro de los rangos de frecuencia manejados en este trabajo de investigación.

Por otro lado, se puede observar en las tablas anteriores que, en algunos casos, a medida que aumenta la velocidad, y para una misma disponibilidad, el diámetro de la antena requerida disminuye. Esto sucede así debido a que, por un lado, al incrementar la velocidad de trabajo del sistema, se requiere de una mayor relación (C/No) total, con lo que empeoran las condiciones del enlace. Por otro lado, como la velocidad es mayor, se tienen menos portadoras en el transpondedor con la

consecuencia de que se obtiene una relación (C/No) de intermodulación mayor, beneficiándose entonces el enlace.

Aún así, los cambios de diámetro al variar la velocidad de trabajo son muy pequeños. El factor que en mayor medida hace variar el diámetro requerido para lograr el enlace es el margen de atenuación por lluvia, ya sea por la característica climatológica de la zona en cuestión o por la disponibilidad con la que se dota al sistema.

## 10.2 Conclusiones.

Esta muy claro que las comunicaciones vía satélite en México han ido desarrollándose de manera importante al mismo tiempo en que muchas compañías extranjeras han mostrado un mayor interés en el mercado mexicano, por lo que el gobierno de México debe abrir aún más las puertas a dichas empresas para el beneficio de este ramo de la industria.

Siendo así, en un futuro pudiéramos tener en México satélites que pudieran dar servicio en la banda Ka para lograr mejorar la calidad de vida de muchas personas que requieren de información para poder desarrollarse, como lo son las que se encuentran en las comunidades rurales.

Con las características de la banda Ka que ya hemos mencionado, sumado a los progresos en las tecnologías de comunicaciones y a las necesidades que la misma sociedad está demandando, hemos visto que debe impulsarse el uso de esta Banda para los futuros sistemas satelitales que tendrán cobertura en la República Mexicana. De esta manera se podrá hacer llegar servicios de banda ancha a cualquier ciudadano, independientemente si vive en un núcleo urbano o en una zona rural. Se ha visto que en términos económicos las telecomunicaciones por satélite son más baratas que las telecomunicaciones por medios terrestres cuanto más dispersos estén los puntos conectados y cuanto más difícil tengan su acceso los servicios que utilizaran el cable físico.

Como vimos en el capítulo II existen programas, como el caso de Movisat que opera con estaciones móviles en banda "L", principalmente al sureste del país, y el proyecto de las VSAT's, con poco tiempo en operación empleando la banda Ku, con el objetivo de proporcionar a las comunidades rurales, en particular las de 100 a 500 habitantes, el servicio de telefonía básica que les permita estar comunicadas con el resto del país. Estos dos proyectos dependen directamente de la SCT, es decir, si no existe el presupuesto para seguir desarrollando estos programas, las condiciones no cambiarán mucho en el futuro. Sabemos también que existen proyectos, como el de la Red EDUSAT, que llevan programas educativos a zonas urbanas, urbanas marginales y rurales dentro del país. Sin embargo, esto no es suficiente, existen aún varias poblaciones a las que estos servicios no han llegado, quedando aisladas y al margen de oportunidades reales de desarrollo. Se observa que prácticamente todos los estados del país cuentan con una densidad telefónica muy pobre, siendo principalmente los estados del sureste mexicano los más afectados.

Además de la telefonía básica, para lograr un desarrollo mayor en estas comunidades, se requieren de otras estrategias como lo son los telecentros. Estos figuran como una fuente de comunicación de bajo costo que permiten a los habitantes participar en mayor medida en los asuntos concernientes a su comunidad, así como acceder a información útil y servicios básicos como la salud y la educación.

Una de las principales causas por la que fracasaron los primeros telecentros fue que requerían de realizar costosas llamadas de larga distancia para conectarse al ISP; así, una de las posibles soluciones a este problema se encuentra en el uso del satélite como medio de interconexión del equipo localizado en la zona rural con la red pública.

Estamos al corriente de que actualmente se están acondicionando algunas oficinas de telégrafos como telecentros, pero estos se encuentran principalmente en las capitales de los estados y aún son muy pocos. Es por tanto necesario aumentar en número estos sitios en los que se posibilita el acceso a la información, así como los servicios que se proporcionan. Esto con objeto de poder llevar a las poblaciones rurales servicios como los de Tele-educación y Telemedicina.

Aunque existe el proyecto llamado e-México que tiene como meta instalar un Centro Comunitario Digital en cada cabecera municipal, este proyecto aún se encuentra en estudio y no ha salido de la SCT.

En el capítulo III se ha dado un panorama de las diferentes tecnologías y sistemas de telecomunicaciones en banda ancha que existen y que se están desarrollando ampliamente en el mercado de las telecomunicaciones. Presentamos las tendencias de diferentes sistemas que tienen como objetivo principal dar soluciones de acceso a los servicios de banda ancha. Estos sistemas son las redes digitales terrestres, los arreglos de redes inalámbricas y los sistemas satelitales.

