



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

**CONSIDERACIONES PARA EL EMPLAZAMIENTO POR  
GUATEMALA DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES  
REGIONAL**

**MARÍA MAGDALENA PUENTE ROMERO**

Asesorada por el Ing. electrónico Guillermo Antonio Puente Romero

**Guatemala, febrero de 2006**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES PARA EL  
EMPLAZAMIENTO POR GUATEMALA DE UN  
SATÉLITE DE COMUNICACIONES REGIONAL**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

**MARÍA MAGDALENA PUENTE ROMERO**  
ASESORADA POR EL ING. ELECTRÓNICO  
GUILLERMO ANTONIO PUENTE ROMERO  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA ELECTRICISTA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Jorge Mario González
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Ángel García Martínez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **CONSIDERACIONES PARA EL EMPLAZAMIENTO POR GUATEMALA DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES REGIONAL,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 12 de noviembre de 2002.

**María Magdalena Puente Romero**

Guatemala, 18 de Noviembre de 2005.

Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Por este medio hago de su conocimiento que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado: **Consideraciones para el emplazamiento por Guatemala de un satélite de comunicaciones regional**, desarrollado por la estudiante **María Magdalena Puente Romero**.

Con base a la revisión y corrección de dicho trabajo, considero que ha alcanzado satisfactoriamente los objetivos propuestos, por lo que el estudiante y mi persona nos hacemos responsables del contenido del mismo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Guillermo Antonio Puente Romero  
INGENIERO ELECTRÓNICO  
Colegiado 5898

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala, 30 de ENERO 2006.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**Consideraciones para el emplazamiento por Guatemala de un satélite  
de comunicaciones regional**, desarrollado por la estudiante: María  
Magdalena Puente Romero, por considerar que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Julio César Solares Puente  
Coordinador Área de Electrónica

JCSP/ero

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos  
ITIEG: Ingeniería Mecánica en Sistemas Masivos Construcción y Minería Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Control y Sistemas,  
Licenciatura en Matemáticas, Licenciatura en Física. Centros de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Guatemala.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación de la estudiante; Maria Magdalena Puente Romero titulado: Consideraciones para el emplazamiento por Guatemala de un satélite de comunicaciones regional, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 6 DE FEBRERO 2,006.

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Química y Recursos Hídricos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas, Maestría en Construcción y Maestría Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Diseño y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 037-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CONSIDERACIONES PARA EL EMPLAZAMIENTO POR GUATEMALA DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES REGIONAL**, presentado por la estudiante universitaria **María Magdalena Puente Romero** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpa Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, febrero 27 de 2,006



/gdech



## **DEDICATORIA A:**

Mis padres:                      Guillermo Puento Miranda  
Victoria Romero Gross

Mis hijas:                         Ana María, Magdalena y  
Marielos

Mis hermanos:                 Willy y Pablo

Mis amigos y compañeros

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII

## 1. FUNCIÓN DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES

1.1 ¿Por qué un satélite de comunicaciones?.....	1
1.1.1 Ventajas y desventajas del uso de satélites de comunicaciones.....	1
1.2 Tipo de órbitas de los satélites de comunicaciones.....	3
1.2.1 Características de las principales órbitas.....	3
1.2.2 Órbita geoestacionaria.....	4
1.2.3 Órbita geosíncrona.....	5
1.2.4 Órbita Molniya.....	6
1.2.5 Órbita baja.....	6
1.2.5.1 Ventajas de la órbita circular baja.....	7
1.3 Orientación en elevación y azimut.....	7
1.4 Parámetros de un presupuesto de enlace.....	8
1.4.1 Potencia de transmisión $P$ .....	10
1.4.2 Ganancia de antena $G$ .....	10
1.4.3 Potencia equivalente radiada isotrópicamente EIRP.....	12
1.4.4 Nivel de iluminación $W$ .....	12

1.4.5	Pérdidas de trayectoria en el espacio libre L...	13
1.4.6	Temperatura de ruido $T_s$ .....	14
1.4.7	Figura de merito $G/ T_s$ para el sistema de recepción	14
1.4.8	Razón portadora a ruido $C/N$ .....	15
1.5	Radio frecuencias.....	16
1.5.1	Asignación de bandas de frecuencia.....	17
1.5.2	Reuso de frecuencias	19
1.6	Modulación, multiplexación y acceso múltiple.....	21
1.6.1	Métodos de modulación.....	21
1.6.2	Multiplexación.....	23
1.6.3	Acceso múltiple.....	24
1.7	Antenas.....	28
1.7.1	Tipos de antena.....	32
1.7.2	Ganancia de antena.....	35
1.7.3	Eficiencia de antena.....	36
1.8	Subsistemas de un satélite.....	36
1.8.1	Subsistema de telemetría, seguimiento y comando	36
1.8.2	Subsistema de posición.....	37
1.8.3	Subsistema de potencia eléctrica.....	41
1.8.4	Subsistema de propulsión.....	42
1.8.5	Subsistema térmico.....	43
1.8.6	Estructura.....	44
1.8.7	Subsistema de comunicaciones.....	45
1.9	Estaciones terrenas.....	47

## 2. SATÉLITES REGIONALES DE COMUNICACIONES

2.1	Introducción.....	49
2.2	Definición de un sistema regional.....	49
2.3	Ventajas y desventajas de los satélites de comunicaciones	50
2.4	Servicios que presta un satélite de comunicaciones regional	52

<b>3.</b>	<b>CASOS PRÁCTICOS: HISTORIA, APLICACIONES Y BENEFICIOS DE ALGUNOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE DE PAÍSES QUE HAN ADQUIRIDO SATÉLITES PROPIOS</b>	
3.1	Sistema Palapa de Indonesia.....	65
3.2	Sistema Telesat de Canadá.....	66
3.3	Sistema Morelos, Solidaridad y Satmex de México....	68
3.3.1	Sistema nacional de satélites Morelos.....	69
3.3.2	Sistema nacional de satélites Solidaridad.....	70
3.3.3	Satélites mexicanos Satmex.....	71
<b>4.</b>	<b>SATÉLITE DE COMUNICACIONES REGIONAL PARA GUATEMALA</b>	
4.1	Análisis de necesidades.....	73
4.2	Nuevos servicios.....	76
4.3	Métodos de previsión de demanda de comunicaciones	78
<b>5.</b>	<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ARRENDAR CAPACIDAD DE LOS SATÉLITES</b>	
5.1	INTELSAT.....	81
5.1.1	Los acuerdos de Intelsat.....	82
5.1.2	El objetivo primordial de Intelsat.....	83
5.1.3	Estructura orgánica.....	83
5.1.4	Nuevos servicios.....	84
5.2	INMARSAT.....	87
5.2.1	Organización de Inmarsat.....	87
5.2.2	Servicios.....	88
5.3	Desventajas y ventajas de arrendar capacidad satelital	90

<b>6.</b>	<b>CONSIDERACIONES ECONÓMICAS, JURÍDICAS Y DE COORDINACIÓN INTERNACIONAL</b>	
6.1	Costo de una red de telecomunicaciones por satélite...	91
6.1.1	Costo del segmento espacial.....	91
6.1.1.1	Costos del arriendo a Intelsat.....	91
6.1.1.2	Costos del satélite.....	92
6.1.1.3	Costos del lanzamiento.....	93
6.1.1.4	Costos en concepto de seguros.....	94
6.1.1.5	Costos de control en órbita.....	94
6.1.1.6	Estimación del costo para un sistema regional.....	95
6.1.2	Costo del segmento terreno.....	96
6.1.2.1	Costos de los subsistemas.....	96
6.1.2.2	Costos de los equipos de acceso.....	97
6.1.2.3	Costos de supervisión de la E/T.....	98
6.1.2.4	Costos del equipo de energía.....	98
6.1.2.5	Edificios.....	98
6.2	Aspectos jurídicos y coordinación internacional.....	99
6.2.1	Reglamento de Radiocomunicaciones.....	99
6.2.2	Coordinación internacional.....	100
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>107</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>109</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Inclinación del plano orbital	4
2	Ángulos de vista, azimut y elevación	8
3	Espectro electromagnético	17
4	Patrón de radiación de una antena grande y una pequeña	31
5	Aspectos geométricos de un reflector parabólico	33
6	Sistemas de alimentación comunes	34
7	Satélite de cuerpo fijo con estabilización triaxial	39
8	Satélite de configuración cilíndrica estabilizado por giro	40
9	Subsistema de comunicaciones	46
10	Diagrama de bloques generalizado de una estación terrena	48
11	Trayectoria de la red regional centroamericana de microondas	54
12	Evolución de los satélites Intelsat	86

## TABLAS

I	Presupuesto de enlace de subida	9
II	Bandas de frecuencia especificada en letras	19
III	Situación de las telecomunicaciones en Guatemala al 30 de junio de 2005	75
IV	Algunas características de los satélites Intelsat más recientes	85
V	Precios de arriendo anual para fines nacionales de Intelsat 1982	92
VI	Costos estimados de lanzamiento	93



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área física del reflector
<b>dB</b>	Abreviatura de decibel
<b>dB<sub>i</sub></b>	Decibel referido a un radiador isotrópico
<b>dBW</b>	Decibel referido a una potencia de 1 W
<b>D</b>	Diámetro del reflector
<b>EIRP</b>	Potencia equivalente radiada isotrópicamente
$\lambda$	Longitud de onda
<b>f</b>	Frecuencia
$\eta$	Eficiencia de la antena
<b>Hz</b>	Hertz
<b>GHz</b>	Gigahertz = $1 \times 10^9$ Hertz
<b>W</b>	Vatios ( <i>watts</i> )
<b>G</b>	Ganancia de antena
<b>G/T<sub>s</sub></b>	Figura de merito
<b>T<sub>s</sub></b>	Temperatura del sistema
<b>P</b>	Potencia de transmisión
<b>C</b>	Potencia de portadora recibida
<b>C/N</b>	Razón portadora a ruido
<b>°K</b>	Abreviatura de grados kelvin
<b>Kb/s</b>	Abreviatura de kilobitios por segundo



## GLOSARIO

<b>Amplificador paramétrico</b>	Dispositivo capaz de amplificar la energía asociada con una señal de radiofrecuencia y cuyo funcionamiento se basa en la existencia de una reactancia alineal cuyo valor varía periódicamente.
<b>Absortividad</b>	Factor de absorción de un cuerpo. Energía incidente sobre una superficie que es absorbida por el cuerpo.
<b>Ancho de banda</b>	Extensión del espectro o gama de las frecuencias comprendidas en una banda. Cuantitativamente, diferencia entre las frecuencias limítrofes o extremas de la banda.
<b>Apogeo</b>	Punto más alejado de un satélite artificial de la tierra con órbita elíptica.
<b>ARABSAT</b>	Sistema árabe de telecomunicaciones por satélite.
<b>Azimut o acimut</b>	Ángulo entre el plano vertical que contiene el eje del haz de una antena de estación terrena y la dirección del norte geográfico del lugar medido en la dirección de las manecillas del reloj.
<b>Banda Base</b>	Gama de frecuencias de la señal de información destinada a modular una portadora.

<b>Catalítico</b>	Modificación de la rapidez de una reacción química provocada por la sola presencia de una sustancia llamada catalizador.
<b>COMTELCA</b>	Comisión técnica regional de telecomunicaciones para América Central.
<b>Diplexor</b>	Dispositivo combinador que permite operar sobre la misma antena dos distintos transmisores.
<b>Duplexor</b>	Dispositivo que permite una sola antena o una línea de transmisión para transmisión y recepción simultánea o alternadamente.
<b>dBW</b>	Decibel watts. Se utiliza una potencia de referencia $P_1 = 1 \text{ W}$ , tal que $P_{\text{dBW}} = 10\log_{10}(P/P_1)$
<b>Elevación</b>	Ángulo entre el eje del haz de una antena de estación terrena y el plano horizontal.
<b>Emitancia</b>	Energía radiada por unidad de área de la superficie radiante.
<b>Equinoccio</b>	Momento en que la intersección del plano del ecuador con el plano de la tierra alrededor del sol coincide con el eje virtual entre estos dos cuerpos celestes, por lo cual el día y la noche tienen la misma duración. Ocurre en marzo y en Septiembre.
<b>EUTELSAT</b>	Sistema de telecomunicaciones por satélite de Europa.

<b>Excentricidad</b>	Mide la forma de una elipse. Cuando la excentricidad tiene el valor de 1, la elipse es muy aplanada; cuando tiende a cero es muy circular, y es cero para una circunferencia.
<b>Huella de iluminación</b>	Intersección del haz radiado por la antena con la superficie de la tierra.
<b>INMARSAT</b>	Organización internacional de telecomunicaciones marítimas por satélite.
<b>INTELSAT</b>	Organización internacional de telecomunicaciones por satélite.
<b>Isotrópico</b>	Que radia igualmente en todas direcciones.
<b>Klistrón</b>	Amplificador de señales que consiste en un tubo electrónico en el cual un haz electrónico modulado excita oscilaciones continuas en una cavidad resonante a la frecuencia deseada.
<b>NASA</b>	Administración nacional de aeronáutica y del espacio de EUA.
<b>Perigeo</b>	Punto de la órbita de un satélite terrestre que está más cercano a nuestro planeta.
<b>Radiobaliza</b>	Portadora de baja potencia generada por un transmisor auxiliar. Puede no estar modulada para seguimiento o pruebas de propagación o estar modulada con datos de telemetría o de otro tipo.

<b>RF</b>	Abreviatura de radio frecuencia. Frecuencia superior a las frecuencias acústicas, pero inferior a las de la luz y el calor, utilizable en telecomunicaciones.
<b>Solsticio</b>	Tiempo de cada año en el cual la línea virtual entre los centros del sol y de la tierra alcanza una latitud geográfica máxima hacia el norte o hacia el sur hasta uno de los trópicos de Cáncer o de Capricornio, lo cual ocurre en diciembre o en junio.
<b>Transpondedor</b>	Trayectoria completa de cada repetidor en el satélite, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora.
<b><i>TWT</i></b>	Tubo de ondas progresivas - <i>TWT</i> en inglés-. Uno de los tipos de amplificador de potencia conocidos como tubos de haces lineales de microondas.
<b>UIT</b>	Unión internacional de telecomunicaciones.
<b>VSAT</b>	- <i>Very small aperture terminal</i> -. Terminal o estación terrena de satélite con reflector de antena de muy poca superficie efectiva de recepción y transmisión. El diámetro mínimo de los reflectores de antena es generalmente de 1.8 metros.

## RESUMEN

La información contenida en este trabajo de graduación comprende consideraciones de varios aspectos relacionados con el establecimiento de una red de telecomunicaciones satelital regional, propia para Guatemala, con la finalidad de analizar la factibilidad de su emplazamiento.

Se resume el funcionamiento de un satélite de comunicaciones y de sus principales características tecnológicas, modos de acceso, subsistemas y los principales parámetros que entran en juego en un enlace satelital. Aunque se describen los distintos tipos de órbitas, se hace énfasis en la órbita geoestacionaria que es la utilizada para telecomunicaciones. También, se explica el funcionamiento de las estaciones terrenas por medio de un diagrama de bloques generalizado. Se enumeran los servicios que provee un sistema de satélites regional y sus ventajas y desventajas.

Se presentan tres casos prácticos representativos de países que adquirieron su propio sistema satelital: Indonesia, Canadá y México. Se describen los servicios que proveen y una breve historia de la forma en que fueron desarrollándose.

Las telecomunicaciones en Guatemala y su situación actual se describen, así como los servicios vía satélite que pueden beneficiar al país. También, se mencionan algunos métodos de previsión de la demanda.

Las dos organizaciones internacionales Intelsat e Inmarsat son presentadas y se describe su organización, luego se comparan las ventajas y desventajas de arrendamiento con las de adquirir un sistema propio.

Y, finalmente, se definen las consideraciones económicas, jurídicas y de coordinación internacional que es necesario tomar en cuenta cuando se desea establecer un sistema regional de comunicaciones vía satélite.



# OBJETIVOS

- **General**

Analizar la factibilidad de que Guatemala pueda emplazar, es decir, adquirir y poner en funcionamiento un satélite de comunicaciones regional.

- **Específicos**

1. Definir y comprender el funcionamiento de un satélite de comunicaciones regional.
2. Analizar las necesidades de comunicación vía satélite de Guatemala y las ventajas de proporcionar nuevos servicios que favorezcan el desarrollo del país.
3. Investigar los servicios que proveen los satélites regionales de los países que ya los adquirieron y analizar sus ventajas y desventajas.
4. Analizar otras opciones para prestar dichos servicios, tales como el alquiler de segmentos de satélites de INTELSAT, INMARST, etc.
5. Informar de los costos de inversión, operación y mantenimiento de un satélite de comunicaciones.



# INTRODUCCIÓN

La tecnología de los satélites artificiales ha modificado la forma de vida de la población del mundo. Ahora se pueden conocer con mayor precisión los recursos naturales de la Tierra y los fenómenos meteorológicos, las distancias entre los países se han acortado y es posible intercambiar todo tipo de información, casi instantáneamente.

Por medio de los satélites, se distribuyen canales de televisión, se hacen llamadas telefónicas a muchos países con discado directo, redes de computadoras se expanden en el mundo entero, las noticias de una esquina del mundo llegan, instantáneamente, a la otra.

En este trabajo se enfoca en las comunicaciones vía satélite, de manera particular, se hace referencia a las comunicaciones para Guatemala y la factibilidad técnica, económica y jurídica de que se pueda construir y emplazar un satélite propio, diseñado para cubrir las necesidades de comunicación nacionales e internacionales para Guatemala. Se hizo el estudio para un sistema regional de telecomunicaciones vía satélite propio de Guatemala, pero se ha concluido que es conveniente incluir toda la región de Centro América.

Algunos de los factores económicos y sociales en relación a las necesidades en materia de comunicaciones de un país son:

- o la base económica del país y sus planes de crecimiento,
- o la demanda de servicios básicos y avanzados de telecomunicaciones,
- o el estado de desarrollo y la amplitud de los medios de telecomunicación y radiodifusión existentes.

Las razones estratégicas para introducir la tecnología avanzada son:

- o factores geográficos y demográficos;
- o la necesidad de facilitar los mismos servicios en todo el territorio del país, incluso en las zonas remotas y aisladas.

En Guatemala, como en otros países, se arrienda capacidad satelital a sistemas internacionales de telecomunicaciones por satélite ya existentes, como Intelsat. Sin embargo, se ha hecho este estudio con la inquietud de poder analizar otra opción que permita mejorar las condiciones de muchos lugares donde la infraestructura de telecomunicaciones es muy pobre o no existe, como en aldeas remotas y por sus características, el sistema de satélites favorece. Con el fin de analizar la posibilidad de que se utilice un sistema satelital propio construido para satisfacer las necesidades nacionales, se analizan las ventajas y desventajas de otros países que ya lo hicieron y se analizan las consideraciones económicas, jurídicas y de coordinación internacional.

La puesta en servicio de un sistema de satélites es una tarea grande y compleja y técnicamente exigente. Los países que necesitan un sistema nacional de satélites pueden encontrar dificultades para generar el tráfico necesario para cargar eficazmente un sistema moderno de gran capacidad.

Las consideraciones técnicas relacionadas con un sistema regional de satélites, dependen hasta cierto punto, de sí el segmento espacial deriva de un satélite nacional o internacional existente el cual se arrienda parcialmente, como mencionamos anteriormente o si se debe utilizar un satélite nacional construido a tal efecto, el cual se diseña de forma que permita alcanzar los requisitos de calidad y capacidad mediante estaciones terrenas más pequeñas y más económicas. Esto, a su vez, incentivaría el surgimiento de nuevos mercados en el país. Esto es, especialmente, útil cuando se trata de poner en servicio estaciones terrenas para aplicaciones rurales o en lugares remotos, estaciones terrenas transportables para situaciones de emergencia y otras aplicaciones de negocios, redes de bancos y algo que ya está surgiendo en Guatemala, la difusión de televisión y radio con fines educativos y de entretenimiento.

# 1. FUNCIÓN DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES

## 1.1 ¿Por qué un satélite de comunicaciones?

Las telecomunicaciones vía satélite son a la vez un complemento y un auxiliar de las telecomunicaciones terrestres, pueden ofrecer servicios que mejoran las redes de telecomunicaciones, o servicios y facilidades irrealizables con técnicas terrestres.

### 1.1.1 Ventajas y desventaja del uso satélites de comunicaciones.

Las razones principales para utilizar satélites en las comunicaciones son las siguientes:

- o **Estandarización de costos en comunicaciones de larga distancia.** Los costos de transmisión son independientes de la distancia. El costo es el mismo para una distancia de 5,000 Km que para una de 100 Km.
- o **Amplia capacidad de radiodifusión.** Se facilitan las aplicaciones punto-multipunto debido a la naturaleza de radiodifusión de los satélites. No se necesitan recursos adicionales para las estaciones terrenas.
- o **Amplia Cobertura.** Técnicamente el satélite puede servir a cualquier estación que se encuentre dentro de la vista de su antena. Aproximadamente el 42% de la superficie de la tierra se encuentra dentro de la vista de un satélite geoestacionario colocado a 35,786 Km de altura con reflector de cobertura global. La cobertura que se autoriza actualmente debe ser menor y está restringida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y las agencias reguladoras nacionales.

- o **Independencia de obstáculos naturales.** En el envío del servicio se pueden salvar los obstáculos naturales o físicos del terreno, como montañas, islas, desiertos, océanos, etc.
  
- o **Amplia gama de servicios.** Los satélites pueden transmitir grandes cantidades de información independientemente de la distancia. Los enlaces terrestres se ven limitados a distancias cortas cuando se trata de banda ancha, tales como las estaciones de televisión local. Los satélites pueden dar cabida a una amplia gama de servicios, incluyendo las comunicaciones por rutas de poco tráfico en una banda angosta o los servicios con gran anchura de banda, como es el caso para la transmisión de video.
  
- o **Facilidad de cobertura en áreas rurales y áreas poco desarrolladas.** El satélite puede proveer el mismo servicio que provee en grandes ciudades en áreas rurales o poco desarrolladas. De este modo se acelera el flujo industrial y las facilidades de procesamiento de datos en áreas rurales.
  
- o **Aplicación a nuevos mercados y nuevos servicios.** Los satélites ofrecen una gran flexibilidad para enfrentarse a las variaciones en las necesidades de servicio, tráfico y red. Esto ha motivado el desarrollo de redes especializadas de televisión para cable, deportes, grupos especiales como étnicos y religiosos, deportes, noticias, etc.
  
- o **Acceso al mercado de usuarios particulares.** Pequeñas estaciones terrenas con pequeñas antenas, pueden proveer acceso a bases de datos, oficinas y centros de información. Estas son las estaciones conocidas como VSAT (*Very Small Aperture.*)
  
- o **Retardos de propagación largos.** El tiempo de retardo para un solo salto es de un cuarto de segundo.

## **1.2 Tipos de órbitas para satélites de comunicaciones y sus características**

Una órbita es la trayectoria que el satélite recorre a través del espacio. Para los satélites de comunicaciones se han utilizado muchos tipos de órbitas. Las ventajas de cada órbita están en función de: el tipo de lanzamiento, el mantenimiento de la posición orbital, cobertura de estaciones terrenas en distintas partes del mundo y el mantenimiento de la calidad, disponibilidad, continuidad, requerimientos de potencia y retardo de tiempo adecuados en las comunicaciones.

En los sistemas de comunicaciones vía satélite se utilizan principalmente cuatro tipos de órbitas:

- geoestacionaria,
- geosíncrona,
- Molniya
- órbita baja.

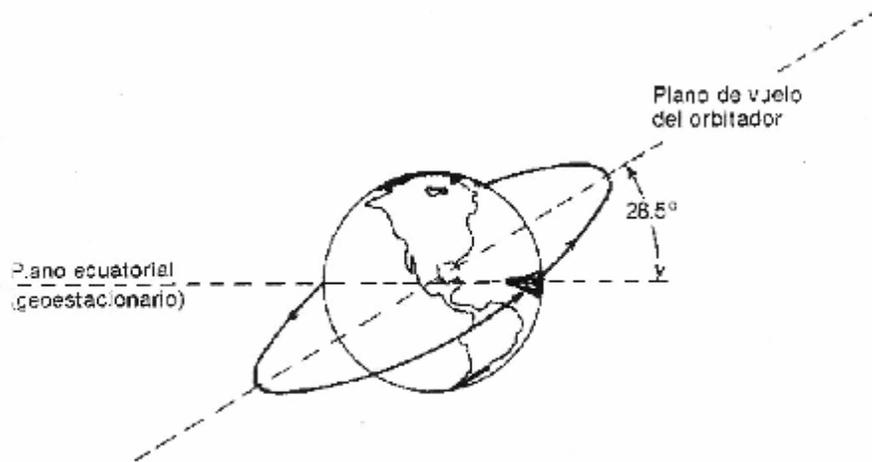
### **1.2.1 Características principales de las órbitas**

Todas las órbitas son elípticas o circulares y la excentricidad mide la forma de la elipse. La altura de apogeo es la máxima distancia desde la superficie de la tierra hasta la órbita y la altura de perigeo es la mínima distancia desde la superficie de la tierra. En el caso de órbitas circulares la excentricidad es cercana a cero y las alturas de apogeo y perigeo son iguales. En las órbitas baja y Molniya la excentricidad es alta.

El período orbital, es el tiempo que le lleva al satélite dar una vuelta completa alrededor de la tierra. Un día sideral es el tiempo en que la tierra da una revolución completa y es de 23 horas, 56 minutos, 4.1 segundos.

La inclinación es el ángulo entre el plano orbital y el plano ecuatorial. En la órbita geoestacionaria la inclinación es cercana a cero, en las demás varía entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ .

**Figura 1. Inclinación del plano orbital**



Fuente: Rodolfo Neri Vela. Satélites de Comunicaciones. Pág. 11.

### 1.2.2 Órbita geostacionaria

La órbita ecuatorial geostacionaria es la más utilizada en las telecomunicaciones vía satélite. En dicha órbita, el satélite está sincronizado con la rotación de la tierra y gira en la misma dirección, de modo que el satélite se mantiene estacionario con respecto a un punto del ecuador y mira continuamente la misma porción de la tierra y con esto se simplifica el diseño y los requerimientos de operación del satélite y de las estaciones terrenas.

La órbita geostacionaria es única, casi circular y su inclinación respecto al ecuador cercana a cero. El apogeo y el perigeo están a la misma altura desde de la superficie de la tierra de 35,786 Km. En teoría el satélite en órbita geostacionaria no debería moverse con respecto a un punto en la tierra. Sin embargo, existen perturbaciones debidas a las influencias del sol, la luna y a que la tierra no es simétrica, por lo cual se obtienen movimientos que cambian la órbita teórica del satélite. Para

compensar este efecto, se utiliza periódicamente un equipo de propulsión instalado en el satélite. La órbita se considera geoestacionaria, si el satélite se mantiene dentro de su longitud asignada dentro de unas pocas décimas de grado y la inclinación de su eje en menos de un grado respecto al ecuador.

