

2.

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA
SECRETARÍA DE ENERGÍA
SECRETARÍA DE FOMENTO ECONÓMICO
SECRETARÍA DE GOBIERNO FEDERAL
SECRETARÍA DE HACIENDA Y CREDITO PÚBLICO
SECRETARÍA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y CALIDAD
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA
SECRETARÍA DE PLANEACIÓN ECONOMICA
SECRETARÍA DE PROMOCIÓN INDUSTRIAL
SECRETARÍA DE TURISMO
SECRETARÍA DE VIVIENDA Y OBRAS PÚBLICAS
SECRETARÍA DE CULTURA

**Análisis de la factibilidad técnica y económica para
poner en órbita un satélite mexicano que opere en
banda Ka**

Ingeniería en Telecomunicaciones

Marisela Antón Morales
Elizabeth Ivich Cruz
Liliana Solano Sanchez

Director de tesis: Dr. Salvador Landeros Ayala

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias

A mi padre, es un orgullo ser hija de un ingeniero ejemplar por su honestidad, nobleza, preparación y dedicación. Papá te quiero y admiro mucho.

A mi hermano, quien siempre ha estado a mi lado haciendo mi vida más divertida y realista.

A mi novio. Mi amor, esta tesis es un paso más en la realización de nuestros objetivos. Gracias por el entusiasmo, la motivación y confianza que me brindas con todo tu cariño.

A mi madre, a la mejor madre del mundo por todo el amor que eres capaz de brindar. Eres un ejemplo a seguir por tu perseverancia con la que siempre consigues lo que te propones.

A mis abuelos. Siempre han sido una pieza importante en mi formación y un ejemplo digno de seguir. Gracias por todo su amor y por hacerme reír tanto.

Mi más sincero agradecimiento por el apoyo y las enseñanzas recibidas de: mi tía Rosy; Maria Alicia, mi madrina; Elizabeth y Liliana, mis compañeras de tesis; mis profesores; mi director de tesis, Dr. Salvador Landeros Ayala; todos mis compañeros; mi querida Facultad por haberme brindado todo su apoyo; Max, mi perro, mi fiel compañero en mis noches de desvelo.

Marisela Antón Morales

Dedicatorias

A mi papá José Pedro Ivich, por ser un gran ejemplo para mí, por todas sus enseñanzas y por su amor, dedicación y cariño siempre. Mil gracias papá, te amo mucho.

A mi mamá Georgina, con todo mi cariño y admiración, por su comprensión, ternura y fortaleza. Te adoro mamá.

A mi hermana Georgina que quiero mucho por ser una eterna compañera y amiga y por los momentos especiales que hemos compartido.

A Chac, por ser un gran apoyo siempre y por enseñarme grandes cosas.

A mis compañeras de tesis Liliana y Marisela, y a todos nuestros amigos y compañeros de la facultad. Gracias.

Un especial agradecimiento a la Facultad de Ingeniería de la UNAM y a sus profesores por los conocimientos que nos brindaron y al Dr. Salvador Landeros Ayala, nuestro director de tesis.

Elizabeth Ivich Cruz

Dedicatorias

Dedico este trabajo a mis padres Alfredo y Techy, porque de ellos aprendí que los logros más importantes son los que llevamos en el corazón, ya que de ellos tomamos la fuerza necesaria para realizar todos nuestros sueños. Los amo.

Dedico este esfuerzo a mis hermanas Aida y Sandy por su apoyo incondicional, por estar siempre conmigo y por ser mis mejores amigas; le doy gracias también a Mamá Zoy por todo su apoyo y por ser para mí un gran ejemplo y un símbolo de fortaleza:

Illya, este trabajo es por los dos, te agradezco el haberme enseñado a aprender y a siempre dar nuestro mayor esfuerzo.

Agradezco al Dr. Landeros por brindarnos su tiempo y conocimientos para la realización de este trabajo, al Ing. Alberto Arcos por sus enseñanzas sobre el compromiso que representa llegar a ser un buen profesional. Gracias a todos mis profesores por sus instrucciones, a mis amigos por esos grandes momentos y a mis queridas amigas Marisela y Elizabeth, por haber hecho inolvidable esta etapa de mi vida.

Esther Liliana Solano Sánchez

INDICE

CAPITULO 1

Introducción	1
1.1 Tecnología Satelital	1
1.1.1 Características Esenciales de los Satélites	1
1.1.2 Bandas Utilizadas	3
1.2 Sistemas por Satélite en México	7
1.3 Satélite geostacionario en banda Ka para México	11

CAPITULO 2

Técnicas de Acceso Satelital	16
2.1 Tipos de Modulación	16
2.1.1 Modulación BPSK	17
2.1.2 Modulación QPSK	17
2.2 Multiplexaje y Demultiplexaje	18
2.3 Técnicas de Acceso Múltiple	18
2.4 Sistemas FDMA	21
2.4.1 MCPC Digital	21
2.4.2 SCPC Digital	21
2.5 Sistemas TDMA	23
2.5.1 TDMA de Banda Angosta	26
2.5.2 TDMA con Conmutación en el Satélite	27
2.6 CDMA	27
2.7 Métodos de Acceso Múltiple Aleatorio por División de Tiempo (ALOHA)	28
2.7.1 Aloha Ranurado	29
2.7.2 Aloha Reservado	30
2.8 Codificación y Decodificación	30
2.8.1 ARQ	31
2.8.2 FEC	32
2.9 Consideraciones para la Ingeniería del Sistema	33

CAPITULO 3

Enlaces Satelitales	36
3.1 Conceptos Básicos para el Cálculo de Enlaces Satelitales	36
3.1.1 Patrón de Radiación de una Antena	36

3.1.2	Ganancia de una Antena	37
3.1.3	Ancho del Haz de la Antena	38
3.1.4	PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente	38
3.1.5	Densidad de Flujo en el Punto Receptor	40
3.1.6	Pérdidas de Potencia por Propagación en el Espacio Libre	40
3.1.7	Atenuación L_{el} en Función de las Coordenadas Geográficas del Satélite y de la Estación Terrena	42
3.1.8	Atenuación Producida por los Gases de la Atmósfera L_A	43
3.1.9	Atenuación por Lluvia, L_{lluvia}	43
3.1.10	Pérdidas Adicionales	46
3.2	Análisis de Ruido	46
3.2.1	Ruido Térmico	46
3.2.2	Relación Señal a Ruido	49
3.2.3	Ruido de Intermodulación	50
3.3	Cálculo de Enlace entre Ciudad de México (Benito Juárez con Villahermosa)	53
	Enlace descendente	54
	Enlace ascendente	56

CAPITULO 4

Estaciones Terrenas	61
4.1 Equipo de las Estaciones Terrestres	61
4.2 Características Generales	61
4.2.1 Sistemas de la Antena	64
4.2.1.1 Antenas de Corneta	64
4.2.1.2 Reflectores	66
4.2.1.3 Polarización	67
4.2.1.4 Montaje de la Antena	68
4.2.2 Transmisores	68
4.2.3 Receptores	69
4.2.4 Moduladores y Demoduladores	70
4.2.5 Interfaces con Redes Terrestres	70
4.2.6 Sistemas de Energía e Infraestructura General	71
4.2.7 Sistema de Supervisión y Control	73
4.3 Innovaciones Tecnológicas en las Estaciones Terrestres	73
4.4 Costo Unitario por Estación	75

CAPITULO 5

Subsistemas del Satélite	77
5.1 Subsistema Estructural	77
5.2 Subsistema de Energía Eléctrica	79
5.3 Subsistema de Control Térmico	75

5.4 Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando	86
5.5 Subsistema de Posición y Orientación	89
5.6 Subsistema de Propulsión	93
5.7 Subsistema de Antenas	95
5.7.1 Tipos de antenas	96
5.7.2 Huella de Potencia de un Satélite	96
5.7.3 Cobertura	96
5.7.4 Reutilización Espacial de Frecuencias	98
5.7.5 Reutilización de Frecuencias por Polarizaciones Ortogonales	99
5.8 Subsistema de comunicaciones	100
5.8.1 Frecuencias y Bandas	101
5.8.2 Transpondedores	101
Descripción, configuraciones e intermodulación	101
Ancho de Banda	101
Tecnología de Haz Conmutado (Switched-Beam Technology)	102
5.9 Centro de Control y Estación TTS	102
5.10 Resumen de los Subsistemas	105
5.11 Arquitectura del Satélite propuesto	106

CAPITULO 6

Aplicaciones, Servicios y Mercado	109
6.1 Introducción	109
6.2 Servicios de Banda Ancha	109
6.3 Análisis de Competitividad	110
6.4 Mercados Satelitales en el Mundo	112
6.5 Estrategias para los Servicios Satelitales en Banda Ancha	112
6.6 Servicios Satelitales para el Consumidor	113
6.7 Crecimiento de los Sistemas de Banda Ka	114
6.8 Aplicaciones de Banda Ancha en México	115
Aplicaciones en Tele-educación	115
Aplicaciones en Tele-medicina	119
6.9 Poblaciones rurales en México	117

CAPITULO 7

Análisis Financiero	120
7.1 Introducción	120
7.2 Método del Valor Actual Neto (VAN)	123
7.3 Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	124
7.4 Definiciones Contables Importantes en la Evaluación de Proyectos	124
7.5 Propuesta Financiera para el Satélite Mexicano	127
7.5.1 Ventas	128

7.5.2	Inversiones	128
7.5.3	Costos	128

CAPITULO 8

Conclusiones	131
--------------------	-----

CAPITULO 1

Introducción

Debido al insuficiente desarrollo tecnológico en México para comunicar e integrar a las comunidades rurales al resto del país se hace necesaria la creación de nuevos proyectos que busquen solucionar este problema. El objetivo de esta tesis es plantear una solución integral para resolver el problema de las comunicaciones en las zonas rurales de México. La solución que se propone en esta tesis es por medio de un satélite mexicano en banda Ka financiado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Este proyecto implica un análisis de tecnología basado en las condiciones geográficas, demográficas y climatológicas del país. Este estudio está basado en algunas de las características técnicas del satélite canadiense ANIK F2 en banda Ka adaptándolo a las necesidades anteriormente mencionadas. Así mismo se realiza un análisis económico que demuestra que el proyecto es factible para su realización y propone el esquema de inversión a lo largo de la vida útil del satélite.

1.1 Tecnología Satelital

Un satélite es considerado un repetidor distante de microondas que por medio de un enlace ascendente recibe señales que filtra, amplifica, procesa y modifica su frecuencia para su retransmisión.[PRI93]

El desarrollo en la tecnología de los satélites viene acompañado del contexto más amplio de expansión en los sistemas de comunicaciones, forzada por el rápido crecimiento en complejidad y volumen de las actividades comerciales y de gestión, así como de la predisposición de la sociedad a aceptar y reclamar mayores facilidades para el acceso a la comunicación, puesto que dispone de fuentes de información y cultura cada vez mas diversificadas como vía de progreso y de integración nacional.

1.1.1 Características Esenciales de los Satélites

Los satélites de comunicación pueden recibir y enviar desde el espacio ondas de radio en cualquier dirección que se tenga previsto en su diseño. La razón principal de la utilización de los satélites de comunicación es su capacidad de emitir una señal que pueda recibirse con intensidad similar y simultáneamente en cualquier punto de una gran superficie geográfica.

En forma muy general las órbitas de los satélites de comunicación se pueden clasificar por su altura en [ROS99]:

- Órbitas bajas: Aproximadamente entre 500 y 1,500 km. de altura. El límite inferior generalmente no conviene que sea menor debido a razones de cobertura y a la existencia de alguna fricción atmosférica, en tanto que el superior evita la proximidad del primer cinturón de Van Allen¹. Se les conoce también por las siglas en inglés LEO².
- Órbitas medias: Aproximadamente entre 6,000 y 11,000 km. de altura. Los límites señalados permiten que los satélites queden ubicados entre el primero y segundo cinturón de Van Allen evitando su radiación perjudicial. Se les conoce también por sus siglas en inglés MEO³.
- Órbita geoestacionaria: A 35,787 km. de altura, en la que los satélites parecen prácticamente inmóviles desde las estaciones terrenas que tienen acceso a ellos. Se les conoce también por sus siglas en inglés GEO⁴.
- Órbitas muy elípticas: permiten cubrir algunas regiones, especialmente en zonas polares donde los satélites geoestacionarios no pueden dar servicio. Se les conoce también por sus siglas en inglés HEO⁵.

Un solo satélite puede emplearse para cubrir una gran superficie un poco mayor que un tercio de la superficie de la tierra o para cubrir básicamente un solo país, y aun contar con haces de emisión adicionales que cubran con mayor intensidad una porción menor de un país (haces puntuales).

La órbita ecuatorial llamada geoestacionaria representa un circuito virtual ubicada cerca de los 36,000 km. sobre la superficie terrestre en la cual es posible ubicar satélites que giren en sincronía con la rotación de la tierra. Debido a que existen perturbaciones que tienden a desplazar lentamente a los satélites de sus posiciones fijas en dicha órbita, para lograr que permanezcan en ellas se emplean fuerzas de corrección de pequeñas magnitudes aplicadas en determinados intervalos de tiempo, por los propulsores del satélite.

La cobertura máxima útil de los haces de recepción y de emisión del satélite sobre la superficie de la tierra en grados del ecuador o de los meridianos es de unos 140° a 150°, por lo que un sistema de cobertura global requeriría un mínimo de tres satélites en la órbita geoestacionaria para abarcar todo el planeta excepto las regiones polares, a las

¹ Las partículas cargadas provenientes del Sol sufren desviación debido al campo magnético de la tierra y producen plasmas que pueden cargar electrostáticamente las superficies de los satélites y tanto protones como electrones quedan atrapados en los dos cinturones de radiación de partículas de Van Allen que alrededor del ecuador tienen máxima intensidad de 2,500 a 5,500 km. de altitud y de 12,000 a 23,000 km.

² Low Earth Orbit

³ Medium Earth Orbit

⁴ Geostationary Earth Orbit

⁵ Highly Elliptical Orbit

cuales solo pueden comunicar los satélites en otras órbitas que para ese fin sean más convenientes.

La principal ventaja de un satélite geoestacionario consiste en que dentro de su zona de cobertura puede comunicarse con estaciones terrenas que cuenten con antenas de apuntamiento fijo de haces muy concentrados para aumentar extraordinariamente tanto la potencia recibida de las señales del satélite como la que es posible enviar en dirección del mismo. En la recepción y en la transmisión se puede entonces tener suficiente energía radiada para una alta calidad de la comunicación con el mínimo de consumo total de energía.

En cuanto un satélite está en condiciones de operar se pueden instalar estaciones para comunicarse por medio de él, en cualquier parte de su zona de cobertura en un tiempo muy corto. Esta posibilidad de cobertura total, directa, inmediata y simultánea es una de las grandes ventajas de los satélites de comunicación.

En contraste, las tecnologías como las redes de microondas y de cables de fibras ópticas, aunque se extiendan por un territorio del tamaño de la huella de un satélite, tienen una cobertura de puntos específicos y dejan grandes áreas sin cubrir. Además, normalmente requieren de una programa de desarrollo de muchos años para completarse, deben contar con estaciones de alimentación de energía y de reprocesamiento de las señales a intervalos regulares, y se tienen que conectar con redes locales de distribución dentro de las ciudades.

Debido a la facilidad para la instalación de las estaciones terrenas, y su costo actual relativamente bajo, la comunicación por satélite es muy útil para servicios no permanentes en zonas donde no se prestan aun los servicios públicos terrenales de mayor demanda y desarrollo, como en muchas áreas rurales.

La vida útil planeada de los satélites comerciales destinados a la órbita geoestacionaria actualmente es de 10 o más años. Esta duración en servicio esta determinada en forma ineludible por la duración del combustible que les permite conservar su posición en la órbita original y también por el deterioro de las baterías, de las celdas solares o de otras partes de la nave espacial. La vida útil de los satélites de órbitas bajas es mucho menor que la de los satélites de la órbita geoestacionaria.

1.1.2 Bandas Utilizadas

La parte del espectro de radiofrecuencias atribuido por la UIT⁶ a la comunicación por satélite para cada uno de los tipos de servicio satelital comprende porciones en la gama de aproximadamente 0.1 a 400 GHz. Mas del 90% de la capacidad de comunicación en órbita para fines comerciales se utiliza para el servicio fijo por satélite en la gama de frecuencias de 3.4 a 14.8 GHz (principalmente en las llamada bandas C y Ku),

⁶ Unión Internacional de Telecomunicaciones

considerando el número de satélites que las emplean y la reutilización de frecuencias en muchos de ellos. [ROS99]

Los servicios más comunes que se ofrecen en las bandas de frecuencia para comunicación satelital son:

Designación	Rango de frecuencias (MHz)	Aplicaciones principales
VHF	30-300 MHz	Mensajería
UHF	300-1000 MHz	Militares y de navegación
L	1-2 GHz	Móviles y de radiolocalización
S	2-4 GHz	Móviles y de navegación
C	4-8 GHz	Fijos
X	8-12 GHz	Militares
Ku	12-18 GHz	Fijos y de transmisión de video
K	18-27 GHz	Fijos
Ka	27-40 GHz	Fijos y de transmisión de video intersatelital
Q/V	>40 GHz	Fijos y de transmisión de video intersatelital

Tabla 1.1 Bandas de frecuencia para comunicación satelital

Las bandas para servicios satelitales son:

BANDAS	BANDAS DE FRECUENCIAS	REGIONES	BANDA EXCENIA 40 COMPARADA	ASCENDENTE O DESCENDENTE
C	3.400 - 4.200 GHz	WW	BC	D
	4.500 - 4.800 GHz	WW	BC	D
	5.725 - 5.850 GHz	R1	BC	A
	5.850 - 7.075 GHz	WW	BC	A
X	7.250 - 7.750 GHz	WW	BC	D
	7.900 - 8.025 GHz	WW	BC	A
	7.900 - 8.400 GHz	WW	BC	A
Ku	10.70 - 11.75 GHz	WW	BC	D
	11.70 - 12.10 GHz	R2	BC	D
	12.10 - 12.20 GHz	R2	BE	D
	12.50 - 12.70 GHz	R1	BE	D
	12.50 - 12.70 GHz	R3	BC	D
	12.70 - 12.75 GHz	R1	BE	D
	12.70 - 12.75 GHz	R2 y R3	BC	D
	12.75 - 13.25 GHz	WW	BC	A
	13.75 - 14.30 GHz	WW	BC	A
	14.30 - 14.40 GHz	R2	BC	A
	14.30 - 14.40 GHz	R1 y R3	BE	A
14.40 - 14.50 GHz	WW	BC	A	

BANDAS	BANDAS DE FRECUENCIAS	REGIONES	BANDA EXCLUSIVA O COMPARTIDA	ASCENDENTE O DESCENDENTE
Ka	17.30 – 19.70 GHz	WW	BC	D
	19.70 – 20.10 GHz	R1 y R3	BE	D
	19.70 – 20.10 GHz	R2	BC	D
	20.10 – 21.20 GHz	WW	BC	D
	24.75 – 25.25 GHz	R2 y R3	BE	A
	27.00 – 27.50 GHz	R2 y R3	BC	A
	27.50 – 28.50 GHz	WW	BC	A
	28.50 – 29.90 GHz	R2	BC	A
	28.50 – 29.90 GHz	R1 y R3	BE	A
29.90 – 31.00 GHz	WW	BC	A	

Tabla 1.2 Bandas Utilizadas

Un aspecto restrictivo es la no disponibilidad de posiciones orbitales y espectro en las bandas de frecuencias convencionales C y Ku, ya que el arco orbital desde la posición 103° a 123° W⁷, esta ocupado por sistemas de satélites que operan en la banda Ku y C.