Uno de los principales objetivos de los sistemas en banda ancha es proveer diversos servicios por medio de un solo canal de transmisión, con la tendencia a cubrir la mayor parte de las telecomunicaciones para los usuarios que se encuentren dentro o fuera de zonas urbanizadas. Esto se puede lograr gracias a una interoperabilidad de sistemas, aprovechando la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, las redes satelitales y las redes terrestres.

Por ejemplo un futuro sistema de radio para banda ancha deberá consistir de varios subsistemas de interconexión y de integración y deberán tener la característica de prestar servicios tanto a usuarios fijos y móviles. Tales sistemas deben incluir sistemas de acceso inalámbrico. Es necesario integrar diferentes arquitecturas, tecnologías de acceso a banda ancha y cobertura.

Las redes de banda ancha se han desarrollado en diferentes direcciones y áreas. Han sido asociadas con normas de las redes existentes como el cable y como los satélites. Usar flexibilidad e interoperabilidad entre redes requerirá de una armonización de operación, de proveer servicios y de un manejo adecuado de la red.

Los servicios que requieren las comunidades rurales van desde la telefonía básica hasta la telemedicina. Como lo vimos en el capítulo IV, los Servicios Integrados de Banda Ancha pueden ser clasificados en interactivos y de distribución, dependiendo de la capacidad de intercambio de información que le permita el servicio en particular al usuario.

En el caso de los servicios con que se planea dotar a las comunidades rurales, estos caen dentro de los dos tipos, pues para los caso de la tele-educación o telemedicina, por ejemplo, se tiene que son de tipo interactivo, toda vez que desde la terminal de usuario se envía gran cantidad de información. Por otro lado, en el caso de la recepción de programación educativa, como la de la red EDUSAT, se tienen servicios de tipo de distribución.

Así, con lo que respecta a los anchos de banda requeridos, este depende de los servicios que se piensen ofrecer. Los servicios a proporcionar podrían ir desde la transferencia de archivos, con una modesta tasa de transmisión de 9.6 kbps, hasta otros que requieren de mayor capacidad, tal como la TV con calidad NTSC, que es la calidad de la TV de difusión que se da actualmente.

Cierto es que en las comunidades rurales no convendría implementar servicios como el de voz con calidad de CD o el de Televisión de Alta Definición, que ocupan un importante ancho de banda; sin embargo, existen objetivos como el de la Telemedicina que hace uso de servicios como el de la de transmisión de Rayos X que requiere tasas de 1.5 Mbps o la exploración médica con un requerimiento mínimo de 10 Mbps.

En el capítulo V se presentó un panorama sobre la tecnología en banda Ka y también las muchas ventajas que representa el operar con dicha banda. La tecnología de los haces de cobertura múltiple, el procesamiento y conmutación a bordo, nos llevan al aprovechamiento de la frecuencia a través del re-uso de ella. Con estas características podemos entender y principalmente encausar la línea comercial que los satélites aspiran a desempeñar, saber que tipo de servicios se pueden ofrecer y concentrar la cobertura a zonas estratégicas.

Dentro de las bondades que tiene el uso de la banda Ka, debemos considerar que presenta diversas ventajas, pero es necesario también considerar la susceptibilidad de la banda, principalmente a deterioros durante su propagación a través de la troposfera. Para nuestra propuesta, tomamos en consideración diversos aspectos que nos ayudan a darnos una idea sobre las características de nuestro enlace y principalmente de los costos de los equipos. Estos aspectos deben reflejar el desempeño y disponibilidad del sistema satelital en conjunto.

Por lo tanto planear soluciones de redes de satélites envuelve la investigación de diferentes mercados en todo el mundo. La banda Ka ofrece nuevos servicios en nuevos mercados, se le reconoce como una estrategia innovadora de las comunicaciones satelitales. Planear una mejor cobertura, el qué tipo de topología podemos proponer, que sea de tipo malla por medio de saltos o topología tipo estrella con acceso a la última milla, y pensar en una adecuada distribución de los suscriptores, son aspectos que nos conducen a una solución de redes satelitales.

Sin duda alguna el incremento del ancho de banda, la capacidad para el manejo de datos y la reducción en tamaño de los componentes, en la banda Ka, son aspectos atrayentes en el mercado de las telecomunicaciones, pero debemos de tomar en cuenta que en estos momentos la demanda esta apenas en crecimiento y en los países como México todavía no es posible implementar un sistema en la banda Ka, debido a que las exigencias de los suscriptores son cubiertas con los satélites en las bandas inferiores.

Del capítulo en el que hablamos del procesamiento a bordo, vemos que para tener una potencia de transmisión razonablemente pequeña con diámetros de platos también pequeños en las terminales de usuario, es necesario que el satélite cuente con antenas de muy alta ganancia y, consecuentemente, deberá utilizar antenas de haces múltiples; siendo así necesario el uso del procesamiento y conmutación a bordo del satélite.