Las desventajas de colocar un satélite en órbita geoestacionaria son las siguientes:

- o Se necesita mayor capacidad del vehículo de lanzamiento que para cualquier otra órbita de satélites de comunicaciones.
- o También se requiere de más combustible para mantener el satélite en órbita geoestacionaria; la mayor parte del combustible se utiliza para mantener el plano orbital cerca del plano ecuatorial.
- o Debido a que la órbita geoestacionaria es única, solo hay una, y además hay un gran número de satélites geoestacionarios, el cual se incrementa cada día, lo que hace cada vez más difícil obtener una localización adecuada.

### **1.2.3 Órbita geosíncrona**

La órbita geosíncrona tiene el mismo período de rotación que el de la tierra y gira en la misma dirección de esta, es decir hacia el este. Los únicos requisitos para una órbita geosíncrona son el período y la dirección de rotación. A diferencia de la órbita geoestacionaria, la órbita puede estar inclinada cualquier ángulo con respecto al plano ecuatorial.

La conveniencia de utilizar satélites geosíncronos está en función de la facilidad de lanzamiento y del ahorro de combustible en control de inclinación, obteniéndose una vida útil mayor en relación con los satélites geoestacionarios. Pero las estaciones terrenas deberán tener un sistema complejo de seguimiento del satélite, como es el caso de las plataformas móviles en barcos y aeronaves. Otras veces se escogen por la facilidad de lanzamiento ya que se ahorra combustible al colocar al satélite en una órbita donde la inclinación del plano orbital con respecto al ecuador tiene un gran margen de variación.

### **1.2.4 Órbita Molniya**

La órbita Molniya fue establecida por la Unión Soviética. Consiste en una serie de satélites en una órbita inclinada de  $62.9^\circ$  (inicialmente fue de  $65^\circ$ ). Esta es una órbita elíptica con perigeo de 1,000 Km y un apogeo de 39,400 Km. A la órbita elíptica le corresponde una excentricidad de 0.7, lo cual es bastante alta. El período orbital es la mitad de un día sideral, es decir 11 horas, 58 minutos.

Para obtener una cobertura continua, es decir para no perder el enlace de comunicaciones en el sistema Molniya se requiere de 3 o 4 satélites que se vayan conmutando la pasar por el mismo punto. Las estaciones terrenas deben utilizar antenas con sistema de seguimiento del satélite. Una estación terrena con solo una antena debe tener una interrupción del servicio cuando conmutan de un satélite a otro.

La ventaja de la órbita Molniya es la elevada cobertura del Hemisferio Norte, ya que se diseñó especialmente para esto. La cobertura es muy buena en las áreas del polo norte, donde la cobertura de un satélite geoestacionario es muy pobre o ninguna. Otras ventajas son los lanzamientos económicos y la vida prolongada por bajo uso del combustible del satélite.

Las desventajas de la órbita Molniya son la implementación de múltiples satélites, la pobre cobertura del Hemisferio Sur y la necesidad de sistemas de seguimiento en las antenas de las estaciones terrenas. Los satélites Molniya deben estar provistos de una antena con sistema de seguimiento cuya finalidad es orientarse hacia las estaciones terrenas en operación.

### **1.2.5 Órbita Baja**

El término órbita baja, se utiliza por lo general para órbitas circulares de baja altitud. Para satélites de comunicaciones las altitudes suelen ser de 500 a 2,000 Km. Los ángulos de inclinación respecto al ecuador varían desde  $30^\circ$  hasta  $90^\circ$ .

### **1.2.5.1 Ventajas de la órbita circular baja**

- o La principal ventaja de la órbita circular baja es que el satélite está más cerca de las estaciones terrenas que cualquier otra órbita, de modo que se pueden utilizar satélites más pequeños y más simples, con antenas más pequeñas
- o Otra ventaja es que el tiempo de retardo se reduce desde 0.5 s, hasta insignificantes 0.02 s debido a la corta distancia.
- o El lanzamiento es más sencillo ya que deben alcanzarse alturas de solo 300 o 400 Km.
- o La desventaja de la órbita circular baja es que su período orbital es de solo pocas horas. Por lo anterior se necesitan antenas con sistema de seguimiento u o omnidireccionales en los satélites y se necesitan muchos satélites para la continuidad del servicio. Se necesitan varios satélites para la continuidad del servicio.

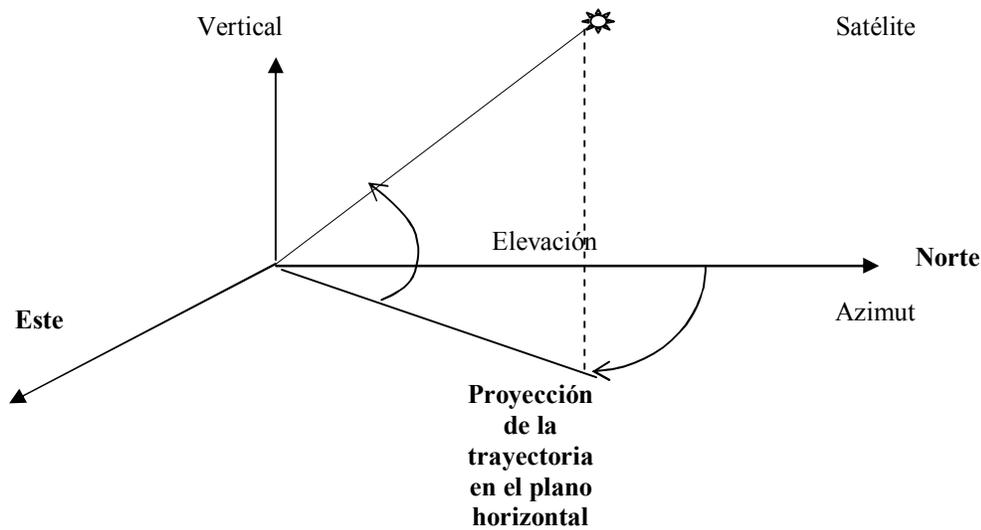
### **1.3 Orientación en elevación y azimut**

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geoestacionario se realiza ajustando dos ángulos que son: elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación (en latitud y longitud, respectivamente) y de la ubicación del satélite en longitud.

La elevación es el ángulo entre el satélite y el plano horizontal del observador. El azimut es la posición del satélite medida en el plano horizontal desde el Norte geográfico en el sentido de las agujas del reloj.

Los valores de elevación y azimut son de gran importancia en la operación de la estación terrena, para orientar la antena hacia el satélite, ya que incluso pequeños movimientos de uno o dos centímetros pueden degradar mucho la calidad de la señal. Estos ángulos pueden calcularse a partir de la localización (latitud y longitud) de la estación terrena y del satélite.

**Figura 2. Ángulos de vista, azimut y elevación**



Fuente. Timothy Pratt y  
Bostian. *Satellite  
Communications*. Pág. 22

#### **1.4 Parámetros de un presupuesto de enlace**

En un enlace de comunicaciones entre un satélite y dos o más estaciones terrenas, se cuenta con dos recursos primordiales que son potencia y ancho de banda, los cuales deben utilizarse de manera eficiente y económica.

Para satisfacer los requerimientos de un enlace de comunicaciones y garantizar la calidad demandada de la señal, los ingenieros preparan un presupuesto de enlace de potencia. El presupuesto de enlace es una herramienta para ajustar los parámetros de la estación terrena y del satélite que satisfagan los requisitos de calidad de la forma más económica posible. Un ejemplo de un presupuesto de enlace de subida (de la tierra hacia el satélite) muy simple, se presenta en la tabla 1. También debe realizarse

el presupuesto de enlace de bajada (del satélite hacia la tierra). Estos presupuestos de enlace contienen solo componentes esenciales. Mientras más elaborado sea un presupuesto de enlace, los resultados serán más exactos, e incluirán mayor información para el usuario.

**Tabla I. Presupuesto de enlace de subida**

Localización de la estación terrena transmisora: _____			
Frecuencia de subida f: _____ GHz			
Diámetro de la antena de la estación terrena: _____ m			
Satélite: _____		Haz de subida: _____	
<b>Parámetro</b>	<b>Signo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<u>Estación Terrena</u>			
Potencia en la antena P = _____ W/portadora		_____	dBW
Ganancia de antena transmisión G	+	_____	dBi
			=====
Estación Terrena EIRP			dBW
<u>Tierra hacia el Satélite</u>			
Pérdida en la trayectoria del espacio L Para S = _____ km	-	_____	dB
<u>Satélite</u>			
Satélite G/T	+	_____	dB/K
			=====
Portadora / ruido Térmico C/T	+	_____	dBW/K
1/k (k = constante de Boltzman)	+	228.6	dB(W/Hz K) <sup>-1</sup>
			=====
C/kT		_____	dBHz

Fuente: *Gordon and Morgan.. Principles of communications satellites. Pag. 44*

Un presupuesto de enlace se calcula utilizando la escala logarítmica y las cantidades son expresadas en decibeles. Esto se hace por dos motivos, el primero es que la notación en decibeles simplifica el manejo del cálculo de las razones de potencia convirtiendo la multiplicación de los números en una adición de sus logaritmos, la adición es más simple que la multiplicación para la mayoría de las personas. El otro motivo es que la notación en decibeles hace más sencillo de comprender las diferencias entre razones de potencia muy pequeñas y razones de potencia muy grandes. Las razones de potencia utilizadas en los presupuestos de enlace van desde el rango de  $10^{-12}$  hasta  $10^6$ . A continuación se una breve explicación de los parámetros utilizados en los presupuestos de enlace.

#### **1.4.1 Potencia de transmisión P**

Es el inicio de una transmisión RF a través del espacio y el primer número que aparece en un presupuesto de enlace. El rango de transmisión de las estaciones terrenas va de 1 a 10,000 W y en la mayoría de los satélites, la potencia de transmisión oscila en el rango de 10 a 20 W, debido a que se encuentra limitada por la potencia disponible en el arreglo solar. Puede haber pérdidas entre la salida del transmisor y el alimentador de la antena. Debido a esto, el punto práctico para la medición de la potencia de transmisión es en el borde de la entrada de la antena. Generalmente, la potencia de transmisión se especifica en *watts* (vatios). La ecuación para la potencia de transmisión expresada en decibeles, es la siguiente:

$$P_{dBW} = 10 \log_{10} P \text{ (dBW)}$$

#### **1.4.2 Ganancia de antena G**

El propósito de una antena de transmisión es enfocar la potencia RF hacia la antena receptora. La eficiencia de una antena se mide por medio de la ganancia G.

$G = \text{Potencia transmitida con antena hacia el receptor} / \text{Potencia transmitida sin antena (isotrópica)}$

Esta proporción se refiere a una antena isotrópica, la cual se expresa generalmente en DBi. La  $i$  en la expresión anterior significa que la relación se refiere a un radiador isotrópico.

La ganancia de antena de un reflector parabólico es:

$$G = 4\pi\eta A/\lambda^2$$

Donde:

- Ø  $A$  : área física del reflector
- Ø  $\eta$ : eficiencia de la antena (Toma valores entre 0.4 a 0.8, una aproximación válida es 0.55)
- Ø  $\lambda$ : longitud de onda, donde  $\lambda = c/f$
- Ø  $A = \pi D^2/4$  para antenas circulares

Expresando  $G$  en forma logarítmica tenemos:

$$G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} f + 10 \log_{10} \eta + 20.4 \text{ (dB)}$$

Donde:

- Ø  $D$ : diámetro en metros
- Ø  $f$ : frecuencia en GHz

La ganancia de antena aumenta linealmente con su área, y también aumenta con frecuencias más altas de trabajo (longitudes de onda más pequeñas). Para un área dada, la ganancia de antena será mayor en la banda K (14/11 GHz) que en la banda C (6/4 GHz).

La ganancia de antena está definida por el pico del haz de la antena. Las antenas de los satélites pueden transmitir a varios receptores y la ganancia de antena variará levemente dependiendo de la localización del receptor.

Las ganancias típicas de estaciones terrenas van desde unos pocos decibeles, por ejemplo, en carros y camiones, hasta 60 DBi para una antena grande utilizada en comunicaciones internacionales. Las antenas de los satélites, tienen ganancias en el rango de 14 a 40 DBi.

### 1.4.3 Potencia equivalente radiada isotrópicamente EIRP

La antena transmisora enfoca la potencia RF hacia el receptor. El producto de la potencia de transmisión  $P$  y la ganancia de antena es el EIRP.

$$\text{EIRP} = PG_t \quad (\text{W})$$

El término EIRP, se refiere a la potencia equivalente radiada isotrópicamente. La antena incrementa en cierta proporción la potencia, y el receptor lo ve como un transmisor más potente.

Generalmente la ecuación anterior se escribe en decibeles como:

$$\text{EIRP} = 10 \log_{10} P + G_t \quad (\text{DBW})$$

La potencia  $P$  está en *Watts*, y la ganancia  $G_t$  en DB. La razón de esto es que  $P$  se expresa normalmente en *Watts* y  $G_t$  en dBi

Los niveles típicos de EIRP van desde 0 hasta 90 dBW para las estaciones terrenas y desde 20 hasta 60 dBW para los satélites.

### 1.4.4 Nivel de iluminación $W$

El nivel de iluminación  $W$  es la potencia recibida por unidad de área, o la potencia recibida por una antena ideal (eficiencia 1) en un área de un metro cuadrado.

Si el transmisor fuera isotrópico, es decir que radia igualmente en todas las direcciones y su ganancia de antena fuera  $G_t$  y la distancia entre el receptor y el transmisor estuviera dada en metros, entonces el nivel de iluminación  $W$  en el receptor sería:

$$W = PG_t / 4\pi S^2 \quad (\text{W/m}^2)$$

Donde  $S$  es la distancia entre el transmisor y el receptor.

Si la ecuación anterior se escribe en decibeles, obtenemos:

$$W = \text{EIRP} - 20 \log_{10} S - 71.0 \quad (\text{dBW/m}^2)$$

Donde el EIRP está dado en dBW, la distancia  $S$  entre el transmisor y el receptor está dado en Kilómetros y el nivel de iluminación  $W$  en dBW/m<sup>2</sup>. La constante 71.0 dBm<sup>2</sup>/Km<sup>2</sup> es igual a:  $10 \log_{10} [4\pi (1000 \text{ m/Km})^2]$ .

Para satélites geoestacionarios, el nivel de iluminación en el satélite se encuentra en el rango de  $-162$  a  $-52$  dBW/m<sup>2</sup>, y en la estación terrena va de  $-142$  a  $-102$  dBW/m<sup>2</sup>.

#### 1.4.5 Pérdidas en la trayectoria del espacio libre L

La pérdida en la trayectoria del espacio libre es un concepto importante en los presupuestos de enlace. Esta es función de la distancia, pero puede expresarse como una razón en dB utilizando la longitud de onda como un parámetro.

Este tipo de pérdida no es el único que se le atribuye a la distancia entre el transmisor y el receptor, también se encuentran las pérdidas atmosféricas, especialmente las ocasionadas por la lluvia.

La pérdida en la trayectoria de espacio libre  $L$ , depende de la distancia  $S$  y de la longitud de onda  $\lambda$ , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L = (4 \pi S)^2 / \lambda^2 \quad (\text{razón})$$

Donde la distancia  $S$  y la longitud de onda  $\lambda$  deben tener unidades compatibles.

La pérdida de trayectoria de espacio libre  $L$  es una razón que no tiene dimensiones.

La pérdida en la trayectoria de espacio libre  $L$  definida en la ecuación anterior puede expresarse en función de la distancia  $S$  y de la frecuencia  $f$ , en vez de la longitud de onda  $\lambda$ . Sabemos que la longitud de onda  $\lambda$  es igual a la velocidad de la luz  $c$  dividida por la frecuencia  $f$  en GHz ( $\lambda = c/f$ ). De modo que la ecuación anterior puede expresarse en decibeles de la siguiente forma:

$$L = 20 \log_{10} S + 20 \log_{10} f + 92.45 \text{ (dB)}$$

Donde la distancia  $f$  está dada en Km. y la frecuencia  $f$  en GHz. Para satélites geoestacionarios la distancia  $S$  entre la estación terrena y el satélite es función de la

localización de la estación terrena. La mínima distancia es de 35,788 Km esto ocurre para una estación terrena ubicada en el ecuador en la misma longitud del satélite. La distancia máxima es de 41,679 Km. para una estación terrena ubicada en el borde de la tierra.

#### **1.4.6 Temperatura de ruido $T_s$**

La potencia de portadora recibida  $C$  que depende del nivel de iluminación y del área de la antena receptora es importante solo cuando se puede comparar con el ruido presente en el sistema. Todos los enlaces involucrados en servicio satelital añaden ruido. La temperatura de ruido del sistema está compuesta de varios factores tales como la temperatura de ruido de la antena y la temperatura de ruido del receptor.

La razón  $G/T_s$  de ganancia de antena receptora con respecto a la temperatura de ruido se utiliza como figura de mérito del sistema de recepción.

#### **1.4.7 Figura de Mérito $G/T_s$ para el sistema de recepción**

Los dos parámetros más importantes en el sistema de recepción son la ganancia de antena receptora  $G_r$  y la temperatura de ruido recibida  $T_s$ . Este último es la suma del ruido de antena, el amplificador de bajo ruido (*LNA*) y el ruido adicionado por cualquiera de los elementos entre la antena y el *LNA*. Las estaciones terrenas receptoras pueden mejorar su figura de mérito con una antena de mayor ganancia (diámetros más grandes) o disminuyendo la temperatura de ruido del sistema con un mejor *LNA*.

La ecuación que expresa estos cálculos es la siguiente:

$$G/T_s = G_r - 10 \log_{10} T_s \quad (\text{DB}_i / \text{K})$$

Donde  $G_r$  es en  $\text{DB}_i$  y  $T_s$  es en grados Kelvin.

Los valores típicos de la figura de mérito de las estaciones terrenas van desde – 18 hasta 41 DB<sub>i</sub> /K. La figura de mérito para los receptores de los satélites van desde – 20 hasta 10 DB<sub>i</sub> /K.

#### 1.4.8 Razón portadora a de ruido C/N

Un criterio importante en la realización de un enlace, es la razón C/T de la potencia de la portadora C con respecto la temperatura de ruido T. Esto se calcula con la siguiente ecuación:

$$C/T = \text{EIRP} - L + G/T, \quad (\text{dBW/K})$$

La ecuación anterior es el corazón de un presupuesto de enlace.

Todos los objetos a una temperatura física T, generan radiación electromagnética. Parte de esta radiación se encontrará en la región de frecuencias de microondas, y estará presente en el sistema de recepción. La potencia de ruido N de la radiación dentro del ancho de banda B es:

$$N = kTB \quad (\text{W})$$

Donde k es la constante de Boltzman:  $k = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ W s/K} = -228.60 \text{ dBW/Hz-K}$

La densidad de ruido N<sub>0</sub> es la potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz, y es uniforme en el rango de frecuencias de microonda. Y es la siguiente:

$$N_0 = N/B = kT \quad (\text{dBw/Hz})$$

Y resulta que es igual a la constante de Boltzman multiplicada por la temperatura de ruido. De modo que la razón portadora-a-densidad-de-ruido C/ N<sub>0</sub> es la siguiente:

$$C/N_0 = C/kT = C/T + 228.6 \quad (\text{dBHz})$$

La relación anterior es la relación portadora a ruido térmico referida un ancho de banda estándar de 1 Hz. Generalmente, un filtro bloquea la mayor parte del ruido, y solo el ancho de frecuencias necesario para la comunicación puede pasar a través de él. La razón portadora a ruido C/N es:

$$C/N = C/kT - 10 \log_{10} B \quad (\text{dB})$$

Donde B es el ancho de banda en Hz. El valor típico es de 10 dB o más.

## 1.5 Radio frecuencias

Dos de los recursos básicos que se utilizan en las comunicaciones vía satélite son: el espectro de radio frecuencias y la órbita geoestacionaria. La distribución de las frecuencias se lleva a cabo por medio de convenios que se realizan en los tratados internacionales. Estos convenios son establecidos por los miembros de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y su Comité Consultivo de Radio Comunicaciones (CCIR). Los miembros toman las decisiones en las reuniones internacionales llamadas Conferencias Administrativas Mundiales de Radio (WARCs). Este mismo grupo internacional también controla la localización del satélite en la órbita geoestacionaria. La mayoría de las administraciones nacionales de telecomunicaciones deciden como utilizar la distribución del espectro radioeléctrico de la UIT, dentro de sus fronteras.

Las señales de los satélites no se acortan abruptamente en las fronteras por lo que es necesario coordinarlas con los países vecinos. Esto se realiza a través del Consejo Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB). El procedimiento de coordinación se vuelve más complejo a medida que más y más satélites solicitan su acceso en la órbita geoestacionaria.

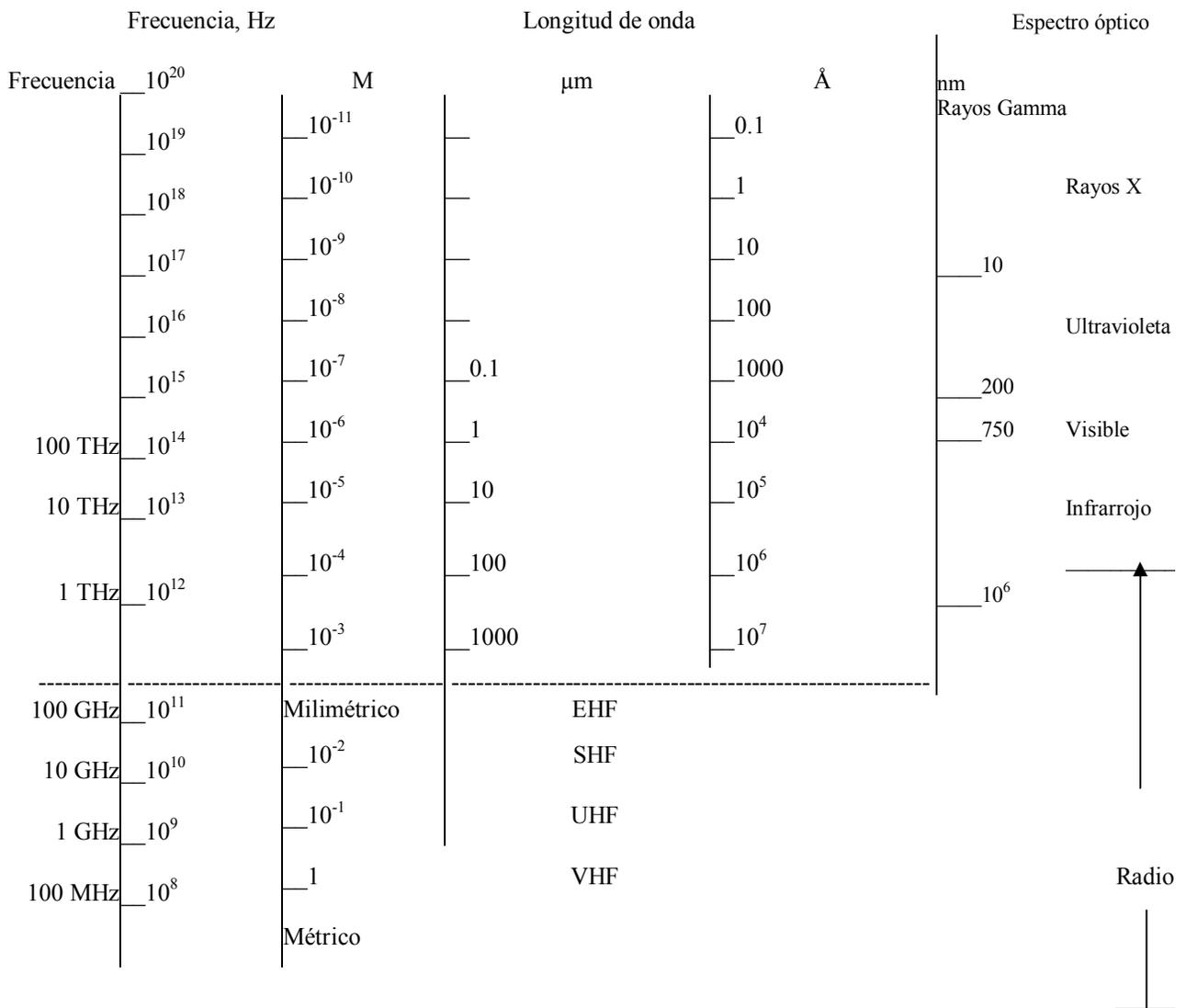
Cada diferente frecuencia tiene una utilidad. Por ejemplo, las radiodifusoras AM utilizan un ancho de banda de 0.010 MHz, con portadoras de 1 MHz. Un canal de televisión utiliza un ancho de banda de 6 MHz, con portadoras de más de 100 MHz. En las comunicaciones satelitales se utilizan anchos de banda de 500 MHz y debido a la necesidad de mayor ancho de banda se reúsan las frecuencias. Las frecuencias para las comunicaciones satelitales usualmente se encuentran entre 1 y 15 GHz.

En el rango de 1 a 10 GHz, hay muchos servicios de microondas terrestres y también satelitales. El nivel de ruido y la atenuación son menores que en frecuencias más altas. Conforme los cables de fibra óptica han reemplazado los enlaces terrestres

de microondas, dichas frecuencias han quedado en mayor disponibilidad para los satélites.

El espectro electromagnético que se muestra en la siguiente figura, cubre las frecuencias que se usan en satélites de comunicaciones y frecuencias más altas, tales como ondas de radio, infrarrojo visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

**Figura 3. Espectro electromagnético**



Fuente: Gordon Gary y Morgan Walter. *Principles of communications satellites*. Pág. 98

Las frecuencias más bajas (menores de 1 GHz) han sido tan utilizadas que hay insuficiente ancho de banda en el espectro de radio frecuencias disponibles para nuevos servicios. En estas frecuencias se reduce mucho el nivel de la señal debido al ruido galáctico, que son señales hechas por el hombre y por la absorción ionosférica.

Arriba de los 10 GHz se incrementa la atenuación debida a la lluvia. A pesar de esta atenuación, la banda 14/12 GHz es extensamente utilizada y le sigue la banda de 30/20 GHz. Algunas frecuencias más altas todavía están más allá del rango de funcionamiento del equipo comercial disponible. Ya que frecuencias arriba de los 30 GHz no se han utilizado mucho, existe un espectro disponible, especialmente para servicios que no pasan a través de la atmósfera (tales como enlaces intersatelitales). Los enlaces intersatelitales son para comunicaciones directas entre dos satélites. Estos enlaces no pasan a través de la atmósfera de la tierra, por lo que no tienen problemas de atenuación debido a esta.

### 1.5.1 Asignación de bandas de frecuencias

En las comunicaciones vía satélite se utiliza una gran variedad de frecuencias. La mejor forma de especificar estas frecuencias es en GHz, aunque algunas veces también es útil conocer la longitud de onda, la cual es una forma alterna de especificar la frecuencia:  $\lambda = c/f$ ; donde  $\lambda$  es la longitud de onda en metros,  $c$  es la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/seg) y  $f$  es la frecuencia en Hz.

Una forma de designar las bandas de frecuencia se basa en décadas o factores de 10. Por ejemplo el rango de 0.3 a 3 GHz es la banda 9, por ser  $3 \times 10^9$  y también se usan los superlativos (muy, ultra, súper y extremadamente) que evolucionaron históricamente desde el tiempo en que 10 MHz se consideraba una frecuencia alta.