Los sistemas por satélite en banda Ka, vienen a cubrir la necesidad de contar con un mayor ancho de banda (2 veces mayor que la banda Ku y 5 veces mayor que la banda C), permitiendo un mayor tráfico en las comunicaciones; así mismo viene a subsanar las limitaciones de las posiciones orbitales asignadas a cada país en las bandas C y Ku.

Los nuevos satélites de banda Ka presentan la ventaja de contar con haces puntuales que multiplican la disponibilidad del espectro con un reuso de 4 a 5 veces de la frecuencia del haz, lo que en conjunto con técnicas de transmisión por paquetes eleva el número de usuarios atendidos por transpondedor.

Los satélites en banda Ka permiten proporcionar servicios de transmisión de datos de alta velocidad a terminales cuya antena tiene un diámetro menor a un metro, con un costo de 1,000 a 1,500 dólares por unidad de usuario con velocidades de transmisión en el sentido estación terrena a usuario de hasta 100 Mbps y en el sentido inverso con velocidades arriba de 128 kbps hasta 20 Mbps; velocidades que no se podrán alcanzar mediante conexión terrestre en el mediano y largo plazo en comunicaciones remotas y semiurbanas.

La banda Ka tiene la ventaja de contar con un amplio rango de nuevas posiciones orbitales a nivel mundial, teniéndose varios sistemas en construcción y la asignación de la mayor parte de las posiciones en el arco compartido principalmente con Estados Unidos, Canadá y México.

⁷ West (Oeste)

La disponibilidad orbital es aparente, ya que la solicitud de registro de los países interesados ante la UIT va en aumento, así como la asignación por país a las empresas de comunicaciones interesadas. En el mediano plazo no se contara con asignaciones disponibles. México ha tomado ciertas medidas y cuenta con varias publicaciones anticipadas, si dichas publicaciones no proceden con un proyecto económicamente y técnicamente viable la asignación orbital se pasara a otro solicitante.

México deberá acelerar el proceso de notificación y asignación a empresas interesadas, ya que los Estados Unidos prácticamente han asignado para dicho país la totalidad del arco orbital sobre Estados Unidos, Canadá y México.

Con el fin de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de manera tal que todos los países puedan compartir este recurso limitado en forma adecuada, la UIT ha dividido al mundo en tres Regiones denominadas: Región 1 que abarca África, los países Árabes, Europa y los países que anteriormente constituían la URSS, Región 2 que abarca los países de América y Región 3 que incluye a Asia y Oceanía, existiendo algunas diferencias menores en la atribución de frecuencias para cada región y excepciones registradas por países en forma individual. Dichas regiones se refieren a distintas zonas geográficas, como se indica a continuación [SCT]:

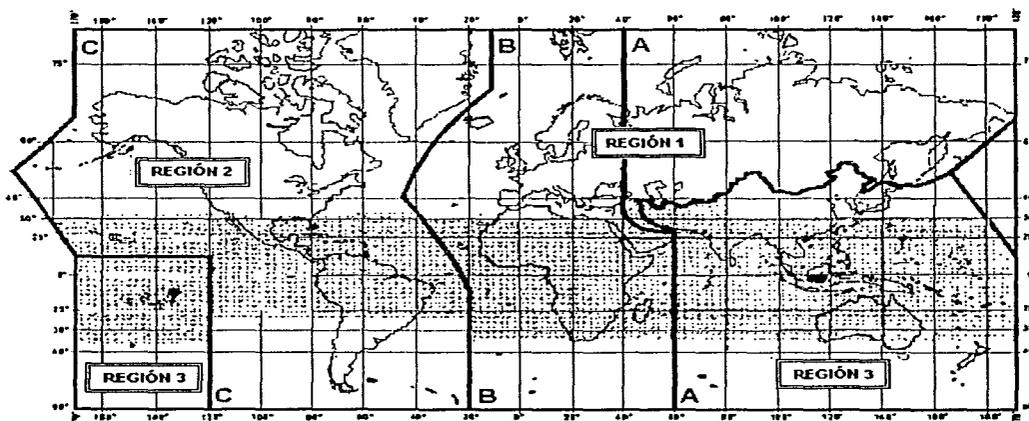


Figura 1.1 Regiones de la UIT

Región 1:

La Región 1 comprende la zona limitada al este por la línea A (más adelante se definen las líneas A, B y C), y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República Islámica del Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Región 2:

La Región 2 comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.

Región 3:

La Región 3 comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia. Comprende, asimismo, la parte del territorio de la República Islámica del Irán situada fuera de estos límites.

Las líneas A, B y C se definen en la forma siguiente:

Línea A:

La línea A parte del Polo Norte; sigue el meridiano 40° Este de Greenwich hasta el paralelo 40° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 60° Este con el Trópico de Cáncer y, finalmente, por el meridiano 60° Este hasta el Polo Sur.

Línea B:

La línea B parte del Polo Norte; sigue el meridiano 10° Oeste de Greenwich hasta su intersección con el paralelo 72° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 50° Oeste con el paralelo 40° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 20° Oeste con el paralelo 10° Sur y, finalmente, por el meridiano 20° Oeste hasta el Polo Sur.

Línea C:

La línea C parte del Polo Norte; sigue el arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del paralelo 65° 30' Norte con el límite internacional en el estrecho de Bering; continúa por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 165° Este de Greenwich con el paralelo 50° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 170° Oeste con el paralelo 10° Norte; continúa por el paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120° Oeste y, finalmente, por el meridiano 120° Oeste hasta el Polo Sur.

1.2 Sistemas por Satélite en México

En 1995 se reformó el régimen de la participación exclusiva del Estado en la prestación del servicio de comunicación vía satélite por otro que permite el involucramiento de particulares. Desde entonces, tal apertura y el uso de nuevas tecnologías han ampliado la competencia en ese terreno.

Con base en este nuevo marco jurídico, se planteó la desincorporación del sistema satelital mexicano, a fin de integrar nuevos socios que invirtieran en sus etapas posteriores de desarrollo. El proceso consideró la enajenación a particulares del 75% del capital social del sistema, conservando el gobierno federal el 25% restante. Además, el

Estado se reservó el 7% de la capacidad total del sistema, para prestar servicios sociales y de seguridad nacional, el subsistema de banda L para comunicaciones móviles y rurales satelitales, y la operación y explotación de los telepuertos.⁸ Como resultado de esta desincorporación, se constituyó la empresa de participación estatal minoritaria Satélites Mexicanos (Satmex), a la cual Telecomunicaciones de México (Telecomm) transfirió los activos, el personal y los contratos de servicio.

Asimismo, se otorgaron a Satmex tres concesiones para ocupar y explotar igual número de posiciones orbitales geostacionarias asignadas al país, bandas de frecuencias asociadas y derechos de emisión y recepción de señales. Lo anterior ha permitido tener disponible más capacidad satelital a concesionarios o permisionarios de redes públicas de telecomunicaciones.

Derivado de la participación de inversionistas privados en materia satelital, en diciembre de 1998 se puso en órbita el nuevo satélite mexicano, llamado Satmex 5. Se trata de un equipo de tercera generación⁹, con cobertura continental y potencia 10 veces superior a la del Morelos II, al cual sustituyó. Se invirtieron más de 230 millones de dólares, financiados en parte con recursos privados.

En agosto del 2000 se presentó una falla total en el satélite Solidaridad I, misma que lo dejó fuera de servicio. Inmediatamente se puso en marcha el plan de contingencia respectivo; a dos días de la falla, el 94% de los 107 usuarios tenía restablecidos los servicios. Satmex inició entonces la contratación de dos satélites de nueva tecnología, de mayor potencia y cobertura, para sustituir al Solidaridad I en dos años y prever el replazo del Solidaridad II.

En el periodo 1998-2000, se otorgaron tres concesiones —a las empresas Iridium de México, Globalstar de México y Orbcomm de México— para explotar los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros, así como para redes públicas de telecomunicaciones, con el fin de proporcionar los servicios de comunicación de voz, transmisión de datos, fax y paquetes de datos bidireccionales, entre otros.

En agosto de 2001 se otorgaron cuatro concesiones más, también para explotar los derechos de emisión y recepción de señales de bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros, y para proporcionar capacidad satelital, a las empresas Telesistema Mexicano, Enlaces Satelitales, Sistemas Satelitales de México y Controladora Satelital de México. La correspondiente a Telesistema Mexicano difiere de las demás por no incluir la comercialización de servicios a terceros [SCT].

⁸ Se conforma por 20 instalaciones integradas con estaciones terrenas transreceptoras de comunicación vía satélite de cobertura nacional y/o internacional distribuidas en las principales ciudades del país, y por un centro de control en la Ciudad de México; con ello se ofrecen servicios de voz, datos, audio y video.

⁹ Los satélites de tercera generación cuentan con las siguientes características: reutilización de múltiples frecuencias, capacidad de asignar la potencia y el ancho de banda dinámicamente en función de la demanda en las diferentes áreas de la geografía terrestre, disponibilidad de un haz global, ancho de banda mayor e incremento en su capacidad de canales.

Hoy en día, México cuenta con la siguiente flota satelital [SATMEX]:

- **Morelos II:** forma parte de la primera generación de satélites mexicanos cuya construcción se inició en 1983. Fabricado por Hughes, el Morelos II fue lanzado al espacio el 27 de noviembre de 1985 en el transbordador espacial Atlantis. El Morelos II siempre ha sido controlado desde México y por mexicanos. Por diseño, el tiempo de vida de este satélite era de 9 años pero, gracias a las iniciativas y a la excelente operación de los ingenieros mexicanos, ya cumplió 15 años de operación y todavía continúa proporcionando servicios de telecomunicaciones. Cuando se lanzó el satélite 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.
- **Solidaridad II:** pertenece a la segunda generación de comunicaciones espaciales para México y cuenta con 18 transpondedores en banda C y 16 en banda Ku, equivalentes a 24 transpondedores de 36 MHz en cada banda. Se encuentra ubicado en la órbita 113° W. La cobertura de Solidaridad II en banda C incluye México, el sur de los Estados Unidos, El Caribe, Centro y Sudamérica. Por otro lado, la cobertura en banda Ku incluye México, la Costa Este de los Estados Unidos y las ciudades de San Francisco y Los Ángeles. Con Solidaridad II, se obtiene: cobertura de alta potencia sobre México, conectividad entre los Estados Unidos y Latinoamérica y ángulos de elevación excelentes en Norteamérica y la mayor parte de Latinoamérica.
- **Satmex 5:** es un satélite geostacionario que proporciona servicios de comunicaciones comerciales como Internet, telefonía internacional, televisión analógica y digital, transmisión de datos y distribución de contenido multimedia. Se encuentra ubicado en la órbita 116.8° W. Satmex 5 pertenece a la familia de alta potencia y de estabilización triaxial. Su diseño lo provee con más de 7000 Watts de potencia para la operación de la carga útil. Los beneficios que se obtienen con Satmex 5 son: cobertura continental en banda C y banda Ku, alta potencia en ambas bandas, ideal para nuevas aplicaciones con antenas más pequeñas y flexibilidad en la configuración de redes de usuarios.
- **Satmex 6:** es un satélite modelo FS-1300X construido por Space Systems/Loral, capaz de generar 13.7 kW al inicio de su vida útil con un total de 60 transpondedores de 36 MHz cada uno: 36 canales en banda C y 24 canales en banda Ku, con un haz de alta potencia sobre las principales ciudades en Sudamérica (incluyendo Brasil). Será lanzado en el segundo trimestre del 2003 en la posición orbital de 109.2 grados W. Con Satmex 6 se obtendrá: alta potencia en banda C y Ku, cobertura total en América, cobertura configurable y tecnología probada en vuelo. Es ideal para aplicaciones por cable y de Internet por el PIRE¹⁰ con el que cubre la región.

¹⁰ Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

Satélite	Banda de Frecuencias	Cobertura	Peso	Vida útil	Potencia
Morelos II	Banda C : <ul style="list-style-type: none"> • 12 transpondedores de 36MHz • 6 transpondedores de 72MHz . Banda Ku: <ul style="list-style-type: none"> • 4 transpondedores de 108MHz 	México	1,232kg	9 años (15 años)	Banda C : <ul style="list-style-type: none"> • 36.0dbW a 36MHz • .39.0dbW a 72MHz Banda Ku: <ul style="list-style-type: none"> • 44.0dbW a 108MHz
Solidaridad II	Banda C : <ul style="list-style-type: none"> • 12 transpondedores de 36MHz • 6 transpondedores de 72MHz Banda Ku : <ul style="list-style-type: none"> • 24 transpondedores de 54MHz 	Banda C : México, el sur de los Estados Unidos, El Caribe, Centro y Sudamérica. Banda Ku : México, la Costa Este de los Estados Unidos y las ciudades de San Francisco y Los Ángeles.	2,791kg	14 años	Banda C : <ul style="list-style-type: none"> • 37.0dbW a 36Mhz • 40.1dbW a 72MHz Banda Ku: <ul style="list-style-type: none"> • 45.0dbW a 54MHz
Satmex 5	Banda C: <ul style="list-style-type: none"> • 24 transpondedores de 36MHz Banda Ku : <ul style="list-style-type: none"> • 24 transpondedores de 36MHz 	Banda C : El continente Americano Banda Ku : El continente Americano	2,776kg	15 años	Banda C : <ul style="list-style-type: none"> • 39.0dbW a 36MHz Banda Ku: <ul style="list-style-type: none"> • 49.0dbW a 36MHz
Satmex 6	Banda C: <ul style="list-style-type: none"> • 36 transpondedores de 36MHz Banda Ku : <ul style="list-style-type: none"> • 18 transpondedores fijos y 6 conmutables de 36MHz 	Banda C : El continente Americano Banda Ku : El continente Americano	5,700kg	15 años	Banda C : <ul style="list-style-type: none"> • 39.0dbW a 36MHz Banda Ku: <ul style="list-style-type: none"> • 49.0dbW a 36MHz

Tabla 1.3 Flota satelital de México

1.3 Satélite geoestacionario en banda Ka para México

La problemática que se presenta en los sistemas de banda Ku y C, es que éstos están integrados por satélites que no cuentan con reuso de frecuencias de haces, lo que limita su capacidad. Así mismo, la tecnología a pesar de su evolución no considera grandes volúmenes de mercado, teniendo como consecuencia que no se cuenta con costos accesibles por terminal. Por otro lado el acceso al satélite hace uso de técnicas de acceso como TDMA, sin considerar el uso de transmisión de datos por paquetes. En la tabla 1.4 se indican algunas de las ventajas y desventajas de los sistemas tradicionales en banda Ku y C.

En la posición del arco orbital que compartimos con Estados Unidos y Canadá no se cuenta con posiciones adicionales en banda Ku y banda C, que permitan satisfacer las necesidades de comunicación planteadas. Además, de que no se cuenta con la tecnología de compartición de espectro, de haces y sin un costo accesible de terminales de usuario en estas bandas.

Ventajas	Desventajas
Disponibilidad de equipos	Ancho de banda limitado
Tecnología conocida	Coberturas continentales o regionales
	Sin nuevas posiciones orbitales
	Ancho de banda directamente ligado al tipo de infraestructura necesario
	Disponibilidad
	Alto costo
	Asignación de espectro fija o temporal

Tabla 1.4 Ventajas y desventajas de los sistemas satelitales en banda C y Ku

Los sistemas de banda Ka gozan de la ventaja de ser concebidos en el momento de madurez y crecimiento de diversas tecnologías y necesidades de comunicación: acceso de gran velocidad a internet, desarrollo de terminales de alta capacidad, aplicaciones de transmisión de datos de alta velocidad, desarrollo de satélites de gran potencia y complejidad tecnológica y desarrollo de información de alto volumen de contenidos. Ofrece una solución a la escasez de espectro que actualmente se ve en las bandas de frecuencias bajas.

La operación en banda Ka, ofrece ancho de banda adicional pues la asignación del espectro en esta banda, previó el no contar con restricciones en el ancho de banda, por lo que se asignó un ancho de banda mayor a 500 MHz.

Enlaces	Ancho de Banda
Enlace de subida: 28.35 a 30 GHz	1.65 GHz
Enlace de bajada: 18.55 a 20 GHz	1.65 GHz

Tabla 1.4 Frecuencias de la banda Ka

Las frecuencias en banda Ka son aproximadamente un factor de 2 veces mayor que las frecuencias que componen a la banda Ku, y aproximadamente un factor de 5 veces mayor que las frecuencias para la banda C. Por lo tanto, para amplificadores y demás dispositivos que tengan un rango de operación alrededor del 10% de la frecuencia de la portadora, la banda Ka ofrece de 2000-3000 MHz de ancho de banda de información contra un ancho de banda de 1200-1400 MHz en banda Ku y un ancho de banda de 400-600 MHz en banda C [COX92].

El uso de frecuencias elevadas, tiene como beneficio la reducción del tamaño de los componentes pasivos de radiofrecuencia. Las longitudes de onda pequeñas en banda Ka permiten el uso de antenas pequeñas, filtros y estructuras de guías de onda que alcanzan desempeños comparables con los componentes para las bandas C y Ku, los cuales poseen un mayor tamaño.

Las ventajas principales en banda Ka son:

- Múltiples haces puntuales de 150 a 200 millas de diámetro
- Sistemas avanzados de conmutación a bordo y de procesamiento.
- Incremento del ancho de banda y de la capacidad de manejo de datos.
- Reuso de frecuencia¹¹.
- Las terminales de usuario son más pequeñas y de menor costo.
- Mayor potencia.
- Cobertura dinámica.
- Facilidad de instalación.

Actualmente existen los siguientes sistemas satelitales en banda Ka:

Sistema	Número de satélites	Características	Operación comercial
Sistema Teledesic	288	Constelación de satélites de órbita baja, incluye acceso de banda ancha a Internet, videoconferencias, comunicaciones de voz de alta calidad y otras necesidades de transmisión digital de información. Esta programado para entrar en operación en el 2005, sus principales inversionistas son: Microsoft, Motorola, Arabia Saudita, Abu Dhabi Investment Company y la compañía Boeing.	

¹¹ Se utiliza la misma frecuencia en polarización vertical y horizontal.

Sistema	Numero de satelites	Caracteristicas	Operación comercial
Astrolink	9	Satélites geoestacionarios con una poderosa red que servirá como una ruta de comunicación a gran velocidad a través de los mercados internacionales, será capaz de proveer servicios de datos, video y voz que soporten aplicaciones comerciales, conexiones interactivas a gran velocidad y servicios punto a punto así como también servicios de distribución. Tiene como ventaja tecnológica la conmutación de paquetes. Comenzará dando servicios con 4 satélites expandiéndose de acuerdo a la demanda con cobertura en Europa, América, Africa y el Medio Oriente, Región Asia-Pacífico.	
Hughes Spaceway.	2	Proveerá de acceso a Internet de alta velocidad para compartir intranets, redes privadas virtuales y para una gran velocidad de descarga de datos como lo es: transmitir y recibir video, audio, multimedia . El primer sistema regional (Norte América) empezará a ofrecer servicios en el 2002	
Sistema Italsat	2	Forma parte de un programa de telecomunicaciones de la Agencia Espacial Italiana. Se encuentra operando a altas frecuencias (20/30 GHz) usando tecnología digital. El sistema esta integrado a la red telefónica local. Gracias a las capacidades de conmutación del satélite hace posible asignar canales de acuerdo a la demanda. El primer satélite F1 fue lanzado en 1991 y continua operando, el segundo satélite F2 se lanzó en 1996.	
Sistema EuroSky Way	5	Primer red satelital europea en proporcionar un servicio de telecomunicaciones en banda ancha, como transmisión de señales de TV, acceso a Internet e incluso compras a través de enlaces de comunicación, a usuarios equipados con terminales de antenas pequeñas. Se producirán terminales móviles para uso de automóviles y aviones. El primer satélite será lanzado en el 2003 seguido de un segundo lanzamiento un año más tarde.	