Hemos visto también que de las dimensiones de las antenas dependerá la velocidad de transmisión. Mientras mayor sea el diámetro de una antena mayor será la velocidad a la que se puedan recibir o transmitir los datos, manteniendo constante el número de portadoras. Además, de acuerdo a las características de los servicios que se darían mediante un sistema en banda Ka, se generarán modelos de tráfico altamente asimétricos, con bajas velocidades en el enlace de regreso y velocidades mucho mayores en el enlace de ida. Esto es posible gracias a que, aunque la potencia de los amplificadores de las terminales de usuario son pequeñas, el satélite cuenta con amplificadores que entregan una potencia mucho más alta.

También se deduce de este capítulo que el esquema de acceso más adecuado es el que utiliza el tipo MF-TDMA para el enlace de subida de pequeñas terminales de usuario y el TDM para el enlace de bajada, ya que se observa un uso más eficiente del ancho de banda disponible. Los puertos de acceso local utilizan una sola portadora por canal.

Dentro de la modulación, el esquema QPSK sigue siendo el más utilizado debido a su equilibrio entre la eficiencia espectral y la robustez. Además se utiliza la modulación FEC para posibilitar la corrección de errores.

La conmutación puede ser llevada a cabo con base, tanto en paquetes específicos de satélite, como en celdas ATM, aunque con esta última se obtiene un mayor rendimiento y permite una integración completa con las redes ATM terrestres y es llevada a cabo mediante tablas de direccionamiento con las que se decide que

sendero físico tomará cada celda en particular. Cabe mencionar que en la actualidad para los satélites que se tienen en operación por parte de Satmex, el concepto de conmutación a bordo del satélite se refiere a la conmutación que se puede llevar a cabo entre los haces, es decir, que se pueda transmitir una señal de una huella que opera en determinado rango de frecuencias a otra huella que opera en el mismo rango de frecuencias. Lo anterior fue explicado por gente de Satmex.

Otras conclusiones importantes dentro del procesamiento a bordo es que los demoduladores son los equipos principales dentro de la carga útil del satélite, pues son los que separan espectralmente, demodulan, decodifican y extraen las tramas de las ráfagas de datos recibidos. Por otro lado, la tarea principal de Centro de Control Maestro es permitir la interoperabilidad de la red satelital con la red terrestre mediante la traducción de protocolos y algoritmos de las terminales de suscriptor en comandos que controlan el flujo de información.

Sobre el tema de Factores de Propagación en la banda Ka, logramos darnos cuenta que es la parte esencial de un estudio sobre comunicaciones vía satélite. Es en este capítulo donde se observó que tan importante es cada uno de los factores que intervienen durante la trayectoria de nuestra señal a través de la atmósfera. Atenuaciones provocadas por los hidrometeoros (lluvia, nubes, capas de fusión, etc.), por la absorción de gases, por rápidas variaciones en los niveles de la señal debido a los efectos en la troposfera y despolarización fueron estudiadas y analizadas para llegar a la conclusión de que el fenómeno de la lluvia es el factor más importante a considerar para definir que tanto se ve afectada la señal transmitida. Retomando el ejemplo visto en el capítulo VII para demostrar lo mencionado anteriormente, la atenuación debida a la lluvia a una frecuencia de 20 GHz es tres veces mayor que a 11 GHz. Los demás factores contribuyen de alguna manera en la pérdida de potencia de la señal, sin embargo no resultan ser tan perjudiciales en comparación con la lluvia. De todas formas es necesario tener conocimiento de todos ellos para saber en cuales casos resultan ser de mayor importancia para nuestro enlace, como se da en el caso de la atenuación por absorción de gases que aumenta al tener ángulos de elevación pequeños.

Para el estudio de los efectos producidos por la lluvia, fue necesario investigar y aplicar algunos de los métodos que definen las condiciones en cada región de nuestro país. El resultado de la investigación, con ayuda de algunos artículos desarrollados por investigadores, nos llevó a decidir que el mejor de los métodos a utilizar fue el Modelo Global de Distribución de Lluvias de Crane aplicado al modelo DAH. Los dos modelos anteriores fueron aplicados más adelante para el cálculo de márgenes de atenuación por lluvia.

En el capítulo VIII observamos como los sistemas de satélites han hecho uso de las nuevas tecnologías de banda ancha que han surgido en el mercado y cómo las han aplicado en lo que se refiere a las constelaciones de satélites que rodean todo el planeta. Esto es muy importante puesto que nos ayuda a entender el panorama

sobre las nuevas tecnologías y sistemas satelitales que se encuentran en operación o que en algún tiempo lo estuvieron.

La evolución que ha tenido el uso de la banda Ka es muy importante para los futuros sistemas satelitales en los que se tiene la inquietud de hacer uso de esta banda. Los resultados experimentales que han arrojado los primeros satélites en esta banda, han dado inicio a una nueva generación de satélites y despertado el interés por las compañías para hacer uso de satélites de banda Ka y la consideren como una ventana más de espectro disponible para dar servicios multimedia. El desarrollo y el proceso de gestión para la autorización del uso de la banda Ka, ha sido muy demandado en la UIT-T por parte de las compañías satelitales. Esto ha generado la competencia en el mercado de las telecomunicaciones, tanto en la gestión por las posiciones espaciales como por la cobertura en la Tierra.