Otro ejemplo es en el rango de 3 a 30 GHz, que corresponde a la banda 10 (SHF o súper alta frecuencia).

La siguiente tabla muestra las bandas de frecuencia especificadas por medio de letras. Esta práctica que se inicio durante la Segunda Guerra Mundial y sigue siendo conveniente. Se muestra esta forma de designar las frecuencias en la siguiente tabla.

**Tabla II. Bandas de frecuencia especificadas en letras**

Rango de Frecuencias GHz	Letra		Uso típico
1.5 – 1.6	L	MSS	Servicio móvil satelital
2.0 – 2.7	S	BSS	Servicio satelital de radiodifusión
3.7 – 7.25	C	FSS	Servicio fijo de satélite
7.25 – 8.4	X		Satélites del gobierno
10.7 – 18	K <sub>u</sub>	FSS	Servicio fijo de satélite
18 – 31	K <sub>a</sub>	FSS	Servicio fijo de satélite
44	Q		Satélites del gobierno

Fuente. Gordon Gary y Morgan Walter. Principles of Communications Satellites.Pag.100

### 1.5.2 Reuso de frecuencias

La cantidad disponible de espectro electromagnético es limitada, pero la demanda de comunicaciones continúa incrementándose. Una solución es buscar frecuencias más altas, la otra es utilizar técnicas que reusan la frecuencia varias veces. A continuación se explicaran los métodos que se utilizan en la comunicación vía satélite, como lo son la polarización, haces múltiples y una combinación de ambas técnicas para utilizar la misma frecuencia más de dos veces.

El uso del método de polarización de las ondas electromagnéticas puede duplicar el ancho de banda útil. Pueden haber dos haces entre un satélite y una estación terrena. Las dos formas de polarización utilizadas son: lineal y circular. Por medio del aislamiento que provee la polarización lineal se pueden transmitir dos haces, el horizontal (HP) y el vertical (VP). Cuando se utiliza polarización circular, se obtienen haces con polarización circular de mano izquierda (LHCP), la cual se genera por la combinación de componentes iguales de las señales HP y VP. Si se cambia la fase de las señales mezcladas, se puede generar la polarización circular de mano derecha (RHCP).

En teoría el ancho de banda se duplica, pero en la práctica la ganancia es levemente menor, 3 dB menos, aproximadamente cuando se utilizan las polarizaciones circular y lineal.

La señal polarizada horizontalmente es paralela al ecuador de la tierra y la señal polarizada verticalmente está alineada con los polos. Los sistemas prácticos han utilizado tanto las señales polarizadas linealmente, como las polarizadas circularmente con buenos resultados. Con frecuencia, las comunicaciones satelitales en la banda C (6/4 GHz) utilizan polarización circular y en la banda K<sub>u</sub> (14/12 GHz) la polarización lineal.

Otro método para reusar la frecuencia, es por medio de un satélite que tenga múltiples haces puntuales. En el caso más sencillo, cada uno de los pequeños haces es mutuamente excluyente. Si no hay traslape entre los haces, es posible reutilizar la frecuencia  $n$  veces. Si cada haz tiene dos señales polarizadas en forma ortogonal es posible reutilizar la frecuencia  $2n$  veces. Debido a que hay espacios entre los haces, algunas áreas no serán cubiertas.

El caso ideal no es realista. En la práctica, los haces de las antenas tienen lóbulos laterales (*side lobes*) que se traslapan con los otros haces y el aislamiento de la polarización es imperfecto para ángulos fuera de eje (*off – axis*). La mayoría de los centros poblacionales cubiertos por enlaces satelitales están cerca uno del otro, esto requiere que haya traslape deliberado para evitar pérdida de cobertura entre haces.

Obviamente, en este caso, no es posible reutilizar completamente la frecuencia y es conveniente que los haces adyacentes tengan diferentes frecuencias.

INTELSAT utiliza haces múltiples de hemisferio y zona para reutilizar la frecuencia además del aislamiento por medio de la polarización.

## **1.6 Modulación, multiplexación y acceso múltiple**

Las señales que se transmiten a través del satélite afectan tanto su operación como su transmisión. Se discutirá brevemente como se manejan estas señales.

Para enviar una señal a través de un satélite de comunicaciones, esta primera debe imprimirse en una señal de radiofrecuencia (portadora). Este proceso se conoce como modulación. Un enlace satelital normalmente retransmite varias señales de una estación terrena. Para que estas señales se mantengan separadas y para evitar interferencias se requiere de la multiplexación. Finalmente, un satélite maneja señales provenientes de varias estaciones terrenas, esto se conoce como acceso múltiple.

Para los procesos de multiplexación y acceso múltiple es necesario que se compartan los recursos del satélite, ya sea por medio de asignación de frecuencias, tomando turnos (dominio del tiempo), o por separación espacial (haces múltiples de antena y polarización).

Teóricamente cualquier método puede utilizarse en señales analógicas y digitales. En la práctica, para las señales digitales se utiliza la multiplexación por división del tiempo TDM y con señales analógicas la multiplexación por división en la frecuencia FDM, por la naturaleza de las señales.

### **1.6.1 Métodos de Modulación**

Las señales deben imprimirse en una portadora de radiofrecuencia (RF) para su transmisión a través del satélite. En este proceso conocido como modulación hay tres

métodos básicos que cambian la amplitud (AM), la frecuencia (FM) o la fase (PM) de una portadora.

Generalmente, se modula la información primero con una portadora de frecuencia intermedia, por ejemplo 70 MHz o 140 MHz. Luego esta frecuencia se convierte en una más alta, tal como 6 o 14 GHz para su amplificación y transmisión hacia el satélite.

En la modulación de amplitud (AM), la amplitud de la portadora varía proporcionalmente a la señal de entrada. Generalmente, requiere mayor potencia que FM, pero ocupa menos espectro. Las señales AM son las más susceptibles de interferencia, ruido y no-linealidades.

En la salida de un detector AM se mide la relación señal-a-ruido (S/N) y en la entrada del detector la relación portadora-a-ruido (C/N), las cuales están relacionadas así:  $(S/N) = m^2 (C/N)$ , donde  $m$  es el índice de modulación AM (en el rango de 0 a 1.0). El índice de modulación es la diferencia entre la máxima amplitud de la portadora y la mínima, dividida por su suma.

En la modulación de frecuencia (FM), la señal moduladora varía la frecuencia de la portadora. FM tiene la ventaja de ser más robusta, es decir menos susceptible al ruido y la interferencia. Los requerimientos de potencia del transpondedor, pueden reducirse mediante una negociación entre potencia y ancho de banda. FM es el método predominante de transmisión utilizado en satélites.

El tercer método es la modulación de fase (PM), este consiste en variar el ángulo o la fase de la señal portadora, pero esta variación nunca puede ser mayor de un ciclo ( $360^\circ$ ). PM, es muy similar a FM y tiene muchas de sus ventajas. La forma más común de PM, el uso de PSK (*Phase shift keying*). Existe una gran variedad de tipos de PSK. Se utilizan fases múltiples para describir los niveles binarios. Una forma común de M-PSK es la de dos fases, o PSK binario ( $M = 2$ ), conocido como BPSK. Otra forma, es PSK cuadrifásico ( $M = 4$ ), conocido como QPSK.

### 1.6.2 Multiplexación

Generalmente, una estación terrena envía varias señales hacia el satélite. Multiplexar es combinar dos o más señales de entrada en una sola salida para su transmisión. Si se transmitiera una sola señal, el multiplexor, no sería necesario. Las formas más comunes de multiplexación que se utilizan en las comunicaciones vía satélite son: multiplexación por división en la frecuencia (FDM) y multiplexación por división en el tiempo (TDM).

La multiplexación por división en la frecuencia (FDM), es un proceso que se inicia asignando a cada señal una frecuencia y un ancho de banda. Si dos señales tienen inicialmente la misma frecuencia, una de ellas (o ambas) deberá trasladar su frecuencia para que no haya traslape.

En una estación terrena, la multiplexación puede empezar combinando varios canales telefónicos. La multiplexación también puede realizarse antes de que las señales lleguen a la estación terrena. Cada señal se convierte a su frecuencia asignada y así es agrupada con otras en el dominio de la frecuencia. La señal compuesta por todas estas señales que están agrupadas, modula una señal portadora en el convertidor de subida que envía la señal hacia el satélite. Al otro lado del enlace, un demultiplexor realiza la función inversa, para convertir de nuevo la señal a su condición de banda base, que es la frecuencia original de la señal.

La mayoría de los multiplexores operan en rangos de frecuencias sónicas y supersónicas. Por ejemplo, si tenemos doce canales de audio de 3 KHz, estos serán asignados en frecuencias individuales entre 12 y 60 KHz. En INTELSAT se utilizan asignaciones centradas cada 4 KHz para evitar traslapes. Por ejemplo, para 60 canales, la banda asignada será de 12 a 252 KHz. INTELSAT reserva frecuencias debajo de los 12 KHz para canales de servicio de ingeniería y para dispersión de energía.

En la mayoría de los satélites de comunicaciones, hay multiplexores que operan con grandes anchos de banda. Un receptor de banda ancha (por ejemplo, 500 MHz), se conecta a un banco de filtros. Una configuración común, utiliza 12 filtros, cada uno con

36 MHz de ancho de banda y 4 MHz de bandas de guarda entre filtros. Cada filtro deja pasar únicamente una porción del espectro. El multiplexor de entrada, separa los 500 MHz en varios canales. Un amplificador levanta la potencia de salida de cada filtro. Las salidas de los 12 amplificadores de potencia se combinan en un multiplexor de salida antes de que la señal abandone el satélite.

El tipo de multiplexores que generalmente se usa en los satélites está basado en filtros microondas. Dichos filtros son necesarios para seleccionar ciertas frecuencias y rechazar otras.

La multiplexación por división en el tiempo (TDM) se introdujo gracias al inicio de la telefonía digital, que introdujo la tecnología de multiplexadores por división en el tiempo en las redes telefónicas. Los canales de voz, fueron digitalizados a una tasa de 64Kbit/s. La señal de voz permitida es de 0.3 a 4 KHz para hacer un muestreo al menos dos veces por ciclo y codificada con una precisión de 7 a 8 bits.

Un sistema TDM común combina 24 de estos flujos de datos de 64 Kbit/s en un multiplexor TDM para formar un flujo de 1544 Kbit/s (llamado T-1).

Un canal T-1 no necesariamente se constituye de 24 señales de voz, puede llevar una variedad de señales, incluyendo voz, datos digitales o video. El total no debe exceder 1544 Kbit/s, incluyendo los bits necesarios para control y supervisión. La tasa de bits de un canal de video para teleconferencias ocupa la mitad o la tercera parte de un canal T-1.

### **1.6.3 Acceso Múltiple**

El acceso múltiple permite a varias estaciones terrenas, transmitir señales simultáneamente hacia un mismo transpondedor de un satélite. Estas señales incluyen voz, datos, teletipo, facsímil y televisión. Esta característica permite a cualquier estación terrena, localizada dentro del área de cobertura correspondiente, recibir portadoras originadas por varias estaciones terrenas a través del satélite. De manera similar, cualquier portadora transmitida por una estación terrena hacia un transpondedor

dado puede ser recibida por cualquier estación terrena dentro del área de cobertura. Esto le permite a una estación terrena agrupar varias portadoras en una sola portadora multi-destino. En un sistema de servicio fijo por satélite, este actúa como una estación repetidora y es un punto nodal para los circuitos conectados en las estaciones terrenas correspondientes. El satélite contiene una o más cadenas de transpondedores, cada una de las cuales posee la capacidad de trasladar la frecuencia, amplificar y retransmitir las señales recibidas de las estaciones terrenas del sistema. También existe la capacidad de conmutar entre algunas de las cadenas de los transpondedores. Generalmente la capacidad disponible para información en una cadena de transpondedor, es mayor que la que necesita la mayoría de las estaciones terrenas para su uso individual. De manera que con el fin de utilizar completamente la capacidad del transpondedor, se le permite a más de una estación terrena que tenga acceso a una misma cadena de transpondedor para sus transmisiones multi-destinatarias o con un solo destino. El uso de más de un transpondedor por más de una estación terrena, es lo que se llama acceso múltiple.

Existen dos facilidades para utilizar el acceso múltiple, las cuales se identifican como se detalla a continuación. Para la primera facilidad tenemos dos tipos de categorías:

- Acceso múltiple con pre-asignación, en el cual los canales requeridos entre dos estaciones terrenas se asignan permanentemente para su uso exclusivo.
- Acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA), en el cual la asignación se cambia de acuerdo con la señal de origen. El canal es seleccionado automáticamente y es conectado únicamente mientras se realiza la llamada.

Para la segunda facilidad, las categorías, son:

- Acceso múltiple por división en la frecuencia (FDMA), donde todas las estaciones terrenas tienen su frecuencia de portadora asignada.
- Acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA), donde todas las estaciones utilizan la misma frecuencia portadora y el mismo ancho de banda con división en el tiempo.

- Acceso múltiple por división de código (CDMA), donde todas las estaciones terrenas comparten simultáneamente el mismo ancho de banda y las señales son reconocidas por medio de varios procesos, tales como códigos de identificación.

El acceso múltiple por división en la frecuencia (FDMA), es la técnica de acceso múltiple más utilizada en los sistemas de comunicaciones vía satélite. En este sistema, a cada estación terrena se le asigna un ancho de banda dentro de un rango de frecuencias especificado. La capacidad total del satélite se divide en varios transpondedores. El ancho de banda típico para un transpondedor oscila entre 27 y 110 MHz. Este ancho de banda puede dividirse aún más, y estas partes se asignan a las estaciones terrenas. Uno de los principales problemas de este sistema, se debe a que como pasan muchas señales al mismo tiempo a través del transpondedor del satélite, se produce una interferencia de ruido debido a la intermodulación de las señales ocasionada por la no-linealidad del transpondedor. Para reducir esta interferencia provocada por la intermodulación, es necesario mantener el nivel de potencia de transmisión, considerablemente más bajo del punto de saturación, para permitir una operación casi lineal, a esto se le llama *back-off*. Con el fin de conseguir lo anterior, la salida de potencia de transmisión de cada estación terrena debe ser controlada con mucha precisión. En el transpondedor del satélite, esta situación es aún más crítica y debe reducirse hasta un 50% del nivel de saturación para reducir los productos de intermodulación a un nivel aceptable.

FDMA puede implementarse con varios métodos de modulación-multiplexación, tales como FDM-FM, TDM-PSK y SCPC. El método más utilizado es el de FDM-FM, en el cual las portadoras son moduladas en frecuencia por una señal de banda base multiplexada en la frecuencia. Mientras que en TDM-PSK, las portadoras son moduladas en PSK por una señal de banda base multiplexada por división en el tiempo. SCPC utiliza una portadora RF para cada canal telefónico con ambas modulaciones FM y PSK y es apropiada para trabajar con un gran número de estaciones terrenas con una cantidad relativamente pequeña de canales. En este tipo de sistemas, la portadora es activada por la voz y esto permite ahorrar hasta un 60% de la potencia del transpondedor

del satélite, ya que las frecuencias están únicamente activas un 40% del tiempo promedio.

El acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA), es una técnica de acceso múltiple digital que permite que transmisiones individuales de estaciones terrenas, sean recibidas por el satélite en intervalos de tiempo (*slots*) *separados entre sí*, que no se traslapan, llamados ráfagas (*bursts*) o pulsos de señal que llevan la información. Este proceso evita la generación de productos de intermodulación generados en un transpondedor no-lineal que se da en FDMA, ya que una sola señal entra en el transpondedor a la vez. Cada estación terrena transmisora debe determinar el tiempo y el rango del sistema satelital, de modo que las señales transmitidas estén sincronizadas para llegar al satélite en el intervalo de tiempo apropiado.

Comparando el sistema FDMA, con el TDMA, podemos observar las siguientes características:

- Debido a la ausencia de los efectos de intermodulación, el transpondedor del satélite puede operar muy cercano a su punto de saturación lo que conduce a un uso más eficiente de la potencia del transpondedor.
- En TDMA, la capacidad no decrece gradualmente con el incremento del número de estaciones que accesan al satélite.
- La introducción de nuevos requerimientos de tráfico y cambios pueden acomodarse fácilmente cambiando la longitud y la posición de las ráfagas.
- TDMA es inherentemente compatible con señales digitales, ya que este utiliza la máxima potencia del transpondedor y el uso del ancho de banda es eficiente. Esto conlleva al uso de estaciones terrenas más complejas y costosas de las de FDMA, ya que es necesario mantener una sincronización muy precisa de la red. El movimiento del satélite, también cambia el retardo de tiempo para las diferentes estaciones y esto también debe ser incluido en el plan de sincronización.

Con FDMA, las señales son amplificadas al mismo tiempo por el transpondedor del satélite, pero a diferentes frecuencias. En TDMA, las señales utilizan las mismas frecuencias, pero en tiempos diferentes. Existe una tercera categoría de sistemas de acceso múltiple, en la cual las señales utilizan la banda entera del transpondedor simultáneamente, éstos sistemas utilizan técnicas de extensión del espectro y se llaman sistemas CDMA.

El acceso múltiple por división de código (CDMA), comparte el espectro de un transpondedor común extendiendo la señal en un ancho de banda mucho más amplio que el que necesita. A cada señal transmitida hacia el satélite se le asigna un código pseudoaleatorio. En las estaciones terrenas receptoras, las señales recibidas deben tener un código pseudoaleatorio de ruido idéntico para poder recuperar la información. Para realizar esta operación, donde es necesario identificar una señal entre muchas otras, que comparten la misma banda y el mismo tiempo, se utilizan generalmente técnicas de correlación.

Algunas características de los sistemas CDMA son las siguientes:

- No se necesita coordinación entre los transmisores, como sucede en TDMA y en FDMA.
- El sistema puede acomodar fácilmente nuevos usuarios.
- CDMA provee automáticamente cierto grado de privacidad debido al código utilizado.
- Su principal desventaja, es la baja eficiencia de uso del espectro, con respecto a TDMA y a FDMA.

## **1.7 Antenas**

Las microondas transmitidas dentro de las guías de onda no producen ningún campo en el exterior de la guía de onda, por lo que no radian ninguna potencia. Sin embargo, una guía de onda abierta en uno de sus extremos generará campos externos.

La potencia escapa hacia el espacio. La guía de onda radiará alguna potencia, pero también reflejará cierta potencia, por general, esto ocurre debido a que la impedancia de la guía de onda no es igual a la de la fuente, esto está basado en el teorema de la máxima transferencia de potencia. Una antena bocina, corneta o alimentador se diseña para que su impedancia se adapte con la impedancia de la fuente, de esta manera, se radiará la máxima potencia y se reflejará una parte muy pequeña.

Las antenas receptoras son muy similares a las antenas transmisoras. Una antena receptora toma la energía del espacio, mientras que una antena transmisora la envía hacia el espacio. En una antena receptora, la onda electromagnética incide en la superficie de la antena, la cual está conectada a una línea de transmisión y se generan los voltajes en la línea.

La polarización de una onda RF radiada o recibida por una antena está definida por la orientación del vector eléctrico  $E$  de la onda, el cual es siempre perpendicular a la dirección de propagación. Dicho vector oscila en intensidad a la frecuencia de la onda radiada  $f$  y puede conservar su orientación o girar alrededor del eje de propagación a la velocidad angular  $w$ . El caso más general, es la polarización elíptica en la que el vector eléctrico gira, pero su amplitud no es constante, siendo máxima en una dirección y mínima en la otra. La relación axial de amplitudes es  $R = E_{\max} / E_{\min}$ .

Los sistemas de antena se diseñan normalmente para operar con polarización lineal en la cual idealmente  $R$  es infinita por lo que el vector eléctrico no gira, o con polarización circular en la cual idealmente  $R = 1$ . La polarización lineal vertical es perpendicular a la polarización lineal horizontal. En la polarización lineal vertical, el vector eléctrico viaja hacia o desde el satélite en forma ortogonal con respecto al plano ecuatorial y paralelo al plano polar y en la polarización lineal horizontal el vector es paralelo al plano ecuatorial idealmente, en la práctica pueden haber un rango de variaciones de  $5^\circ$  a  $30^\circ$ .

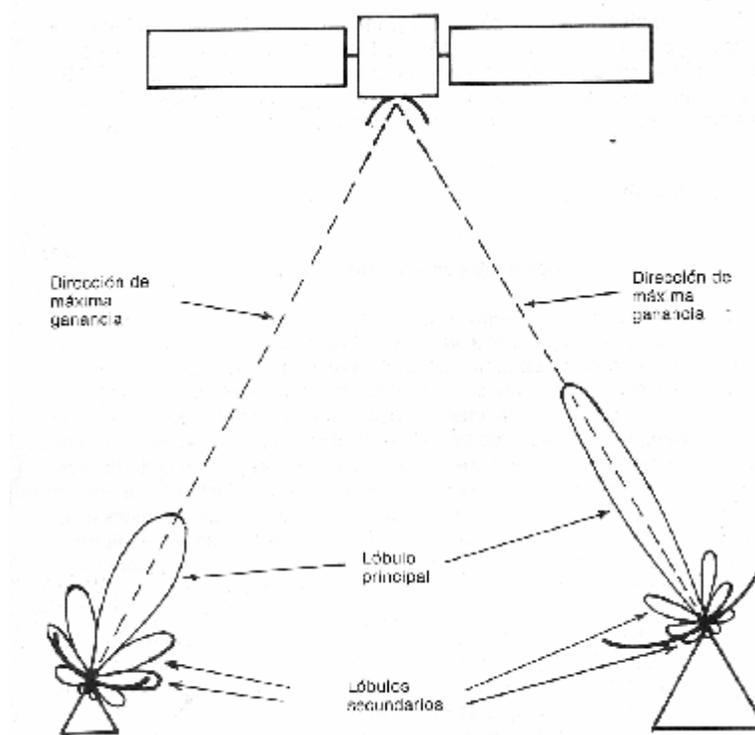
Existe también la polarización circular, la cual se genera de la combinación de dos componentes iguales en amplitud y polarizadas linealmente, que tienen una diferencia de  $90^\circ$  entre sí. En la polarización circular el vector eléctrico puede girar en

el sentido de las manecillas del reloj visto en el sentido de la propagación, denominándose dextrógira (*RHCP Right hand circular polarization*) o en sentido contrario denominándose levógira (*LHCP Left hand circular polarization*) considerándose ortogonales entre sí. Un satélite o una estación terrena puede transmitir la misma frecuencia con la misma antena usando dos polarizaciones ortogonales y ya que no se interfieren entre sí, el ancho completo de 500 MHz puede reusarse.

Idealmente debería existir un aislamiento infinito entre dos señales con polarización ortogonal, pero debido a las imperfecciones de los alimentadores y los reflectores y a las obstrucciones de la radiación, el aislamiento que se da en la polarización lineal o circular, no es infinito, estableciéndose como deseable un valor de aislamiento típico de 30 dB, con el cual la interferencia por polarización cruzada será de solo 1/1000 de la señal deseada. El aislamiento por polarización cruzada puede verse reducido por precipitaciones, generalmente lluvia y ocasionalmente nieve, granizo o neblina. La degradación de aislamiento es mayor a frecuencias más altas y afecta más a la polarización circular. Los satélites que trabajan en la banda C (6/4 GHz) utilizan generalmente polarización circular y los que operan en la banda Ku utilizan polarizaciones lineales.

Una característica importante de las antenas, es que sus propiedades son recíprocas, tienen la misma impedancia, la misma ganancia y el mismo patrón de radiación para transmisión y recepción cuando están en la misma frecuencia. Las características más importantes de una antena, son su ganancia y su patrón de radiación. En el patrón de radiación podemos observar un lóbulo mayor o principal y varios lóbulos laterales o secundarios. La mayor parte de la potencia radiada por una antena está contenida en el "lóbulo principal" del patrón de radiación. Sin embargo, una parte residual de la potencia es radiada en los lóbulos laterales. Por lo tanto, potencias no deseadas también pueden ser recogidas por los lóbulos laterales durante la recepción. Cabe mencionar el parámetro de directividad de una antena, que está determinado por la relación  $(D/\lambda)$ , donde  $D$  es el diámetro y  $\lambda$  la longitud de onda. Mientras mayor sea dicha relación, mayor será la ganancia de la antena y menor la anchura del haz.

**Figura 4. Patrón de radiación de una antena grande y una pequeña.**



**Fuente: Neri Vela. "Satélites de Comunicaciones" Pág. 88**

En la figura se observa el patrón de radiación de dos antenas. Se desea tener la mayor ganancia posible en una dirección, y la mínima en todas aquellas otras direcciones que no sean de interés, como son los lóbulos laterales, para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas o innecesarias.

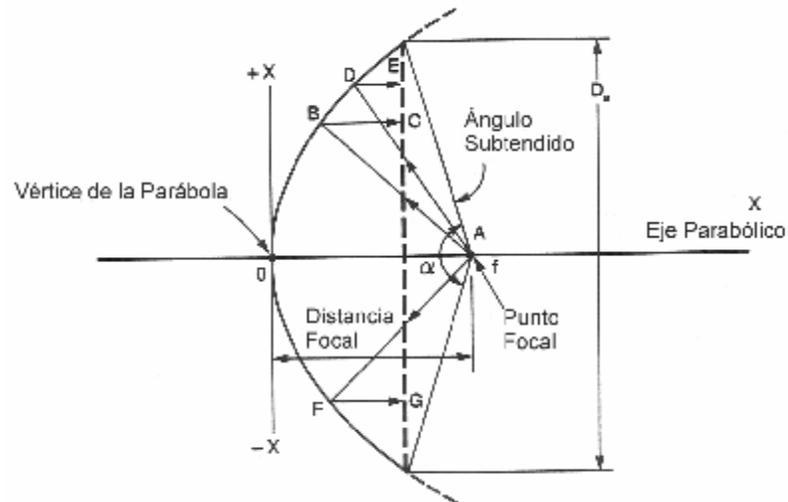
Aunque los lóbulos laterales son una propiedad intrínseca del patrón de radiación de la antena y en parte se producen por las imperfecciones del reflector, no pueden ser suprimidos completamente, pero sí pueden ser minimizados por medio de un diseño adecuado. La característica de los lóbulos laterales en las estaciones terrenas es uno de los principales factores que determinan el espaciamiento mínimo entre satélites y por consiguiente la eficiente utilización del espectro orbital.

### 1.7.1 Tipos de antenas

Una antena corneta o de bocina (*horn*), es una guía de onda de extremo abierto, diseñada para irradiar la máxima potencia. Generalmente, tiene una apertura extendida hacia fuera como los bordes de un embudo; la apertura incrementa su tamaño cerca del extremo radiador. Puede tener escalones o encogimientos. Las dimensiones se escogen para mejorar su funcionamiento en una frecuencia dada. Sus ventajas son la simplicidad y la confiabilidad. Los satélites utilizan las antenas cornetas para sus haces globales, ya que la radiación se esparce hacia afuera, pero hay un límite que establece que tan angosto debe generarse el haz.