Tabla 1.5 Sistemas satelitales en banda Ka

Dada la orografía de México y el desarrollo actual de las redes terrestres de comunicaciones del país, es muy difícil tener accesos de banda ancha sin un alto costo por interconexión y por tráfico en la mayoría de las 2,426 cabeceras municipales y en las 10,000 poblaciones del territorio nacional.

Los dos principales obstáculos para el desarrollo de las redes terrestres locales en las zonas rurales son: la dificultad técnica de enlazar dichos puntos geográficos y la capacidad del ancho de banda debido a que en la mayoría de los casos, por línea telefónica convencional solo se pueden entregar velocidades de 28 kbps a un máximo de 56 kbps con un costo de interconexión local si es que se cuenta con un proveedor de servicios de Internet en la localidad. En caso de no contar con un proveedor de servicios de Internet, además del costo local del enlace existe un costo de larga distancia por

minuto. Así pues, una mayor velocidad necesariamente significará un mayor costo de interconexión y una mayor dificultad de acceso con un incremento en la renta mensual proporcional a la velocidad de interconexión.

Es difícil hacer accesible la infraestructura en puntos remotos en donde se encuentran aquellos mexicanos que queremos comunicar con acceso a comunicaciones de banda ancha, esto nos obliga a una mezcla de tecnologías y de técnicas de acceso de acuerdo a la red o redes existentes o planeadas en el país.

De acuerdo a las necesidades de comunicaciones en México se plantea un satélite de gran capacidad en banda Ka con el objetivo de contar con acceso a servicios e información, que permita la participación directa de municipios, estados, universidades e instituciones.

El proyecto integral no solo debe traducirse como el acceso a redes o contenidos mediante una computadora, sino en textos impresos, programas de capacitación desplegados en monitores, videoconferencia, tele-capacitación, tele-educación, tele-medicina, telefonía rural e Internet, proporcionando los servicios de videoconferencia, multicasting, distribución de archivos, entre otros, logrando un avance inmediato y visible en el desarrollo social y técnico-profesional en México. Estas aplicaciones no podrán ser proporcionadas conjuntamente por ninguna otra tecnología terrestre, sean únicas o combinadas, dado el nivel de infraestructura requerido para contar con servicios de banda ancha independientes de la ubicación geográfica.

El desarrollo del sistema en banda Ka se da en el mejor tiempo de maduración de la tecnología, ya que a partir de que los satélites en banda Ka entren en operación, se contará con varios sistemas operativos con terminales de usuario totalmente desarrolladas.

Referencias

1. [ROS99] C. Rosado, "Comunicaciones por Satélite", Limusa, México, 1999
2. [UIT94] "Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones", 1994
3. [PND] "Aplicación de los Sistemas por Satélite en el Plan Nacional de Desarrollo y en el proyecto e-México " Telecomunicaciones de México, 3 de septiembre del 2001.
4. [PRI93] Pritchard W. "Satellite Communications Systems Engineering", Prentice Hall, USA, 1993.
5. [COX92] D.C. COX, H.W. Arnold, "Results from the 19 and 28 GHz COMSTAR Satellite Propagation Experiments at Crawford Hill", Proc. IEEE, Vol. 70, 1992, p.458-488

Paginas de Internet

1. [SATMEX] <http://www.satmex.com>
2. [UIT] <http://www.uit.com>
3. [SCT] <http://www.sct.gob.mx>
4. [AGIT] <http://www.agitec.gob.mx/cuadro/region.html>
5. [INEGI] <http://www.inegi.gob.mx/>
6. [SPACE] "Características del sistema Spaceway". www.spaceway.com.
7. [TELED] "Características del sistema Teledesic". www.teledesic.com.
8. [ESW] "Características del sistema Euroskyway".
www.alespazio.it/program/euroskyway
9. [ITALS] "Características del sistema Italsat". www.alespazio.it/program/italsat
10. [ASTROL] "Características del sistema Astrolink". www.astrolink.com

CAPITULO 2

Técnicas de Acceso Satelital

2.1 Tipos de Modulación

La modulación es la modificación de los parámetros de una señal llamada portadora en función del voltaje instantáneo de otra señal llamada mensaje o moduladora. La señal portadora es generalmente una onda senoidal

$$c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi)$$

El mensaje o moduladora es la información que se quiere transmitir y no tiene una ecuación que la defina. Para fines matemáticos se usa una onda senoidal

$$m(t) = A_m \cos(\omega_m t)$$

En la primera ecuación de la portadora existen tres parámetros:

- La amplitud A_c
- La frecuencia o velocidad angular ω_c
- La fase ϕ

En modulación analógica hay tres variantes:

- Amplitud Modulada (AM)
- Frecuencia Modulada (FM)
- Fase Modulada (PM)

En modulación digital hay las mismas tres variantes básicas que se llaman:

- Variación de amplitud por interrupción (ASK)¹
- Variación de frecuencia por interrupción (FSK)²
- Variación de fase por interrupción (PSK)³

Vamos a considerar dos tipos de modulaciones PSK:

¹ Amplitude Shift Keying

² Frequency Shift Keying

³ Phase Shift Keying

- BPSK (Binary Phase Shift Keying)
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

La modulación de fase (PSK) es la más apropiada para enlaces por satélite, ya sea BPSK o QPSK. De hecho, tiene la ventaja de tener una envolvente constante, y en comparación con las FSK, consigue una mejor eficiencia espectral .

Un parámetro fundamental a la hora de escoger una modulación para un enlace por satélite es la ocupación espectral de la portadora en el repetidor del satélite. Se trata de ofrecer la mayor velocidad de transmisión ocupando el menor ancho de banda. Esto nos lleva al concepto de eficiencia espectral, que es el cociente de la velocidad binaria transmitida [bit/s] por una portadora entre el ancho de banda que ocupa [Hz].

2.1.1 Modulación BPSK

En la modulación BPSK se tiene dos fases de salida representadas por un 1 lógico y un 0 lógico, provenientes de una sola frecuencia portadora. Conforme la señal digital de entrada cambia de valor, la portadora de la salida se desplaza entre dos ángulos que se encuentran desfasados 180° entre sí.

La señal portadora de amplitud constante, cuando se modula, se multiplica por los datos binarios, es decir al 1 lógico se le asigna un voltaje positivo y al 0 lógico un voltaje negativo. De tal forma que la portadora $\text{sen}(\omega_c t)$ se multiplica por un +1 o -1 por lo que la señal de salida del modulador es $\text{sen}(\omega_c t)$ o $-\text{sen}(\omega_c t)$.

El ancho de banda BPSK es igual a la tasa de transmisión de los bits de entrada. Es necesario agregar el factor rolloff⁴ ($0 \leq \rho \leq 1$) ya que los moduladores a su salida requieren de un filtro de caída senoidal. El factor de rolloff es el parámetro del filtro que nos permite disminuir el ancho de banda. Por lo tanto el ancho de banda de la señal BPSK es: $BW = R_b(1 + \rho)$ donde R_b es la tasa de transmisión de la señal digital.

2.1.2 Modulación QPSK

Con QPSK para una sola frecuencia de la portadora son posibles cuatro fases de salida. Para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit en la entrada es decir se utilizan dos bits que proporcionan las siguientes combinaciones: 00, 01, 10 y 11. Generalmente un modulador QPSK está formado por dos moduladores BPSK en paralelo, donde uno de ellos tiene la entrada de uno de los dos bits de pareja y la señal del oscilador local, mientras que por el otro modulador se tiene el otro bit de la pareja y una señal desfasada 90° con respecto a la del oscilador.

⁴ El valor conservado típico de rolloff es de 0.5.

Como un modulador QPSK está formado por dos moduladores BPSK en paralelo, cada modulador BPSK genera una señal con una tasa de transmisión de la mitad de la señal original. Por lo tanto el ancho de banda de la señal QPSK es la mitad del ancho de banda de la señal BPSK dado por la siguiente fórmula: $BW = R_b (1 + \rho) / 2$.

2.2 Multiplexaje y Demultiplexaje

El multiplexaje consiste en la combinación de varias señales en una sola. Mientras que el demultiplexaje recupera las señales individuales de la señal multiplexada, asumiendo que las señales que fueron multiplexadas no se trasladaron. Existen los siguientes tipos de multiplexaje :

- FDM⁵: Es la suma de señales que ocupan diferentes bandas de frecuencias.
- TDM⁶: Consiste en multiplexar dos o más señales en diferentes ranuras de tiempo.
- CDM⁷: Las señales son codificadas con un código único antes de ser combinadas en el plano frecuencia tiempo.

2.3 Técnicas de Acceso Múltiple

El acceso múltiple es una variante de la multiplexación específicamente para los satélites de comunicación. El acceso múltiple es la multiplexación de señales de radiofrecuencia en un canal satelital. Es decir, el acceso múltiple es la técnica en donde dos o más estaciones terrenas utilizan el mismo transpondedor del satélite simultáneamente.

El concepto de acceso múltiple involucra sistemas que hacen posible la interconexión de varias estaciones terrenas a través de un solo transpondedor. Un transpondedor puede ser ingresado por una o múltiples portadoras. Estas portadoras pueden ser moduladas por uno o múltiples canales en banda base los cuales pueden incluir voz, datos y señales de video.

Existen tres tipos fundamentales de sistemas de acceso [PRI93]:

- FDMA⁸ : En esta técnica un transpondedor utiliza varias portadoras. El ancho de banda asociado a cada portadora puede ser tan pequeña como se requiera. FDMA puede usar tanto transmisión analógica como digital.

⁵ Frequency division multiplex (Multiplexaje por división de frecuencia)

⁶ Time division multiplex (Multiplexaje por división de tiempo)

⁷ Code division multiplex (multiplexaje por división de código)

⁸ Frequency-division multiple access (Acceso múltiple por división de frecuencia)

- TDMA⁹ : Se caracteriza por usar una sola portadora por transpondedor modulada digitalmente, donde el ancho de banda asociado a la portadora es el ancho de banda completo del transpondedor. La tasa de transmisión de la portadora es compartida en el tiempo entre un número de estaciones terrenas, de tal forma que la suma del tráfico (información útil mas encabezado) de todas las estaciones terrenas no exceda la tasa de la portadora. Aunque la principal ventaja del TDMA es usar una sola portadora por transpondedor, existen casos en donde el ancho de banda para TDMA puede ser una parte del ancho de banda del transpondedor.
- CDMA¹⁰ : Utiliza una portadora modulada digitalmente. Cada estación terrena transmite simultáneamente a una tasa de transmisión alta con un código único en la misma frecuencia, de tal forma que solo el receptor con el decodificador apropiado puede descifrar el mensaje. Generalmente, la portadora utiliza el total del ancho de banda del transpondedor.

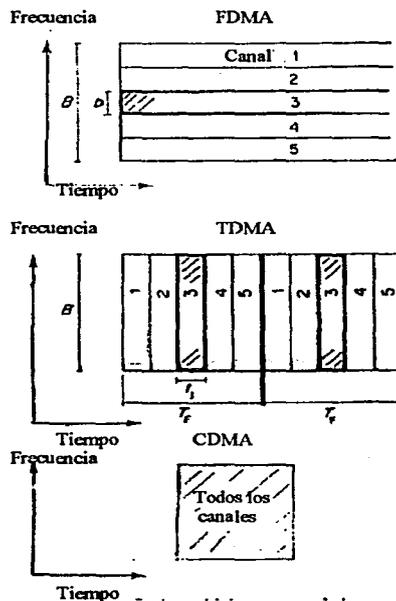


Figura 2.2 Técnicas básicas de acceso múltiple

A continuación se muestra una tabla de las principales características de los sistemas de acceso explicados anteriormente:

⁹ Time-division multiple access (Acceso múltiple por división de tiempo)

¹⁰ Code-division multiple access (Acceso múltiple por división de código)

Transmisión	Análogo o Digital	Análogo o Digital	Digital	Digital
Multiplexaje	Ninguno	FDM o TDM	TDM	TDM
Modulación	FM o PSK	FM o PSK	PSK	PSK o AM
Ancho de banda de la portadora	0.7 x tasa de transmisión	Depende del plano de asignación de frecuencias	Transpondedor completo o banda angosta	Transpondedor completo
Capacidad por transpondedor (MHz)	22 canales (solamente voz)	16 a 25 canales	28 canales	
Principales aplicaciones	Varias estaciones que manejan tráfico bajo	Enlaces punto-punto	Número intermedio de estaciones, tráfico moderado	Para aplicaciones que son sensibles a la interferencia.

Tabla 2.1 Características principales de las técnicas de acceso

FDMA	<p>Asignación de Frecuencias, acceso continuo y controlado del canal.</p> <p>Se recomienda cuando existen pocos nodos con mucho tráfico, con poco ancho de banda a velocidades bajas (menores que 128 Kbps).</p> <p>SCPC/FDMA tiene una capacidad del 100% (cero retardos)</p>	<p>-Disponibilidad fija del canal</p> <p>No se requiere control centralizado</p> <p>-Terminales de bajo costo.</p> <p>-Usuarios con diferentes capacidades pueden ser acomodados.</p>	<p>-Requiere backoff de intermodulación (bandas de guarda), esto reduce el caudal eficaz del transpondedor.</p> <p>-Sistema muy rígido, cambios en la red hace difícil el reasignamiento.</p> <p>-El ancho de banda se incrementa conforme el número de nodos aumenta.</p>
TDMA	<p>Asignación de ranuras de tiempo. Cada portadora ocupa diferente ranura. Se recomienda para muchos nodos con tráfico moderado.</p> <p>DAMA se recomienda para muchos nodos con poco tráfico.</p> <p>TDMA tiene una capacidad del 60% al 80%.</p>	<p>-Optimización del ancho de banda</p> <p>-La potencia y ancho de banda del transpondedor es totalmente utilizado.</p>	<p>-Tiempos de guarda y encabezados reducen el caudal eficaz.</p> <p>-Requiere de sincronización centralizada.</p> <p>-Terminales de alto costo</p>
CDMA	<p>Asignación de códigos a cada usuario.</p> <p>CDMA Capacidad del canal del 10%.</p>	<p>-Se trasmite a baja potencia</p> <p>-Control no centralizado, canales fijos.</p> <p>-Inmune a la interferencia</p>	<p>Requiere de gran ancho de banda.</p> <p>Existe un número limitado de códigos ortogonales.</p> <p>Trabajan solo eficientemente con velocidades preseleccionadas.</p>

Tabla 2.2 Comparación de las ventajas y desventajas de las técnicas de acceso

2.4 Sistemas FDMA

Existen dos tipos de sistemas FDMA. El primer tipo de sistemas utiliza múltiples canales, con anchos de banda variables, por portadora (MCPC). El segundo sistema emplea un solo canal por portadora (SCPC)¹¹, cuyo ancho de banda modulado no es variable.

2.4.1 MCPC Digital

Es utilizado para la transmisión de señales digitales codificadas en banda base. Las señales multiplexadas son moduladas en portadoras digitales usando PSK coherente.¹² En los requerimientos operacionales no requiere de un reloj de sincronización en la red sino de una coordinación de frecuencias.

La capacidad real del sistema es el máximo número de canales limitados simultáneamente por la potencia y el ancho de banda. El límite de la potencia puede ser calculado comparando la densidad portadora a ruido requerida por cada canal con la densidad portadora a ruido disponible en todo el ancho de banda del transpondedor.

Mientras que el límite del ancho de banda se obtiene sumando los anchos de banda de las portadoras individuales tomando en cuenta el 20 % que se utiliza para banda de guardia¹³.



Figura 2.3 Efecto del transpondedor MCPC

2.4.2 SCPC Digital

En SCPC cada canal de voz y/o datos es modulado sobre una portadora de radiofrecuencia distinta.



Figura 2.4 Efecto del transpondedor SCPC

En la figura se muestra una típica organización del sistema SCPC

¹¹ Single Channel per Carrier

¹² La detección es coherente cuando se tiene una señal de referencia para comparar respecto a que se mide la fase.

¹³ Es el espacio que existe entre el ancho de banda de cada canal.

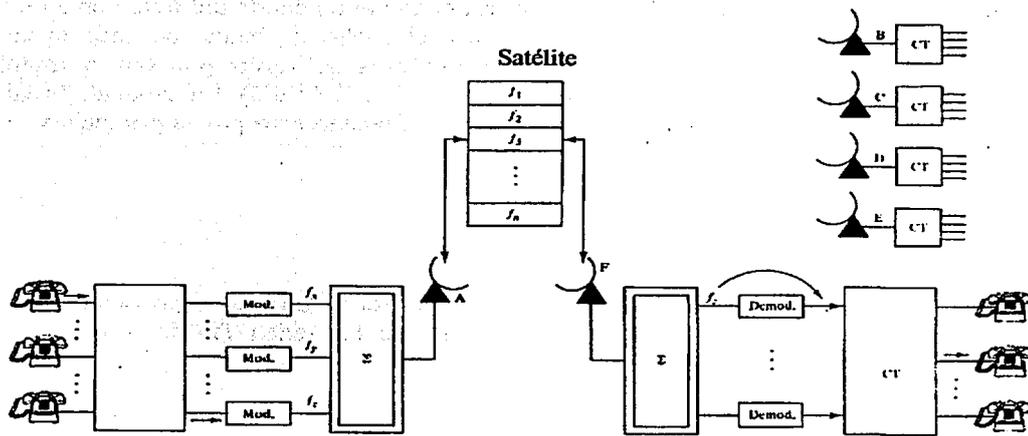


Figura 2.5 Sistema SCPC

Como se observa en la figura los usuarios se conectan mediante una relación uno a uno con los equipos SCPC de la estación terrena. Es decir, a cada canal de entrada se la asocia un equipo SCPC que convierte la voz y/o datos en una portadora de radiofrecuencia modulada en PSK con el fin de lograr la comunicación con el satélite. De tal forma, que para establecer una conversación entre dos puntos se eligen dos canales de frecuencia, uno de transmisión y otro de recepción. Del lado del receptor se cuenta con el equipo necesario para demodular la portadora de radiofrecuencia y entregar las señales de voz y datos al usuario final.

Las portadoras del transpondedor del satélite pueden ser asignadas de forma fija o bajo demanda. En la forma fija, cada portadora tiene asignado exclusivamente un canal de comunicación permanente. Mientras que en la asignación bajo demanda ningún canal esta asociado de forma permanente a una sola portadora. Es decir, cada portadora dentro del ancho de banda del transpondedor del satélite se vuelve parte de un conjunto de portadoras disponibles que pueden ser asignadas a cualquier canal según se vayan necesitando.

Una de las principales características de los sistemas SCPC es la habilidad de emplear portadoras activadas por voz, esto se refiere a que la portadora de radiofrecuencia es activada únicamente en presencia de voz. Después de varios años de estudio, se ha determinado que durante una conversación telefónica únicamente se ocupa el 40% del ancho de banda del transpondedor debido a los grandes espacios de silencios que hay en dicha conversación. Por lo cual, el sistema SCPC nos permite ahorrarnos 4dB de la potencia del satélite y a su vez nos permite acomodar un mayor número de portadoras por transpondedor. [PRI93]

El límite de la potencia puede ser calculado comparando la densidad portadora a ruido requerida por cada canal con la densidad portadora a ruido disponible en todo el ancho de banda del transpondedor. Debido a que el ancho de banda de cada portadora es el mismo

podemos determinar el número de canales que soporta el ancho de banda del transpondedor dividiendo el ancho de banda del transpondedor entre el ancho de banda de cada canal incluyendo los márgenes. La ventaja de emplear portadoras activadas por voz permite incrementar la capacidad límite de potencia por un factor de 2.5 (4 dB). La capacidad real del sistema es el máximo número de canales limitados simultáneamente por la potencia y el ancho de banda.