En muchos países, las empresas aún no están convencidas de las innovaciones que se puede tener con el uso de la banda Ka y por lo tanto no quieren arriesgarse. Muchas otras pretende que en un futuro no muy lejano, la mayor parte de la carga útil de sus satélites esté conformada por la banda Ka. Estas buscan integrar las redes satelitales con las redes terrestres y de esta manera tener una amplia cobertura en el mercado global de las telecomunicaciones.

Referente al análisis realizado en este capítulo sobre el diámetro de las estaciones esclavas, podemos concluir que las estaciones que se ubicarían en los puntos seleccionados pueden operar en las disponibilidades menores a 99.95 para cualquier velocidad de transmisión.

Después de analizar los sistemas de comunicaciones en banda Ka, observamos que las disponibilidades más frecuentes a las que operan están entre 99.5 y 99.8 % , para las que obtuvimos los siguientes valores de diámetros de antenas (en metros) aproximados para cada ciudad:

$$Tx = 27.5, Rx = 17.7$$

Ciudad	Disponibilidad	
	99.5 %	99.85 %
La Paz	0.30	0.35
Tijuana	0.30	0.35
Guadalajara	0.33	0.43
Monterrey	0.36	0.52
México D. F. (Del. Cuauhtemoc)	0.31	0.40
Oaxaca	0.33	0.44
Xalapa	0.33	0.45
Villahermosa	0.46	0.83
Tuxtla Gutiérrez	0.43	0.71
Chilpancingo	0.33	0.46

**Tx = 31, Rx = 20.2**

Ciudad	Disponibilidad	
	99.5 %	99.85 %
La Paz	0.31	0.40
Tijuana	0.31	0.40
Guadalajara	0.37	0.55
Monterrey	0.42	0.69
México D. F. (Del. Cuauhtemoc)	0.34	0.47
Oaxaca	0.37	0.56
Xalapa	0.38	0.57
Villahermosa	0.59	1.9*
Tuxtla Gutiérrez	0.53	1.2*
Chilpancingo	0.38	0.59

Los valores marcados con asterisco en la segunda tabla nos indican que los valores de las antenas en esta disponibilidad ya resultan ser muy grandes para las antenas comerciales que se tienen. Además al revisar las tablas de resultados obtenidos, éstos nos indican que nuestro enlace para estas dos ciudades ya no cumple con la relación portadora sobre densidad de ruido en algunas de nuestras velocidades de transmisión propuestas. Resulta lógico pensar que las dos ciudades que presentan esta situación son las de Villahermosa y Tuxtla Gutiérrez al contar con mayores rangos de márgenes de atenuación y al tratarse del caso de las frecuencias más altas.

Finalmente podemos concluir que la factibilidad de prestar servicios integrados de Telecomunicaciones para las comunidades rurales en banda Ka no depende del aspecto técnico pues ya existen sistemas satelitales en operación en esta banda que pudieran adecuarse a México con ciertas modificaciones, sino que depende de que exista un mercado que justifique el empleo de esta nueva tecnología. Además, para un proyecto en banda Ka es necesario reemplazar cada uno de los equipos empleados para la banda Ku, lo que representa una mayor inversión.

Las empresas dedicadas a proporcionar el servicio de enlace vía satélite requieren de un riguroso estudio de mercado que les permita definir la conveniencia de un nuevo proyecto para satisfacer las necesidades de los clientes. Es difícil ver que alguna de estas empresas se aventure a llevar a cabo un proyecto sin estar lo suficientemente convencidas de que tendrá un futuro prometedor, ya que en caso de fracasar pudiera ocasionar pérdidas multimillonarias, como fue el caso del proyecto Iridium al promover el servicio de telefonía celular vía satélite en cualquier parte del mundo y que no logró cumplir con las metas esperadas al contar con tarifas muy altas.

En México se tiene un mercado maduro en cuanto a servicios satelitales que hacen uso de la banda C (los principales clientes en esta banda son las televisoras y las empresas de distribución de servicios por cable), y que seguirá siendo el principal mercado de estas empresas.