La antena que más comúnmente se utiliza en comunicaciones satelitales es la antena parabólica. Está compuesta de un alimentador, similar a una antena corneta y de un reflector parabólico. El propósito del alimentador es iluminar al reflector en toda su superficie y evitar que se desperdicie radiación. Por otra parte, la iluminación debe ser tal que produzca el diagrama de radiación deseado. El alimentador radia un haz ancho y lo dirige hacia el reflector. El reflector parabólico concentra la radiación en un haz que es mucho más angosto en una dirección. El alimentador se encuentra en el foco de la parábola y geoméricamente todos los rayos desde el foco serán reflejados en la misma dirección. Una ventaja de los reflectores parabólicos es que pueden operar en un amplio rango de frecuencias. Una superficie parabólica tiene la propiedad de poder convertir un frente de onda esférico divergente, en un frente de onda plano paralelo, lo cual da lugar a un haz estrecho en pincel muy enfocado. Esta propiedad de enfoque, común a rayos luminosos y lentes, puede también aplicarse a los reflectores parabólicos en las frecuencias de las microondas. El contorno de la superficie reflectora satisface la ecuación  $y^2 = 4Fx$ , donde “y” es la ordenada en cualquier punto sobre la superficie, F es la distancia focal y x es la abscisa correspondiente.

**Figura 5. Aspectos geométricos de un reflector parabólico**



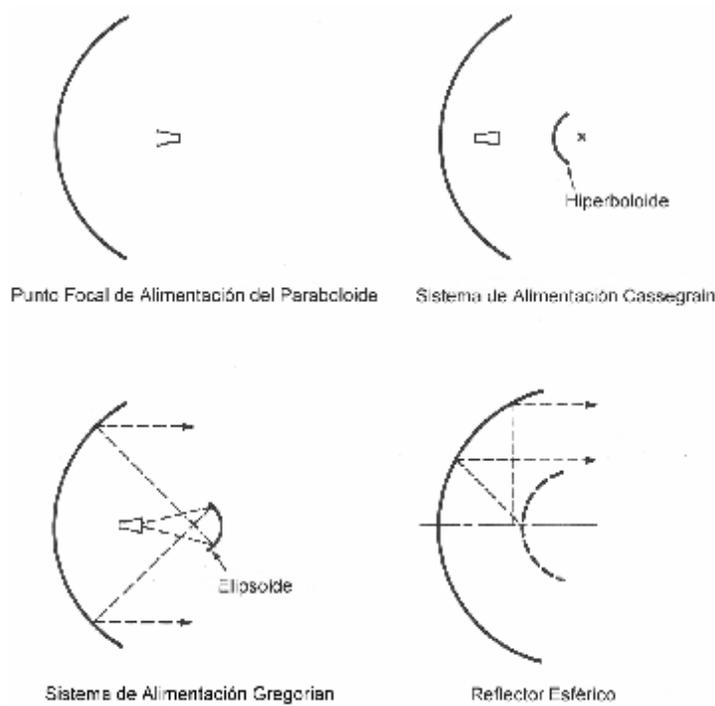
**Fuente: Tecnología de estaciones terrenas. INTELSAT, Pág. 3-6**

En la figura 5, todos los rayos que salen de  $f$  (punto focal), tras reflejarse en la superficie, salen paralelos entre sí y llegan al mismo tiempo al plano formado por los puntos ECG, formando un frente de onda de igual fase. Por lo tanto, tenemos que  $fB + BC = fD + DE = \text{constante}$ .  $D_x$  es el diámetro de la apertura y la relación  $F/D$  es importante y toma valores prácticos entre 0.25 y 0.5. Si esta relación es demasiado pequeña el reflector no está debidamente iluminado por la radiación que sale del punto focal y si es demasiado grande, se pierde la radiación en el borde de la superficie parabólica. Son de gran importancia, tanto el reflector, como el sistema de alimentación.

El propósito del alimentador es iluminar al reflector en toda su superficie y evitar que se desperdicie radiación. Otra consideración importante, es la colocación del alimentador. Aún cuando existen diversos tipos de alimentadores usados con reflectores parabólicos, el reflector Cassegrain es el tipo más usado en las telecomunicaciones vía satélite tal como se muestra en la figura 6. Este consiste en un reflector secundario hiperbólico iluminado por una antena de bocina. Esta forma permite que el amplificador

de bajo nivel de ruido vaya montado en el alimentador, dando lugar a una baja temperatura de ruido.

**Figura 6. Sistemas de alimentación comunes**



**Fuente: Tecnología de Estaciones Terrenas. Pág. 3-7**

Una antena parabólica con alimentador desplazado (*offset antenna*), tiene colocado su alimentador de manera que no intercepte más que una parte insignificante de la radiación reflejada por la superficie del reflector parabólico; esto incrementa la eficiencia de la antena y además reduce la radiación dispersada en los lóbulos laterales. Este diseño es utilizado por muchas estaciones terrenas pequeñas y por la mayoría de las antenas del satélite. El alimentador siempre se colocará en el punto focal paralelo al eje de la parábola, pero  $(x = 0, y = 0)$  ya no está en el centro del reflector. El nuevo origen puede encontrarse dibujando una línea paralela al eje de la parábola desde el alimentador corneta.

### 1.7.2 Ganancia de antena

Una antena transmisora concentra la potencia transmitida hacia un receptor distante. Si esta potencia no fuera concentrada, sería radiada igualmente en todas direcciones (radiación isotrópica). Un buen ejemplo de un radiador isotrópico es el sol, porque emite la misma intensidad de luz y de radio frecuencia en todas direcciones. La ganancia de antena es la relación entre la potencia requerida por un transmisor para una radiación isotrópica y la potencia que transmite realmente.  $G = \text{potencia radiada por una antena} / \text{potencia radiada por una antena isotrópica}$ .

El valor de la ganancia de antena, depende de varios factores, como el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo.

Una radiación con longitudes de onda muy corta (frecuencias muy altas) será más concentrada en haces angostos, mientras que las radiaciones con longitudes de onda más largas (frecuencias más bajas), tenderán a esparcirse en haces más anchos. La ganancia de antena de un reflector parabólico es:

$$G = 4\pi A\eta/\lambda^2$$

Donde:  $A$  es el área en  $m^2$ ,  $\lambda$  es la longitud de onda en metros y  $\eta$  es la eficiencia de la antena (0 – 1).

Para antenas circulares con diámetro  $D$  en metros y frecuencia  $f$  en GHz, la ganancia expresada en decibeles es:

$$G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} f + 10 \log_{10} \eta + 20.4 \quad (\text{dBi})$$

Como ejemplo, tomemos una estación terrena de INTELSAT con una antena de 30 metros de diámetro, transmitiendo a la frecuencia de 6 GHz, esta tendrá una eficiencia de 0.6 o 60% y la ganancia de antena será de 63.3 dBi. Esto es equivalente a una relación de ganancia de 2,000,000 de veces más grande que la de una radiación isotrópica. La ganancia de antena, incrementa la potencia en algunas direcciones. Sin embargo, la antena es un dispositivo pasivo. No amplifica la potencia total, pero la incrementa en la dirección deseada.

### **1.7.3 Eficiencia de la antena**

La eficiencia de la antena  $\eta$  depende de la aplicación. Los valores van comúnmente desde 0.2 hasta 0.75. Para reflectores parabólicos, tales como los que se usan en estaciones terrenas grandes, las eficiencias típicas están entre 0.65 y 0.75, o equivalente a 65% a 75%. Las antenas de placa plana, están en el rango de 0.75, aunque este valor puede incrementarse en superficies superconductoras. Las antenas del satélite tienen por lo general una eficiencia más baja (0.4 a 0.55). Pueden haber incluso valores más bajos (0.2 a 0.3) para las antenas que dan el servicio de haces múltiples.

## **1.8 Subsistemas de un Satélite**

En la mayoría de redes regionales y nacionales, el segmento espacial consiste de un satélite en operación permanente y de un satélite de reserva colocado en una posición orbital vecina.

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas, cada uno de ellos es igualmente importante, pues su posible falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto.

### **1.8.1 Subsistema de telemetría, seguimiento y comando.**

Este subsistema permite conocer y controlar desde tierra la operación, posición y orientación del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El estado y la condición de los subsistemas, se transmiten a tierra por medio del sistema de telemetría. El sistema de comando transmite órdenes deseadas hacia el satélite. El sistema de seguimiento se encuentra en la estación terrena y es realizado por la antena y se mide por una señal enviada desde tierra a través del enlace de comando, la cual es regresada por el transmisor de telemetría en el satélite.

La orden o comando se inicia en el centro de control del satélite, posteriormente es transmitida hacia la estación terrena y luego se transmite hacia el satélite. El receptor de comandos en el satélite recibe la señal, la demodula y la procesa. El comando es decodificado, almacenado y verificado. La señal se distribuye en la localización apropiada en la nave hasta que la instrucción de "ejecución" es recibida del satélite.

El sistema de telemetría reúne datos de los varios subsistemas, los procesa, modula la señal RF de radiofaro (*beacon*) y los transmite a tierra. La telemetría recolecta, da formato y transmite señales de varios tipos. Los datos digitales muestran la condición de apagado o encendido de los equipos y la posición de varios interruptores.

Existe una serie de sensores que recolectan información del funcionamiento de los sistemas a bordo. Miden temperaturas, voltajes, corriente o presión. También existen sensores que miden la altitud y la aceleración del satélite y muchos otros datos tales como radiación, campos magnéticos, descargas eléctricas o movimiento del líquido de combustible, se envían a la tierra para el diseño de futuros satélites de comunicaciones.

El seguimiento y la medición se utilizan para determinar la posición del satélite en el espacio. Estos datos sirven para predecir el movimiento orbital futuro. Por medio de comandos, se encienden propulsores que controlan la posición del satélite. A esto se le llama mantenimiento de la posición orbital (*station keeping*). Se hacen mediciones de la distancia entre la tierra y el satélite en función del tiempo. Esta medición se realiza tomando el tiempo que le toma a una señal salir de la estación terrena hacia el satélite y regresar de nuevo a la tierra. Para medir los seguimientos (*tracking*) de los ángulos de elevación y azimut en la tierra se utiliza únicamente una señal radiofaro proveniente del satélite.

### **1.8.2 Subsistema de Posición**

Los primeros satélites radiaban energía en todas direcciones por medio de antenas omnidireccionales. Actualmente los satélites de comunicaciones deben mantener sus antenas orientadas hacia la tierra con una precisión entre  $0.1^\circ$  y  $0.01^\circ$ .

La posición y orientación del satélite se mantiene gracias al subsistema de posición. Un sensor detecta cualquier error de posición, el sistema de control toma la información de los sensores y envía comandos a las ruedas giratorias o a los propulsores para corregirlo. Los principales disturbios en la posición de un satélite geoestacionario se deben a torques provocados por desequilibrios en la radiación solar y desalineamiento en los propulsores. Entre los sensores del subsistema de posición tenemos: sensor de posición de la tierra, sensor de posición de sol, sensor RF y también algunos dispositivos como giroscopios y rastreadores de estrellas.

Las ruedas giratorias cambian la posición del satélite, estas pueden ser ruedas de reacción, las cuales pueden girar en cualquier sentido y las ruedas de momento que giran en una sola dirección. Estas ruedas no pueden cambiar el momento angular y cuando ya no son capaces de mantener la posición del satélite, se encienden los propulsores que generan el torque externo deseado.

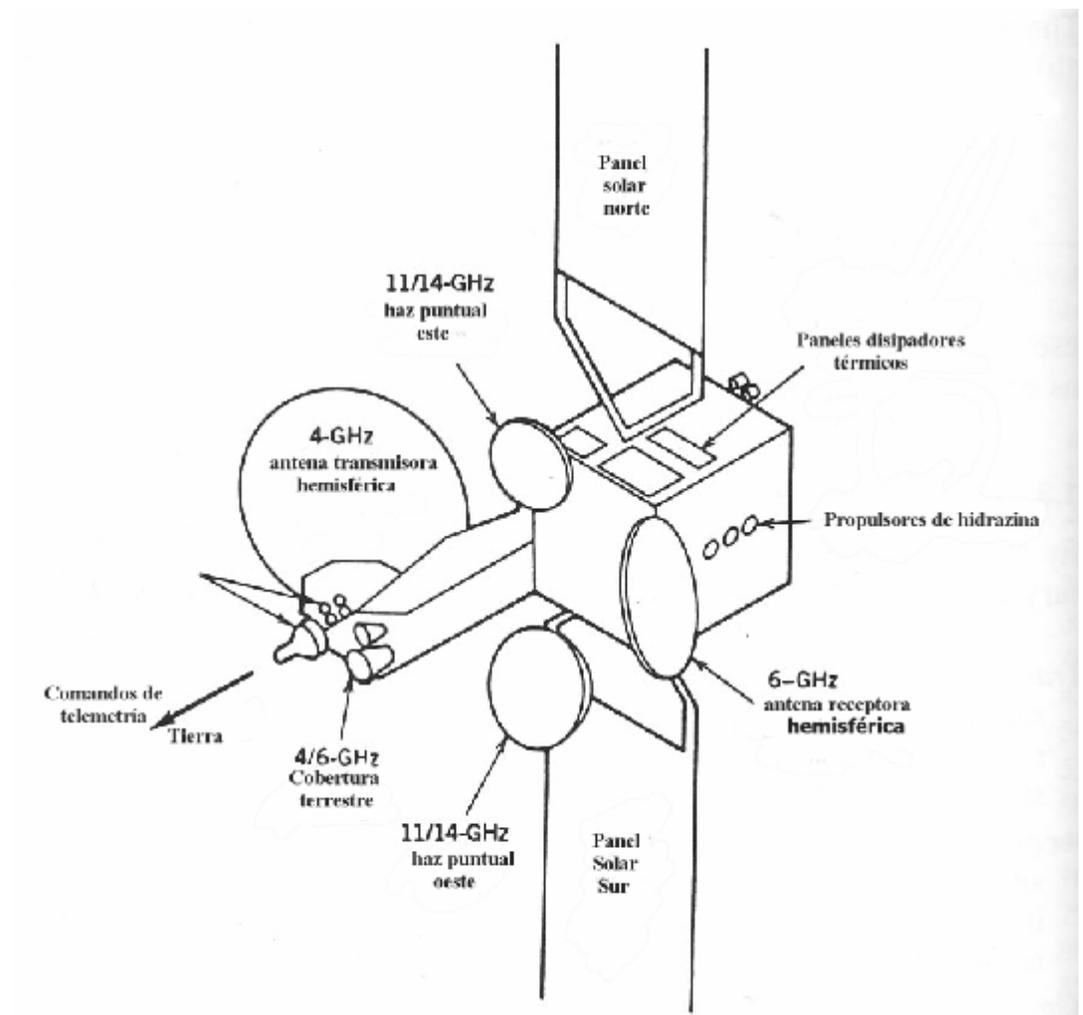
La orientación de un cuerpo en el espacio está determinada por tres ángulos, en los satélites estos son: el ángulo de cabeceo o ángulo de inclinación longitudinal (*pitch*), el ángulo de balanceo o ángulo de inclinación lateral (*roll*) y el ángulo de oblicuidad (*yaw*), son los mismos que se utilizan para barcos y naves marítimas.

Los satélites de comunicaciones que se encuentran en la órbita geoestacionaria siempre están sobre el ecuador y se mueven hacia el este, de modo que los ejes se nombran por analogía con los de un barco o un avión en el ecuador moviéndose hacia el este. Los cambios de posición en el satélite, son rotaciones alrededor de estos tres ejes.

Las dos configuraciones básicas para satélites geoestacionarios de comunicaciones son: el de cuerpo fijo con estabilización triaxial y el de configuración cilíndrica estabilizado por giro.

En la figura 7, se muestra un satélite de cuerpo fijo con estabilización triaxial. Este es más simple en concepto, pero requiere de mayor estructura física para implementarse. Los componentes del sistema requieren un sistema de momento cero y por menos tres ruedas de reserva y sensores en los tres ejes para detectar los errores y corregirlos por medio de los propulsores.

**Figura 7. Satélite de cuerpo fijo con estabilización triaxial**



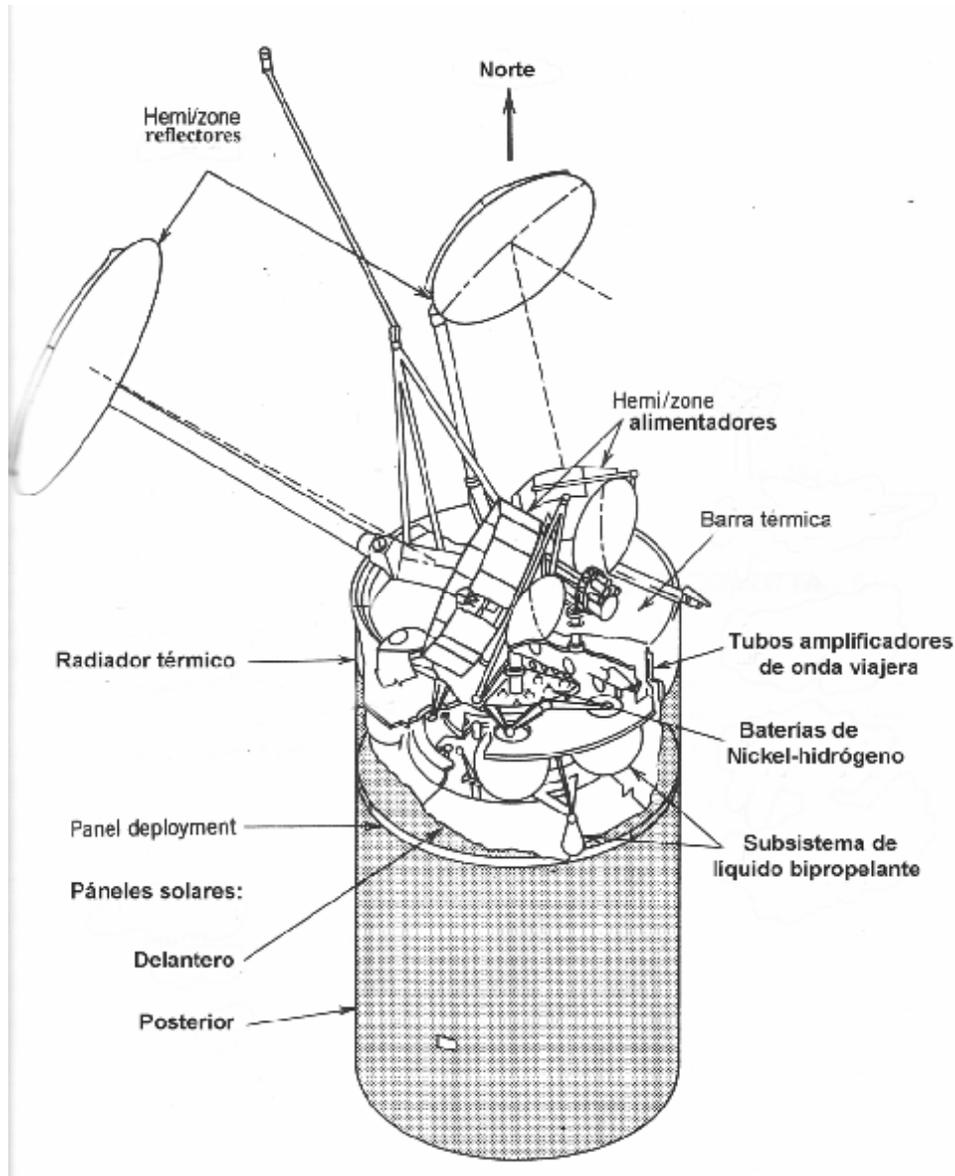
**Fuente: Gary Gordon, y Walter Morgan. Principles of communications satellite.**

**Pág.336**

En la siguiente figura se observa un satélite de configuración cilíndrica estabilizado por giro. En este satélite la mayor parte de su cuerpo gira alrededor de un eje. Algunos satélites son duales, poseen una parte que gira y la otra estacionaria. La parte estacionaria contiene todo el subsistema de comunicaciones y la parte giratoria la mayoría de los otros subsistemas. Este tipo de satélites es más fácil de diseñar y de

operar. Pueden tener una antena omnidireccional o toroidal y antenas más complicadas que pueden agrandarse ya sea mecánicamente o eléctricamente.

**Figura 8. Satélite de configuración cilíndrica estabilizado por giro**



Fuente: Gary Gordon, y Walter Morgan. Principles of communications satellite.

Pág.339

### 1.8.3 Subsistema de potencia eléctrica

Los satélites de comunicaciones necesitan de un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y de corriente para funcionar adecuadamente.

Los satélites de comunicaciones, utilizan celdas solares de silicio como fuente primaria de energía que transforman la radiación solar en energía eléctrica. Pero debido a que durante un eclipse los arreglos solares no producen energía, el satélite necesita de una fuente secundaria constituida por un banco de baterías recargables para los períodos de eclipse y durante el lanzamiento. Las baterías pueden ser de níquel-cadmio (NiCd) o de níquel-hidrógeno (NiH).

La eficiencia de la conversión de luz solar en energía eléctrica por medio de las celdas solares, es función del ángulo de incidencia de los rayos solares con respecto a una incidencia de referencia normal (perpendicular) que es la máxima. En esto influye el movimiento aparente del sol con respecto al satélite, lo que ocasiona que en diferentes épocas del año se tenga más o menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima durante los solsticios.

Las cargas en un satélite de comunicaciones, varían en función del tiempo y requieren de una variedad de voltajes, cada uno de los cuales debe mantenerse dentro de los límites especificados. La función del subsistema de potencia eléctrica, es proveer energía eléctrica a todas las cargas, especialmente a los amplificadores de potencia, que con frecuencia toma la tercera parte de la potencia total que utiliza el satélite y aun más cuando se trata de radiodifusión directa. Esto se logra conduciendo ésta desde el arreglo solar o de las baterías a las cargas según se requiera.

Hay diferencia en el arreglo solar entre los satélites estabilizados por giro y los que tienen cuerpo fijo con estabilización triaxial. En los primeros, las celdas solares se encuentran montadas en el exterior del cilindro que rota alrededor de un eje norte-sur. En el segundo, el satélite cuenta con dos paneles solares largos y planos en los costados

del satélite, en forma de alas, los cuales cuentan con un mecanismo para orientarse constante y óptimamente hacia los rayos solares, observe las figuras 7 y 8 que se presentan en el subsistema de posición.

#### **1.8.4 Subsistema de propulsión**

Tanto el control de posición como el mantenimiento de la posición orbital del satélite requieren de un sistema de propulsión.

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

Debido a que se desea reducir al mínimo posible el peso del combustible almacenado en el satélite para reducir costos de lanzamiento, se utilizan propulsores que funcionan con combustible de impulso específico muy alto, es decir que produzcan un gran impulso de velocidad consumiendo poca masa.

En los satélites de comunicaciones, el sistema que se utiliza comúnmente ha sido el de catalítico monopropelante que utiliza como combustible la hidrazina ( $N_2H_4$ ). La hidrazina es un líquido corrosivo, sin color, tóxico y con un distintivo olor a amoníaco, es insensible a los golpes o a la fricción, es químicamente estable y puede ser almacenado por largos períodos de tiempo. La hidrazina es inyectada en una cámara donde se pone en contacto con un catalizador y no requiere de un oxidante. La reacción química produce calor y un impulso mucho mayor que el de un gas frío de masa equivalente, cuando se descompone en amoníaco gaseoso, nitrógeno e hidrógeno. El impulso específico de la hidrazina, se mejora con un calentamiento resistivo que incrementa la temperatura de los gases después de la descomposición catalítica. Este importante incremento permite reducir la masa del propelente en el satélite, pero a costa

de un mayor consumo de energía eléctrica. Un sistema completo de propulsión con frecuencia incluye varios tanques de almacenamiento de combustible y varios propulsores montados en diferentes lugares de la nave. Los tanques están fabricados con un material inerte y muy fuerte de acero inoxidable o titanio.

Algunos satélites de comunicaciones utilizan un sistema bipropelante, el cual consiste en un oxidante y un combustible en tanques separados, los cuales se ponen en contacto. Al unirse las dos sustancias, se produce una combustión instantánea sin necesidad de algún sistema de ignición. De estas sustancias la que más comúnmente se utilizan son la hidrazina monomelítica (combustible) y el tetróxido de nitrógeno (oxidante), que al combinarse producen un impulso específico con una duración del impulso de 300 segundos. El atractivo de los propulsores bipropelantes es que permiten diseñar un sistema unificado de propulsión que a la vez permite colocar al satélite en su órbita definitiva y también realizar las maniobras de corrección de orientación y posición durante todos sus años de vida, utilizando para ello los mismos tanques de almacenamiento de combustible, esto conlleva el ahorro en la masa total del satélite al no ser necesario ya un subsistema de control a reacción independiente en combinación con un motor de empuje de combustible sólido.

### **1.8.5 Subsistema térmico**

El subsistema de control térmico asegura que todos los componentes del satélite se mantengan dentro del rango de temperatura establecido para operar eficientemente y mantener el balance o equilibrio térmico del conjunto, desde la campaña de prelanzamiento hasta el fin de la vida útil de servicio, en todas las condiciones y ambientes operativos, durante la exposición solar y eclipses y a través de las diferentes épocas del año, los equinoccios y los solsticios.

Los principales factores que intervienen en el equilibrio térmico son el calor generado en el interior del satélite sobre todo por los amplificadores de potencia, la energía que absorbe del sol y de la tierra. La energía que proviene de la tierra tiene dos

fuentes, la propia y la del sol reflejada por su superficie, llamada albedo. El control del balance térmico es muy importante cuando ocurre un eclipse, pues el satélite se enfría muy bruscamente al quedar en la oscuridad y sufre otro cambio brusco cuando está expuesto de nuevo a los rayos del sol.

En la órbita geostacionaria no existe el aire, de modo que la conducción del calor se realiza únicamente a través de los sólidos y de la radiación a través del espacio. Y el control térmico se logra principalmente de manera pasiva por medio de reflectores ópticos, radiadores, dobladores térmicos, sábanas térmicas y tuberías de calor, aunque también se utilizan calentadores eléctricos y termostatos. También se hace uso de los colores en los acabados de las diversas partes del satélite, por ejemplo, la pintura blanca absorbe el calor infrarrojo de la tierra, pero rechaza la radiación solar pues su emisividad es muy alta y su absorptividad muy baja, de manera que se comporta como un elemento frío, pero a longitud de onda cercanas al infrarrojo tiene una alta absorptividad, como un cuerpo negro. La pintura negra tiene una emisividad muy alta, pero también una absorptividad muy alta. También se usa la pintura de aluminio, la cual tiene una emisividad más baja que la negra y también una absorptividad más baja. Es así, como mediante la combinación de materiales y colores, y con el auxilio de reflectores ópticos, que el equilibrio térmico del satélite se conserva dentro de un nivel aceptable de temperaturas durante la mayor parte del tiempo. Y durante los eclipses se usan tuberías de calor que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto.

### **1.8.6 Estructura**

La función de la estructura del satélite es proveer soporte mecánico para todos los subsistemas y componentes, alineación precisa donde se requiera y conducción térmica y las propiedades que se desean en la superficie para el control térmico.