2.5 Sistemas TDMA

La implementación más clásica de TDMA consiste en tener una sola portadora por transpondedor. Esta implementación es la más común para las redes TDMA y desde el punto de vista de la capacidad del satélite es el más eficiente.



Figura 2.6 Efecto del transpondedor TDMA

El transpondedor es compartido en el tiempo por todas las estaciones terrenas que están transmitiendo información, las cuales envían la información al satélite a la misma tasa de transmisión usando la misma portadora. Todas las ráfagas de información recibidas de las estaciones son retransmitidas por el satélite a todas ellas como se ve en la figura. Para fines de sincronización se define una estación de referencia cuya información de tiempo y posición les sirve como referencia a todas las demás estaciones.

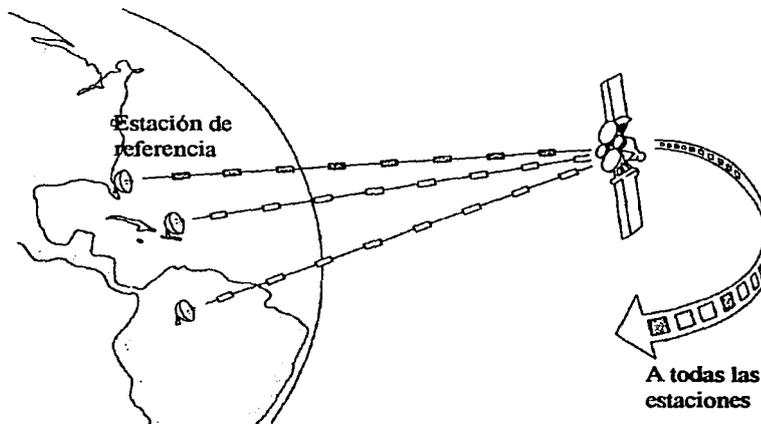


Figura 2.7 Concepto básico de TDMA

Para controlar apropiadamente el intervalo de ráfagas de información de las múltiples estaciones terrenas, el sistema TDMA utiliza la trama de organización que se muestra en la figura

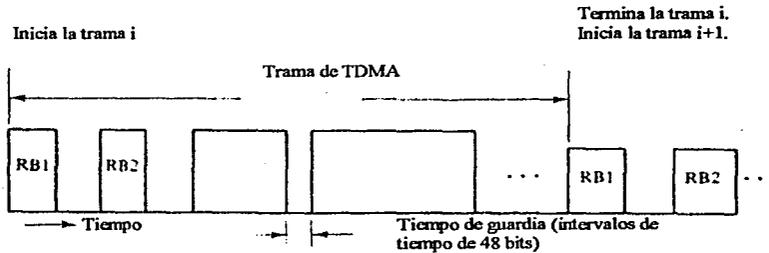


Figura 2.8 Trama TDMA

Usualmente la trama comienza con una referencia de la estación primaria seguida por una referencia redundante de la estación secundaria la cual es usada como respaldo. Las dos referencias son seguidas por la información de cada estación de la red, la cual es transmitida secuencialmente. La trama termina cuando se completa la transmisión de la última estación terrena. Las tramas siguientes repiten la misma estructura y el intervalo de tiempo de cada trama es de aproximadamente de unos cuantos milisegundos. En resumen, una trama consiste de un encabezado llamado preámbulo y de la información de tráfico.

Uno de los principales problemas del diseño del sistema TDMA es la sincronización de las tramas cuando se cuenta con un gran número de estaciones terrenas, ya que la trama se organiza de tal forma que las ráfagas de información provenientes de las diferentes estaciones terrenas estén lo mas cerca posible sin que estas se traslapen. Como las estaciones transmiten a intervalos de tiempo muy pequeños, deben contar con módulos de almacenamiento de información digital, que funcionan como memorias de amortiguamiento y que van liberando la información por paquetes en cada ráfaga.

Cuando existe un exceso de tráfico es preciso reorganizar la distribución de los tiempos con una nueva estructura de marco o trama de transmisión, dándole ranuras de tiempo mas largas a las estaciones con exceso de tráfico y ranuras mas cortas a las de poco tráfico; la nueva estructura de marco se repite secuencialmente hasta que haya necesidad de hacer otro cambio. Hay varios métodos para cambiar la estructura de la trama, de acuerdo a la demanda, el más usado es mediante un programa establecido en base a las estadísticas de tráfico.

El proceso de sincronización se lleva a cabo en dos pasos. El primero, la adquisición de fase, se refiere al proceso por el cual las estaciones terrenas entran a la red. El segundo es la sincronización de fase, el cual ocurre después de que el usuario ha entrado a la trama TDMA y este debe de mantener la misma posición dentro de la trama durante la operación.

En el caso en que el sistema TDMA emplee múltiples haces puntuales se utilizan otros métodos de sincronización que incluyen la sincronización de lazo abierto, la cual depende del cálculo del retardo conocidas las coordenadas del satélite y de la estación terrena,

tomando en cuenta las variaciones de la posición del satélite en el tiempo. Otro método conocido es el de retroalimentación cooperativa donde la información de la posición del satélite y las variaciones en tiempo real de él, son constantemente comunicadas a las estaciones terrenas con el fin de tener un mayor control en los procesos de adquisición y sincronización de fase.

La capacidad del canal de voz del sistema TDMA puede ser calculada como una función del número de accesos (número de estaciones terrenas en la red) obteniendo una relación entre la tasa de los bits de información y la tasa de los bits del canal de voz. Para determinar la capacidad del canal en TDMA se sigue el siguiente método[PRI99] :

- La tasa de transmisión total disponible en un sistema TDMA esta dada por

$$R_T = \frac{b_T}{T_F}$$

donde b_T es el número total de bits en la trama TDMA y T_F en el tiempo que dura la trama.

- La tasa del preámbulo es

$$R_p = \frac{b_p}{T_F}$$

donde b_p es el número total de bits del preámbulo.

- La tasa de bits de referencia por ráfaga es

$$R_r = \frac{b_r}{T_F}$$

donde b_r es el número total de bits por ráfaga (generalmente son 576 bits) .

- La tasa de bits de guardia es

$$R_g = \frac{b_g}{T_F}$$

donde b_g es el número total de bits de guardia (generalmente son 48 bits) .

- La tasa de tráfico disponible esta dada por

$$R_t = R_T - n_r(R_r + R_g) - K(R_p + R_g)$$

donde n_r es el número de estaciones terrenas que se usan como referencia y K es el número de estaciones terrenas de tráfico de la red.

- De tal forma que la capacidad de canales de voz es

$$\chi = \frac{R_t}{R_c} = \frac{R_T}{R_c} - \frac{n_r(R_r + R_g)}{R_c} - \frac{K(R_p + R_g)}{R_c}$$

donde R_c es la tasa de transmisión efectiva de canal de voz.

2.5.1 TDMA de Banda Angosta

Algunas veces las señales TDMA son transmitidas dentro de una sub-banda del total del ancho de banda del transpondedor como se muestra en la figura.

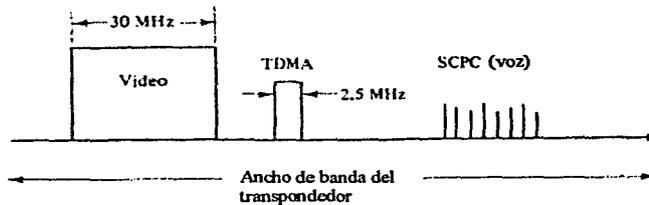


Figura 2.9 Transpondedor multiservicio de TDMA de banda angosta

Un solo transpondedor puede ser empleado para proveer múltiples servicios en una configuración FDMA. Desde luego, esta aplicación de TDMA no goza de las ventajas de la no intermodulación que tiene una sola portadora, pero puede compartir recursos con otros sistemas de acceso múltiple. La ventaja de este sistema radica en que no requiere de la completa utilización de los recursos del transpondedor y cumple con los requerimientos de redes pequeñas y goza de una flexibilidad de interconectividad.

2.5.2 TDMA con Conmutación en el Satélite

Los satélites de comunicaciones modernos son diseñados con varios haces de antenas brindando servicios a diferentes regiones de la superficie terrestre. Cada haz tiene asociado un receptor y un transmisor en el transpondedor y las interconexiones entre estos son conmutables. Estos satélites son típicamente asociados con conmutadores de radiofrecuencia en una red y pueden ser dirigidos desde la tierra para establecer las conexiones del canal deseado. La rápida reconfiguración electrónica que provee el sistema conmutable maximiza el flujo de tráfico. La ventaja es que permite usar el switch del satélite de tal manera que conecta haces individuales de subida con haces individuales de bajada. Una configuración muy común de este sistema es

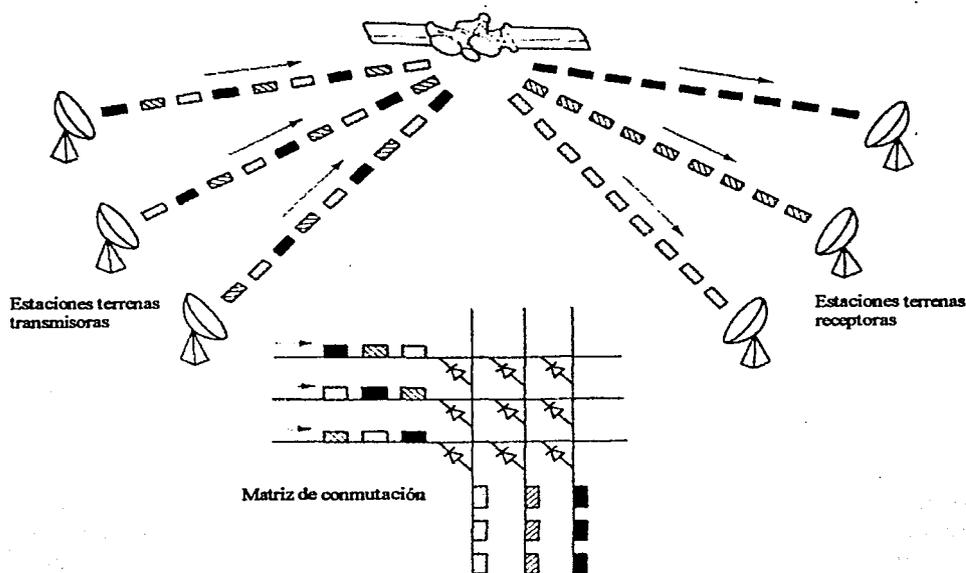


Figura 2.10 TDMA con Conmutación en el Satélite

2.6 CDMA

Esta técnica también es llamada Espectro Esparcido. Como su nombre lo indica se refiere a técnicas de modulación que convierten la señal banda-base en una señal modulada con un ancho de banda cuya magnitud es mucho mayor al ancho de banda necesario para transmitir una señal banda-base.

CDMA consiste en darle a cada usuario un código pseudoaleatorio único en vez de darle una portadora única o una ranura de tiempo como se hace en FDMA y TDMA. Por lo cual, para detectar la señal deseada, en presencia de tanta interferencia, la señal codificada se correlaciona con el código aleatorio correspondiente. CDMA es una técnica de acceso robusta en contra de la interferencia y es por eso que se ha utilizado en aplicaciones militares.

CDMA es particularmente útil a transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia; al igual que TDMA es totalmente digital y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras o receptoras pueden ser muy pequeñas sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte presenta el inconveniente que ocupa mucho ancho de banda (transpondedor completo), pues cada bit de información transmitido se transforma en un nuevo tren de bits mas largo de acuerdo al código determinado. CDMA es bastante flexible porque no necesita una coordinación de

tiempo precisa entre sus transmisores. De esta manera el CDMA funciona con estaciones terrenas poco complejas, de bajo costo y robustas a la interferencia.

2.7 Métodos de Acceso Múltiple Aleatorio por División de Tiempo (ALOHA)

Este método permite a estaciones terrenas pequeñas y de bajo costo comunicarse con un mínimo de protocolos. Su forma de trabajar es muy similar a la de TDMA con la diferencia de que no se necesita una estación de referencia que indique la organización de la red y los arreglos de tiempo.

El concepto del sistema tiene los siguientes modos :

- **Modo de transmisión :** Los usuarios transmiten cuando ellos lo desean, codificando su transmisión con un código de detección de error.
- **Modo de escucha :** Después de la transmisión de un mensaje el usuario espera la aprobación del receptor. La transmisión de diferentes estaciones terrenas se pueden traslapar en el tiempo, causando errores de recepción en el contenido de cada mensaje, es decir hubo una colisión. En caso de que haya una colisión el receptor le manda un aviso al transmisor pidiendo una retransmisión.
- **Modo de transmisión :** Cuando hay una colisión el transmisor espera un tiempo aleatorio para volver a transmitir su mensaje.
- **Modo de tiempo fuera :** Si el transmisor no recibe ningún tipo de aviso del receptor, el transmisor asume que el mensaje no llegó y lo retransmite.

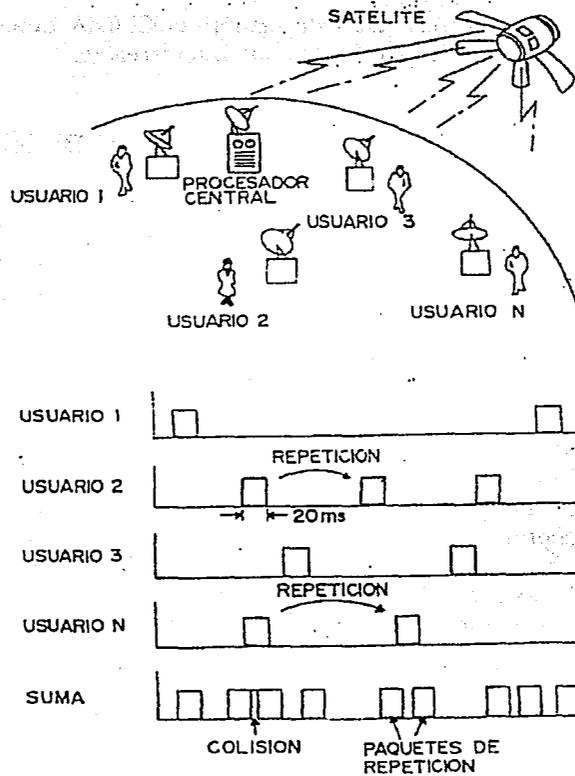


Figura 2.11 Operación del Sistema Aloha

2.7.1 Aloha Ranurado

Es mucho más complejo, ya que para la transmisión de paquetes se establecen ranuras de tiempo, pero sin preasignación para cada estación, por lo que cualquier estación puede ocupar cualquier ranura. Cada estación sólo puede transmitir al iniciar el intervalo de una ranura de tiempo, sincronizándose con las demás estaciones, disminuyendo lo aleatorio de cada emisión. De esta forma, no existen colisiones, las ráfagas llegan a su destino sin interferencia logrando una capacidad máxima de utilización del doble del sistema ALOHA puro.

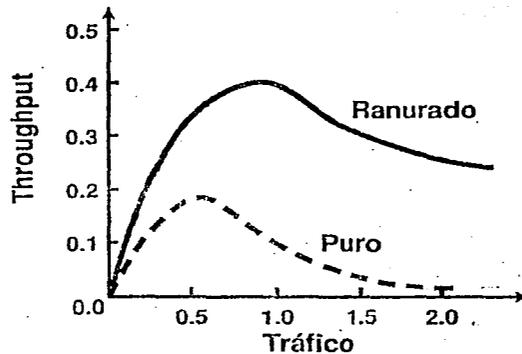


Figura 2.12 Throughput vs. Tráfico en canales Aloha

2.7.2 Aloha Reservado

Una mejora significativa del sistema ALOHA fue la introducción del sistema ALOHA reservado, el cual tiene dos modos básicos de operación: el no reservado y el reservado.

En el modo no reservado se establece una trama de tiempo y se divide en pequeñas subranuras de reservación. Los usuarios utilizan estas pequeñas subranuras para reservar mensajes. Después de la petición de reservación el usuario recibe la aprobación y la asignación de su ranura.

En el modo reservado la trama de tiempo se divide $M+1$ ranuras cuando se hace la reservación, las primeras M ranuras son usadas para la transmisión del mensaje, y la última ranura se divide en subranuras que se utilizan para la petición de reservaciones. Los usuarios pueden mandar paquetes solo en la porción asignada por las M ranuras.

2.8 Codificación y Decodificación

Las técnicas de codificación son utilizadas dentro de las funciones de los módems, con el objeto de reducir la razón E_b/N_0 para lograr una calidad de BER determinada. El proceso de codificación consiste en añadir bits de redundancia de una forma controlada a la información que requiere protección. Esta información adicional suministrada para redundancia puede ser usada para detectar y/o corregir errores que ocurren durante la transmisión obligando a utilizar un mayor ancho de banda o a reducir la velocidad binaria de información, lo anterior evita la necesidad de incrementar la potencia transmitida.

Existen dos tipos de codificación:

- FEC¹⁴: codificación que permite detectar y corregir los errores producidos.
- ARQ¹⁵: codificación para detectar solo errores en el trayecto de la transmisión.

2.8.1 ARQ

Es un código que detecta el mayor número posible de errores ya que si se detecta un error lo que se hace es pedir una retransmisión por parte del emisor, y si no se detecta error alguno, se supone que la trama ha llegado sin errores.

Existen tres tipos principales de ARQ:

- ARQ de Parada y Espera: En este sistema de transmisión, el emisor envía una trama y espera a que le llegue el asentimiento del receptor para enviar la siguiente. El receptor puede enviar un asentimiento positivo (ACK¹⁶): la trama me ha llegado sin errores o bien un asentimiento negativo (NAK¹⁷): ha ocurrido un error. Si al emisor le llega un NAK, retransmite la última trama, en caso contrario transmite la siguiente. En este sistema el emisor solo tiene que tener en memoria la última trama que ha enviado ya que es la única que tiene pendiente de ser asentida.
- ARQ de Envío Continuo y Rechazo Simple: En este caso, se supone que el emisor no espera a recibir un asentimiento del receptor sino que continua transmitiendo tramas que a su vez almacena en buffer hasta que sean asentidas, es una ventana deslizante en el emisor. Para diferenciar una trama de las demás les añade un número de secuencia supuestamente infinito, pero que no aumenta el número de bits de redundancia (es uno de los problemas en la práctica). El receptor asiente cada trama con su número correspondiente lo que libera la trama correspondiente en el buffer del emisor. Si una trama es errónea, el emisor vuelve atrás y retransmite a partir de esa trama (lo que hace no viable este sistema para probabilidades de error elevadas). El receptor solo tiene que almacenar una trama en su registro pues al final siempre le llegan en orden.
- ARQ de Envío Continuo y Rechazo Selectivo: Para evitar perder tiempo en transmisión, se busca repetir solo las tramas con error y no el resto. Para eso se usa el emisor del ARQ anterior: transmisión continua salvo que solo retransmite la trama defectuosa (lo sabe por el número de secuencia del asentimiento). El receptor se complica ya que ha de guardar en un registro todas las tramas posteriores a un error hasta que le llegue la retransmisión de la trama para poder entregarlas en orden. Esto complica el sistema bastante: son necesarias ventanas deslizantes tanto en receptor como en emisor y para probabilidades de error bajas no da una gran diferencia en eficacia respecto del sistema ARQ anterior.