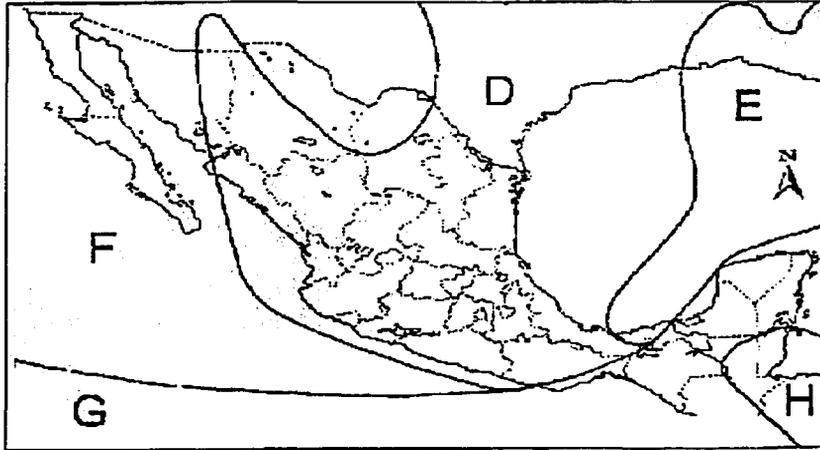
Por otro lado, la banda Ku sigue dando buenos resultados para las comunicaciones satelitales, pero poco a poco se está saturando, es por eso que en un período de 3 a 5 años, en México pudiera utilizarse la banda Ka como una solución a este problema.

Así pues, hasta que no exista una gran demanda de la banda Ka en el mercado, las empresas satelitales no estarán interesadas en incorporar a su flotilla un satélite con transpondedores en esta banda. Además, si se diera en un futuro un satélite mexicano con servicios en banda Ka, seguramente sería en combinación con la banda C y banda Ku, ya que este cambio tendría que ser de manera paulatina debido a la inversión requerida para emigrar de una banda a otra en lo que se refiere a equipo en las estaciones terrenas, que actualmente sigue siendo más costoso que el equipo que se utiliza en banda Ku.

Por lo tanto, antes de proporcionar servicios integrados de telecomunicaciones en la banda Ka para comunidades rurales, debe buscarse la forma de proporcionar estos servicios de manera efectiva en la banda Ku, ya sea por inversión privada o subsidio del gobierno a través de la SCT, como se observó con algunos proyectos analizados en este trabajo. Claro está que las ventajas que trae consigo el uso de la banda Ka son ideales para llevar los servicios integrados de telecomunicaciones a las comunidades rurales y, cuando se disponga de esta banda, deberá buscarse soluciones basadas en ella.

# ANEXOS

## ANEXO 1



Mapa de Distribución de lluvias del Modelo de Crane para México.

Región	99.99 %	99.98 %	99.95 %	99.9 %	99.8 %	99.5 %
D	49	35	22	15	9.5	5.2
E	28	77	52	35	21	8.5
F	23	14	8	5.5	3.8	2.4
G	67	51	33	22	14	7.0

Tabla A.1 Valores de la Intensidad de la lluvia (mm/h) contra probabilidades por región climática.

## ANEXO 2

Código del programa utilizado para realizar los cálculos de los márgenes de atenuación por lluvia para las ciudades seleccionadas para las distintas disponibilidades.

```
%Función para calcular la atenuación por lluvia
%
%f=frecuencia en GHz.
%lat[]=latitud en grados de la E.T.
%Ls=longitud geográfica del Satélite.
%Let[]=longitud geográfica de la E.T.
%hs[]=altitud de la estación terrena en km
%p[]=porcentaje de indisponibilidad.
%R[]=intensidad de la lluvia excedida 0.01% del tiempo.
% k y alfa son los coeficientes para calcular la atenuación específica gama.
%hfr= Altura de congelamiento durante la lluvia (km).
%Ts= Trayectoria inclinada bajo la altura de congelamiento.
%Tg=Proyección horizontal de la trayectoria inclinada.
%Xi=Ángulo de polarización.
%rh=Ajuste horizontal para %0.01 del tiempo.
%rv=Ajuste vertical para %0.01 del tiempo.
%Lr=Longitud(km) ajustada a través de la lluvia.
%Le=Longitud efectiva(km)a través de la lluvia.
%A=atenuación por lluvia para una disponibilidad de 99.99%
%teta=ángulo de elevación en radianes
%S=rango para el satélite GEO(km)
%Lel=atenuación por propagación en el espacio libre en dB.
```

```
function atenuall_mod(lat,hs,Ls,Let,R,alfa,k,f,p)
DL=abs(Ls-Let);
lrad=pi.*lat/180;
DLrad=pi.*DL/180;
c=cos(lrad).*cos(DLrad);
tetaprim=acos(c);

teta=atan((c-0.1513)./sin(tetaprim));
Elev=teta*180/pi
S=35786.*sqrt(1.4199-0.4199.*cos(tetaprim));
n=length(lat);

hfr=5*ones(1,n);
for i=1:1:n
    if lat(i)>23
        hfr(i)=5-0.075*(lat(i)-23);
    end
end

habs=hfr-hs;
Ts=habs./sin(teta);
Tg=Ts.*cos(teta);
gama=k.*R.^alfa;
rh=1./(1+0.78.*sqrt(Tg.*gama./f)-0.38.*(1-10.^(-2*Tg)));
```

```

Xi=atan(habs./(Tg.*rh));

Xi=zeros(1,n);
for i=1:n
    if Xi(i)>teta(i)
        Lr(i)=Tg(i).*rh(i)./cos(teta(i));
    end
    if Xi(i)<=teta(i)
        Lr(i)=habs(i)./sin(teta(i));
    end
    i=i+1;
end

x=zeros(1,n);
for i=1:1:n
    if lat(i)<36
        x(i)=36-lat(i);
        x(i)=x(i)*pi/180;
    end
end

rv=1./(1+sqrt(sin(teta)).*(31.*(1-exp(-teta.*(1-x))).*sqrt(Lr.*gama)./f^2-0.45));
Le=Lr.*rv;

Atenlluvia=gama.*Le;

lamda=0.3/f;
Le1=10*log10((4*pi*S*1E3/lamda).^2)
%Le12=92.44+20*log10(S)+20*log10(f)
m=length(p);
Atenll_P=zeros(m+1,n);
Atenll_P(1,:)=Atenlluvia;
factor=0.12*p.^(-0.546+0.043.*log10(p));
for i=1:1:m
    %exponente=0.655+0.033*log(p(i))-0.045*log(Atenlluvia)-sin(teta)*(1-p(i));
    %Atenll_P(i+1,:)=Atenlluvia.*(p(i)/0.01).^exponente;
    Atenll_P(i+1,:)=Atenlluvia.*factor(i);
end
Atenll_P