La estructura debe ser diseñada para soportar las cargas durante las pruebas ambientales, manejo en tierra, lanzamiento hacia la órbita baja, encendidos de motores

de apogeo y perigeo y despliegue de las antenas y de los arreglos solares. Luego, cuando el satélite alcanza su posición orbital final y marcha en un ambiente gravitacional nulo, la carga que soporta la estructura se reduce grandemente, pero los alineamientos requeridos son más rigurosos. La masa total del satélite está compuesta por el subsistema de comunicaciones, pero también incluye el combustible, la estructura y el suministro de energía eléctrica. El diseñador debe satisfacer todos los requerimientos, minimizar la masa de la estructura y el costo y sostener una probabilidad de falla, cercana a cero.

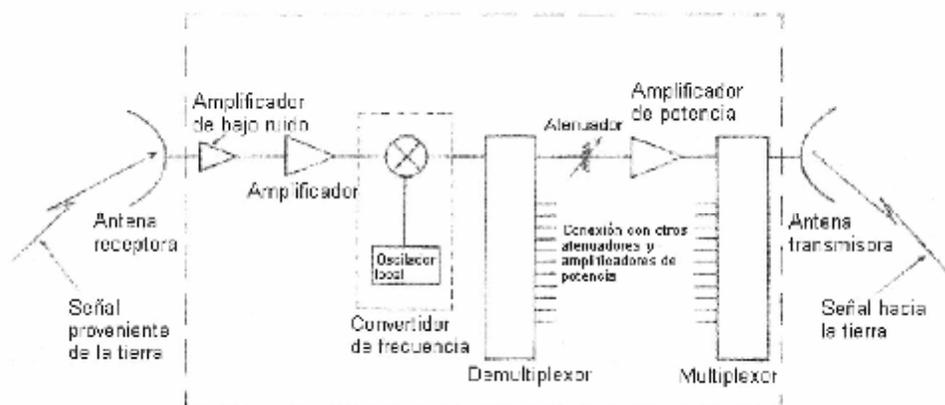
Durante las diversas etapas de su lanzamiento y transferencia de órbita, el satélite se enfrenta a vibraciones, ruidos acústicos sobre todo en las primeras etapas de lanzamiento transmitidos por los motores de los cohetes, aceleraciones, esfuerzos aerodinámicos, fuerzas centrífugas, empujes de los propulsores, esfuerzos mecánicos y ya en su órbita final impactos esporádicos de meteoritos, fuerzas de atracción del sol, la luna y la tierra. En consecuencia, el diseñador debe contar con una diversidad de materiales para fabricar la estructura, así como hacer uso de muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica a través de los años. Los materiales más comunes para este fin son aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero y varios plásticos reforzados con fibra de carbón.

### **1.8.7 Subsistema de comunicaciones**

La función de un satélite de comunicaciones es recibir señales RF desde tierra, amplificarlas, convertirlas en frecuencia y retransmitirlas. La señal es recibida por la antena, la cual consiste de un reflector y un alimentador. La señal recibida es de alrededor  $10^{-10}$  W. Incluye también un convertidor de bajada, que cambia la frecuencia de 6 GHz a 4 GHz. En varios satélites la señal pasa a través de filtros, conmutadores, atenuadores variables y multiplexores. Luego los amplificadores de potencia incrementan la potencia de la señal sustancialmente (por ejemplo a 10 W). Finalmente la señal se dirige hacia la antena transmisora y es radiada hacia la tierra.

En la figura 9, se muestra un diagrama de bloques simplificado, a cada trayectoria completa, que comprende todos los equipos desde la salida de la antena receptora, hasta la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor, de modo que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores y su número depende del diseño del satélite y muchos equipos se instalan repetidos, o sea redundantes, para que en el caso de que uno de ellos se averíe, exista la posibilidad de tener una trayectoria viable; para efectuar el cambio se cuenta con conmutadores que hacen la conexión de un elemento a otro.

**Figura 9. Subsistema de Comunicaciones**



**Fuente: Neri Vela. Satélites de comunicaciones. Pág. 40**

El primer elemento después de la antena es el amplificador de bajo ruido, ésta primera etapa es muy importante porque cualquier señal recibida por la antena es muy débil después de haber recorrido 36,000 Km desde la tierra. Luego las señales pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia que no es más que un oscilador local que desplaza las señales a una banda de frecuencias más bajas.

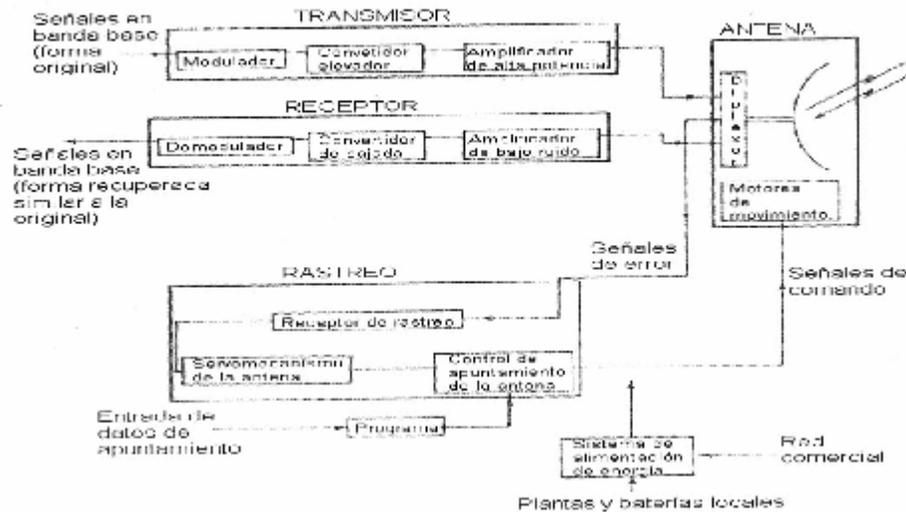
El siguiente paso consiste en separarlas en grupos por medio de un demultiplexor, luego cada grupo pasa por un amplificador de potencia de alta ganancia, luego todos los bloques o transpondedores son reunidos nuevamente en una sola señal de 500 MHz por medio de un multiplexor, el cual se conecta a la antena transmisora para su retransmisión hacia la tierra.

La señal proveniente de la tierra que entra por la antena receptora puede contener muchos canales de televisión, o miles de canales telefónicos o de datos, todos ellos enviados en frecuencias diferentes, el rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la más alta, se llama ancho de banda. El ancho de banda de un satélite se divide en 12 ranuras o espacios iguales de 36 MHz de ancho de banda cada uno, cada ranura corresponde a las frecuencias de trabajo de un transpondedor y las frecuencias centrales se utilizan para transmitir la señal a tierra. También pueden utilizarse transpondedores de 72 MHz o de otro valor de acuerdo al diseño del satélite. Los espacios libres entre ranuras adyacentes se dejan para disminuir la posibilidad de interferencia entre las señales que cada una contiene y se llaman bandas de guarda.

## **1.9 Estaciones terrenas**

En un sistema de comunicaciones vía satélite, el satélite solo es un punto intermedio en la red de la que forma parte, se complementa con las estaciones terrenas que se comunican por medio del él. La estación terrena consta de varios equipos interconectados entre sí y el más representativo es su antena. Cuando hablamos de estación terrena, nos referimos a todo equipo terminal que se comunica con el satélite desde tierra, indistintamente si se encuentra fijo en algún lugar de la tierra, o móvil, si se encuentra en un barco o en un avión o es portátil. Las técnicas empleadas para procesar las señales en una estación terrena son conversión analógica-digital, modulación y demodulación, codificación de canal, multiplexaje y demultiplexaje, acceso múltiple y compresión digital.

**Figura 10. Diagrama de bloques generalizado de una estación terrena**



**Fuente. Neri Vela. Satélites de Comunicaciones. Pág. 86**

En la figura 10 se muestra el diagrama de bloques generalizado de una estación terrena. La antena consta de reflector, alimentador primario, diplexor para la conexión de transmisores y receptores en la misma antena y un sistema de seguimiento. Los transmisores y receptores contienen los amplificadores de potencia, convertidores de subida y combinadores en la transmisión y en la recepción el amplificador de bajo ruido, convertidores de bajada y divisores. Además una estación terrena con fines comerciales, debe contar con un sistema ininterrumpido de energía eléctrica y un sistema de respaldo de baterías para que no se suspenda la energía eléctrica y se mantenga dentro de límites normativos estrechos de tensión, frecuencia y perturbaciones transitorias. Los módems (modulador y demodulador) convierten banda base a frecuencia intermedia y viceversa mediante un proceso de modulación y demodulación. La estación terrena además debe comunicarse con los puntos de origen y destino de las señales por medio de interfaces con redes terrenales por medio de fibras ópticas, líneas físicas metálicas o radio enlaces.

## **2. SATÉLITES REGIONALES DE COMUNICACIONES**

### **2.1 Introducción**

Cuando se desea evaluar la posibilidad de establecer una red regional que utiliza un satélite como medio para las comunicaciones, es necesario identificar y analizar los principales factores técnicos, económicos y humanos que intervienen en la definición, dimensionamiento y evaluación del sistema.

Un sistema de comunicaciones por satélite regional provee telecomunicaciones internacionales a un grupo de países que se encuentran geográficamente próximos o constituyen una comunidad cultural o administrativa. Algunos ejemplos de sistemas de satélites regionales incluyen ARABSAT (Liga de los países árabes), EUTELSAT (Organización de telecomunicaciones por satélite europea), TELEX –X (Suecia, Noruega y Finlandia) y PALAPA (Asociación de las naciones del sudeste de Asia).

Un satélite nacional de telecomunicaciones provee comunicaciones únicamente dentro de un país.

### **2.2 Definición de un sistema de comunicaciones regional**

A continuación se reproduce la definición de sistema regional dada por el CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) y la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones):

“Red de satélite conforme a los acuerdos internacionales existentes, cuya capacidad del segmento espacial es utilizada por un grupo de Administraciones que pertenecen por lo general a una misma región de la UIT, para asegurar los servicios de telecomunicaciones, incluidos los servicios de radiodifusión de carácter nacional e

internacional. Hay que tener en cuenta que la red internacional está limitada al tráfico entre administraciones miembros de ese grupo regional.

El segmento espacial de este sistema puede pertenecer a:

- a) Una Administración miembro del grupo que elige el organismo de explotación.
- b) Varias administraciones miembros del grupo que eligen el organismo de explotación.
- c) Una organización internacional u otras organizaciones que explotan una o varias redes de satélites, como INTELSAT.

En el caso que se propone, la red regional podría estar constituida por los países centroamericanos.

Muchos países, entre ellos Guatemala, utilizan sistemas nacionales de telecomunicaciones por satélite arrendando una parte de la capacidad de satélites internacionales, como por ejemplo INTELSAT. Pero también hay países que utilizan satélites contruidos para tal efecto. Esto se debe a que en la actualidad se pueden utilizar satélites polivalentes (múltiples aplicaciones) que incorporan funciones de comunicaciones con otras, tales como radiodifusión directa de televisión y meteorología. Esto motiva a la construcción de satélites regionales, ya que pueden proveerse muchos servicios dentro de la región y así aumentar la demanda de tráfico. Además los satélites diseñados especialmente para una región, pueden utilizar antenas con diagramas de radiación muy ajustados a la cobertura geográfica exigida, lo cual permite alcanzar los mismos requisitos de calidad con estaciones terrenas menores y más económicas.

### **2.3 Ventajas y desventajas de los satélites de comunicaciones**

Las ventajas de un sistema de comunicaciones por satélite, son las siguientes:

- 1. Capacidad de radiodifusión.** Debido a la naturaleza de radiodifusión de los satélites, se facilitan las aplicaciones punto-multipunto. De la misma forma, el

satélite puede recibir señales desde varios puntos y retransmitirlos hacia una estación central.

- 2. Capacidad de banda ancha.** Se pueden proveer servicios de gran anchura de banda, tales como la transmisión de video, la cual está limitada a distancias cortas en los enlaces terrestres.
- 3. Comunicaciones de larga distancia económicas.** Los costos de transmisión son independientes de la distancia.
- 4. Amplia Cobertura.** Se puede cubrir el 42% de la superficie terrestre con un haz global de un satélite geostacionario. Aunque en la actualidad, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) con frecuencia restringe la cobertura a una región más pequeña, se pueden dar servicios a zonas de gran extensión rápidamente.
- 5. No hay fronteras, ni barreras naturales.** Se pueden salvar los obstáculos físicos del terreno, tales como montañas, océanos, desiertos, islas, etc.
- 6. Amplia gama de servicios.** Un satélite puede proveer el mismo tipo de servicios tanto en grandes ciudades como en áreas rurales. Se pueden proveer rutas de poco tráfico y servicios con gran anchura de banda.
- 7. Flexibilidad.** Esta es una de las características destacadas de los satélites, ya que pueden usarse para una amplia diversidad de servicios y tienen capacidad para enfrentarse a las variaciones de tráfico y de red.

Las desventajas de un sistema de comunicaciones vía satélite son:

- 1. Retardos de propagación largos.** Alrededor de un cuarto de segundo para un solo salto.
- 2. Es complejo, de inversión elevada y técnicamente exigente.**

El sistema de satélites requiere de una fuerte inversión económica y de personal calificado para su mantenimiento y explotación. Además los satélites deben interconectarse con la red existente y realizar un examen cuidadoso y detallado de

los problemas en la recepción y distribución del tráfico para las estaciones terrenas.

## **2.4 Consideraciones acerca de sistemas regionales de comunicaciones**

Cuando un país piensa en adquirir un satélite propio para sus comunicaciones nacionales, puede enfrentar la dificultad de no poder generar el tráfico necesario para utilizar eficazmente la gran capacidad del satélite; a esto debe agregarse la carga administrativa que conlleva el planificar, poner en servicio, explotar y dar mantenimiento al sistema.

En un sistema regional, el tráfico total es mayor debido a las demandas adicionales de los otros países participantes en el proyecto para su tráfico nacional. En el aspecto financiero, también es posible compartir y aliviar la carga en lo relativo a la obtención del capital necesario y la asignación de los riesgos.

Entre las consideraciones técnicas relacionadas con el sistema regional de satélites pueden variar dependiendo de si el segmento espacial se deriva de un satélite nacional o internacional existente o si se utiliza un satélite construido para tal efecto. La ventaja de los satélites regionales construidos especialmente para cubrir una región, es que sus antenas pueden ser diseñadas con diagramas de radiación muy ajustados a la cobertura geográfica exigida y utilizando satélites de mayor potencia, se puede alcanzar con estaciones terrenas más económicas mayor calidad y capacidad. Se debe resaltar la importancia de dicho diseño cuando se trata de poner en servicio estaciones terrenas para aplicaciones rurales y estaciones terrenas transportables para situaciones de emergencia.

### **2.4.1 Servicios que presta un satélite de comunicaciones regional**

Un sistema de satélites regional para las comunicaciones, puede ayudar mucho a establecer vínculos políticos, culturales, económicos y sociales entre los países de la región al ponerse en contacto, trabajar y cooperar en un proyecto común.

Entre los servicios que se pueden proveer por medio de dicho sistema tenemos:

- o **Servicios Clásicos.** Los servicios convencionales de telecomunicaciones como telefonía, télex, telegrafía y transmisión de datos a baja velocidad en un sistema regional de satélites pueden reducir sus costos de operación y encontrar una aplicación más barata dentro de la red nacional y la interconexión de los sistemas nacionales de los países miembros.
  
- o **Provisión de una red de comunicaciones en zonas rurales.** Aún cuando la carga de tráfico y los factores económicos no justifiquen la interconexión terrenal de comunidades rurales durante muchos años todavía, los efectos sociales que conlleva satisfacer las necesidades como la integración del país, la difusión de programas educativos (educación general, salud, conocimientos médicos y de agricultura, etc.) y el entretenimiento ejerce presión para conectar inmediatamente a estas comunidades. Gracias a la flexibilidad de los sistemas satelitales se pueden establecer rutas cuyo tráfico sea bajo, medio o variable, aplicando técnicas de asignación de circuitos en función de la demanda. Tal es el caso de la telefonía rural que provee Guatemala en la actualidad, arrendando circuitos de satélites de INTELSAT. Este es un servicio telefónico con un único canal desde la estación situada en tierra que funciona como oficina pública de telecomunicaciones. También puede proveerse una red compleja de distribución con varios sistemas y estructuras. Además del servicio de télex conectado al servicio telefónico y comunicaciones de datos según el nivel de actividad económica de la zona en cuestión, puede proporcionarse facilidades especiales para el control de tráfico aéreo en puntos de aviación aislados y para centros meteorológicos.
  
- o **Diversificación del riesgo de perder capacidad de tráfico.** En las redes en que se dispone de una ruta de ambas opciones de transmisión por satélite y terrenal, las consideraciones de diversidad exigen compartir el tráfico entre los medios de

transmisión, con el objetivo de minimizar el riesgo de perder capacidad de tráfico. En la región de los países centroamericanos, las telecomunicaciones internacionales terrestres se realizan a través de la Red Regional Centroamericana de microondas (RRCA), la cual permite la conexión directa hacia todos los países centroamericanos, así también como a México, Estados Unidos y Panamá. Esta red se puede transmitir información con modulación digital a una velocidad de 140 Mbit/s (1920). En la figura 11 se muestra la trayectoria de dicha red.

**Figura 11. Trayectoria de la red regional centroamericana de microondas**



**Fuente: Informe de COMTELCA, Julio, 1991**

Cada país centroamericano posee estaciones terrenas para sus comunicaciones internacionales vía satélite a través del arriendo de circuitos de satélites de INTELSAT, del cual es un signatario de esta organización para los cinco países unidos. Las estaciones terrenas en Guatemala son Jezriél, Quetzal y Telepuerto Santa Clara, en El Salvador es Izalco, en Honduras es Lempira, en Nicaragua es Managua y en Costa Rica es Tarbaca.

Al establecerse un sistema regional de satélites, puede darse la diversificación del riesgo al compartir el tráfico entre ambos medios: el terrenal y el satelital. Dado que la carga de circuitos a través de la RRCA es muy fuerte y una interrupción de la RRCA, sobre todo en el lado de Guatemala y El Salvador tendría consecuencias muy serias para las administraciones centroamericanas, por ello es recomendable contar con una ruta alterna que permita la restauración de la RRCA en caso de fallo o destrucción. La ruta satelital por medio de sistema regional estaría libre de atentados terroristas y sus características de independencia de la distancia y de flexibilidad de capacidad de tráfico lo convierten en una opción adecuada.

- o **Servicios de video.** Es una de las aplicaciones de los satélites que han tenido mayor crecimiento en los últimos años, abarcando varias actividades como negocios, entretenimiento, información, educación capacitación y otras áreas. Aunque inicialmente solo se transmitían señales de televisión por el sistema INTELSAT para eventos de interés nacional, en la actualidad la mayoría de las señales de televisión se transmiten por sistemas regionales y nacionales para cobertura nacional a tiempo completo y en los últimos años ha evolucionado una tendencia de desarrollo masivo hacia los servicios de televisión directa a los hogares de cobertura nacional y regional. Además, gracias a la importante reducción de la capacidad requerida para transmitir señales de televisión que se logra actualmente con la compresión digital, se impulsarán los servicios adicionales que pueden prestarse por medio de este tipo de tecnología digital.

- o **Radiodifusión.** Las empresas comerciales de televisión que producen programas para su difusión a través de estaciones conectadas en cadena han adoptado en forma general su distribución desde sitio de origen de los programas por medio de sistemas de satélites. Las estaciones operan bajo esta modalidad por medio de redes de punto a multipunto a través de los cuales reciben los programas y los retransmiten por medio de repetidores que operan en las frecuencias de radiodifusión terrenal para televisión que cada estación tiene asignada, a fin de hacer llegar las señales a los receptores de televisión dentro de su zona de servicio. Estas transmisiones pueden ser acontecimientos especiales, o transferencia de programas de televisión de país a país. Cuando hay un evento que se realiza en una ciudad donde esto no es frecuente, la solución consiste en llevar al punto de origen del evento un vehículo especial que tenga instalada una estación terrena transportable, la cual utiliza un enlace de servicio ocasional arrendado, para transmitirlo por satélite al centro de programación. Esta aplicación mediante uso ocasional de la capacidad del satélite ha adquirido mucho auge en los últimos años, extendiéndose a los servicios de noticias.
  
- o **Televisión por cable.** Los sistemas de televisión por cable abrazaron sin vacilación el uso de los sistemas de satélites para recibir parte o la totalidad de los programas que distribuyen a sus suscriptores. El aumento progresivo de la potencia en los transpondedores de satélites de cobertura nacional hizo posible la reducción del tamaño de las antenas receptoras y junto con otros desarrollos tecnológicos permitió la reducción del costo de las estaciones para este tipo de servicios al grado de hacerlas accesibles a usuarios potenciales en lugares donde no llegaban los sistemas de cable, o que podían tener con ellas un mayor número de opciones de programación sin el pago de una cuota. Como la recepción directa por parte de usuarios no autorizados de las señales transmitidas por satélite y destinadas a los sistemas de cable, es contraria a los intereses de las empresas dedicadas a esta actividad, desde hace más de una década es usual que en ellos las señales se cifren,

empleando métodos y dispositivos específicos que existen en el mercado y que deben perfeccionarse periódicamente.

- o **Televisión directa.** La penetración de los servicios de televisión directa a los hogares (se conocen por las siglas en inglés *DBS* de radiodifusión directa por satélite o *DTH*). Surgió cuando ocurrieron las condiciones técnicas y económicas para que un sector de la población pudiera adquirir y usar equipos construidos para lograrla, teniendo acceso a un mayor número de canales, aunque dichas señales no estuvieran destinadas al público en general. Esto es posible dentro de un mismo país a través de sistemas satelitales nacionales (y con degradación en los países vecinos más cercanos), porque la limitada cobertura permitía mayor densidad de potencia de las señales, que además no estaban protegidas para impedir su uso no autorizado. Luego se introdujeron los métodos de cifrado o encriptación aplicados a estas señales a mediados de los años 80, aunque esto a la larga eleva los costos de servicios a los suscriptores que los sostienen. La evolución de las tecnologías ha permitido que sea posible intercalar simultáneamente señales de programas de amplia demanda y programas especiales que solo pueden ser recibidos por un grupo particular de usuarios. También ha favorecido el empleo de señales digitales comprimidas de preferencia con la norma MPEG que permiten transmitir simultáneamente a través de un transpondedor un número de programas de 6 a 10 veces mayor, que empleando señales analógicas y convertir fácilmente de un formato de señales de televisión a otro. La norma MPEG implica también que un mismo programa puede ser visto y oído por personas que hablen distintos idiomas, ya que puede contar con varios canales de audio por canal de video. Las redes para servicios de televisión directa utilizan la misma conectividad punto a multipunto y configuración estrella que las de las cadenas de televisión y televisión por cable, y como en éstas, puede haber más de un punto de origen de las señales.

- o **Educación a distancia.** El objetivo principal de la educación a distancia es proporcionar conocimientos a grandes grupos de personas geográficamente dispersas conforme a programas específicos de enseñanza. Sus recursos y técnicas pueden servir también en forma complementaria a otros propósitos como mejorar la educación tradicional y acelerar programas nuevos al reducir el tiempo de preparación del personal académico. La educación a distancia por medio de señales de televisión se deriva de otros medios de educación a distancia de larga existencia. La ventaja del uso de satélites reside en su cobertura ilimitada. Actualmente algunos de los programas de televisión de mayor éxito y continuidad se encuentran en Canadá, EUA, Japón, India, México, el Reino Unido y Tailandia. Para enseñanza masiva, se dispone de la conferencia virtual, en aulas especiales y sin elementos suficientes para comunicación en los dos sentidos se requiere de profesores asistentes en cada una, los cuales, están disponibles para responder preguntas y comentarios, y son responsables de las estaciones receptoras, combinando la educación tradicional con la educación a distancia. Para grupos de destinatarios menos numerosos y para personas individuales las preguntas pueden atenderse desde el punto de origen de las señales con apoyo en medios de comunicación como el teléfono, el fax y la red Internet ya sea en forma inmediata o diferida.
  
- o **Televisión para negocios.** Esta se inició con las redes para videoconferencia que enlazan la oficina matriz de una empresa con oficinas distantes. En esta aplicación se utilizan también señales comprimidas que ocupan una anchura de banda menor que la empleada en radiodifusión, a fin de reducir los costos de a la capacidad satelital utilizada, con poco sacrificio de la calidad de las imágenes, ya que estas no tienen mucho movimiento en este tipo de servicio (la anchura de banda para las señales comprimidas aumenta con el movimiento de las imágenes). La velocidad de la información requerida para dicho servicio generalmente es desde 384 Kbps hasta 1.5 Mbps. En las redes de videoconferencias para negocios, se requiere que todos los sitios participantes tengan capacidad para recibir y transmitir. La videoconferencia

ayuda a disminuir los viajes por negocios y es muy apropiado para largas distancias. Por medio del servicio de facsímil se puede transmitir impresos, manuscritos, fotografías y otros materiales parecidos. En los Estados Unidos y en Europa se ha utilizado el facsímil por satélite para la impresión de periódicos a distancia.

- o **Aplicaciones para la medicina.** También es posible establecer redes para la actualización médica. La diferencia en este caso no está en los equipos utilizados, sino en que su uso no está destinado a la universidad o una empresa, sino a la comunidad médica en general o a grupos participantes de instituciones de medicina. Un ejemplo, es la transmisión de operaciones quirúrgicas a lugares en que pueden ser observadas con gran detalle por grupos de médicos inscritos en un programa para ese fin. También existe una aplicación más compleja que consiste en una red diseñada para que instalaciones médicas aisladas consulten a especialistas de centros médicos en comunicación por voz, transmitiéndoles también en caso de ser necesario radiografías o imágenes en vivo. En este tipo de red punto a punto es indispensable que en cada uno de los lugares remotos se cuente con una estación terminal que cuente con capacidad de recepción y además de transmisión y que sea compatible con los equipos que generan las imágenes que se requiera transmitir.
  
- o **Servicios a frecuencias audibles.** La transmisión de señales de voz vía satélite fue la primera aplicación importante de la comunicación por satélite al establecerse la red mundial de INTELSAT, cuyo tráfico inicial estaba destinado casi exclusivamente a la telefonía pública internacional. Aunque esta aplicación ha crecido a través de los años, se han introducido otros servicios. También debido al gran desarrollo de los cables submarinos de fibras ópticas, que para la telefonía troncal se prefieren en muchos casos sobre la comunicación por satélite, es que se han promovido estos nuevos servicios y es muy probable que continúe esta tendencia. Los servicios de voz y en general dentro de la gama más amplia de las frecuencias audibles, se han diversificado y se utilizan en casi todos los sistemas de

satélites. Actualmente existe la tendencia a transmitir con tecnología digital señales de voz a estas frecuencias.