¹⁴ Forward Error Correction

¹⁵ Automatic Repeat reQuest

¹⁶ Negative Acknowledgement

¹⁷ Acknowledgement

2.8.2 FEC

En esta técnica de codificación el receptor utiliza los bits de redundancia para corregir los errores de la transmisión y reconstruir el mensaje original. Este sistema elimina los retrasos debidos a la retransmisión y los requerimientos de sistema de memoria involucrados en la técnica ARQ.

Las ventajas de la corrección directa de errores son las siguientes:

- No se requiere un canal de retransmisión.
- Se trabaja con una eficiencia de carga útil constante.
- El retraso total del sistema es constante.

Las desventajas son:

- Eficiencia de carga útil moderada, que disminuye al emplearse códigos más poderosos.
- Dificultad en la selección del código de corrección.
- La confiabilidad de los datos recibidos es altamente sensitiva a cualquier degradación de la condiciones del canal.

Generalmente los códigos FEC son clasificados en códigos de bloque o en códigos convolutivos.

En los códigos de bloque la información es aceptada en bloques de k símbolos y son entregados n símbolos donde $n > k$ debido a los bits de redundancia. Una de las principales características del código de bloque es que los bloques de información son independientes entre sí, es decir cada bloque es codificado independientemente en el receptor. Los códigos de bloque también son conocidos como códigos lineales y son muy utilizados en los sistemas satelitales.

Los códigos convolutivos también tienen n bits de salida por k bits de entrada donde $n > k$, pero este método difiere del anterior. La diferencia radica en que la salida del decodificador no sólo depende de los últimos k bits de entrada sino que también se agregan bits adicionales al principio.

El concepto de tasa de codificación se define como: $k/n = R$ y se aplica para ambos códigos. Las tasas de codificación más comunes son $1/2$, $3/4$ y $7/8$, lo que significa que en una tasa de $1/2$ se representa que de los 2 bits totales uno es de información y el otro de corrección.

Como se muestra en la tabla el tener un ancho de banda mayor implica una disminución en la tasa de codificación y un incremento en la ganancia es decir en la relación (E_b/N_0) .

1	$\frac{1}{8}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
0	2.55	3.8	4.3	4.77	5.4
1	1.14	1.25	1.33	1.55	2

Tabla 2.3 Tasas de codificación

Los rangos de las tasas de transmisión típicas para los servicios de datos, voz y video son los que se muestran en la tabla 2.4.

Voz y datos	16.00	$\frac{1}{2}$	10^{-3}	6.2
	19.20	$\frac{1}{2}$	$10^{-3}, 10^{-4}$	6.2, 7.0
	32.00	$\frac{1}{2}$	10^{-3}	6.2
	56.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}$	$10^{-3}, 10^{-4}$	6.2, 7.0
	64.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}$	$10^{-3}, 10^{-4}$	6.2, 7.0
Datos	128.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}$	$10^{-3}, 10^{-4}$	6.2, 7.0
	256.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}$	$10^{-3}, 10^{-4}$	6.2, 7.0
	384.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{8}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	6.2, 7.0, 8.0
	512.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{8}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	6.2, 7.0, 8.0
	768.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{1}{8}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	6.2, 7.0, 8.0
	1024.00	$\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{1}{8}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	6.2, 6.5, 7.0, 8.0
	2048.00	$\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{1}{8}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	6.2, 6.5, 7.0, 8.0
Datos y video	6600.00	$\frac{3}{4}, \frac{1}{8}$	$10^{-4}, 10^{-5}$	7.0, 8.0
	27000.00	$\frac{1}{2}, \frac{3}{4}$	$10^{-3}, 10^{-4}$	6.2, 7.0
	45000.00	$\frac{3}{4}$	10^{-4}	7.0

Tabla 2.4 Tasas de transmisión típicas utilizadas en la práctica para el Servicio Fijo por Satélite

2.9 Consideraciones para la Ingeniería del Sistema

El diseño de un sistema se enfrenta a la selección de la técnica de acceso mas apropiada para satisfacer los requerimientos de los servicios de comunicaciones brindados. Para decidir que técnica cumple mejor las aplicaciones deseadas se deben de considerar los siguientes factores:

- **Capacidad** : La capacidad de un sistema de acceso múltiple se define en términos de la calidad especificada para un número de canales de voz y/o datos que pueden ser acomodados usando la potencia y el ancho de banda de un solo transpondedor.
- **Potencia y Ancho de Banda** : Son los recursos fundamentales de un enlace satelital. La potencia y el ancho de banda disponible en un sistema de comunicación satelital se ve directamente reflejada en el costo. Para poder utilizar la potencia y el ancho de banda de una forma eficiente, la técnica de acceso múltiple debe de ser diseñada tomando en cuenta que la potencia y el ancho de banda deben de ser limitados.

- **Interconectividad :** La topología de red de varios servicios de comunicación indica los requerimientos de interconectividad. En una red punto-punto económicamente es más recomendable usar otra tecnología de transmisión. Sin embargo, en una topología de red multinodo es conveniente usar técnicas de acceso múltiples para lograr la interconectividad entre usuarios a diferentes tasas de transmisión y niveles de calidad. Frecuentemente, los satélites son la solución económicamente más viable por enlaces multipunto.
- **Adaptabilidad al Crecimiento Futuro :** Los equipos de acceso múltiple usados en las estaciones terrenas tienen un costo significativo. Por lo tanto, el diseño debe de considerar la habilidad de la técnica para adaptarse al crecimiento del tráfico y a cambios en los patrones de este.
- **Interfaz Terrestre :** Es de suma importancia que la interconectividad de última milla¹⁸ entre la estación terrena y el usuario le brinden una efectividad tecnológica y económica a la técnica de acceso múltiple empleada.
- **Seguridad de Comunicación :** Las comunicaciones actuales por satélite enfrentan el problema de proteger datos confidenciales de la industria privada y gubernamental, ya que son vulnerables a la recepción no autorizada.
- **Efectividad en el costo :** El costo por canal en la implementación de las técnicas de acceso es una consideración muy importante para la ingeniería del sistema. Debido al drástico desarrollo y al continuo decrecimiento del costo de la tecnología digital ésta cada vez se hace económicamente más deseable.

¹⁸ Conexión final de la central hasta el domicilio del usuario central.

Referencias

1. [PRI93] Pritchard W. "Satellite Communications Systems Engineering", Prentice Hall, USA, 1993.
2. [MAR93] G. Maral, "Satellite Communications Systems", John Wiley & Sons, 1993.
3. [STREM89] Stremler, "Sistemas de comunicación", Fondo Educativo Interamericano, México, 1989.
4. [SKLAR88] Sklar Bernard, "Digital Communications. Fundamentals and Applications", Prentice may, USA, 1988.

Páginas de Internet

1. [APTR], "Apuntes de transmisión de datos",
<http://bajo.it.uc3m.es/~prometeo/trdt/html/temas/temas.html#tema9>
2. <http://www.eveliux.com/fundatel/viasat02.html>

CAPITULO 3

Enlaces Satelitales

3.1 Conceptos Básicos para el Cálculo de Enlaces Satelitales

Para llevar a cabo los cálculos de enlace se deben de tener en mente los conceptos que se muestran en la figura y que ha continuación se analizan

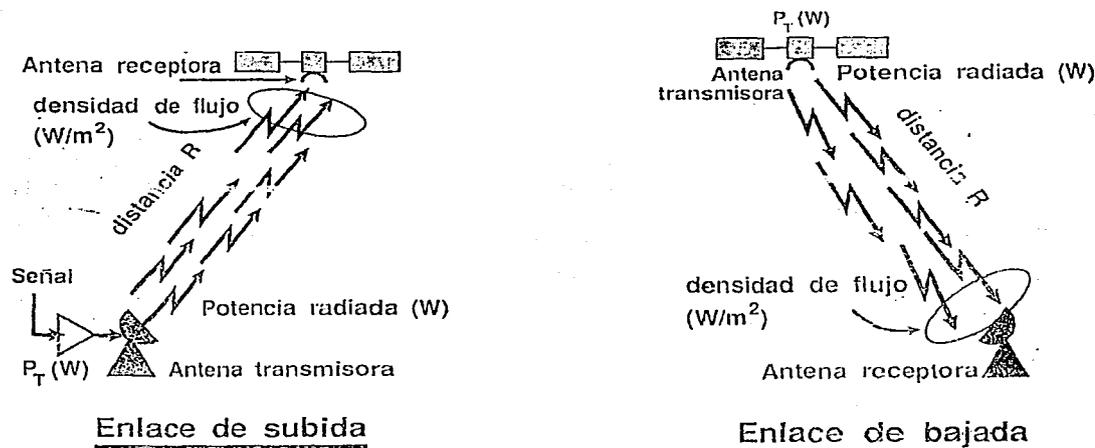


Figura 3.1 Concepto básico de un enlace

3.1.1 Patrón de Radiación de una Antena

Un patrón de radiación es un diagrama polar o gráfica que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico (E) o de la densidad de potencia (P), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativo.

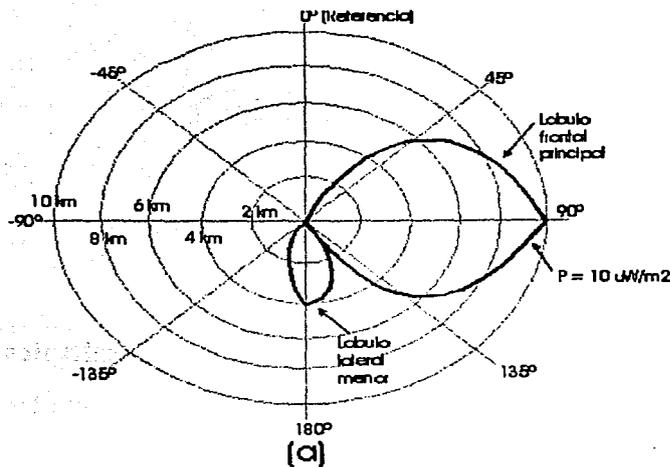


Figura 3.2 Patrón de radiación de una antena

3.1.2 Ganancia de una Antena

La ganancia de una antena es la relación entre la intensidad de radiación en una dirección determinada y la la intensidad de potencia de una antena de referencia alimentada con la misma potencia. La antena de referencia teórica está constituida por la antena isotrópica que radia de forma igual en todas direcciones. Está claro que no existe una antena como esta en la práctica pero existen sin embargo algunas antenas de referencia que si son realizables y cuya ganancia sobre la isotrópica es conocida o se puede calcular y medir y nos sirven como antenas de referencia.

El dipolo de 1/2 onda es una de referencia. Presenta una ganancia de 2.15 dBi, esta anotación dBi, significa que son decibeles sobre isotrópica.

Sin la indicación de la referencia, el valor de la ganancia no tiene ningún significado, por eso cuando se dice que una antena direccional tiene una ganancia de 7.5 dBd sabemos que esa antena tendrá una ganancia de $7.5 + 2.15 = 9.65$ decibeles sobre isotrópica ya que dBd significa ganancia sobre dipolo y el dipolo tiene una ganancia teórica de 2.15 decibeles sobre isotrópica.

La ganancia de una antena siempre esta dada para la dirección de máxima radiación del lóbulo principal. En un dipolo son 2 los lóbulos principales de radiación a diferencia de los arreglos direccionales que tienen solamente un lóbulo principal.

La ganancia máxima de una antena esta dada por la fórmula

$$G_{\max} = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

donde

D es el diámetro de la antena (m)

λ es la longitud de onda de

η es la eficiencia de apertura de la antena, cuyo valor típico es 0.6

La ganancia máxima en dB es

$$[G_{\max}]_{dB} = 10 \log G_{\max}$$

3.1.3 Ancho del Haz de la Antena

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos "principales". El ancho del haz para una antena cuyo patrón de radiación se muestra en la figura siguiente es el ángulo formado entre los puntos A, X y B (ángulo q). Los puntos A y B son los puntos de media potencia (la densidad de potencia en estos puntos es la mitad de lo que es, una distancia igual de la antena en la dirección de la máxima radiación). El ancho de haz de la antena se llama ancho de haz de -3dB o ancho de haz de media potencia.

El ancho del haz se calcula mediante la ecuación

$$\theta_{-3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} \quad (\text{grados}) \quad (2)$$

3.1.4 PIRE : Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

El PIRE, como se observa en la figura, es el producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia con relación a una antena isotrópica en una dirección dada. Basándonos en la figura el PIRE es

$$PIRE_{\alpha} = P_T G_{T\alpha}$$

donde

P_T es la potencia del transmisor (W)

$G_{T\alpha}$ es la ganancia de la antena transmisora en función del ángulo α

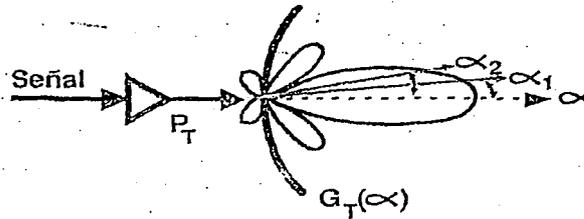


Figura 3.3 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

La ganancia de la antena transmisora en función del ángulo α se calcula mediante la fórmula

$$[G_{T\alpha}]_{dB} = [G_{max}]_{dB} - 12 \left(\frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right)^2$$

Por lo tanto

$$[PIRE_{\alpha}]_{dBW} = [P_T]_{dBW} + [G_{max}]_{dB} - 12 \left(\frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right)^2$$

Donde el factor $[P_T]_{dBW}$ se refiere a la potencia que llega a la entrada de la antena. Este factor considera las pérdidas del amplificador de alta potencia (HPA) a la entrada de la antena y generalmente son muy pequeñas (0.3 dB). Por lo tanto, la fórmula anterior queda de la siguiente manera.

$$[PIRE_{\alpha}]_{dBW} = [P_{HPA}]_{dBW} - L_{HPA-ANTENA} + [G_{MAX}]_{dB} - 12 \left[\frac{\alpha}{\theta_{-3dB}} \right]^2 \quad (3)$$

De tal forma que cuando $\alpha=0$ el PIRE es máximo y se calcula como

$$PIRE_{max} = P_T G_{max}$$

Por lo tanto

$$[PIRE_{max}]_{dBW} = [P_T]_{dBW} + [G_{max}]_{dB}$$

3.1.5 Densidad de Flujo en el Punto Receptor

La densidad de flujo como su nombre lo indica es la potencia contenida en una unidad de área que es recibida por el receptor. Si nuestro transmisor es una fuente isotrópica la densidad de potencia se calcula suponiendo que la potencia total irradiada se encuentra distribuida de igual forma sobre la superficie de la esfera. A esta densidad de potencia se le conoce como densidad isotrópica. Si multiplicamos la densidad isotrópica por la ganancia de la antena obtenemos la densidad de flujo.

$$F = \frac{P_T}{4\pi R^2} * G_T \quad [W / m^2] \quad (4)$$

Basándonos en la figura, la potencia [W] recibida en el área A [m²] es el producto de la densidad de flujo por el área del receptor.

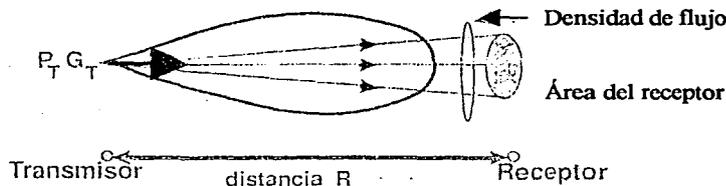


Figura 3.4 Densidad de flujo en el punto receptor

3.1.6 Pérdidas de Potencia por Propagación en el Espacio Libre

Como se muestra en la figura la potencia total recibida esta dada por

$$P_R = F A_{ef} [W] = (P_T G_T) \frac{A_{ef}}{4\pi R^2} = (PIRE) \frac{A_{ef}}{4\pi R^2} \quad (5)$$

donde el área efectiva es

$$A_{ef} [m^2] = (\text{eficiencia de recepcion})(\text{area real})$$

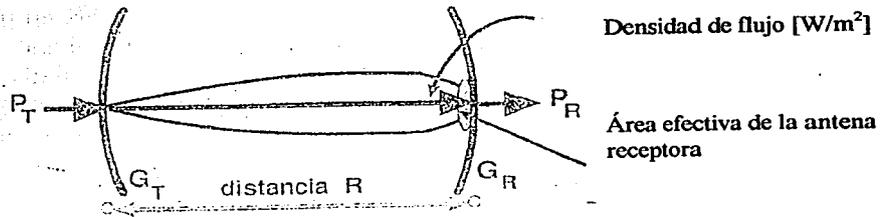


Figura 3.5 Pérdida de potencia por propagación en el espacio libre

El área efectiva A_{ef} es función de la ganancia G_R

$$G_R = A_{ef} \frac{4\pi}{\lambda^2} \Rightarrow A_{ef} = \frac{G_R \lambda^2}{4\pi} \quad [m^2] \quad (6)$$

Si $\eta=1$ la ganancia esta dada por

$$G_R = \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde $\frac{\pi D^2}{4}$ es el área real de apertura.

Por lo tanto la potencia recibida P_R es

$$P_R = (P_T G_T) \frac{G_R}{L_{el}} \quad (7)$$

y la atenuación o perdida de potencia por propagación en el espacio libre es

$$L_{el} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (8)$$

Pasando la formula (8) a dB

$$[L_{el}]_{dB} = 10 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{4\pi R f}{c} \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi}{0.3} \right) + 20 \log(R_{(km)}) + 20 \log(f_{(MHz)})$$

$$[L_{el}]_{dB} = 32.44 + 20 \log(R_{(km)}) + 20 \log(f_{(MHz)}) \quad (9)$$

Así

$$[P_R]_{dBW} = [PIRE]_{dBW} + [G_R]_{dB} - [L_{el}]_{dB} \quad (10)$$

3.1.7 Atenuación L_{el} en Función de las Coordenadas Geográficas del Satélite y de la Estación Terrena

Los parámetros ha considerar para el cálculo de dicha atenuación L son :

R_o : altitud del satélite sobre el nivel del mar. En el plano ecuatorial esta distancia es igual a 35,786 km

R : distancia de la estación terrena al satélite.

l : latitud de la estación terrena.

L_R : longitud relativa entre la estación terrena y el satélite.

Como se ve en la figura, la atenuación se calcula de la siguiente forma

$$L = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi R_o}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{R}{R_o} \right)^2$$
$$\left(\frac{R}{R_o} \right)^2 = 1 + 0.42(1 - \cos l \cos L)$$

Generalmente $1 \leq \left(\frac{R}{R_o} \right)^2 \leq 1.365$ que es de 0 a 1.3dB y $\left(\frac{4\pi R_o}{\lambda} \right)^2$ es del orden de 200dB a 6GHz.

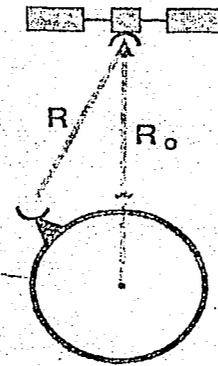


Figura 3.6 Atenuación en función de las coordenadas geográficas del satélite y de la estación terrena

3.1.8 Atenuación Producida por los Gases de la Atmósfera L_A

Para frecuencias menores a los 10GHz se puede despreciar, para el diseño de enlaces, las atenuaciones debidas a la absorción atmosférica. Pero para frecuencias mayores es importante considerar dichas atenuaciones ya que ciertas bandas de frecuencias no están disponibles debido a la gran absorción por gases.

La absorción por moléculas de oxígeno y vapor de agua son unas de las principales causas que provocan la atenuación por gases. Esta atenuación se incrementa al cambiar la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, la cual es diferente a distintas alturas sobre el nivel del mar. La absorción por vapor de agua depende de la concentración de este y de su temperatura.