```

## ANEXO 3

Código del programa empleado para realizar los cálculos de enlace para cada estación terrena, obteniendo como resultado los diámetros de las antenas a emplear para diferentes tasas de transmisión y disponibilidad.

```
%Función para calcular un enlace satelital
%
%BW=Ancho de banda del transpondedor [Hz].
%Lc=Pérdidas en los conectores [dB].
%FEC=Tasa de codificación FEC.
%VTx[]=Velocidad de transmisión[kbits/s].
%EbNo=Energía de bit/Densidad de ruido [dB].
%EBO=Back-off de entrada [dB].
%GantS=Ganancia de la antena de subida [dBi].
%HPA=Potencia del HPA [W].
%Lels=Pérdidas por propagación en el espacio libre de subida para la ciudad en cuestión [dB].
%Laas=Pérdidas por absorción atmosférica en el enlace de subida[dB].
%Llluvs[]=Márgenes de atenuación por lluvia de subida para la ciudad [dB].
%Lelb=Pérdidas por propagación en el espacio libre de bajada para la ciudad en cuestión [dB].
%Laab=Pérdidas por absorción atmosférica en el enlace de bajada[dB].
%Llluvb[]=Márgenes de atenuación por lluvia de bajada para la ciudad [dB].
%GTsat=Figura de mérito del satélite [dB/K].
%PIRESat=PIRE de la antena de Tx del satélite [dB].
%Tant=Temperatura de la antena de Rx [K].
%TLNA=Temperatura del LNA [K].
%FRx=Frecuencia de bajada [GHz].
%
%
%
%
%% %
```

```
function enlace(VTx,Lels,Llluvs,Lelb,Llluvb,FRx,EBO)
BW=56.25E6;
Lc=0.5;
FEC=1/2;
EbNo=5.5;
GantS=62;
HPA=250;
Laas=0.5;
Laab=0.5;
GTsat=16;
K=228.6;
PIRESat=55;
Tant=42;
TLNA=160;
n=length(Llluvs);
m=length(VTx);
CNob=zeros(m,n);
PIRE_L=zeros(m,n);
```

```

B=1.2E3*VTx/FEC;
n=floor(BW./(1.1*B));
CNo=EbNo+10*log10(VTx*1E3);
CNoAbs=10.^(CNo/10);
LcAbs=10^(Lc/10);
Ltots=Lels+Laas+Llluv;
PIREs=GantS+10*log10(HPA)-Lc;
SBO=0;

CNoim=83.5-10*log10(n)+.7*(EBO-5);
if EBO>5
    SBO=0.9*(EBO-5);
end
if EBO>9
    CNoim=79-10*log10(n)+1.65*(EBO-5);
end
CNoimAbs=10.^(CNoim/10);
CNos=PIREs-Ltots-EBO+GTsat+K;
CNosAbs=10.^(CNos/10);
for i=1:m
    CNobAbs=1./(1/CNoAbs(i)-1./CNosAbs-1/CNoimAbs(i));
    CNob(i,:)=10*log10(CNobAbs);
end

PIREporta=PIREsat-10*log10(n);
PIREb=PIREporta-SBO;
Ltotb=Lelb+Laab+Llluvb;
Ts=Tant/LcAbs+280*(1-1/LcAbs)+TLNA;
for i=1:m
    PIRE_L(i,:)=Ltotb-PIREb(i);
end

GTb=CNob+PIRE_L-K;
Gantb=GTb+10*log10(Ts)+Lc;
g_antb=10.^(Gantb/10);
D=(0.3/(pi*FRx))*sqrt(g_antb/0.6)