- o **Telefonía pública internacional.** El tráfico telefónico internacional de larga distancia es manejado en cada país por entidades del gobierno o por empresas privadas, según su reglamentación y políticas internas. Las comunicaciones telefónicas internacionales, pueden originarse desde una red fija pública, o desde una red de telefonía móvil. En ambos casos la señal de voz de la comunicación llega finalmente a un nodo de servicio internacional para ser encaminada por un enlace internacional terrenal o por satélite. Cuando el enlace internacional se realiza por satélite, la estación terrena en cada extremo es propiedad de un operador autorizado del sistema de cobertura global INTELSAT, de un sistema regional cooperativo como Arabsat o Eutelsat, sea o no signatario de ellos de un usuario de un sistema internacional privado como Panamsat y otros. En cada extremo, la organización operadora por satélite correspondiente es responsable de la conexión de la estación terrena con la red terrenal y del medio circuito entre la estación del SFS y el satélite, constituido por el enlace ascendente del tráfico de salida y el enlace descendente del tráfico de entrada. Desde cada país, la misma estación terrena puede servir para establecer enlaces troncales punto a punto con diversos países a través del mismo satélite.
  
- o **Telefonía nacional.** Cuando se utilizan los sistemas de satélites para los servicios públicos de telefonía nacional, incluyen enlaces troncales de red pública conmutada, telefonía para rutas de bajo tráfico en sitios aislados o de muy baja densidad de población y para telefonía móvil. Los enlaces troncales de telefonía pública por satélite dentro de un territorio nacional se establecen para la comunicación con zonas a las que es difícil alcanzar por medios terrenales, como el caso de ciudades en islas o separadas por desiertos y otros obstáculos naturales que hacen difícil, muy costoso o vulnerable el establecimiento de otro tipo de enlaces. En el caso de la telefonía

rural pueden realizarse dos modalidades: en granjas aisladas en que la terminal se emplea como teléfono privado si las condiciones económicas del usuario lo permiten, y en pequeñas poblaciones en que se emplea como teléfono comunitario accesible a todo el público. En dichas redes suele operarse en la modalidad conocida como acceso por demanda que permite que si en el grupo de circuitos destinado a la red existe cuando menos un circuito libre, un centro de control de tráfico lo asigna automáticamente a una estación que también automáticamente manifieste la necesidad de comunicación, si la estación terrena de destino se encuentra libre. Al concluir la comunicación, el centro de control incorpora la identificación del circuito nuevamente a la lista de los que se encuentran disponibles para todas las terminales. Aunque el centro de control realiza otras acciones además de activar en las terminales solicitantes los circuitos por satélite que pueden emplearse en un breve lapso para iniciar nuevas comunicaciones, no participa en su transmisión y recepción, ya que transmite y recibe señales solo para su función específica antes y después de cada una de ellas. Por supuesto, se puede aprovechar la estación terrena del centro de control en forma compartida para establecer una estación de enlace a las redes públicas que tengan capacidad de manejar tráfico. Los servicios de telefonía móvil por satélite dentro de un territorio nacional se pueden utilizar para aplicaciones tales como complementar las redes de telefonía celular, establecer redes cerradas para flotillas de transportes terrestres que formen redes cerradas de voz que solo permitan la comunicación entre terminales de una misma empresa si así se desea, para comunicación marítima doméstica y servicios de emergencia. En la aplicación para las flotillas de transporte, puede incluirse la posibilidad de enviar también datos y / o facsímil y un complemento muy útil para este servicio es la opción de transmitir automáticamente la posición geográfica de cada una de las unidades de transporte en ruta.

- o **Redes de voz privadas.** Estas se utilizan para comunicar las oficinas de una empresa en una ciudad con una o más plantas de extracción, procesamiento o

manufactura ubicadas en zonas relativamente aisladas de los servicios básicos de telefonía pública fija o móvil. También es factible cuando los países involucrados se encuentran bajo la misma cobertura del haz de un satélite y pueden establecerse enlaces de voz punto a punto, por ejemplo entre la matriz de una empresa en un país y sus sucursales en otros.

- o **Radiodifusión sonora.** La transmisión de señales de voz y de música por satélite tanto destinadas al público en general sin pago de cuotas por el usuario como a usuarios que pagan una cuota por el servicio tienen una amplia demanda en los sistemas de satélites de cobertura nacional y regional. Esta aplicación de punto a multipunto es preferida sobre el uso de redes terrenales por su calidad, cobertura y costo.
- o **Servicios de datos.** Las primeras aplicaciones de los servicios de datos estaban orientadas a los servicios públicos de muy baja velocidad de transmisión y posteriormente a las redes privadas, para enlazar un equipo central de cómputo en la oficina matriz de una empresa con terminales en sus sucursales, las cuales tenían necesidades de transmisión de datos que fueron creciendo progresivamente. Las características de una red para la transmisión de datos dependen de diversos factores tales como la configuración requerida, la velocidad de transmisión, el tráfico tanto individual como conjunto y el número de estaciones terminales previsto.
- o **Redes privadas de datos.** Para establecer redes privadas independientes se pueden emplear satélites nacionales, de cobertura regional o de cobertura global. La configuración estrella es la más común en las redes privadas de datos para comunicación punto a punto en la cual la estación terrena maestra está conectada a un ordenador o computador central. Para una red de pocas estaciones la solución más conveniente puede consistir en enlaces punto a punto desde cada estación remota la estación maestra y en la estación maestra puede instalarse la oficina del

usuario, no requiriéndose de enlaces terrenales adicionales o conexión a otras redes. Para una red de gran número de estaciones remotas deben emplearse tecnologías de acceso múltiple que permitan una mayor eficiencia en el uso de capacidad satelital, correspondientes a tecnologías específicas adecuadas a la transmisión de datos.

- o **Redes públicas de datos.** Las redes públicas para transmisión de datos por satélite ofrecen diversas alternativas para satisfacer las necesidades de los usuarios, tanto de alcance internacional como nacional operando en red cerrada o en conexión con las redes terrenales. Estas redes cuentan con una o más estaciones de control de acceso y/ o enrutamiento de tráfico bajo la responsabilidad del proveedor del servicio como elemento básico del servicio a los usuarios. INTELSAT cuenta con los servicios *IBS* (servicio internacional de negocios) con una gama amplia de aplicaciones en velocidades de 64 Kb/seg a 8.448 Mb/seg e Intelnet para la difusión y colección de datos de baja velocidad.
  
- o **Distribución de datos.** La distribución (difusión) de datos es un área de aplicaciones de señales en redes con conectividad de punto a multipunto ideal para los sistemas de satélites, especialmente para los geoestacionarios de cobertura nacional. Debido a que normalmente se utiliza una sola estación transmisora y puede haber un gran número de estaciones receptoras, para estas aplicaciones se requieren satélites que radien mayor potencia a fin de emplear en las estaciones receptoras reflectores de menor tamaño. Entre sus aplicaciones se incluyen transmisión de noticias de agencias de prensa a sus oficinas foráneas o a empresas afiliadas, de información financiera actualizada al momento, de información de promoción en grandes cadenas comerciales, de información de vigencia y disponibilidad de crédito de las personas y del contenido de los diarios para su reproducción por impresión simultánea.

- o **Estudios de cobertura de bosques y tasas de cambios de bosques.** En la actualidad se están desarrollando investigaciones en colaboración de la NASA y los países de América Central para supervisar la condición de los bosques y modificaciones ambientales por toda la región. Es un proyecto que se está realizando con base en satélites regionales que poseen radar combinado y obtención de datos ópticos. Se tiene particular interés en estas áreas de conservación para proteger los medios naturales desde el Sur de México, hasta las fronteras del norte de Colombia, al que se le ha llamado el Corredor Biológico Mesoamericano. Este estudio de particular interés para el departamento de Petén en Guatemala, el cual es la región que posee mayores sitios arqueológicos no descubiertos. Por medio de estos satélites regionales es posible localizar estos lugares y poder supervisar el estado de deforestación de esta zona.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>El manuscrito completo sobre este tema en inglés está disponible en la página web: [www.ghcc.mscf.nasa.gov/corredor/corredor.html](http://www.ghcc.mscf.nasa.gov/corredor/corredor.html)

### **3. CASOS PRÁCTICOS: HISTORIA, APLICACIONES Y BENEFICIOS DE ALGUNOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE DE PAÍSES QUE HAN ADQUIRIDO SATÉLITES PROPIOS**

En el presente capítulo se presentan las aplicaciones y beneficios que han obtenido algunos países que han tomado las decisiones oportunas de adquirir uno o más satélites de comunicaciones propios, regionales e internacionales, con la finalidad de analizar estos ejemplos y observar el crecimiento de los servicios de comunicaciones que con un sistema de satélites se puede implementar. Con la experiencia adquirida por dichos países se tendrá una base que permita obtener algunas consideraciones para concluir si es conveniente o no para Guatemala adquirir y emplazar un satélite de comunicaciones regionales propio.

#### **3.1 Sistema Palapa de Indonesia**

El sistema Palapa fue planeado inicialmente para el servicio doméstico de Indonesia, posteriormente se convirtió en un sistema internacional compartido mediante el alquiler de transpondedores por la asociación nacional de naciones asiáticas del sudeste (ASEAN): Indonesia, Malasia, Filipinas, Singapur y Tailandia. Este sistema entró en operación en 1976 con el satélite Palapa-A, haciendo de Indonesia el primer país en desarrollo que contó con sus propios satélites para uso doméstico. La opción de esta tecnología fue adoptada por el gobierno de Indonesia al considerar que era la forma más rápida y económica de comunicar a sus habitantes, dispersos en un conjunto de 13,677 islas de las que 6044 están habitadas por 150 millones de personas. El país abarca las latitudes de 6° N a 11° S, y las longitudes 95° E a 141° E.

PALAPA, significa “fruto del trabajo”.<sup>2</sup> Actualmente el satélite Palapa-C es la tercera generación del sistema Palapa, pertenece y es operado por la compañía de telecomunicaciones de Indonesia llamada Satelindo, fundada en 1993. Además de proveer servicios de telecomunicaciones regional, provee servicios de telecomunicación celular, internacional y otros. Estos satélites fueron fabricados por la compañía Hughes Aircraft son de la serie HS 333D con 12 transpondedores cada uno y a diferencia de sus predecesores, el Palapa-A y el Palapa-B, tiene mayor cobertura en el Pacífico desde Irán, en Vladivostoc hasta Sydney en Nueva Zelanda, y mayor EIRP, de 39 dBW en la banda C y de 51 dBW la banda Ku, permitiendo un servicio más eficiente y económico en relación con el anterior para los usuarios que pueden utilizar antenas pequeñas de hasta 80 centímetros.

### 3.2 Sistema Telesat de Canadá

Canadá cuenta con su sistema nacional de comunicaciones vía satélite desde 1972, fecha en que la organización Telesat puso en servicio el primer satélite de la serie ANIK. Cuando el satélite Anik A fue lanzado, se convirtió en el primer satélite de comunicaciones doméstico de la órbita geoestacionaria operado por una compañía comercial. Anik, significa “pequeño hermano”<sup>2</sup> en dialecto inuita y simboliza la tarea que tiene Telesat de ayudar a los canadienses a comunicarse entre sí. Los inuitas son una tribu nativa, de las etnias indígenas provenientes de inmigraciones asiáticas a través del estrecho de Bering.<sup>3</sup>

En 1978 se lanzó el Anik B que puede operar en banda C y banda K<sub>u</sub>. A finales de 1989 se lanzó el satélite Anik C que funciona en la banda K<sub>u</sub> y luego se lanzaron dos de

---

<sup>2</sup>The satellite telecommunications consulting company. [www.audens.com/links.htm](http://www.audens.com/links.htm)

<sup>3</sup>Atlas geográfico universal y de Guatemala. Océano. España: 1996. Pág. 50

la serie Anik D. En 2003, el tráfico que Telesat cursaba por medio del alquiler de transpondedores de la corporación Panamsat, se transfirió al satélite Anik E2.

El 16 de julio de 2004, fue lanzado el satélite Anik F2, a bordo de un cohete Ariane 5 desde el puerto espacial europeo, situado en Korou, Guyana Francesa. Con un peso de 5,950 Kg y un panel solar de 48 metros, Anik F2 es el satélite comercial más largo del mundo, además de que es el primer satélite que comercializa la banda de frecuencias Ka.

El Anik F1R está programado para ser lanzado en el 2005, este proveerá capacidad adicional en la banda C y en la banda Ku, sobre Norte América y llevará carga útil de navegación GPS para propósitos civiles de aviación. Telesat ya adjudicó la construcción de su 17avo satélite Anik F3 y los servicios de lanzamiento para el 2006. Este satélite proveerá un amplio rango de telecomunicaciones, radiodifusión, comunicaciones empresariales y servicios basados en Internet para usuarios en Norte América.

Telesat posee y explota unas 125 estaciones terrenas cuyos diámetros de antenas van desde 1.2 hasta 30 metros y ofrecen servicios de radio, televisión, datos, mensajes y registros para sus clientes. Las estaciones terrenas de Telesat están protegidas ante fallas del sistema con redundancia de sistemas, incluidas las baterías y los generadores diesel.

Los servicios de telefonía interurbana se proveen por medio de las estaciones terrenas situadas en *Allan Park* al noroeste de Toronto, Ontario y en *Lake Cowichan* en la isla de Vancouver, Columbia Británica. Estas estaciones terrenas tienen antenas de 30 metros de diámetro, las mayores del sistema y proveen servicio a las regiones central y oriental de Canadá. El segundo servicio de telefonía interurbana es el que existe entre *Allan Park* y *Harriestfield* en el Canadá oriental en el cual se utiliza TDMA a 60 Mb/s, que constituyó la primera aplicación comercial en el mundo de TDMA por satélite.

Con este sistema satelital se da el servicio de telefonía de densidad media a tres comunidades importantes en la zona del Ártico del norte de Canadá. Las estaciones de estas comunidades utilizan antenas de 8 ó 10 metros de diámetro, así como un equipo radioeléctrico completamente duplicado que permite establecer unas comunicaciones

telefónicas fiables de densidad media (24 a 96 canales telefónicos) y prestar un conjunto de servicios de telecomunicación.

En comunidades más pequeñas, un sistema de estaciones terrenas de poco tráfico, con antenas de 4.5 a 8 metros de diámetro, proporciona entre 2 y 24 circuitos telefónicos de larga distancia, y además la mayor parte de ellas vienen equipadas para recibir los programas de las redes de radio y televisión.

Telesat tiene en servicio 27 antenas transportables de mensajes, que se pueden utilizar de inmediato para reestablecer el servicio telefónico terrenal en caso de avería, o para dar servicios a los equipos de exploración sísmológica y de recursos naturales o para ofrecer enlaces de comunicación vitales en casos de emergencia en puntos no atendidos.

El sistema de satélites Anik también provee una amplia variedad de servicios de televisión a los clientes de Telesat, y también transmite programas de radio en lengua nativa a las zonas remotas de Canadá. Las transmisiones se controlan manualmente o por computador desde centro de control situados en Montreal y Toronto.

### **3.3 Satélites Morelos, Solidaridad y Satmex de México**

El gobierno federal de México a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT provee los servicios de comunicaciones vía satélite. La SCT realizó en 1968, el primer enlace vía satélite para transmitir los Juegos Olímpicos, con la antena parabólica Tulancingo I. Posteriormente, mediante dicho enlace México pudo aliviar el congestionamiento en el tráfico de comunicación intercontinental vía cable submarino, a través de los Estados Unidos y así sustituir parcialmente los servicios de telecomunicaciones realizados mediante enlaces radioeléctricos en la frontera norte del país. Posteriormente inició la operación del servicio telefónico internacional por satélite a través del consorcio INTELSAT, del cual México es miembro y en 1981 se transmitió una señal de televisión en territorio nacional mediante el satélite INTELSAT IV. Finalmente, después de varios estudios con el objeto de encontrar medios idóneos para

conducir señales con mayor calidad y eficiencia, con cobertura nacional se decidió crear el sistema de satélites.

### 3.3.1 Sistema Nacional de Satélites Morelos

Los satélites Morelos forman parte de la primera generación de satélites mexicanos. En 1982 se convocó a concurso para seleccionar la empresa que se encargaría de fabricar dos satélites de comunicaciones, otorgándose el contrato a *Hughes Communications International Inc.* en noviembre del mismo año. Se inició la construcción de los satélites en 1983 al mismo tiempo que se construyó el Centro de Control de Satélites en Iztapalapa. El satélite Morelos I fue lanzado el 17 de junio de 1985 y el Morelos II el 26 de noviembre del mismo año. Sus posiciones orbitales fueron  $113.5^\circ$  oeste y  $116.5^\circ$  este respectivamente. Los dos satélites Morelos son de la serie HS-376 y son del tipo de estabilización por giro. La compañía *Hughes Communications Inc.* que también proveyó del equipo e instalación de una estación de rastreo, telemetría y comando, servicio de transferencia de órbita y entrenamiento del personal. Los satélites fueron lanzados y colocados en órbita por el sistema de transporte espacial de la NASA en Estados Unidos en el transbordador Atlantis (OV-104) y la empresa COMSAT supervisó y controló la calidad y operatividad de los equipos.

Ambos satélites están diseñados para transmitir en dos bandas de frecuencias, la C (6/4 GHz) y la  $K_u$  (14/12 GHz). Cada satélite consta de 22 transpondedores, 18 en la banda C (12 de 36 MHz y 6 de 72 MHz) y 4 de 108 MHz en la banda  $K_u$ . Los amplificadores de salida de los transpondedores utilizan tubos de onda progresiva TWT (*Traveling wave tube*) de 7 a 10.5 W en la banda C y de 19.4 W en la banda  $K_u$ , agregando la ganancia que produce la antena, la señal de transmisión tiene una potencia efectiva de 36 y 39 dBW en la banda C y de 44.3 dBW en la banda  $K_u$ .

El control operativo de los satélites se realiza desde la ciudad de México a través del Centro de control, telemetría, rastreo y comando ubicado en el conjunto de telecomunicaciones CONTEL.

En general, un transpondedor de 36 MHz de ancho de banda, tiene una capacidad promedio de 1,000 canales de telefonía o uno o dos canales de televisión, o datos a una velocidad de 60 millones de bits.

El segmento terrestre inició con 198 estaciones terrenas trabajando en la banda C, con diámetros desde 4.5 a 11 metros, la mayoría eran receptoras de televisión y 7 de transmisión. Se instalaron además 33 estaciones terrenas para operar en la banda K<sub>u</sub>, 28 para telefonía rural, televisión y transmisión de datos y cinco para apoyo a la aeronáutica. Los satélites Morelos tenían capacidad para transmitir 32 canales de televisión o su equivalente a 32,000 canales telefónicos. Su vida útil era de 9 años. Al inicio de su operación en 1985, se utilizó el 19% de su capacidad para transmitir señales de televisión, 15% para telefonía urbana y transmisión de datos y 0.5% para telefonía rural, invitando al país a mejorar la infraestructura de telecomunicaciones apoyándose en el sistema de satélites con el incremento de 500 estaciones terrenas que programaron incrementar para 1988. Aunque el satélite Morelos II tenía una vida útil de 9 años, gracias a las iniciativas y a la excelente operación de los ingenieros mexicanos, ya cumplió 15 años de operación y todavía continua prestando servicios de telecomunicaciones. Cuando se lanzó el satélite en 1985 fue puesto en órbita de almacenamiento y ahí permaneció hasta abril de 1989, fecha en que entró en operaciones.

Desde agosto de 1998, el Morelos II comenzó a operar en órbita inclinada a 120.5° oeste.

### **3.3.2 Sistema Nacional de Satélites Solidaridad**

Los satélites Solidaridad pertenecen a la segunda generación de satélites mexicanos y fueron fabricados por la compañía *Hughes Communications Inc.* y son

modelo HS-601. Son satélites de estabilización de cuerpo fijo de tres ejes. Sus posiciones orbitales son 109.2° oeste para el satélite Solidaridad I y 113.0 oeste para Solidaridad II. Fueron lanzados con un cohete ARIANE AR44LA desde KOUROU, Guyana Francesa, lugar que se encuentra a una latitud de 5.2°.

Los satélites Solidaridad operan en las bandas de frecuencia C, K<sub>u</sub> y L. Cuentan con 24 transpondedores, de los cuales 18 en la banda C, 8 transpondedores en la banda Ku y dos transpondedores en la banda L están destinados a servicios móviles en territorio nacional. La cobertura de los satélites Solidaridad en banda C, incluye México, el sur de Estados Unidos, el Caribe y Centro y Sudamérica. Por otro lado la cobertura de la banda Ku incluye México, la costa este de Estados Unidos y las ciudades de San Francisco y los Ángeles. El sistema de satélites mexicano apoya a la distribución de señales de radiodifusión, redes corporativas de datos y voz, redes troncales de telefonía pública y redes digitales, telefonía rural que atiende a más de 2,000 comunidades rurales y educación a distancia. En lo que se refiere a educación a distancia, México integró una red de transmisión y recepción de señales para televisión educativa por satélite denominada EDUSAT con cobertura nacional. Se ofrecen 6 canales de televisión por transpondedor por medio de técnicas de compresión digital. El sistema comprende 10,500 antenas, para transmitir programas de telesecundaria, bachillerato técnico y capacitación a cerca de medio millón de estudiantes de poblaciones pequeñas y dispersas, que de otra manera, difícilmente tendrían acceso a la educación media básica.

### **3.3.3 Satélites mexicanos Satmex**

Satmex es un proveedor para Latino América que opera los satélites mexicanos Solidaridad II, Satmex 5, Satmex 6 y Morelos II. Su flota de satélites ofrece cobertura regional y continental en las bandas C y Ku, desde Canadá hasta Argentina. El satélite Satmex 6 fue lanzado en el 2003. El satélite Satmex 5 se encuentra en la posición orbital 116.8 oeste y proporciona servicios de telecomunicaciones comerciales como

Internet, telefonía internacional, televisión analógica y digital, transmisión de datos y distribución de contenido de multimedia. Satmex 5 pertenece a la familia B-601HP de alta potencia y de estabilización triaxial. Opera en las bandas C y Ku, la alta potencia en ambas bandas lo hace ideal para aplicaciones con antenas pequeñas. La huella de la banda Ku está dedicada a Norteamérica.

El satélite Satmex 6 es un satélite modelo FS-1300X construido por *Space System/Loral*. Tiene un total de 60 transpondedores: 36 en la banda C para tres coberturas, Estados Unidos, Sudamérica y Continental; y 24 en la banda Ku con dos coberturas, Estados Unidos-México y Continental, con un haz de alta potencia sobre las principales ciudades de Sudamérica. Su posición orbital es 109.2° oeste.

Los servicios que brinda Satmex tenemos:

- Servicio de Internet.
- Aplicaciones de banda ancha. Mayor capacidad de banda ancha y potencia de satélite que permite implementar plataformas de telecomunicaciones capaces de transmitir grandes volúmenes de información hacia múltiples puntos dispersos geográficamente.
- Radiodifusión de televisión, radio y noticias. Satmex provee canales de teledifusión de señales simultáneas a través del continente americano para transmisiones en vivo, eventos especiales, deportes, noticias y entretenimiento. También provee el servicio de radiodifusión en las bandas C y Ku.
- Redes privadas VSAT. Por medio de la tecnología VSAT se alcanzan puntos geográficos distantes a un bajo costo por medio de una sencilla instalación.
- Telefonía rural. Esta es una solución ideal para las poblaciones rurales con escasas o pocas probabilidades de contar con otro tipo de infraestructura. A través de estos canales se ofrece la comunicación de telefonía local y de larga distancia nacional e internacional a través de estas estaciones terrenas, requiere de instalaciones muy sencillas y son accesibles desde cualquier parte del mundo.

## **4. SATÉLITE DE COMUNICACIONES REGIONAL PARA GUATEMALA**

### **4.1 Análisis de necesidades**

Guatemala se encuentra situada en el extremo noroccidental de Centro América, siendo por lo tanto la más septentrional de las repúblicas centroamericanas. Se trata por la extensión de su superficie de 108,889 Km<sup>2</sup> del tercer país de Centro América, después de Nicaragua y Honduras. Limita al Sur con el Océano Pacífico y El Salvador, al Norte y al Oeste con México, al Este con el Mar Caribe, Honduras y Belice. Sus coordenadas geográficas son 15.30° Norte y 90.15° Oeste. Su terreno es sobre todo montañoso en el centro y sur del país, ya que la cordillera de los Andes que atraviesa toda América, al entrar en Guatemala, se ramifica en dos sistemas montañosos distintos, el sistema de los Cuchumatanes y el sistema de la Sierra Madre. La mayor elevación del país es el volcán de Tajumulco a 4,211 metros, en el departamento de San Marcos. Al Norte del país se encuentra la meseta baja del Petén, que ocupa alrededor de una tercera parte del país; esta es una zona baja y selvática abundante en maderas preciosas, árboles productores de chicle y petróleo. La característica propia de los satélites de comunicaciones de salvar los obstáculos del terreno es favorable para Guatemala, ya que debido a su terreno montañoso y a su extrema diversidad geográfica existen muchas aldeas difíciles de acceder que podrían beneficiarse de servicios de telecomunicaciones rurales vía satélite.

Los desastres naturales más comunes en Guatemala, son los terremotos debido a que es zona volcánica y es susceptible de tormentas tropicales en la zona del Caribe. Guatemala es un país tropical, al que los vientos húmedos del Caribe y su orografía le otorgan características propias. El litoral atlántico es cálido y húmedo y presenta lluvias abundantes. En el Petén las lluvias son algo inferiores pero la temperatura sigue siendo cálida. En el interior del país el relieve montañoso propicia el descenso de las

temperaturas, que son frías a partir de los 3,000 metros de altura. La costa pacífica es menos húmeda que la atlántica.

La población de Guatemala estimada para Julio de 2004 fue de 14,280,596 habitantes y la tasa de crecimiento estimada es de 2.61%.<sup>4</sup> Los principales productos de exportación son el café, azúcar y banano. Guatemala, es un país con claro predominio de la economía de tipo agropecuario, el 22.5 % del PNB corresponde a la agricultura, el 15% a la industria y el 62.5% a servicios. La agricultura además de comprender casi la cuarta parte del PNB, comprende el 75 % de las exportaciones y el 50% de la fuerza laboral.

En lo que se refiere a las telecomunicaciones, el servicio básico telefónico es insuficiente para la demanda de nuestro país. En 1995 había una demanda insatisfecha de por lo menos 40,000 líneas telefónicas. En las áreas urbanas 7 de cada 100 guatemaltecos cuentan con teléfono, pero el promedio nacional de 1.6 teléfonos por cada cien habitantes es uno de los más bajos de América Latina y uno de los más bajos en todo el mundo. En el área rural la escasez telefónica es aún más crítica, el índice es de sólo 4 teléfonos por cada mil habitantes y aún así, más del 80% de las líneas nuevas se instalan en las áreas urbanas.<sup>5</sup>

En la tabla III se muestran datos estadísticos proporcionados por la Súper Intendencia de Telecomunicaciones SIT que dan a conocer la situación de las telecomunicaciones en Guatemala al 30 de junio de 2005, proporcionada por los operadores de red local del Registro de Telecomunicaciones. Se puede observar que del total de líneas fijas, el 70 % corresponde a la capital y el 30 % a todos los departamentos juntos, lo cual indica que se carece de la infraestructura necesaria en los departamentos. También puede notarse que el número de teléfonos móviles triplica el número de las líneas fijas y el número de teléfonos comunitarios es inferior a los 1,000.