La atenuación por gases esta en función de la longitud de la trayectoria ya que atraviesa las diferentes capas atmosféricas que tienen diferentes densidades de vapor de agua. Es por eso que la atenuación por gases depende del ángulo de elevación¹, de la temperatura, de la presión atmosférica, de las concentraciones de vapor de agua y de la frecuencia como se muestra en la figura.

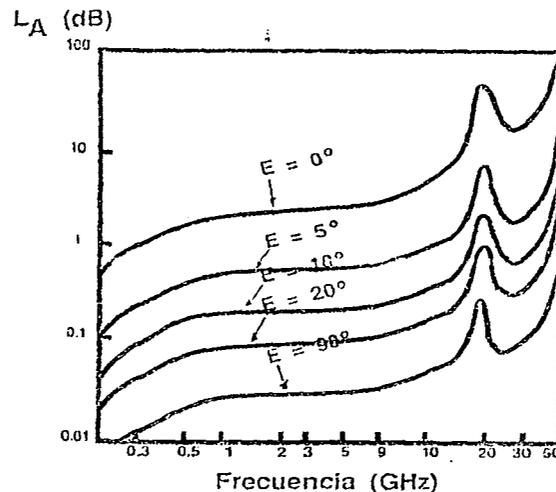


Figura 3.7 Atenuación producida por los gases en la atmósfera

3.1.9 Atenuación por Lluvia, L_{lluvia}

Las ondas electromagnéticas en la banda Ka experimentan una atenuación significativa debido a la precipitación por lluvia, ya que esta provoca absorción y dispersión. La

¹ Ángulo de apuntamiento de una antena con respecto al plano horizontal

atenuación por lluvia en un enlaces satelital tiene un comportamiento probabilística el cual depende de la frecuencia, la posición geográfica de la estación terrena, el clima, el tipo de terreno, la estación, la intensidad de lluvia, etc.

Debido a la atenuación causada por la lluvia se puede experimentar una pérdida de la señal y provocar que el sistema este fuera de servicio temporalmente. La dispersión provocada por la lluvia produce señales de ruido indeseables que interfieren en un sistema de recepción y que pueden ocultar la señal recibida.

Para frecuencias mayores a 10GHz, la atenuación por lluvia representa mas del 40% de la atenuación en el sistema y en sistemas que trabajan en la banda Ka (20GHz-30GHz) esta representa una parte aún mas grande. La atenuación por la presencia de lluvia depende principalmente de la intensidad con que esta cae y de la probabilidad de que ocurra en determinada zona geográfica. Además de la atenuación de la señal útil, la lluvia produce otros dos efectos de deterioro en los enlaces: aumenta la temperatura de ruido de las antenas receptoras y produce giros en la polarización de las señales. Sin embargo, para nivel de cero atenuación se consideran las cielo despejado.

Uno de los modelos mas precisos en cuanto al cálculo de atenuación por lluvia y por otros fenómenos en banda Ka es el modelo propuesto por Asoka Dissanayake, Jeremy Allnut, Fatim Haidara, el cual es conocido como el modelo DAH.

Un estudio realizado por Robert K. Carane y Asoka Dissanayake, compara cuatro modelos: el modelo global, el de los componentes, el recomendado por la UIT y el modelo DAH. Estos modelos fueron combinados con tres diferentes modelos de distribución de lluvia: el modelo Crane-Global, el modelo de la UIT y el modelo Rice-Holmberg. Este estudio demuestra que el único modelo con predicciones aceptables fue el modelo DAH, combinado ya sea con el modelo distribución global de Crane o con el modelo Rice-Holmberg. [LAN97]

El modelo DAH es un procedimiento para predecir los efectos combinados de atenuación por lluvia, además de varios factores que contribuyen a la atenuación de un enlace de comunicación satelital. Este modelo presenta errores menores al 20%. La importancia de predecir la atenuación por lluvia radica en la calidad de desempeño de un sistema de comunicaciones y la posibilidad de disminuir costos en cuanto al diseño y la implementación de estos.

Los datos que se requieren para el modelo son :

- Latitud de la estación terrena
- Altitud de la estación terrena sobre el nivel del mar.
- Tasa de la intensidad de lluvia al 0.01% del promedio anual
- Porcentaje de probabilidad de exceso para el cual se va a calcular la atenuación
- Angulo de elevación
- Frecuencia
- Angulo de polarización
- Radio efectivo de la tierra

A continuación se muestra una tabla que representa los márgenes de atenuación por lluvia para México, la cual tomó como referencia el satélite canadiense ANIKF-2, ubicado 111.1° de longitud oeste, para el cálculo de los ángulos de elevación y azimut². [LAN97]

Disponibilidad		Atenuación por lluvia a 29.5GHz (dB)				Atenuación por lluvia a 20.2GHz (dB)			
		99.99	99.9	99.5	99	99.99	99.9	99.5	99
Ciudad	Zona								
Xalapa	D3	45.45	16.51	7.59	4.91	23.24	7.88	3.45	2.18
Veracruz	D3	56.54	21.15	9.86	6.39	28.64	9.99	4.43	2.81
D.F.	D2	31.86	10.77	4.99	3.2	13.32	5.14	2.27	1.43
Guanajuato	D2	33.67	10.96	5.32	3.42	17.2	5.22	2.41	1.52
Guadalajara	D1	31.4	10.09	4.91	3.14	15.9	4.76	2.2	1.38
Puerto Vallarta	D1	40.26	13.27	6.6	4.24	20.18	6.19	2.93	1.84
Ensenada	F	26.98	9.71	4.08	2.62	13.66	4.58	1.83	1.15
La Paz	F	29.36	10	4.54	2.9	14.67	4.65	2.01	1.25
Cancún	G	70.92	25.76	12.87	8.4	36.45	12.36	5.88	3.76
Villahermosa	G	71.93	26.33	13.11	8.54	36.6	12.49	5.92	3.78

Tabla 3.1 Márgenes de lluvia para México en banda Ka

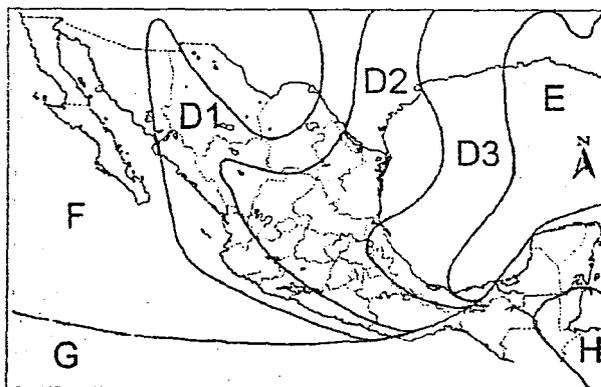


Figura 3.8 Zonas de lluvia del modelo Global de Crane para México

En las frecuencias mas altas, la atenuación por lluvia se incrementa de manera significativa. Aunado a esto, la atenuación depende del grado de disponibilidad que se requiere en el sistema de comunicaciones. Esto representa en términos económicos, una inversión mayor en un sistema que se encuentre disponible casi la totalidad del tiempo, que en otro que tiene una menor disponibilidad.

² Angulo de apuntamiento de una antena con respecto al Norte geográfico en el sentido de las manecillas del reloj.

3.1.10 Pérdidas Adicionales

En los enlaces se presentan otro tipo de pérdidas como:

- Pérdidas en el alimentador, en las conexiones y entre el HPA y la antena del transmisor. (L_{atim})
- Pérdidas en el alimentador, en las conexiones y en el LNA del receptor. (L_{alim})
- Pérdidas por desalineación o mal apuntamiento de las antenas.
- Pérdidas por desacoplamiento de polarización.

El ruido es la unión de varias señales no deseadas a una señal emitida. También se puede decir que el ruido es la suma de varias interferencias, aunque esta otra no es tan exacta.

Una interferencia es la unión de una señal conocida y no deseada a otra señal. Una interferencia se puede separar de la señal original puesto que es conocida, en cambio, el ruido no se puede de separar.

3.2 Análisis de Ruido

3.2.1 Ruido³ Térmico⁴

La potencia del ruido térmico generado en una resistencia, debido a las fluctuaciones de la corriente eléctrica es $N = kTB$ [W] donde k es la constante de Boltzman⁵ $= 1.38054 \cdot 10^{-23}$ [J/°K], T es la temperatura absoluta [°K] y B es el ancho de banda en que se mide el ruido.

Para el cálculo de enlaces se utiliza la densidad espectral de ruido⁶ $N_0 = N/B = kT$ [W/Hz], que es independiente del ancho de banda y de donde se deriva el concepto convencional de T como ruido térmico cuyo valor numérico es N/Bk . El punto de referencia para determinar la temperatura de ruido del sistema es usualmente las terminales de la antena o la entrada del amplificador conectado a ella en la cadena de recepción de una estación terrena o de un transpondedor de satélite.

En el recorrido de la señal desde una antena hasta cualquier otro punto de la estación terrena se puede introducir ruido adicional por lo cual es importante considerar la *temperatura de ruido del sistema* tomando como referencia las terminales de la antena, la cual se define como

$$T_s = T_a + T_e$$

³El ruido es la unión de varias señales no deseadas a una señal emitida. También se puede decir que el ruido es la suma de varias interferencias, aunque esta otra no es tan exacta.

Una interferencia es la unión de una señal conocida y no deseada a otra señal. Una interferencia se puede separar de la señal original puesto que es conocida, en cambio, el ruido no se puede de separar.

⁴Ruido térmico Ruido producido por el movimiento aleatorio de los electrones tanto en un medio de transmisión como en los equipos de comunicación.

⁵ Constante de Boltzmann: Relación de la energía promedio de una molécula a la temperatura absoluta del medio. Su valor es $k=1.38 \times 10^{-23}$ joules/kelvin = 228.5992 dBJ/K.

⁶ Densidad de potencia de ruido Es la potencia de ruido generada por unidad de ancho de banda o en un determinado ancho de banda de referencia.

donde T_a es la temperatura de la antena proveniente del exterior y T_e es la temperatura de ruido en exceso equivalente de los dos elementos hacia las terminales de la antena. La importancia del concepto ficticio de la temperatura de ruido del sistema permite simular que todo el ruido se introduce en un solo punto a lo largo del trayecto.

Como se muestra en la figura 3.9 si hay un atenuador entre las terminales de la antena y la entrada del LNA se toma como punto la entrada de éste.

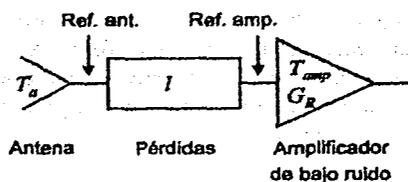


Figura 3.9 Tres elementos de una cadena de recepción

Por lo que la temperatura de ruido total es

$$T_s = \frac{T_a}{L} + 290 \left(1 - \frac{1}{L} \right) + T_e \quad (11)$$

debe de considerarse que la temperatura de ruido de la antena debe de ser calculada previamente con las condiciones de cielo despejado con el fin de obtener una temperatura del sistema diferente para las distintas disponibilidades.

El exceso producido por cada elemento se representa por un *factor de ruido térmico o figura de ruido* F^7 el cual se define

$$T_e = (F - 1)T_0 \quad (12)$$

donde T_0 es la temperatura física de referencia de la tierra (290 K).

En el caso de una atenuación, la temperatura de ruido excedente referida a una antena es

$$T_e = T_0(L - 1)$$

donde L es la relación que existe entre la potencia entrada a la salida de la antena cuyo valor es mayor a 1.

⁷ Figura de ruido. Es el cociente de la potencia total del ruido a la salida de un amplificador entre la porción de dicha potencia que es producida por un ruido ya existente a la entrada de un amplificador, asumiendo a la entrada una temperatura de 290 K (17°C).

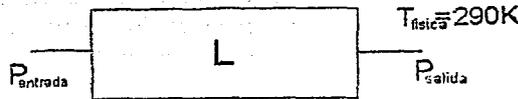


Figura 3.10 Relación entre Potencia de entrada y Potencia de salida

A la salida del sistema se tiene que la *temperatura de ruido del atenuador* es

$$T_L = 290 \left(1 - \frac{1}{L} \right) \quad [K] \quad (13)$$

donde 290 es la temperatura física del atenuador.

Como se explicó anteriormente la lluvia funciona como un atenuador y es por eso que la *temperatura de ruido de la lluvia* se calcula mediante la siguiente ecuación

$$T_{ll} = 280 \left(1 - \frac{1}{L_{ll}} \right) \quad [K] \quad (14)$$

donde 280 es la temperatura física de la lluvia y L_{ll} es la atenuación de la lluvia a determinada disponibilidad los cuales se obtuvieron mediante el modelo DAH para distintas ciudades a lo largo de la República Mexicana [REF].

La *temperatura de ruido de la antena* de una estación terrena se integra por el ruido captado del lóbulo principal, de los lóbulos laterales y posterior. Aunado a esto la antena también puede captar el ruido proveniente de diversos fenómenos como el ruido por la lluvia, el ruido proveniente del espacio profundo (se compone principalmente de ruido galáctico⁸ y cósmico⁹), el ruido de la Tierra (290 K) y el ruido de la troposfera en condiciones de cielo despejado. La suma total del ruido de la antena se encuentra entre 20 y 30 K en condiciones de cielo despejado, generalmente este valor es proporcionado por el fabricante de la antena. Sin embargo, bajo condiciones de lluvia el ruido de la antena se incrementa en forma considerable por lo cual la temperatura de la antena en condiciones de lluvia se calcula con la siguiente fórmula

$$T_{ant} = \frac{T_{acd}}{L_{ll}} + T_{ll} \quad (15)$$

El ruido recibido por la antena del satélite en su mayoría proviene de la Tierra y se considera de 290 K, el ruido que va asociado a la lluvia no es significativo porque únicamente llueve en una pequeña área del área total que cubre el satélite.

⁸ Ruido galáctico. Aquél que proviene de las radiaciones de las estrellas de esta galaxia. Su valor no es representativo a frecuencias mayores de 500 MHz.

⁹ Ruido cósmico. Es la suma de radiaciones que provienen de otras galaxias y de los residuos del origen del universo. Su magnitud es de 2.8 K.

Debido a que los intervalos de tiempo en que incide el Sol en el lóbulo principal de la antena son pequeños no es necesario considerarlos en el cálculo de un enlace sin embargo es necesario prever los rangos de interferencia solar (se presentan durante los equinoccios y los días cercanos a ellos y duran unos cuantos minutos) ya que cuando se presenta dicha incidencia el ruido que se introduce al sistema provoca que no haya comunicación.

3.2.2 Relación Señal a Ruido¹⁰.

La relación portadora a ruido C/N es la potencia total recibida entre la potencia total del ruido del enlace:

$$\frac{C}{N} = \frac{PIRE}{LkBT_s} \left(\frac{G_R}{T_s} \right)$$

donde L son las pérdidas totales (no en dB) y el segundo término es la figura de mérito de la antena receptora.

La información viaja sobre una portadora C a la cual modula, esta puede ser de cualquier tipo (video, voz, datos) y el ancho de banda puede variar para cada caso. En el enlace de subida, a la portadora C, se le añadirá ruido y habrá un cociente que surge de dividir la potencia recibida, incluyendo todas las pérdidas de propagación, entre la densidad espectral de ruido obteniendo, para un trayecto, la relación de portadora a densidad de ruido C/N_0 ¹¹. La combinación del enlace ascendente con el descendente determina la relación señal a ruido en la antena receptora. El valor requerido puede obtenerse en forma óptima con los valores adecuados de los parámetros que intervienen, para lo cual debe tomarse en cuenta las características no lineales asociadas con los límites de operación del satélite.

La relación portadora a densidad de ruido C/No es independiente del ancho de banda.

$$\frac{C}{N} = \frac{PIRE}{LkT_s} \left(\frac{G_R}{T_s} \right)$$

En forma logarítmica es

$$\frac{C}{N_0} = PIRE_{dBW} - L_{dB} - k_{dB} + \frac{G}{T_{dB}} \quad (dB \text{ Hz}) \quad (16)$$

en donde:

$$\frac{G}{T_{dB}} = G_{dB} - L_D - L_{ANTENA-LNA} - T_s \quad [dB] \quad (17)$$

¹⁰ Relación señal a ruido Relación de la potencia de una señal analógica con respecto al nivel de ruido. Se expresa en dB.

¹¹ Relación portadora a densidad de ruido (C/No) Relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz. Se expresa en dB/Hz

3.2.3 Ruido de Intermodulación¹².

Los amplificadores¹³ de potencia del satélite tienen una característica no lineal, esto provoca que se generen productos de intermodulación (ruido), además de la amplificación de la señal original. Esto es, al introducir más de una señal simultáneamente en un amplificador se genera un espectro de ondas espurias, el cual aumenta en proporción al operar en la parte menos lineal que corresponde a las proximidades del punto de saturación del amplificador, es decir, cerca de la máxima amplitud que puede producir a su salida. La falta de linealidad no afecta sensiblemente a los enlaces cuando en un amplificador opera una sola portadora. En cambio, en un transpondedor con múltiples portadoras, se genera un gran número de ondas espurias que interfieren las señales útiles al actuar como ruido adicional que degrada los enlaces.

Los operadores de satélites tienen disponibles los valores de intermodulación para redes típicas en cada transpondedor de sus satélites en condiciones distintas de back-off y proporcionan estos datos a los usuarios para el diseño de sus sistemas. Para transpondedores con TWT típicos se puede estimar un valor aproximado en el centro del transpondedor (peor caso), por medio de

$$\left(\frac{C}{N}\right)_i = K_n + 0.82BO_i \quad \text{para} \quad 2 \leq BO_i \leq 12 \quad (18)$$

donde K_n tiene los valores 10, 9.5 y 8.6 para $n=6, 12, 500$ portadoras en un transpondedor, respectivamente.

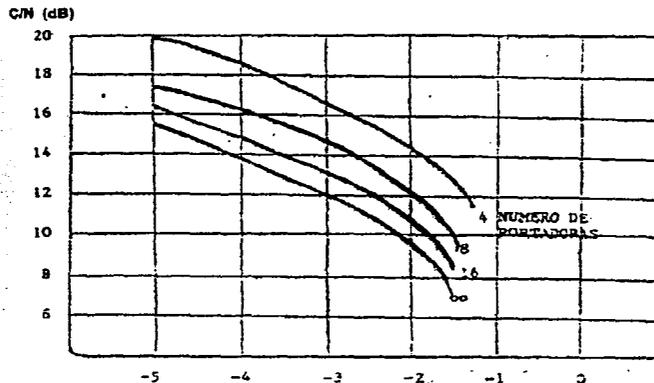


Figura 3.11 Relación C/N de intermodulación en función del back off en un TWT típico para un número variable de portadoras.

¹² Ruido de intermodulación Se presenta cuando una o más señales pasan a través de un dispositivo no lineal con niveles de entrada demasiado altos produciendo señales espurias.

¹³ Amplificador: Dispositivo diseñado para aumentar el nivel de potencia, voltaje o corriente de señales eléctricas o electromagnéticas.

La calidad total del enlace, a nivel portadora, teniendo en cuenta todas las contribuciones de ruido (ascendente, descendente y de intermodulación), puede calcularse de la relación siguiente:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_A^{-1} + \left(\frac{C}{N_o}\right)_D^{-1} + \left(\frac{C}{N_o}\right)_I^{-1} \quad (19)$$

El comportamiento mas común de la relación señal a ruido descendente, ascendente y de intermodulación en función del backoff se muestra en la siguiente figura.