```

## ANEXO 4

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
 SUBSECRETARÍA DE COMUNICACIONES  
 CONCESSIONES OTORGADAS PARA EXPLOTAR LOS DERECHOS DE EMISIÓN Y RECEPCIÓN DE SEÑALES DE BANDAS DE FRECUENCIAS ASOCIADAS  
 A SISTEMAS SATELITALES EXTRANJEROS QUE CUBREN Y PUEDEN PRESTAR SERVICIOS EN TERRITORIO NACIONAL

No.	Nombre del Concesionario	Fecha de Otorgamiento	Servicios Autorizados	Cobertura
1	Indum de México S.A. de C.V.	20-Abr-98 (1 CDER) 05-Jul-99 (1 CRPT)	Servicios móviles de comunicación de voz, transmisión de datos y fax y Servicio público de radiocalificación móvil de personas, para la transmisión de mensajes telefónicos numéricos y alfanuméricos.	Nacional
2	Telecelstar de México, S. de R.L. de C.V.	26-Nov-98 (1 CDER) 17-Abr-99 (1 CRPT)	Servicios móviles de comunicación de voz, transmisión de datos y fax, geoposicionamiento y mensajes cortos.	Nacional
3	Orbitcom de México, S.A. de C.V.	21-Dic-98 (1 CDER) 09-Mar-00 (1 CRPT)	Servicio de transmisión de paquetes de datos telefónicos (no voz)	Nacional
4	Corporación de Radio y Televisión del Norte de México, S. de R.L. de C.V.	27-Nov-00 (1 CDER)	Servicio de televisión restringida por satélite y Servicio de nueva digital por satélite	Nacional
5	Ertasat Satelites, S. de R.L. de C.V.	10-Ago-01 (1 CDER)	Provisión de capacidad satelital asociada a satélites extranjeros.	Nacional
6	Comcastre Satelital de México, S. de R.L. de C.V.	10-Ago-01 (1 CDER)	Provisión de capacidad satelital asociada a satélites extranjeros.	Nacional
7	Sistemas Satelites de México, S. de R.L. de C.V.	10-Ago-01 (1 CDER)	Provisión de capacidad satelital asociada a satélites extranjeros.	Nacional
8	Televisión Mexicana, S.A. de C.V.	10-Ago-01 (1 CDER)	La explotación de los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencias asociadas a satélites extranjeros.	Nacional
9	Aurum Comunicaciones, S.A. de C.V.	10-Ene-02 (1 CDER) 10-Ene-02 (1 CRPT)	Servicio de transmisión de paquetes de datos telefónicos (no voz) y Servicio de radiocomunicación especializada de satélites.	Nacional

CDER: Concesión para explotar los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubren y pueden prestar servicios en territorio nacional.

CRPT: Concesión de Red Pública de Telecomunicaciones asociada a la CDER.

Fuente: [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)



## REFERENCIAS

## Referencias Bibliográficas.

- ❖ "Apuntes de Microondas y Satélites", Semestre 2001-2. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- ❖ "Boletín informativo de Select-IDC". Num 60 11/Enero/2002.
- ❖ A.W. Dissanayake and N.J. McEwan, "Radar and attenuating properties of rain and brighth band", IEEE Conf. Publ. 169-2. pp. 125-129,1978.
- ❖ A.W. Dissanayake, J.E. Allnut y F. Haidara, "A prediction model that combines rain attenuation and other impairments along earth-space paths" IEEE Trans. Antennas Propagation, vol.45, no. 10, p. 1547-1558,1997.
- ❖ Bhargava, Vijay K. "Digital Communications by Satellite". John Wiley & Sons, Inc., USA, 1981.
- ❖ Cruz Sanchez Hugo, H Bautista Horacio. "Cálculos de enlace y atenuación por lluvia para comunicaciones por satélite en la banda Ka para México" Cd. Universitaria 2001. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- ❖ Calderón José. "Educación Secundaria por Satélite en México, Estudio Práctico". Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE) Ciudad De México, México.
- ❖ Crane, Robert K., "Electromagnetic wave propagation through rain". Wiley series in remote sensing. New York. Wiley, 1996.
- ❖ Evans B. G. "Satellite Communication Systems". IEEE, United Kingdom, 1999.
- ❖ Gamboa Hirales Eugenio. "La Inserción de México en la Era Digital". 9 De Noviembre De 2001.
- ❖ Gilderson, Jim and Cherkaoui, Jafaar. "Onboard Switching for ATM via Satellite". IEEE Communications Magazine, july (1997), 66– 70.
- ❖ Glenn S. Feldhake y Lynn Ailes-Sengers. "Comparison of multiple rain models with three years of Ka Band propagations data concurrently taken at eight different locations" Sorrento, Italy: Third Ka band Utilization Conference,1997.