---

<sup>4</sup> **Hechos y cifras de Guatemala.** [www.Inmochapin.com](http://www.Inmochapin.com)

<sup>5</sup> Grete Pasch. **Telecomunicaciones en Guatemala.** 1995.  
[www.gslis.utexas.edu/~gasch/pasc0595.html](http://www.gslis.utexas.edu/~gasch/pasc0595.html)

**Tabla III. Situación de las Telecomunicaciones en Guatemala al 30 de junio de 2005**

<b>Telefonía fija</b>	
Líneas fijas en la capital	843,861
Líneas fijas en los departamentos	<u>365,493</u>
<b>TOTAL DE LÍNEAS FIJAS</b>	1,209,354
<b>Telefonía móvil</b>	
Comcel	1,000,453
Sercom	1,667,973
TEM	291,036
Telefónica	<u>545,792</u>
<b>TOTAL DE TELÉFONOS MÓVILES</b>	3,505,254
<b>Teléfonos comunitarios</b>	
Redes fijasBNA	569
Ruralsat	36
Telgua	630
Telenorsa	<u>1,297</u>
Total de teléfonos de redes fijas comunitarios	2,532
<b>Redes móviles</b>	
Comcel	4,186
Telefónica	<u>3,088</u>
Total de teléfonos móviles comunitarios	7,274
<b>TOTAL DE TELÉFONOS COMUNITARIOS</b>	9,806
<b>Teléfonos públicos</b>	
Redes móviles	1,426
Redes fijas	
Teléfonos públicos de moneda	7,655
Teléfonos públicos de tarjeta o prepago	<u>30,126</u>
<b>TOTAL DE TELÉFONOS PÚBLICOS</b>	39,207

**Fuente:** Estadísticas de la Súper intendencia de telecomunicaciones. [www.sit.gob.gt](http://www.sit.gob.gt)

Guatemala aún no tiene conexiones directas por fibra óptica a otros países. Para comunicaciones al resto de Centroamérica, se utiliza el sistema regional de microondas administrado por COMTELCA. La salida al resto del mundo es vía satélite. Guatemala forma parte de Intelsat desde 1980. El porcentaje de participación más bajo permitido

para un miembro de Intelsat es de 0.05%, que es el que aportan los países centroamericanos juntos.

GUATEL inició en 1992 el servicio *IBS (International Business Services)* que consistía en el alquiler de un canal satelital de 64 Kb/s, de uso constante subdividido en un canal de datos (19.2 Kb/s) y 4 líneas telefónicas. El canal de 128 Kbps también estaba disponible. En el año de 1995 había 16 empresas suscritas al servicio IBS de GUATEL. GBM, por ejemplo, utilizaba su canal para acceder los servicios mundiales de soporte de IBM, pero estarían dispuestos a también ofrecer servicios de valor agregado y acceso a la red Internet a sus clientes. Sin embargo, por el momento la conexión es estrictamente de punto a punto, es decir, desde un punto en Guatemala, a otro que normalmente será en Estados Unidos, y para el uso exclusivo de la empresa contratante.

Un servicio muy apropiado para Guatemala es el de telefonía rural vía satélite que permitiría proveer de los servicios básicos de telecomunicaciones a una gran cantidad de aldeas donde no se cuenta con la infraestructura necesaria y las cuales son muy difíciles de comunicar y se podría agregar a estas áreas los servicios de televisión educativa para mejorar el nivel cultural y unificar la nación.

## **4.2 Nuevos servicios**

La previsión de la demanda para nuevos servicios es muy diferente de la demanda para telefonía. Sin la base de datos de fechas anteriores, las técnicas establecidas y la estimación intuitiva de personal experimentado, la cuantificación de la demanda para los nuevos servicios es muy difícil.

Cuando se ofrecen varios servicios nuevos a la vez, existe cierto grado de interacción entre las previsiones para cada servicio, ya que los usuarios pueden elegir satisfacer sus necesidades mediante uno u otro. Por lo tanto, la demanda estimada para un servicio debe tener en cuenta la existencia de los otros servicios. Entre estos nuevos servicios están los circuitos privados, los servicios con conmutación de circuitos y servicios de paquetes, etc.,

Debe tomarse en cuenta, que por una parte, los nuevos servicios pueden tener una importancia menor que las de radio, televisión y telefonía. En tal caso, puede ser satisfactorio calcular un porcentaje adecuado para agregarlo a las demandas estimadas de telefonía. Por otra parte, los nuevos servicios pueden ser el factor más importante de la justificación del proyecto, y se deben asignar muchos recursos para estimar la demanda con la mayor precisión posible. Un servicio nuevo con demanda actual para Guatemala es el de radiodifusión de televisión y radio.

En el año 2002 Radio Televisión Guatemala – Canal 3 celebró un contrato con Intelsat para la distribución de programas de televisión vía satélite utilizando el satélite de Intelsat en la posición orbital 304.5 °E. Este contrato comprende siete nuevos canales de televisión y diez nuevas emisoras de radio para sus estaciones afiliadas en Guatemala. Los canales de Guatemala que se sumaron a los nuevos canales del satélite de videos de América Latina son: Radio Televisión Guatemala, Telesiete, Teleonce y Trecevisión. Los comentarios del gerente técnico fueron: "Nunca habíamos usado satélites para la distribución de programas, pero hicimos el cambio porque nos permitía ampliar nuestra red y disminuir nuestros costos de infraestructura. El Intelsat 805 nos abre las puertas a destinos y zonas de cobertura conformadas que son esenciales para nuestras necesidades de distribución de televisión y radio."<sup>6</sup>

En cuanto a la transmisión de datos casi todas las organizaciones que utilizan sistemas de cómputo se beneficiarían del acceso remoto a sus datos computarizados. Tomemos por ejemplo, un banco, que necesita mantener comunicación constante entre la central y sus agencias en todo el país, para transmitir datos sobre transacciones y actualizar sus cuentas. Hay decenas de empresas agrícolas, exportadoras, y nuevas industrias operando en Chimaltenango, Petén, Izabal, Escuintla y Zacapa, que se han visto forzadas el uso de opciones como telefonía móvil celular y radio, que resultan más costosas y que por lo tanto, inciden negativamente en la competitividad del producto.

La gremial de exportadores de productos no tradicionales GEXPRONT

---

<sup>6</sup>Comunicado de prensa de Intelsat. 13 de septiembre de 2002. [www.intelsat.com](http://www.intelsat.com)

puntualiza: "la deficiente estructura de las telecomunicaciones ha incidido negativamente en la inversión privada". Este y otros estudios realizados en varios países han demostrado que la cantidad y calidad de las líneas telefónicas son factores importantes para descentralizar la producción, generar exportaciones, y atraer y retener la inversión extranjera. ¿Por qué? Sencillamente porque las comunicaciones amplían el acceso a clientes, proveedores, y otros productores, lo cual permite mejorar la eficiencia de la empresa, e internamente, las comunicaciones permiten coordinar la producción, aunar unidades geográficamente dispersas, y agilizar el movimiento de transporte y la distribución de productos. Además, un sistema flexible de telecomunicaciones es imprescindible para operar las nuevas industrias de la información, como la maquila de servicios computarizados. Obviamente, para ser competitiva, esta industria también requiere de un enlace vía telecomunicaciones que sea confiable y accesible. La tecnología VSAT puede ser una solución muy confiable para estas empresas y al tener un satélite con cobertura regional con alta potencia, los costos de las terminales se reducen.

### **4.3 Métodos de previsión de la demanda de comunicaciones**

Para evaluar las necesidades de telecomunicaciones de un país, debe considerarse que habrá varios medios de transmisión: satélites, cables coaxiales, microondas, etc. por lo que deberán analizarse primero las necesidades totales de la red y luego asignarlas a los diferentes medios de transmisión. Las consideraciones que deben hacerse son relativas a las previsiones de las demandas y asignaciones de tráfico. La previsión de la demanda para cualquier servicio de telecomunicaciones se basa en diversos supuestos sobre el futuro, reales e implícitos. Lo primero que debe cuestionarse al evaluar la demanda de tráfico, es ¿Qué tipo de tráfico? y ¿Qué volumen de tráfico de cada tipo?.

Puesto que el servicio telefónico es la principal fuente de ingresos de las telecomunicaciones, la mayoría de las previsiones se centran en este servicio. Sin

embargo son aplicables a otros servicios básicos de telecomunicaciones, con las convenientes modificaciones.

Un método común de establecer las previsiones consiste en extrapolar a partir de la experiencia. Dada una base de datos fiable, la primera etapa de la extrapolación consiste en el análisis de las tendencias en fechas anteriores, con un número de años atrás como mínimo igual al que se necesita para la predicción en el futuro. Luego las previsiones deben corregirse mediante una evaluación de los factores demográficos, económicos, políticos y tecnológicos que puedan modificar las demandas futuras de telecomunicaciones. Cuando no se dispone de datos de fechas anteriores, se deben adoptar los enfoques macroscópicos. Estos métodos relacionan la demanda de servicio telefónico con otras variables, tales como la actividad económica nacional, como por ejemplo la asombrosa correlación entre la densidad telefónica por cada cien habitantes y el producto nacional bruto PNB. En consecuencia suponiendo que se pueda predecir el desarrollo del PNB de la población, es posible hacer una evaluación razonable de la demanda telefónica en un país. Otro método consiste en relacionar la demanda en el país de que se trata con la experiencia en países más o menos comparables. La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, ha llevado a cabo investigaciones en muchos países sobre demanda de tráfico.<sup>7</sup>

Una parte considerable de la planificación de las telecomunicaciones debe hacerse con una anticipación de cinco a diez años. Se considerará como previsiones a largo plazo, las relativas a un periodo de cinco años o más.

La previsión es una parte indispensable de toda decisión. Para ser útil, la previsión debe formularse con un grado de precisión especificado y con respecto a un periodo determinado. La medida de la precisión depende del periodo comprendido. En general, las previsiones a corto plazo son más precisas que las formuladas a largo plazo.

---

<sup>7</sup> UIT **Métodos empleados para la previsión a largo plazo de la demanda interna de telecomunicaciones y de los recursos necesarios.** GAS 5 del CCITT. Ginebra: s.e., 1938. Pág.34

El objeto de las previsiones es proporcionar una base para la planificación, en cuyo marco se elaboran a su vez, los programas de ejecución. A continuación definimos los tres términos.

- o **Previsión.** La previsión es un pronóstico del futuro y es pasiva desde el punto de vista del que decide.
- o **Plan.** El plan es un proyecto de actuación futura. Puede contener una evaluación de distintas posibilidades de actuación y está centrado en actividades controlables.
- o **Programa.** Un programa es una descripción de medidas, a menudo derivadas de los planes ya adoptados.

A continuación se da una breve descripción de algunos de los métodos de previsión a largo plazo.

- o **Análisis de series cronológicas.** Se expone por orden cronológico un conjunto de observaciones de una variable. La previsión se efectúa proyectando la tendencia según un método apropiado.
- o **Curvas de crecimiento.** La evolución anterior se representa mediante una serie de curvas específicas y se elige la más apropiada. La previsión se efectúa por extrapolación.
- o **Modelos econométricos.** La evolución anterior se representa mediante una relación matemática entre la variable y los factores que se supone influyen en ella. Estos factores se determinan de una manera lógica y se analizan por métodos estadísticos.
- o **Comparaciones analíticas.** Se estudia la evolución de un producto análogo, o del mismo producto en un país o región diferente.
- o **Estudio de mercado.** El método entraña un estudio del mercado mediante una encuesta entre posibles usuarios.
- o **Métodos combinados.** Combinación de diferentes métodos, tales como el de estudios de mercados, proyección de curvas de crecimiento y modelos econométricos.

## **5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ARRENDAR CAPACIDAD DE LOS SATÉLITES**

Los servicios de comunicación por satélite son proporcionados por operadores internacionales a través de satélites con cobertura mundial o regional y por operadores nacionales a través de satélites con cobertura básica de un solo país. Generalmente el propietario de los satélites es quien los opera técnica y comercialmente, pero existen algunos satélites que son propiedad de una agencia gubernamental o de otro operador comercial, que ofrecen sus servicios al público arrendando capacidad satelital parcial o total ya sea a largo plazo o por un corto intervalo de transición. Actualmente se han establecido y operan numerosos sistemas de diferentes coberturas. Existen fundamentalmente dos tipos de organización de los operadores internacionales de sistemas de satélites: la de tipo corporativo establecida por un tratado entre gobiernos y la de empresa privada. La organización de tipo cooperativo consiste en que quienes aportan capital para establecer, desarrollar y operar el sistema son también usuarios del mismo, aunque no necesariamente los usuarios finales, ya que tienen la posibilidad de revender capacidad a otros. Los gobiernos de los países de sus miembros deben participar en algunas de las decisiones de la organización. En una empresa privada, ni los gobiernos ni los usuarios participan directamente en ninguna de las decisiones, lo que hace más sencillo y ágil su manejo. A continuación se presentan aspectos importantes de algunos de los operadores más representativos a nivel internacional.

### **5.1 INTELSAT**

Intelsat es la Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite, con sede en la ciudad de Washington, creada originalmente bajo los auspicios conjuntos de los gobiernos de varios países y abierta a la participación de la mayoría de los países del

mundo. En 1977 contaba con 136 miembros y operaba un sistema comercial de servicio fijo de cobertura global que incluía más de 20 satélites geoestacionarios y en órbita inclinada. La membresía ha crecido continuamente, además de prestar servicios a numerosos países que no son miembros. Ha sido posible que países con sistemas políticos y capacidad económica diferentes colaboren para lograr una eficiente organización comercial de servicios internacionales de telecomunicación que ha coadyuvado también al desarrollo de servicios nacionales en muchos de ellos.

Intelsat tiene la estructura financiera y de administración de una cooperativa en la que los llamados signatarios, que a la vez son los usuarios del sistema o proporcionan el servicio a usuarios dentro de su propio país, aportan participaciones de capital para desarrollo que en un principio deben ser proporcionales a la utilización que hagan del segmento espacial. Las participaciones de capital están sujetas a ajustes según las necesidades y las variaciones en la utilización de los servicios, salvo que por alguna circunstancia algunos signatarios no puedan aportarlas y se acojan a la disposición que establece su valor mínimo de 0.05% del total.

Actualmente Intelsat, debido a cambios importantes en la demanda de servicios prestados por satélite y a otras razones, está en un proceso de transformación profundo para separar los aspectos que interesan a los gobiernos miembros de los que pueden orientarse desde un punto de vista puramente comercial, formando dos distintas organizaciones operadoras de satélites. La nueva empresa derivada de la organización Intelsat, que inicialmente operará 6 satélites que fueron transferidos de ésta a fines de 1998, se denomina *New Skies Satellites, N.V.*

### **5.1.1 Los acuerdos de Intelsat**

Los dos acuerdos que rigen a INTELSAT son:

- o El acuerdo. Este debe ser aceptado por el gobierno de cualquier país que desee ser miembro de la organización convirtiéndose en una parte del acuerdo y que contiene

su alcance, sus principios financieros, su estructura orgánica y los derechos y obligaciones de los miembros entre otras cuestiones.

- o El acuerdo operativo. Este debe ser firmado por el gobierno de un país que se ha convertido en parte del acuerdo o por una entidad de telecomunicaciones privada o pública designada que se convierte en el signatario del acuerdo operativo, conteniendo los derechos y obligaciones de los signatarios y la forma de determinar las participaciones de inversión, realizar las adquisiciones y establecer los cargos por utilización de la capacidad de los satélites entre otras cuestiones.

### **5.1.2 El objetivo primordial de Intelsat**

El objetivo primordial de Intelsat está establecido en el artículo III del acuerdo y es el suministro, en una base comercial, del segmento espacial necesario para proveer a todas las áreas del mundo y sin discriminación, servicios públicos internacionales de telecomunicaciones de alta calidad y fiabilidad. También se señala en el mismo artículo, que el segmento espacial puede ser usado para servicios nacionales de telecomunicaciones, considerándolos sobre las mismas bases que los internacionales cuando las áreas de los países en que se requieran estén separadas, por ejemplo, por grandes barreras naturales u otros obstáculos. Y también se puede proporcionar el segmento espacial para otros servicios en la medida en que ello no menoscabe la capacidad de Intelsat para cumplir su objetivo primordial.

### **5.1.3 Estructura Orgánica**

La estructura orgánica de Intelsat está constituida por la Asamblea de las Partes, la Reunión de los Signatarios, la Junta de Gobernadores y un órgano ejecutivo responsable ante la Junta de Gobernadores.

- o La Asamblea de las Partes. Reúne regularmente cada dos años a todos los gobiernos que son parte del Acuerdo y considera aquellos asuntos de Intelsat que sean de interés

primordial para las partes como estados soberanos. Algunas de sus facultades explícitas son: considerar la política general y los objetivos a largo plazo, así como expresar puntos de vista o hacer recomendaciones a los demás órganos de Intelsat y tomar decisiones sobre sus propuestas para enmendar el Acuerdo.

- o La Reunión de Signatarios. Está compuesta por todos los signatarios del acuerdo operativo y delibera una vez al año. Consideran y expresan ante la junta de gobernadores sus puntos de vista sobre el informe anual, los estados financieros anuales y el informe sobre futuros programas. Este órgano en la práctica tiene facultades que más bien pueden calificarse de simbólicas.
- o La Junta de Gobernadores. Es equivalente al consejo de administración de una empresa y está constituida por representantes de cada signatario o grupo de signatarios, cuya participación de capital en forma individual o en conjunto sea igual o mayor que la mínima que da derecho a dicha representación, aprobada por la reunión de signatarios. Este órgano es responsable de las decisiones relativas al diseño, desarrollo, construcción, operación y mantenimiento del segmento espacial, así como de aplicar las decisiones de las asamblea de partes y la reunión de signatarios y en la actualidad sesionan regularmente cuatro veces al año.

#### **5.1.4 Servicios**

Normalmente INTELSAT proporciona la capacidad de los satélites solicitada por los Signatarios a tiempo completo, tiempo parcial o uso ocasional y ellos a su vez usan esa capacidad, generalmente a través de sus propias estaciones terrenas, para proporcionar servicios de circuitos arrendados de telefonía, datos, audio y televisión a sus clientes. Intelsat comúnmente arrienda a los Signatarios capacidad de sus satélites en medios circuitos, que es la requerida para proporcionar un extremo de un circuito telefónico bidireccional, que al complementarse con otro medio circuito en el otro extremo permite una conversación entre ellos. En la tabla IV se presentan características técnicas de los satélites Intelsat de las series más recientes.

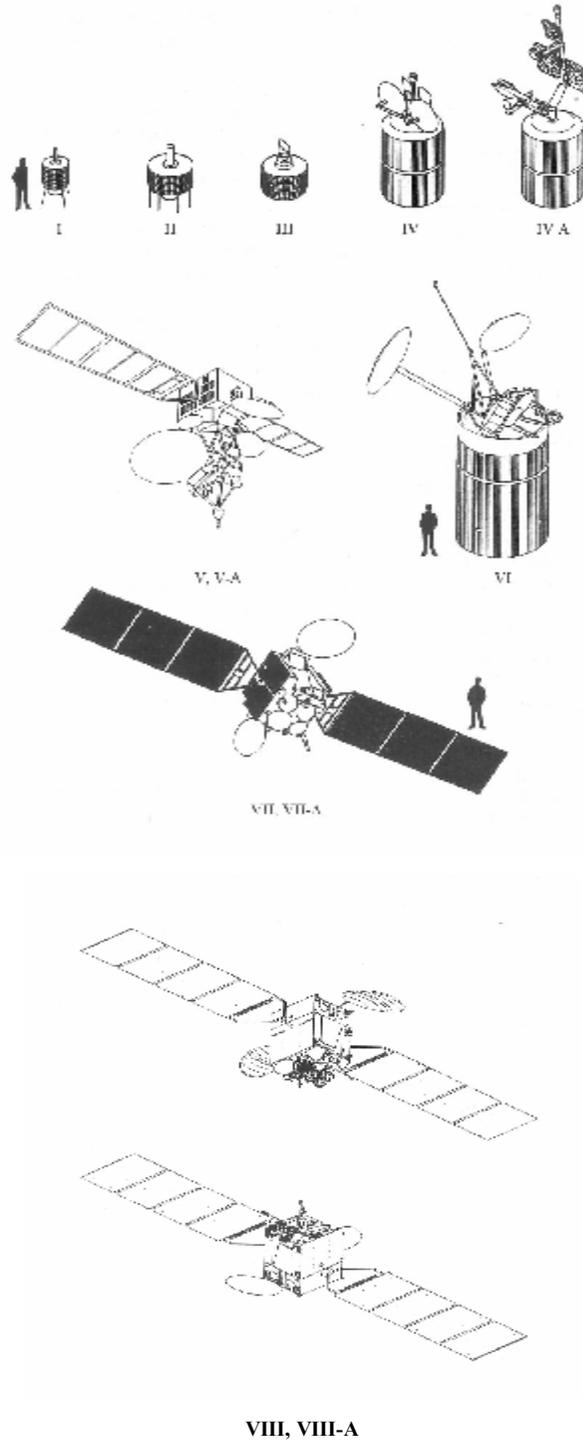
**Tabla IV. Algunas características de los satélites Intelsat más recientes**

	Intelsat V	Intelsat VA	Intelsat VI	Intelsat VII	Intelsat VIII	Intelsat VIIIA
Fabricante	Ford Aerospace y FCC hoy Space Systems/Loreal	Ford Aerospace y FCC hoy Space Systems/Loreal	Hughes Aircraft Co. y otros	Space Systems/Loreal	Lockheed Martin	Lockheed Martin
Lanzamientos	1980 – 1984	1985- 1989	1981 – 1991	1993 - 1995	1997	1998
Vehículo de lanzamiento	Atlas Centauro y Ariane 1	AtlasCentauro y Ariane 2	Ariane 44L y Titán 3	Atlas 2AS y Ariane 44LP	Ariane 44 L	
Estabilización	Tres ejes	Tres ejes	Rotación en cuerpo cilíndrico	Tres ejes	Tres ejes	Tres ejes
Total de naves	9	6	5	6	4	2
Potencia W			2100	4000	5100	5540
Masa en órbita Kg.	825	1098	1800	1437	1587	1585
Carga útil Banda C Transpondedores	27	30	38	26	38	28
Carga útil Banda Ku Transpondedores			10	10	6	3
No. de circuitos	12,000 de voz +2 TV.	15,000 de voz + 2 TV.	24,000 de voz + 3 TV.	18,000 de voz +3 TV.		
Vida útil planeada Años	7	7	10 – 13	13 – 18	14 - 17	14 – 17

**Fuente: Rosado Carlos, Comunicaciones por satélite. Pág. 499 y Pratt y Bostian, Satellite Communications. Pág. 429.**

En la figura 12 se puede observar como fueron evolucionando los satélites Intelsat en tamaño y diseño, desde el primer satélite Intelsat I conocido como Early Bird hasta las series más recientes de los Intelsat VIII.

**Figura 12. Evolución de los satélites INTELSAT**



Fuente: Rosado, Carlos. Comunicación por satélite. Págs. 40 y 44

## **5.2 INMARSAT**

Inmarsat es la Organización Internacional de Telecomunicaciones Móviles por Satélite (anteriormente Organización Internacional de Comunicaciones Marítimas por Satélite), con sede en Londres, con una estructura de tipo cooperativo y cobertura global que contaba en 1977 con 82 países miembros y 8 satélites en operación. En diciembre de 1994 cambió su denominación anterior a la actual como parte de una reestructuración, que incluye la ampliación de sus servicios marítimos por satélite a aeronáuticos y móviles terrestres.

### **5.2.1 Organización de Inmarsat**

Inmarsat tiene una estructura de participación de capital y otros aspectos similares a Intelsat. Los dos instrumentos normativos básicos de Inmarsat son el convenio y el Acuerdo Operativo.

Los Estados firmantes del Convenio son Partes para los cuales este convenio ha entrado en vigor. El conjunto de todas las Partes constituye la Asamblea de Inmarsat que se reúne cada dos años para formular políticas generales, objetivos de largo plazo y expresar puntos de vista y recomendaciones al Consejo.

Los Signatarios del Acuerdo Operativo son representantes del sector público o privado designados por los gobiernos de los países miembros. El consejo de Inmarsat es equivalente al consejo de administración de una empresa y está constituido por representantes de los 18 Signatarios con mayor participación de inversión y 4 representantes adicionales elegidos por la Asamblea. El Consejo tiene la responsabilidad de proporcionar capacidad del segmento espacial para cumplir con los propósitos de Organización de la forma más económica, efectiva y eficiente. Se reúne tres veces al año y las decisiones que no sean unánimes se toman por votación en la que cada miembro tiene un poder proporcional a su participación de inversión. Entre sus funciones están las de determinar políticas, planes y programas para el desarrollo del

sistema de satélites, adopción de los procedimientos de adquisiciones, determinación de los cargos de utilización del segmento espacial y del tope de capital de la organización.

El Directorio de Inmarsat está encabezado por un Director General como principal ejecutivo y representante legal de la Organización, así como responsable de todas las operaciones ante el Consejo.

Con base en los requerimientos del desarrollo del sistema los signatarios aportan capital para el financiamiento de la organización en proporción a la utilización que hagan del segmento espacial, que se ajusta cada año, y reciben el pago del mismo y una compensación por su uso. Sin embargo, cualquier signatario puede solicitar que su aportación se reduzca a solo 0.05% que es la participación mínima permitida.

### **5.2.2 Servicios**

Los servicios de Inmarsat se proporcionan a estaciones terrenas móviles en las cuatro regiones oceánicas de la cobertura de sus satélites: Atlántico Este y Oeste, Pacífico e Índico, generalmente entre las latitudes de 76° Norte y 76° Sur. Los servicios tienen una clasificación alfabética con la que se indica también el tipo de terminal empleada.

Los cargos por la utilización del segmento espacial se determinan en tal forma que cubran los costos de operación, conservación y administración, la amortización de la inversión hecha por los signatarios y la compensación por uso de capital. Las tarifas son iguales para todos los signatarios para cada tipo de utilización, pero el Convenio permite que el Consejo establezca diferentes tarifas para usuarios que no sean signatarios.

- o Inmarsat-A. Primer servicio introducido. Provee comunicación en dos direcciones para telefonía, fax, correo electrónico, datos a 64Kbits/s. Las terminales operan en banda L, la mayoría en embarcaciones. Los satélites convierten de banda L a banda C para establecer enlaces a redes terrenales.

- Inmarsat-B. El servicio a las terminales es totalmente digitalizado, sus tarifas son más bajas que el anterior pero el servicio es el mismo.
- Inmarsat-M. Proporciona servicios de telefonía de buena calidad y de facsímil de baja velocidad (2.4Kbits/s). Es un servicio digitalizado conveniente para embarcaciones costeras pequeñas.
- Inmarsat-C. Las terminales transmiten datos a velocidad de 600 bits/s en dos sentidos. Además del tráfico de mensajes este servicio permite la recolección de datos a terminales remotas como plataformas petroleras y el reporte de posición asociando la terminal con dispositivos de navegación y posición como el GPS. Las terminales pueden enviar automáticamente un mensaje de emergencia con prioridad, incluyendo su posición a un centro de rescate. Es adecuado para embarcaciones medianas y pequeñas.
- Inmarsat-D. Es un servicio de mensajería que mediante terminales pequeñas de bolsillo para uso personal, o ligeramente mayores para vehículos. Cada mensaje tiene indicación de hora, fecha, numeración y prioridad. También es adecuado para información de tipo financiero, clima, tipo de cambio y noticias simultáneas a muchos receptores, así como activación de dispositivos a distancia.
- Inmarsat-E. Proporciona servicio a radiobalizas de emergencia para indicar posición. Las radiobalizas de este servicio contienen receptores del servicio GPS (*Global Positioning System*) y transmite automáticamente su posición de Inmarsat. Las señales de posición son retransmitidas automáticamente por una de las estaciones terrenas de Inmarsat a un Centro de Coordinación de Socorro del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos SMSSM de la Organización Marítima Internacional.