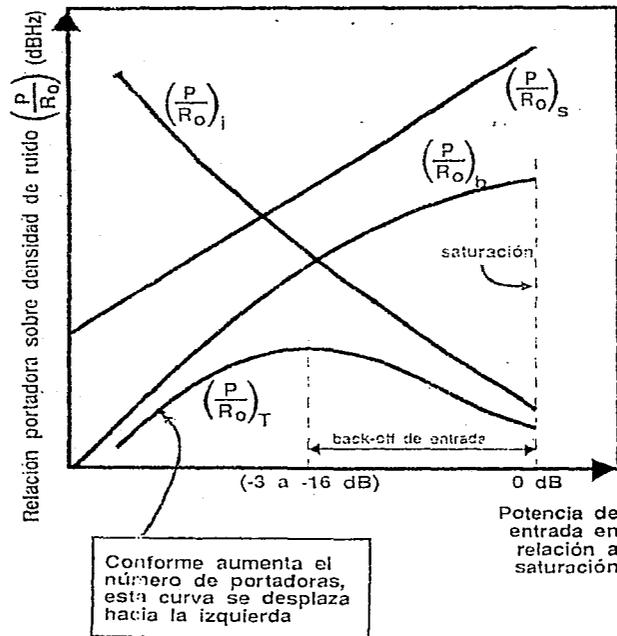


Figura 3.12 Back off óptimo

La proporción de bits erróneos E_b / N_o esta en función de la energía por bit de entrada entre densidad de potencia del ruido a la entrada del filtro de recepción. La relación de E_b / N_o con C / N_o esta dada por la ecuación

$$\frac{C}{N_o} = \frac{R_B E_s}{N_o}$$

y en decibeles

$$\left(\frac{C}{N_o}\right) = \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{dB} + 10 \log R_b. \quad (20)$$

Para mejorar la calidad de la comunicación digital, reduciendo la proporción de bits erróneos, se aplica la codificación para la detección y corrección de errores, aunque estos demandan un mayor ancho de banda. Pero tienen como ventaja que no es necesario aumentar la potencia requerida para el enlace. Las clases de control de errores son ARQ y FEC que fueron explicados en el capítulo 2. Así el ancho de banda necesario para la transmisión de señales digitales con codificación FEC es

$$B = \frac{1.2R_b}{r} \quad [Hz] \quad (21)$$

donde r es la tasa de codificación que representa el número de bits de una palabra entre el número total de bits transmitidos.

Una mayor linealidad se obtiene operando a una potencia menor. La menor potencia de salida útil operando con múltiples portadoras tiene relación con la energía que se pierde al convertirse en emisiones espurias que deben tratarse como ruido $(E_b/N_o)^{14}$. [RO99]

Se requiere de un análisis para determinar la reducción de potencia con respecto al punto de saturación (backoff¹⁵) que deberá aplicarse al conjunto de las portadoras así como a cada una de ellas, para que disminuya en proporción conveniente las espurias, ya que un backoff muy grande perjudica la calidad del enlace.

La densidad de flujo para saturación es el valor de la densidad de flujo de potencia de una sola portadora, recibida en la antena de un satélite, que produce la saturación a la salida de un transpondedor. Este es un parámetro que interviene en ecuaciones del enlace ascendente y que se relaciona con las limitaciones de potencia de salida y con los fenómenos de intermodulación al combinarlo con el backoff (de entrada) en operación con multiportadoras. El valor de la densidad de flujo aumenta al reducir la ganancia interna del transpondedor. Una reducción en la ganancia interna de un transpondedor requiere de una mayor PIRE transmitida por las estaciones terrenas que operen con él, y puede aplicarse si es necesario reducir proporcionalmente los efectos de interferencia al satélite causados por las estaciones terrenas de otros sistemas o redes terrenales que operen a la misma frecuencia, por lo que es necesario ajustar los parámetros a los valores que mejoren los enlaces previstos en un transpondedor.

Aunque el valor del PIRE requerido para un enlace debe determinarse por medio de los demás parámetros del enlace ascendente, normalmente los amplificadores y antenas de las estaciones terrenas se seleccionan para generar un mayor PIRE que permite contar con un margen y realizar en el futuro aplicaciones de la red, el cual debe ajustarse a la portadora

¹⁴ E_b/N_o Relación de energía por bit a densidad espectral de ruido en Watts por Hertz.

¹⁵ Back off: Nivel de reducción de potencia a la entrada de un amplificador para asegurar su operación en la región lineal, logrando con esto reducir al mínimo posible el ruido por intermodulación.

mediante la reducción de potencia similar al backoff en el transpondedor. Este se representa por BO_e en [dB].

3.3 Cálculo del Enlace entre Ciudad de México (Benito Juárez) con Villahermosa

El satélite considerado es el ANIK-F2 y se consideró la siguiente estación terrena VSAT 20/30 GHz cuyos parámetros se muestran en la siguiente tabla.

Rango de frecuencias de Tx	29.5-30 GHZ	
Rango de frecuencias de Rx	19.7-20.2 GHZ	
Polarización Tx	Vertical	
Polarización Rx	Horizontal/vertical	
Ganancia de la antena Tx/Rx @ 29.5GHz	51/48 dB	
PIRE @ 1dB 25°C	53 dBW	Con antena de 1.5m
Amplificador de alta potencia	32 dBm	
G/T mínima en Rx	24 dB/K	Con antena de 1.5m
Figura de Ruido del Receptor @ 25°C	2.2 dB máx	

Tabla 3.2 Especificaciones de la estación terrena VSAT 20/30 GHz

Las condiciones del enlace se establecieron para una velocidad de transmisión de 2.04 Mbps, de acuerdo con las hojas de especificaciones del modem (CM101E ComStream Corporation) utilizado se tiene una relación E_b/N_o de 4.8 con una BER de 10^{-7} con una tasa de codificación $FEC = 1/2$.

Utilizando la ecuación (20) y sumándole un margen de implementación con valor de típico de 1.5 dB la relación C/N_o fue de 69.39 dBHz. A partir de este valor se propone un valor para C/N_o de bajada de 71.4 dBHz.

El ancho de banda necesario para la transmisión de un canal de 2.04 Mbps con un FEC de $1/2$ se obtuvo mediante la ecuación (21) cuyo valor es 4.89 MHz. Se calculó la relación C/N de intermodulación por medio de la ecuación (18) con un valor de 11.4 dB para 12 portadoras y un back off de entrada igual a 2. Para obtener la relación portadora a densidad de ruido de intermodulación (C/N_o)i al resultado de la ecuación (18) se le sumó el ancho de banda en dB, obteniendo un valor de 78 dBHz.

El valor de la relación C/N_o de subida se obtuvo por medio de la ecuación (19) y fue de 75.65 dBHz.

Enlace descendente

Con estos valores el siguiente paso fue calcular los parámetros de la estación terrena que cumplieran con estos requerimientos. A partir de la ecuación (12) y con las especificaciones de la estación terrena se obtuvo una temperatura de exceso T_e igual a 191.28 K. Se supuso la existencia de pérdidas entre el LNA y la entrada de la antena de 0.3 dB. Con los datos de la figura de mérito G/T y la ganancia de la antena receptora de 48 dB se calculó la temperatura del sistema T_s a cielo despejado por medio de la ecuación (17) obteniendo un valor de 23.7 dBK. De acuerdo a la ecuación (11) se tiene que T_a a cielo despejado es de 25.5 K. Posteriormente se calculó la temperatura de la antena en condiciones de lluvia para diferentes disponibilidades mediante las ecuaciones (14) y (15).

99.99	279.94
99.98	279.75
99.95	278.35
99.925	276.51
99.9	274.28
99.8	263.28
99.5	272.34
99.25	198.38
99	173.42

Tabla 3.3 Temperatura de la antena en condiciones de lluvia a diferentes disponibilidades para la ciudad de Villahermosa

Con la ubicación geográfica de la estación terrena receptora y la ubicación del satélite se calculó el ángulo de elevación, el azimut y la distancia real entre la estación terrena y el satélite

60.3637265	226.74	36,503.70
------------	--------	-----------

Tabla 3.4 Coordenadas geográficas

Los parámetros del satélite se calcularon en base al ancho de banda del transpondedor utilizado $BW=56.25$ MHz y su potencia en saturación de 55 dBW. Debido a que cada canal de 2.04 Mbps requiere un ancho de banda de 4.89 MHz y considerando una banda de guarda del 10% para cada portadora, para el transpondedor utilizado tenemos que se pueden transmitir 11 portadoras con un PIRE de 44 dBW..

Como se explicó anteriormente las pérdidas por absorción atmosférica a una frecuencia de 20.2 GHz son de aproximadamente 0.28 dB [REF], las pérdidas del espacio libre se calcularon mediante la ecuación (9) dando como resultado 209.75 dB y las pérdidas por lluvia se obtuvieron por medio del método DAH para diferentes disponibilidades [REF].

99.99	36.60
99.98	29.99
99.95	21.88
99.925	18.63
99.9	16.48
99.8	11.82
99.5	6.78
99.25	4.93
99	3.78

Tabla 3.5 Pérdidas por lluvia

La temperatura del sistema a diferentes disponibilidades se calculó con la fórmula (11)

99.99	471.89
99.98	471.71
99.95	470.4
99.925	468.69
99.9	466.6
99.8	456.33
99.5	464.79
99.25	395.77
99	372.48

Tabla 3.6 Temperatura del sistema

La figura de mérito para cada disponibilidad se obtuvo mediante la ecuación (16)

99.99	45.43
99.98	38.82
99.95	57.73
99.925	27.46
99.9	25.31
99.8	20.65
99.5	15.61
99.25	13.76
99	12.61

Tabla 3.7 Figura de mérito

La ganancia de la antena receptora para las diferentes disponibilidades se hizo con la ecuación (17)

99.99	72.47
99.98	65.86
99.95	57.73
99.925	54.47
99.9	52.30
99.8	47.54
99.5	42.58
99.25	40.04
99	38.62

Tabla 3.8 Ganancia de la antena receptora

Finalmente el diámetro de la antena receptora se calculó con la ecuación (1).

99.99	25.65
99.98	11.98
99.95	4.70
99.925	3.23
99.9	2.51
99.8	1.45
99.5	0.82
99.25	0.61
99	0.52

Tabla 3.9 Diámetro de la antena receptora

Enlace ascendente

La frecuencia del enlace ascendente es de 29.5 GHz y la figura de mérito del satélite G/T es de 14 dBK y se utilizaron las condiciones geográficas para la ciudad de México, en la delegación Benito Juárez

63.493293	212.55	36,361.63
-----------	--------	-----------

Tabla 3.10 Coordenadas geográficas

Las pérdidas en el espacio libre se calcularon de la misma forma que en el enlace descendente dando como resultado 213.05 dB. Las pérdidas por absorción atmosférica son de 0.25 [dB] [REF] y las pérdidas por lluvia para las diferentes disponibilidades son

99.99	31.87
99.98	25.93
99.95	18.74
99.925	15.90
99.9	14.03
99.8	10.01
99.5	5.71
99.25	4.16
99	3.19

Tabla 3.11 Pérdidas por lluvia

Se calculó el PIRE de la antena transmisora a diferentes disponibilidades con la ecuación (16).

99.99	78.25
99.98	72.32
99.95	65.13
99.925	62.29
99.9	60.41
99.8	56.39
99.5	52.10
99.25	50.55
99	49.58

Tabla 3.12 PIRE de la antena transmisora

Para obtener la ganancia se utilizó la ecuación (3)

99.99	76.55
99.98	70.62
99.95	63.43
99.925	60.59
99.9	58.71
99.8	54.69
99.5	50.403
99.25	49.85
99	47.88

Tabla 3.13 Ganancia de la antena transmisora

Finalmente se obtuvo el diámetro para diferentes disponibilidades con la misma fórmula que en enlace ascendente

99.99	28.10
99.98	14.19
99.95	6.20
99.925	4.47
99.9	3.6
99.8	2.26
99.5	1.38
99.25	1.15
99	1.03

Tabla 3.14 Diámetro de la antena Transmisora

De acuerdo a los resultados obtenidos, simplificaremos el diámetro de las antenas receptoras conforme a las distintas zonas geográficas que hay en México, el total de ciudades consideradas en toda la República Mexicana fue de 2441.

ZONA G	19.304	9.366	3.875	2.724	2.155	1.291	0.757	0.574	0.493
ZONA F	1.633	1.145	0.766	0.657	0.594	0.481	0.391	0.355	0.338
ZONA E	27.189	12.628	4.903	3.352	2.601	1.492	0.834	0.620	0.525
ZONA D3	8.301	4.582	2.243	1.691	1.402	0.931	0.608	0.488	0.432
ZONA D2	3.223	2.073	1.229	1.001	0.873	0.647	0.469	0.404	0.370
ZONA D1	2.701	1.769	1.079	0.890	0.783	0.594	0.444	0.389	0.360

Tabla 3.15 Diámetro de las antenas receptoras para el enlace descendente a una tasa de 2.04 Mbps.

ZONA G	1777.863	480.946	91.343	46.219	29.245	10.674	3.473	2.282	1.746
ZONA F	13.311	7.097	3.485	2.677	2.263	1.606	1.150	1.029	0.962
ZONA E	3246.951	831.382	143.851	69.546	42.570	14.332	4.198	2.637	1.958
ZONA D3	330.545	112.855	29.596	17.247	12.037	5.507	2.347	1.715	1.406
ZONA D2	52.807	23.463	8.844	6.027	4.683	2.730	1.540	1.253	1.101
ZONA D1	37.482	17.314	6.929	4.856	3.851	2.359	1.419	1.187	1.062

Tabla 3.16 Diámetro de las antenas transmisoras para el enlace ascendente a una tasa de 2.04 Mbps.

Tomando en cuenta que una estación terrena se utiliza para la transmisión y recepción simultanea en un enlace satelital, es necesario satisfacer los requerimientos mínimos para que el comportamiento del sistema sea satisfactorio. Es por eso, que para el diseño de una estación terrena se toma el valor máximo del diámetro. De tal forma, que quedan satisfechas las condiciones del enlace ascendente y al mismo tiempo, se satisfacen y se benefician las condiciones del enlace descendente. Es decir, el enlace descendente tendrá una mayor disponibilidad. Así mismo, las disponibilidades típicas que se emplean para el diseño de los sistemas en Banda Ka están entre 99.5% y 99.7% [LAN97]

Se puede observar que para algunas zonas geográficas con tasas bajas de lluvia esta disponibilidad puede ser mejorada, así como para zonas con tasas de lluvia altas, esta disponibilidad puede ser alcanzada con una mayor inversión en el equipo. En disponibilidades de 99.5%, el diámetro de las antenas es pequeño en las regiones menos lluviosas de nuestro país y del orden de 2 y 3 metros para las regiones lluviosas con tasas de transmisión de 2.04Mbps. De la tabla se concluye que si es factible el establecer enlaces en banda Ka en México con la utilización de antenas pequeñas.

Referencias

1. [ROS99] C. Rosado, "Comunicaciones por Satélite", Limusa, México, 1999
2. [PRI93] Pritchard W. "Satellite Communications Systems Engineering", Prentice Hall, USA, 1993.
3. [LAN97] Landeros Ayala S., Neri Vela R. y Núñez Aceves I. "Cálculo de los Márgenes de Atenuación por lluvia para un futuro Satélite Mexicano en Banda Ka", Ingeniería LVII. Facultad de Ingeniería, UNAM. México 1997.
4. [CR01] Cruz y Hernández, "Cálculos de enlace y atenuación por lluvia para comunicaciones por satélite en la banda Ka para México", UNAM, 2001.
5. Apuntes de la clase de Seminario de telecomunicaciones impartida por el Dr. Salvador Landeros Ayala en la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Paginas de Internet

1. <http://www.geocities.com/Paris/Opera/1255/Samuel/doc/antenas4.htm>
2. <http://www.radynecomstream.com/pdf/cm601a.pdf>
3. <http://www.inegi.gob.mx>

CAPITULO 4

Estaciones Terrenas

4.1 Equipo de las Estaciones Terrestres

Un estación terrena es un conjunto de equipos con una antena que transmiten y reciben señales hacia uno mas satélites. En cada una se realiza una parte importante del proceso de dichas señales para hacer posible y eficiente su transmisión, así como el proceso inverso para convertir las radiaciones recibidas en una reproducción fiel de las señales en la forma que tenían antes de que fueran procesadas y transmitidas por otra estación terrena. Cabe recordar que algunos tipos de estaciones terrenas solo tienen la capacidad de transmitir o de recibir y que pueden estar entrelazadas también por medio de redes terrenales con sitios distantes de origen y destino. La designación de estación terrena incluye tanto estaciones fijas como móviles, marítimas y aeronáuticas.

4.2 Características Generales

Una estación terrena esta formado por varios transmisores y receptores multiplexados que se comunican con el satélite mediante una sola antena. Generalmente, los transmisores son mas caros que los receptores y el costo aumenta proporcionalmente a la potencia usada en el trasmisor. El hecho de que los transmisores sean mas caros que los receptores se debe a que los receptores son fabricados en mayores cantidades y además los transmisores usan amplificadores de alta potencia que son necesarios para evitar la interferencia con otros canales y satélites.

En la figura 4.1 se presenta un diagrama funcional de una estación terrena de alta capacidad, con reflector de antena grande provisto de un sistema de seguimiento o rastreo, el cual en cualquier caso tiene mucho menor diámetro que los requeridos anteriormente, gracias a la alta potencia emitida por los satélites actuales.

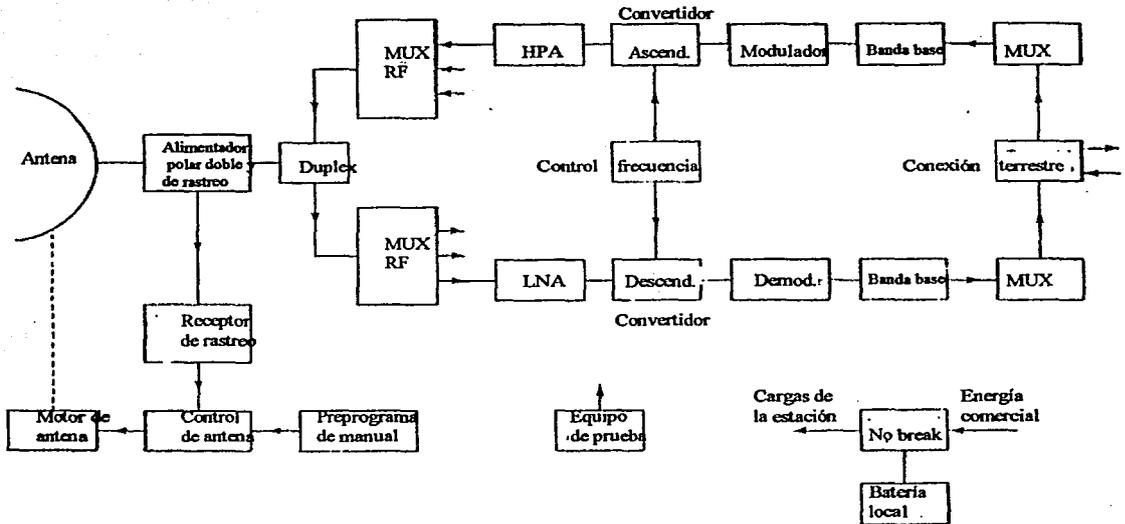


Figura 4.1 Diagrama de una estación terrena general

Las partes mas importantes de una estación terrena son :

- El sistema de la antena : Normalmente la misma antena sirve par transmisión y recepción. Este sistema incluye el alimentador primario, el reflector, un arreglo de duplexor para la conexión de receptores y transmisores en l misma antena, y un arreglo separado de alimentadores, controles y mecanismos para el seguimiento automático.
- Los transmisores y receptores : Pueden emplearse un o mas cadenas de transmisión que constan esencialmente de los amplificadores de potencia cuyas salidas se pueden combinar y los convertidores elevadores o de subida, ya que los demás procesos pueden realizarse en sitios distintos a la estación terrena. Las etapas de recepción incluyen uno mas amplificadores de bajo ruido, un divisor de potencia para separar las cadenas de recepción y los convertidores reductores o de bajada.
- Los moduladores y demoduladores : En esta etapa se modulan las señales por transmitir y se demodulan las recibidas, lo que implica la conversión de banda base a frecuencia intermedia y el proceso inverso. En las estaciones que tiene capacidad para trasmitir y recibir, los moduladores pueden encontrarse en la misma unidad de equipo que el demodulador correspondiente constituyendo un modem.