- ❖ Gómez Ricardo, "Telecentros en la Mira: ¿Cómo Pueden Contribuir al Desarrollo Social?". Simposio Latinoamericano y del Caribe: Las Tecnologías de Información en la Sociedad. Aguascalientes, México, 1999.
- ❖ Grami and K. Gordon. "Next-Generation Ka-Band Satellite Concept To Extended the Reach of Canada's Broadband Infrastructure". IEEE 2001.
- ❖ Händel, Rainer. "Integrated Broadband Networks". Addison Wesley, United Kingdom, 1993.
- ❖ ITU Recommendation "ITU- R PN.837",1995.
- ❖ ITU Recommendation "ITU-R 838", 1992.
- ❖ ITU Recommendation "ITU-R P.453-6", 1997.
- ❖ ITU Recommendation "ITU-R PN.837-1",1992-1994.
- ❖ J.V. Evans . "The U.S. filings for multimedia satellites: a review". International Journal of Satellite Communications, 2000.
- ❖ James Yoh. Charles C. Wang y Gary W. Goo. "Survey of Ka-band
- ❖ Marco Annoni, Laurissa Tokarchuck, Chris Adams and Manuel Dinis. "Future Broadband Radio Access Systems for Integrated Services with Flexible Resource Management". IEEE Commun. Mag, Agosto 2001, pp 56-63.
- ❖ Noeldeke, Christoph M. "Air interface and payload architecture for GEO multimedia communications satellites", Space Communications 17 (2001) 49 – 58.
- ❖ Ordóñez, Altamirano y Malpica. "Comparación de Cálculos y Costos de enlaces satelitales con estaciones VSAT en la banda Ku y Ka". Cd. Universitaria 2001. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- ❖ P. McGree Thomas. "Aspects of cost effective broadband interactive Ka band satellite terminal design". Raytheon Company. Marlboro Massachussets 01752.
- ❖ Paraboni, "Testing of rain attenuation prediction methods against the measured data contained in the ITU-R data bank" ITU-R Study Group 3. Document, SR2-95/6, Geneva 1995.
- ❖ R.K. Crane, "Estimating risk of earth-satellite attenuation prediction", IEEE Proc., vol.81, pp 905-913, 1993.

- ❖ RED (Revista): "Industria Satelital, un factor clave en el desarrollo de México", Agosto 2001, num.131.
- ❖ Robinson Scott . "Telecenters in México: the first phase". United Nations Research Institute For Social Development (Unrisd), (1999).
- ❖ Roger Stanyard and DTT Consulting. "Ka-Band Report Management Summary".  
Satellites for Wideband Communications". IEEE 1999.
- ❖ Stallings, William. "ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM". Prentice Hall, 2a. ed., New Jersey, 1995.
- ❖ Verma, Sandeep. "Broadband via Satellite". IEEE. (1998), 603 – 606.
- ❖ Wittig, Manfred. "Satellite Onboard Processing for Multimedia Applications". IEEE Communications Magazine, June (2000), 134 – 140.

### Referencias Electrónicas.

- ❖ [http:// ute.sep.gob.mx](http://ute.sep.gob.mx)
- ❖ [http:// www. Cofetel.gob.mx](http://www.Cofetel.gob.mx)
- ❖ [http:// www.geo-orbit.org](http://www.geo-orbit.org)
- ❖ [http:// www.mvhsmun.org](http://www.mvhsmun.org)
- ❖ [http:// www.satmex.gob.mx](http://www.satmex.gob.mx)
- ❖ [http:// www.satsig.net](http://www.satsig.net)
- ❖ <http://averroes.cec.junta-andalucia.es>
- ❖ [http://e- México.gob.mx](http://e-mexico.gob.mx)
- ❖ <http://tejo.usal.es/~nines/d.alumnos/videoconfer/rdsi.html>
- ❖ [http://www. ilce.edu.mx](http://www.ilce.edu.mx)
- ❖ <http://www.angelfire.com>
- ❖ <http://www.com.uvigo.es/asignaturas/scvs/docs/sat03.pdf> "Sistemas de Comunicaciones vía Satélite: Radioenlaces", Cap. 3
- ❖ <http://www.comtechefdata.com>
- ❖ [http://www.disc.ua.es/asignatura/rc/trabajos/rdsi/CAP\\_5/5.html](http://www.disc.ua.es/asignatura/rc/trabajos/rdsi/CAP_5/5.html)
- ❖ <http://www.globalnetworx.com>
- ❖ <http://www.gr.ssr.upm.es> , GR-SSR-UPM, "Efecto de la Troposfera".
- ❖ <http://www.iies.es/teleco/publicac/publbit/bit99/lmds.htm>
- ❖ <http://www.invdes.com.mx/suplemento> , "Lluvia contra Telecomunicaciones, Junio 1999 ipn.html"
- ❖ <http://www.legalia.com/dti/telecomunicaciones/infraes.htm>
- ❖ <http://www.maltd.com>
- ❖ <http://www.newtec.be>
- ❖ <http://www.radynecomstream.com>
- ❖ <http://www.rfamplifiers.com>
- ❖ <http://www.sspamicrowave.com>
- ❖ <http://www.telecomm.net.mx>

- ❖ <http://www.umtsforum.net/tecnologia.asp>
- ❖ <http://www.xicomtech.com>