Muchos de los usuarios de Inmarsat operan sus terminales conjuntamente con ayudas de navegación. Los satélites Inmarsat 3 cuentan con una carga útil para navegación que permite a las embarcaciones y transportes aéreos utilizar señales que mejoran la precisión, disponibilidad e integridad de los sistema de determinación de posición GPS.

### 5.3 Ventajas y desventajas de arrendar capacidad satelital

Las ventajas:

- o Arrendar capacidad satelital a Intelsat ha permitido a muchos países que no tenían la capacidad política y económica adecuada para prestar servicios de telecomunicaciones vía satélite, desarrollar infraestructura apoyándose en la tecnología y dirección de ésta organización. Muchas organizaciones regionales se crearon tomando como modelo a Intelsat.
- o Al arrendar capacidad de satélite a sistemas existentes, se evita el riesgo de falla de lanzamiento o de falla total del satélite en órbita, además de la inversión y gastos de operación de los centros de control en tierra que manejan las operaciones del satélite.
- o Ya que es posible revender capacidad satelital a usuarios finales, se obtiene una reducción de los cargos de utilización, por la naturaleza cooperativa del sistema.
- o Intelsat e Inmarsat están continuamente innovando tecnología satelital de la que pueden beneficiarse todos los signatarios.

Las desventajas:

- o Las huellas de los satélites Intelsat e Inmarsat que cubren nuestro territorio son muy extensas lo que ocasiona que la potencia de la señal no sea tan alta como la diseñada para cubrir el territorio deseado. Con potencias más altas es posible prestar nuevos servicios, sobre todo los que utilizan antenas más pequeñas.
- o Al arrendar capacidad satelital y no emplazar un satélite propio, Guatemala va perdiendo la oportunidad de poseer una posición orbital en la ya congestionada órbita geoestacionaria.
- o Un satélite propio puede ser diseñado para satisfacer nuestras necesidades y las de la región centroamericana, en cambio arrendando las necesidades deben adaptarse a los servicios que provee la organización y bajo sus lineamientos.

## **6. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS, JURÍDICAS Y DE COORDINACIÓN INTERNACIONAL**

### **6.1 Costo de una red de telecomunicaciones por satélite**

A continuación se exponen los factores económicos esenciales que deben tomarse en consideración cuando se desea establecer un sistema regional de satélites. Los costos son aproximados y están expresados en dólares de los Estados Unidos de América al nivel de precios de 1982.<sup>8</sup>

#### **6.1.1 Costo del segmento espacial**

Se exponen las dos posibilidades de obtener la capacidad satelital, una es adquirir un satélite propio y la otra es arrendarla a una organización internacional, regional o nacional que tenga establecido un sistema de satélites y cuente con capacidad de reserva.

##### **6.1.1.1 Costos del arriendo a Intelsat**

Para estimar el coste del arriendo de capacidad espacial, se mencionan las tarifas de Intelsat para el arriendo en el plano nacional. En la tabla V se indican los precios anuales del arriendo de transpondedores de satélites de Intelsat. En relación con cada tipo de transpondedor se ofrecen dos clases de servicios: un servicio sujeto a derecho de prioridad en virtud del cual Intelsat se reserva la posibilidad de apropiarse en cualquier momento de la capacidad arrendada si los servicios internacionales lo requieren, y un servicio no sujeto a derecho de prioridad en el cual no puede ocurrir tal cosa y que es

---

<sup>8</sup>UIT. **Repercusiones económicas y técnicas del establecimiento de una red regional de telecomunicaciones por satélite.** GAS 8 del CCITT. Ginebra: s.e.1983. Pág. 87

comparable así a un sistema especializado cuyo satélite operacional tiene su satélite de reserva en órbita. Cabe señalar que estas tarifas se basan en la política de Intelsat según la cual el sistema está destinado a prestar servicios internacionales y sólo se arrienda para fines nacionales la capacidad de reserva disponible.

**Tabla V. Precios de arriendo anual, para fines nacionales por Intelsat en 1982**

Transpondedor	Sin derecho de prioridad (en millones de dólares)	Con derecho a prioridad (en millones de dólares)
Transpondedor de 36 MHz de anchura de banda, a 6/4 GHz; EIRP 29 dBW	2.53	1.2
Transpondedor de 36 MHz de anchura de banda, a 6/4 GHz; EIRP 26 dBW	2.02	0.96
Transpondedor de 72 MHz de anchura de banda, a 14/11 GHz; EIRP 44 DBW	4.04	1.92

Fuente: UIT. Manual GAS 8 del CCITT. Ginebra: 1983. Pág.88

#### 6.1.1.2 Costos del satélite

Los costos de un programa de satélite comprenden:

- o **Los costos de desarrollo.** Estos no son recurrentes y tienen que sufragarse cualquiera que sea la cantidad de vehículos espaciales que se necesiten: ingeniería del sistema, documentación, fabricación, medios de integración, gestión, pruebas de simulación, etc.
- o **Los costos de modelo de vuelo.** Este costo es recurrente y puede disminuir si se encargan muchos satélites. Comprende los costos de fabricación e integración y también los de las pruebas y los de la preparación del lanzamiento.
- o **Los incentivos por buen funcionamiento de los satélites en órbita.** Es una práctica corriente de un programa de satélites en la cual una parte de los pagos está supeditada al buen funcionamiento de los satélites en órbita. Los pagos pueden realizarse anualmente durante la vida útil nominal del satélite o en total al comienzo de ésta y

ser reembolsados después por el contratista en caso de fallo en órbita. La cuantía de costos puede representar del 10 al 20% del costo total de programa.

- o **El costo del satélite de reserva en tierra.** En un programa de satélites se prevén por lo general uno o varios satélites de reserva en tierra, que se lanzan si falla uno de los satélites en órbita. El costo de un satélite de reserva es menor que el de un modelo de vuelo, pues no incluye ni el costo de las pruebas previas al vuelo ni el de la preparación de lanzamiento y puede reducirse aun más si se trata de un prototipo que puede modificarse. Su almacenamiento implicará un costo anual del orden 0.5 millones.

### 6.1.1.3 Costos de lanzamiento

Entre los costos de lanzamiento se cuentan el del vehículo de lanzamiento y el de los servicios de lanzamiento, como son la integración del satélite y del lanzador, la operación de lanzamiento y la colocación en posición orbital. En la tabla VI se indican estimaciones del costo de lanzamiento de dos clases diferentes de satélites con vehículos de lanzamiento existentes o en proyecto.

**Tabla VI. Costos estimados de lanzamiento**

Vehículo de lanzamiento (lanzador)	Masa en órbita geoestacionaria (Kg)	Costo estimado (millones de dólares en 1982)
Atlas-Centauro	1518	50 a 60
Ariane 2 (plena capacidad)	1000 a 1200	45 a 49
Ariane 3 (plena capacidad)	1280	49 a 54
Ariane 4 (media capacidad)	780 a 1440	desconocido
STS – PAM A	1000 a 1200	desconocido
Thor-Delta 3920 PAM D	650 a 670	32 a 35
Ariane 3 (media capacidad)	650 a 700	22 a 27
Ariane 4 (un tercio de capacidad)	650 a 670	desconocido
STS-PAM D1	650 a 670	22 a 26
STS-PAM	820 a 860	27 a 37

Fuente: UIT. Manual GAS 8 del CCITT. Ginebra: 1983. Pág. 89

#### **6.1.1.4 Costos en concepto de seguros**

Pese a la gran experiencia adquirida en el lanzamiento de satélites, se trata de una operación arriesgada que tiene una probabilidad de fracasar cifrable en torno al 10% según el tipo de vehículo de lanzamiento y los motores de apogeo y perigeo utilizados. Considerando la magnitud de las inversiones, se recomienda concluir una póliza de seguro contra el riesgo. Pueden asegurarse varios elementos:

- el propio satélite,
- el costo del lanzamiento,
- la pérdida de ingresos.

Pero si el programa comprende un satélite de reserva en tierra, el cual sería lanzado si el satélite en órbita fallara, podría no ser necesario asegurar el satélite. Cualquiera que sea la cuantía asegurada, cabe prever que la prima ascenderá al 10% de la misma aproximadamente. Además del lanzamiento se puede concluir también un seguro por el fallo en órbita del satélite; si con arreglo a los criterios previamente determinados se considera que el satélite ha quedado fuera de servicio, el seguro reembolsará el costo de lanzamiento de un nuevo satélite.

#### **6.1.1.5 Costos de control en órbita**

El control en órbita de un vehículo espacial implica la existencia de medios y servicios necesarios para la supervisión y control de su posición, actitud y modos de explotación así como para evaluar sus características de funcionamiento. Los medios pueden dividirse en dos sistemas funcionalmente distintos pero que tienen un interfaz común:

- estación de seguimiento, telemando y telemedida (STT),
- centro de control de operaciones del satélite.

Durante una determinada fase de la misión (órbita de transferencia, órbita casi síncrona) y durante un cierto periodo de tiempo en la órbita síncrona se precisa el apoyo

de estaciones STT adicionales de algunas de las redes ya existentes (NASA, INTELSAT) para las operaciones de telemedida, telemando y medición de distancias, por razones de cobertura y geometría. Los costos de inversión de la estación STT, el centro de control y la red de apoyo para el lanzamiento representan aproximadamente un 6% del costo del programa del satélite. Los gastos anuales de explotación pueden representar el 15% del costo del control de órbita.

#### **6.1.1.6 Costo estimado de un sistema regional de satélites de referencia**

Supóngase que se desea un sistema regional de satélites que utilice dos satélites en órbita, cada uno con 24 transpondedores de 36 MHz de anchura de banda a 6/4GHz con una EIRP mínima de 33/34 dBW en una zona de cobertura de 4° por 8° y que tenga una vida útil de 10 años. Se estima que los costos de inversión del segmento espacial del sistema ascenderían a 200 millones de dólares, a los precios de 1982.

A modo de ejemplo, los costos del segmento espacial del sistema de referencia descrito pueden comprender:

Costos de desarrollo y costos no recurrentes	25 millones de dólares
Costos de los satélites y costos recurrentes	60 millones de dólares
Primas	15 millones de dólares
Reserva en tierra	25 millones de dólares
Dos lanzamientos	50 millones de dólares
Seguros	11 millones de dólares
Seguimiento, telemando y telemedida	<u>11 millones de dólares</u>
Costo total	197 millones de dólares

Estas aproximaciones del costo deben utilizarse con cautela, ya que las circunstancias reales y el momento de la adquisición pueden afectar considerablemente el resultado. Por ejemplo, un satélite que sea idéntico o que constituya una ligera

variante de otro que esté en producción en la actualidad costará normalmente menos que el del ejemplo. Las modalidades de financiación y de pago en las actuales circunstancias de altos tipos de interés afectarán también el costo y presupuesto, dichos costos pueden ser superiores a los del ejemplo sin son necesarias grandes realizaciones tecnológicas.

### **6.1.2 Costo del segmento terreno**

Se precisan estimaciones de los costos de la estación terrena para establecer relaciones compensatorias entre la utilización del transpondedor del satélite y la complejidad de dicha estación. Asimismo, es necesario conocer los costos del equipo a fin de optimizar la relación entre el tamaño de la antena y la capacidad del amplificador de alta potencia para una determinada EIRP o entre el tamaño de la antena y la temperatura de ruido del amplificador de bajo nivel de ruido para un valor de G/T requerido. Es difícil generalizar estos costos. Los precios dependen de las cantidades, precios de transporte, las tasas y aranceles y los costos de instalación y prueba. Además, a veces los costos de ingeniería e integración del sistema, la capacitación y la documentación se incluyen en los costos del equipo y a veces no, y por otra parte los equipos difieren en su construcción y en los dispositivos y aparatos de prueba y mantenimiento que llevan incorporados, lo que influye en el costo de cada elemento. A continuación se indican algunos costos típicos de los diferentes subsistemas de una estación terrena, pero esas cifras no incluyen los costos de instalación. Los precios mencionados sólo pueden utilizarse a efectos de planificación y de análisis de las consideraciones.

#### **6.1.2.1 Costos de los subsistemas**

- o **Antenas.** Los costos básicos de una antena para las bandas 6/4 GHz y 14/11 GHz son función del diámetro. Los costos que deben considerarse son un alimentador lineal, los excitadores y motores, de utilizarse éstos, los costos de transporte é

instalación y de estructuras y cimientos especiales. A ello pueden sumarse otros costos, como dispositivos de anticongelación para los climas fríos y alimentadores con recepción dual y reuso de frecuencias.

- o **Amplificadores de bajo nivel de ruido.** El costo de estos amplificadores es función de la temperatura de ruido absoluta ( $^{\circ}\text{K}$ ) de la etapa de entrada. El costo disminuye a medida que aumenta la temperatura de ruido, con un escalón próximo a los  $60^{\circ}\text{K}$  en las bandas 6/4 GHz y a  $120^{\circ}\text{K}$  en las bandas 14/11 GHz, donde resulta más económico sustituir los amplificadores de transistores GASFET por amplificadores paramétricos. En caso de que se use equipo redundante, deben incluirse también los costos de la conmutación.
- o **Amplificadores de potencia.** El costo de los amplificadores de potencia es función de la potencia de salida. Hasta unos 10 W, la potencia de salida necesaria puede obtenerse con amplificadores de estado sólido o transistorizados que resultan baratos y fiables, de los 10 hasta varios centenares de *watts* con amplificadores de tubos de ondas progresivas (*TWT*), y para potencias mayores con amplificadores de *TWT* o de Klystron.
- o **Convertidores de frecuencia (ascendentes y descendentes).** Las estaciones terrenas que combinen canales de recepción de televisión, de telefonía y de transmisión de datos necesitarán convertidores de frecuencia en forma de unidades separadas. Cada unidad, incluidos la redundancia y el sintetizador cuesta cerca de 50,000 dólares. Conviene señalar que en las estaciones de televisión se pueden combinar los convertidores de frecuencia para formar una unidad receptora completa. El precio de un receptor para televisión puede oscilar entre 5,000 y 10,000 dólares para fabricación en serie y de 30,000 a 50,000 dólares según los precios actuales.

### 6.1.2.2 Costos del equipo de acceso

El equipo de acceso comprende sobre todo el de tratamiento de la señal en transmisión y recepción, como por ejemplo las unidades moduladora y demoduladora

con sus dispositivos electrónicos asociados, los equipos de un solo canal por portadora (SCPC), TDMA, múltiplex y otros equipos de línea.

### **6.1.2.3 Costos de supervisión de la estación terrena**

La supervisión de la estación terrena puede efectuarse desde la consola del operador en la sala de operaciones del edificio principal. Cada función de supervisión (es decir, el control del seguimiento por antena, del amplificador de bajo nivel de ruido, del amplificador de potencia y del control de la conmutación de convertidores, etc.) es del orden de 10,000 dólares. En el caso de las estaciones terrenas rurales pequeñas no se considera ningún costo adicional pues los dispositivos de conmutación automática o por telemando suelen estar incluidos en el costo del equipo suministrado con la estación.

### **6.1.2.4 Costos del equipo de alimentación de energía**

La alimentación de energía es un aspecto muy importante en el establecimiento de una estación terrena. En las zonas urbanas se dispone de energía de líneas de alta tensión con grupos de electrogeneradores de diesel como reserva. En sitios aislados puede requerirse de electrogeneradores diesel de funcionamiento permanente o generadores eólicos o células solares.

### **6.1.2.5 Edificios**

Las estaciones terrenas principales o de gran volumen de tráfico requieren de edificios suficientemente amplios para albergar las salas de operaciones, los equipos de los sistemas de transmisión y recepción, de multiplexación de enlaces terrenales y de alimentación de energía, la gestión, las piezas de recambio, el alojamiento de personal, etc. Los costos de construcción varían de un lugar a otro y no pueden evaluarse si no se conoce la ubicación de la estación, las características del terreno y la disposición de la

estación. El equipo electrónico de una estación de pequeña capacidad ocupa una superficie aproximada de 8 a 16 m<sup>2</sup> aproximadamente.

## **6.2 Aspectos jurídicos y coordinación internacional**

A continuación se presentan las consideraciones relativas a los aspectos jurídicos y reglamentarios y los problemas de coordinación ligados al establecimiento de un sistema regional de satélites. Cuando se planifica un sistema de satélites deben tomarse en cuenta las limitaciones impuestas por el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y seguir los procedimientos que en él se establecen para la coordinación internacional entre las administraciones. Si un grupo de países establece conjuntamente un sistema regional de satélites, deberán crear una organización regional que se encargue de la gestión del sistema, creación que habrá de efectuarse mediante los correspondientes acuerdos.

### **6.2.1 Reglamento de Radiocomunicaciones**

Las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones en lo relativo a los sistemas de satélites, se refieren a:

- la atribución de bandas de frecuencias;
- los procedimientos y limitaciones para evitar la interferencia perjudicial que podría influir desfavorablemente en el funcionamiento satisfactorio de un servicio cuando intervienen varios sistemas:
- la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios.

El Reglamento de Radiocomunicaciones no sólo especifica los límites de las características de las redes de satélites sino también los procedimientos para garantizar la compatibilidad necesaria entre las redes de satélite, así como entre éstas y los servicios terrenales. También se definen los límites de potencia transmitida por una estación terrena con relación al ángulo de elevación sobre el horizonte é indica los

límites superiores de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la tierra producida por las emisiones procedentes de una estación espacial.

También hay disposiciones que estipulan normas especiales para los servicios de radiocomunicación espacial, tales como el cese de emisión, la limitación de la interferencia producida por las redes de satélite geoestacionario, el mantenimiento en posición de las estaciones espaciales, la precisión de orientación de las antenas de los satélites geoestacionarios, la densidad de flujo de potencia en la órbita de los satélites geoestacionarios y las limitaciones de potencia fuera del eje de las estaciones terrenas. Además de las disposiciones que establecen límites para los servicios de radiocomunicación terrenal que comparten bandas de frecuencia con los servicios de radiocomunicación espacial por encima de 1 GHz, e incluyen aspectos tales como la elección de los emplazamientos, frecuencia y límites de potencia.

### **6.2.2 Coordinación internacional**

El Reglamento de Radiocomunicaciones establece un procedimiento para realizar la coordinación internacional, el cual se expone a continuación.

1) **Publicación anticipada de la información relativa a las redes de satélites en proyecto.** Su objeto es informar a todas las administraciones de la existencia de un sistema de satélites en proyecto y de las características principales de dicho sistema. Esta publicación anticipada permite a las administraciones efectuar una evaluación de la probable influencia del proyectado sistema de satélites en las estaciones de sus respectivos sistemas de satélites existente o en proyecto.

#### **2) Coordinación**

- o El procedimiento de coordinación sólo es aplicable a los sistemas geoestacionarios y ha de efectuarse para cada asignación de frecuencia a una

estación de dicho sistema, independientemente de que se destine a recepción o transmisión.

- o Las disposiciones que prevén la coordinación están contenidas en el artículo 7 del Reglamento de Radiocomunicaciones para facilitar la solución caso por caso de los problemas de utilización de frecuencias entre administraciones.
- o La coordinación es una obligación reglamentaria para la administración que desea asignar una frecuencia a una estación y para cualquier otra administración cuyo servicio pueda verse afectado por esa asignación.
- o Antes de notificar a la Junta de Internacional de Registro de Frecuencias (*IFRB*) de la asignación de frecuencias a una estación espacial de satélite geostacionario, o a una estación terrena destinada a la comunicación con un satélite geostacionario, la administración deberá coordinar esa asignación con las administraciones cuyas estaciones espaciales o terrenas de otro sistema de satélites geostacionario pudieran verse afectadas o cuyo territorio se halle total o parcialmente dentro de la zona de coordinación de la estación terrena.

3) **Notificación de asignaciones de frecuencia.** Las asignaciones se inscribirán en el Registro Internacional de Frecuencias previa notificación al *IFRB* (Junta Internacional de Registro de Frecuencias) de la asignación de frecuencia a una estación terrena o espacial.



## CONCLUSIONES

1. Las estadísticas de la Superintendencia de Telecomunicaciones de junio de 2005 muestran que el número de teléfonos móviles en Guatemala es de 3,505,254 terminales y que las líneas de redes fijas llegan a un total de 1,209,354. Las líneas móviles casi triplican las fijas, esto nos indica que existe una gran demanda insatisfecha que ha llevado a los usuarios a adquirir sistemas de comunicación más costosos.
2. Aún, cuando el establecimiento de un sistema regional de telecomunicaciones vía satélite es una inversión de gran magnitud y posiblemente no sea factible económicamente su emplazamiento, alrededor de 200,000 millones de dólares sólo el segmento espacial, en Guatemala, por la gran demanda de telecomunicaciones básicas que no se han suministrado, especialmente en el interior del país, donde no se cuenta con la infraestructura necesaria y, por la geografía montañosa, un sistema regional de telecomunicaciones vía satélite sería muy adecuado. Del número total de líneas de redes fijas en Guatemala, el 70 % corresponden a la capital y solo el 30 % a todos los departamentos juntos lo que confirma que dicho sistema favorecería, especialmente, al área rural del país.
3. Con un satélite de comunicaciones regional se tendrían haces de cobertura más estrechos y de mayor potencia en nuestra región que el de los satélites arrendados y esto generaría un mercado nuevo a empresas que necesitan interconectarse con sus sucursales en el país y en Centro América sin necesitar una gran infraestructura, utilizando terminales más económicas, por ejemplo, las VSAT.

4. La radiodifusión de programas de televisión y de radio, que ya iniciado en Guatemala arrendando capacidad satelital de Intelsat, se incrementaría y desarrollaría. Como ejemplo se pone a México, que inició con el satélite Morelos con poca demanda de servicio de televisión y ahora han emplazado nuevos satélites y la infraestructura ha mejorado grandemente. Esto incentivaría a la formación de profesionales con especialidad en manufactura o ensamblaje y mantenimiento de las estaciones terrenas y centros de control asociados al satélite.
5. En la actualidad, existen nuevas tecnologías de telecomunicaciones, como los cables submarinos de fibra óptica que pueden satisfacer una gran demanda de telefonía internacional, pero para la región centroamericana, la cual su único medio de comunicación es la red regional de microondas, sigue siendo conveniente una red de telecomunicaciones satelital que por sus características de salvar obstáculos puede llegar a muchos rincones que son poco accesibles y que no cuentan con todos los servicios necesarios. Por ejemplo, hay lugares, donde la energía eléctrica se suministra solo por horas y que tardan muchos días en enviar técnicos de reparación. Con la tecnología satelital pueden instalarse estaciones terrenas atendidas a control remoto y con energía provista por celdas solares.
6. Otra característica importante de las comunicaciones vía satélite es que están libres de desastres naturales por la posición del satélite a 36,000 Km. sobre el ecuador y el costo es fijo, independientemente, de la distancia. Siendo Guatemala un país propenso a los terremotos y a ser azotado por tormentas del Caribe, esta es una buena opción, unido a la facilidad de instalar estaciones móviles de emergencia en cualquier lugar dentro del área de cobertura, que es muy extensa y que, fácilmente, cubriría toda la región.

## RECOMENDACIONES

1. En este trabajo se estudiaron los aspectos más importantes para el establecimiento de un sistema de telecomunicaciones regional por parte de Guatemala. Es importante para la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica promover investigaciones que profundicen sobre el tema que es de gran interés y de mucho beneficio para la nación, especialmente para las áreas rurales, que son las más desatendidas.
2. Debido a que la superficie territorial de Guatemala no es muy extensa (108,889 Km<sup>2</sup>) es conveniente incluir en el sistema regional de telecomunicaciones vía satélite en toda el área centroamericana. Esto coadyuva a los esfuerzos de integración centroamericana que se realizan en la actualidad.
3. Involucrar a profesionales centroamericanos en un proyecto de esta naturaleza es importante y debe considerarse como una oportunidad de crecimiento y desarrollo para los países que participen.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Atlas geográfico universal y de Guatemala.** Océano. España: 1996. Pág. 50
2. UIT. **Métodos empleados para la previsión a largo plazo de la demanda interna.** GAS 5 del CCITT. Ginebra: s.e., 1983. Pág. 34
3. UIT. **Repercusiones económicas y técnicas del establecimiento de una red de telecomunicaciones por satélite.** GAS 8 del CCITT. Ginebra: s.e., 1983. Pág. 87

## ELECTRÓNICAS

4. Audens. *The satellite telecommunications company.* Alemania: 2005. Página web: [www.audens.com/links.htm](http://www.audens.com/links.htm)
5. **Hechos y cifras de Guatemala.** Página web: [www.Inmochapin.com](http://www.Inmochapin.com)

6. Grete Pasch. **Telecomunicaciones en Guatemala.** 1995.  
Página web: [www.gslis.utexas.edu/~gasch/0595.html](http://www.gslis.utexas.edu/~gasch/0595.html)
  
7. **Comunicado de prensa de Intelsat.** Londres: 13 de Septiembre de 2002.  
Página web: [www.intelsat.com](http://www.intelsat.com)
  
8. **Proyecto de mapeo y monitoreo de la tierra del corredor biológico mesoamericano.** NASA/CCAD. Página web:  
[www.ghcc.mscf.nasa.gov/corredor/corredor.html](http://www.ghcc.mscf.nasa.gov/corredor/corredor.html)

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Atlas geográfico universal y de Guatemala.** España: Océano, 1996. 96pp.
2. Rosado, Carlos. **Comunicaciones por satélite.** México: Limusa, 2001. 604pp.
3. Collazo, Javier. **Diccionario enciclopédico de términos técnicos.** (3 volúmenes). México: McGraw- Hill Interamericana, 1980.
4. **Métodos empleados para las previsiones a largo plazo de la demanda interna de telecomunicaciones y los recursos necesarios.** (GAS 5 del CCITT). Ginebra; s.e., 1983. 74pp.
5. Gordon, Gary y Walter Morgan. *Principles of communications satellites.* New York: John Wiley & Sons Inc., 1983. 533 pp.
6. Neri Vela, Rodolfo. **Satélites de Comunicaciones.** México: McGraw-Hill, 1989. 173pp.

7. Pratt, Timothy y Charles Bostian. *Satellite Communications*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1983. 472 pp.
  
8. **Satellite Communications Handbook, fixed service**. (Manual del CCIR). Ginebra: s.e., 1988. 628 pp.
  
9. **Tecnología de estaciones terrenas**. (Manual de Intelsat). Washington, D.C.: s.e., 460 pp.
  
10. **Repercusiones económicas y técnicas del establecimiento de una red regional de telecomunicaciones por satélite**. (GAS 8 del CCITT). Ginebra: s.e., 1983. 211pp.