- **Procesadores en bada base :** En una estación grande pueden limitarse a los que realizan las funciones de multiplexar y demultiplexar. En estaciones pequeñas es probable que se realizan funciones adicionales como la conversión analógico a digital y viceversa, y la codificación y decodificación del canal como es el caso de las estaciones remotas VSAT, las móviles y las de recepción directa de televisión por satélite.
- **Interfaces con redes terrenales :** Esta parte de la estación permite comunicar su extremo de frecuencias bajas con diversos puntos de origen y destino de las señales operando hacia el exterior por medio de fibras ópticas, líneas físicas metálicas o radioenlaces. Es común que no exista en estaciones pequeñas.
- **Sistemas de energía e infraestructura general :** El sistema de energía debido a la importancia y magnitud de los servicios que presta debe operar en forma interrumpida y dentro de los límites normativos respecto a la tensión, frecuencia y perturbaciones transitorias, por lo menos en sus partes mas críticas como el equipo de comunicación y sus instalaciones de apoyo. La infraestructura general comprende edificios y obras exteriores, estructuras y soporte mecánico e instalaciones de apoyo como los equipos de climatización.
- **Sistema de supervisión, control y comunicación del servicio :** Los equipos que permiten la supervisión y control de operación incluyen las alarmas visuales y audibles, los controles para comunicar equipos y dispositivos que son independientes de la conmutación automática y los controles generales de los subsistemas. Estos sistemas permiten efectuar gran parte de la supervisión y telemando por medio de pantallas y teclados de terminales de computo en consolas. Los canales de servicio permiten la comunicación entre estaciones de una red de servicio público por satélite en forma independiente de los servicios de comunicación de los usuarios finales.

A continuación se analizaran los principales componentes de radiofrecuencia en una estación terrena son: los amplificadores de bajo ruido (LNA) del receptor y los amplificadores de alto ruido (HPA) del transmisor.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de una estación terrena que utiliza tecnología FDM/FM/FDMA

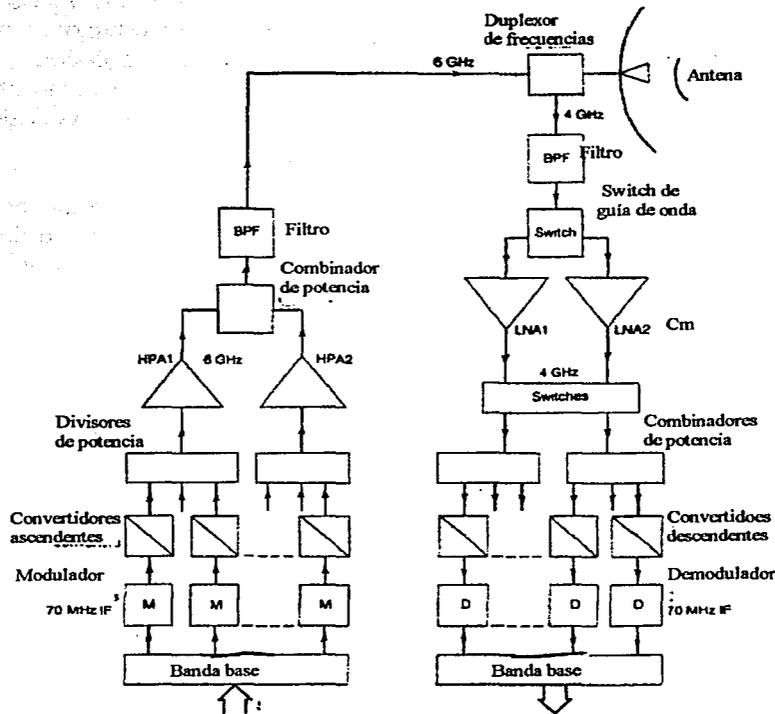


Figura 4.2 Simplified diagram of a base station equipment using FDM/FM/FDMA

Figura 4.2 Diagrama simplificado del equipo de una estación terrena que usa tecnología FDM/FM/FDMA

4.2.1 Sistema de la Antena

Los reflectores parabólicos se han convertido en el símbolo de las comunicaciones por satélite. El desempeño eléctrico de la antena influye en la planeación del sistema en diferentes formas, las mas importantes son: ganancia, temperatura de la antena, nivel de lóbulos laterales y ancho del haz.

Aunque el reflector parabólico es el tipo mas importante de antena usado en las estaciones terrenas y en los satélites también se usan las antenas de corneta y los arreglos de antenas.

4.2.1.1 Antenas de Corneta

Las antenas de corneta son utilizadas como radiadores primarios en los sistemas reflectores, como elementos de un arreglo y algunas veces como radiadores completos cuando se requiere una mayor cobertura del ancho del haz . Generalmente, las antenas de corneta se encuentran en los satélites para proveer a la tierra de un haz de cobertura amplio. Para una

cobertura máxima de un satélite geostacionario el ángulo del haz por antena es de 18° aproximadamente y se emplean radiadores sin reflector [PRI93]

Podemos encontrar dos tipos comunes de antenas: las de corneta piramidal como una extensión de las guías de onda rectangulares y las de corneta cónica como una extensión de las guías de onda circulares que son frecuentemente utilizadas por su alto modo de propagación. Las cornetas piramidales son de fácil diseño y la siguiente ecuación es aplicable para estas antenas que son largas comparados con su longitud de onda.

$$G = 10 \frac{AB}{\lambda^2}$$

donde A es la mayor dimensión de la corneta de apertura y B es la menor dimensión.

En la siguiente gráfica se muestra la relación entre las dimensiones de la antena de corneta y su ganancia con respecto a un radiador isotrópico.

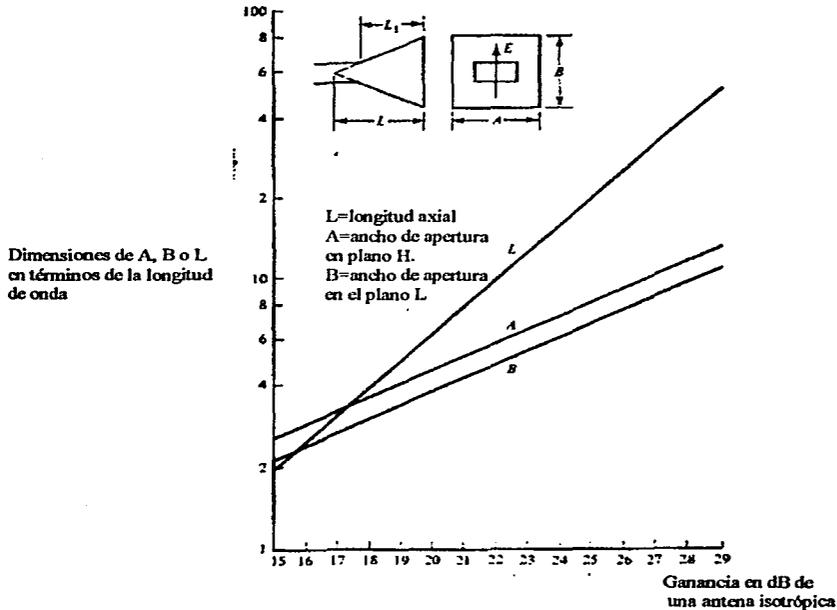


Figura 4.3 Relación entre las dimensiones de una antena y su ganancia

Ni las bocinas piramidales ni las cónicas tienen buena simetría axial del ancho del haz y son deficientes en la reducción de los lóbulos laterales y en el acoplamiento de la polarización cruzada. Otra variación en la alimentación de corneta más utilizada en alimentadores primarios para estaciones terrenas grandes es la corneta de modo híbrido, debido a que la bocina cónica con ondulaciones y la rectangular escalonada dan una excelente simetría axial, nivel de polarización cruzada y lóbulos laterales pequeños.

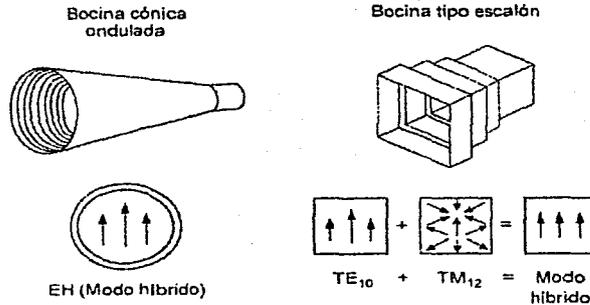


Figura 4.4 Ejemplos de Radiadores Primarios

4.2.1.2 Reflectores

Dividimos los reflectores de antenas en dos categorías: una utilizando un solo reflector y un alimentador de corneta y la otra utilizando múltiples reflectores. El objetivo específico del uso de reflectores, ya sea únicos o múltiples es convertir las ondas de frente esférico en ondas de frente casi plano que concentren la energía en una sola dirección. El requisito para que esto se cumpla es que la suma de la distancia del foco del paraboloide al reflector mas la suma de la distancia del punto de reflexión a cualquier plano de la superficie normal al eje de la antena debe ser constante.

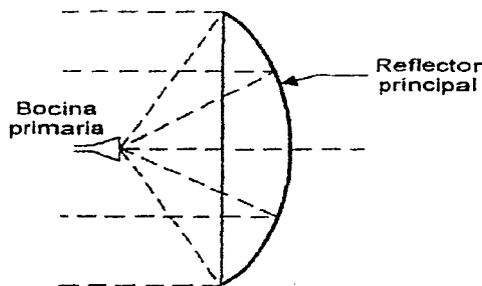


Figura 4.5 Antena con Reflector Parabólico Único y Alimentador Frontal

Idealmente, toda la energía que emana del radiador primario debe ser interceptada por el reflector para evitar su pérdida por desbordamiento. Además de que lo anterior no es totalmente posible, desafortunadamente el propio radiador primario y su soporte obstruyen parcialmente las trayectorias desde el reflector, contribuyendo al efecto de desbordamiento y como consecuencia al aumento de la amplitud de los lóbulos laterales. Una solución consiste en utilizar un reflector que no es un paraboloide simétrico sino que utiliza solo una parte de su porción anterior, pero con las dimensiones suficientes para obtener la ganancia

deseada. En esta forma el radiador primario puede quedar fuera de la trayectoria del haz eliminando en gran medida los problemas de alimentación frontal.

Otra solución son las antenas Cassegrain centrada que utiliza un subreflector o reflector secundario, generalmente hiperbólico que no cambia los frentes de onda del radiador primario. Una ventaja importante es que el alimentador primario queda en un posición que facilita la conexión con el duplexor, el amplificador de bajo ruido y el amplificador de potencia. Además, de que tiene menor temperatura de ruido porque la energía recibida en la parte mas sensible de la zona de desbordamiento del radiador primario proviene del cielo, en contraste con la de alimentación frontal que proviene de la tierra. Sin embargo, tiene como desventaja de que el subreflector y sus soportes obstaculizan la radiación libre de las ondas, lo cual reduce la eficiencia y aumenta la radiación y recepción de energía de los lóbulos laterales.

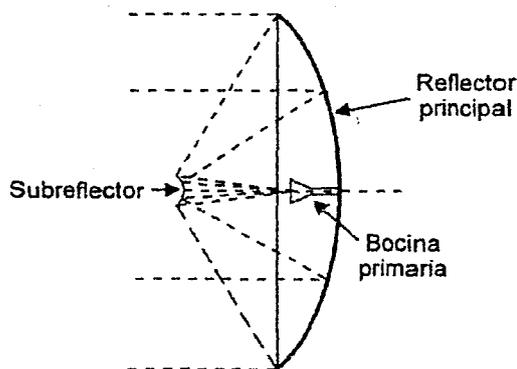


Figura 4.6 Antena Cassegrain Básica con Alimentador Centrado

4.2.1.3 Polarización

La capacidad del canal del satélite es limitado por el ancho de banda disponible y si se dispone de una potencia suficiente, es deseable que la banda de asignación de frecuencias sea utilizada tantas veces como sea posible logrando un reuso de frecuencias. La polarización utilizada puede ser lineal cruzada (vertical contra horizontal) o circular cruzada (izquierda contra derecha). Los sistemas de antenas normalmente se diseñan para operar con polarización lineal, por lo que el vector eléctrico no gira. Además, en una sola antena se pueden recibir y transmitir simultáneamente dos polarizaciones ortogonales.

La polarización circular se prefiere para estaciones terrenas en que es difícil asegurara la orientación fija de las antenas respecto de una polarización lineal. Sin embargo, dicha polarización es mas afectada por la despolarización causada por la lluvia siendo mas significativo en la banda de frecuencias mas altas.

4.2.1.4 Montaje de la Antena

El sistema de montaje debe permitir cuando menos un movimiento de ajuste mínimo para el apuntamiento hacia el satélite en el proceso de instalación que incluye algunas pruebas para recepción y para la autorización de acceso. Las antenas que necesita reapuntarse con frecuencia operan con satélites que no utilizan la órbita geoestacionaria.

El sistema polar que tiene dos ejes de giro llamados polar y de declinación es el más utilizado para apuntar a satélites de órbita geoestacionaria. Este montaje es muy útil porque permite seguir al satélite girando la antena sobre un solo eje, llamado horario o polar, paralelo al de rotación de la tierra. Gracias a las grandes distancias la diferencia de posiciones entre el centro de la tierra y el punto de observación no es significativa cuando las estaciones terrenas se encuentran a poca latitud, pero a mayores latitudes impide que el apuntamiento sea preciso hacia un amplio arco de la órbita con solo girar sobre el eje polar si este es exactamente paralelo al de la tierra. Esto se debe a que la intersección del plano ecuatorial con el cono virtual generado al girar sobre el eje polar de la antena en un arco de círculo con radio menor al geoestacionario y tangente a este en un punto. Para subsanar este inconveniente se desvía el eje polar respecto al de la tierra hacia el centro del arco geoestacionario en un ángulo que depende de la latitud de la estación.

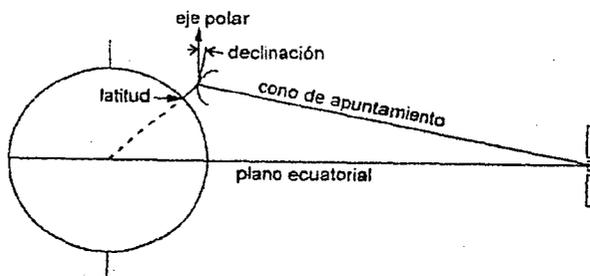


Figura 4.7 Geometría de la Orientación de la Antena Empleando el Montaje Polar

La orientación de la antena para apuntamiento fijo o para su apuntamiento inicial se basa en el cálculo de los ángulos de elevación y azimut derivados de los parámetros de la posición del satélite y de la estación terrena.

4.2.2 Transmisores

En los enlaces ascendentes para que la señal pueda llegar al receptor del satélite es necesario elevar su nivel de potencia con el fin de que la portadora soporte las múltiples atenuaciones en el trayecto. Sin embargo, todos los amplificadores de alta potencia HPA¹ vienen acompañados del ruido de intermodulación. Una manera de combatir el ruido de

¹ High Power Amplifier

intermodulación es hacer que el HPA trabaje varios decibeles por debajo de su punto de saturación, es decir, se debe de respetar el backoff del amplificador. También se deben de tomar en cuenta las características de la antena de recepción y las consideraciones técnicas y prácticas del satélite. Existen tres tipos de HPA: Los amplificadores de ondas progresivas, los amplificadores Klystron y los amplificadores de estado sólido.

Entre las ventajas de los amplificadores de ondas progresivas TWT² se encuentra su amplia gama de opciones de potencia ya que cuenta con la posibilidad de selección que llega hasta centenas de watts y su gran ancho de banda pues puede ser mas de 500MHz [ROS99]. Los TWT de potencias bajas emplean enfriamiento por conducción, los de potencias medias utilizan ventilación forzada mientras que los de potencia alta usan enfriamiento por agua. Las ganancias típicas de los TWT son de 20 a 80 dB en la bandas Ku y Ka. Los TWT usados en estaciones terrenas utilizan fuentes de energía bastante complejas y muy precisas es por eso que su vida útil es de unos cuantos años, mientras que los usados en los satélites pueden durar más de diez años por que sus niveles de potencia son menores.

Otro tipo de amplificador de alta potencia es el Klystron, el cual se usa en aplicaciones donde se tenga un ancho de banda no superior al del transpondedor del satélite. Sus opciones de potencia van desde cientos de Watts hasta varios kiloWatts. Para su refrigeración generalmente se utiliza la ventilación forzada de aire hasta potencias de 3 kW. Las ganancias típicas en las bandas Ku y Ka va de los 35 dB a los 80 dB. Dentro de su estructura hay múltiples cavidades resonantes, que deben sintonizarse a una frecuencia central por lo cual es necesario sintonizarlos nuevamente al cambiar de transpondedor, actualmente dicho ajuste puede hacerse en tres segundos. Su vida prevista es de hasta cuarenta mil horas y su precio es menor. La fuente de alimentación de los Klystron son mas sencillas que las de los TWT y su vida útil puede ser mayor.[ROS99]

Los amplificadores de estado sólido SSPA³ son los más convenientes y económicos para estaciones que operan con poco ancho de banda total de su o sus portadoras y son los más utilizados en las estaciones remotas VSAT, ya que tienen una gama de potencias hasta de 20 Watts, mejor linealidad y menos factor de ruido que los otros tipos aunque son menos eficientes. Los SSPA consisten de varias etapas de amplificación en cascada los cuales suelen tener una ganancia de 10 dB y como última etapa se tiene un atenuador variable que sirve para ajustar la ganancia y produce compensación térmica. Estos amplificadores tienen la desventaja de ser muy pequeños lo cual hace difícil disipar el calor generado por ellos. Sin embargo en aplicaciones donde el calor puede ser disipado ofrecen bajo peso y gran duración.[GORD93]

4.2.3 Receptores

Para recibir una señal desde un satélite, la señal se debe de amplificar, debe de cambiar su frecuencia a una frecuencia menor que sea conveniente para una amplificación futura y pueda ser demodulada en la estación terrena. Cuando hablamos del receptor nos referimos

² Travelling Wave Tube

³ Solid-State Power Amplifier

específicamente a los amplificadores de bajo ruido LNA⁴ y demoduladores. Es muy importante que el amplificador de bajo ruido sea lo suficientemente sensible ya que la señal a su llegada tiene un nivel de potencia bajo es decir, que el ruido interno del LNA sea lo más bajo posible. La temperatura de un amplificador se encuentra en función de su ganancia, de las características de sus componentes y de la temperatura física de ellos, es por esto que el sistema de enfriamiento de un amplificador de bajo ruido es importante y se recomienda colocarlo lo más cerca posible del duplexor de la antena para reducir las pérdidas de conexión. La temperatura de la antena también introduce un ruido considerable a la señal, por lo cual la temperatura total de receptor se encuentra determinada por la temperatura del LNA más la temperatura de la antena (si se considera que las pérdidas por conexión y guías de onda son muy bajas). La temperatura de ruido del LNA es mayor a frecuencias más altas.

Los LNA como cualquier otro amplificador producen intermodulación, pero normalmente son operados a potencias varias decenas de dB por debajo de saturación, por lo que los efectos deben ser insignificantes comparados con los productos de intermodulación recibidos del satélite.

4.2.4 Moduladores y Demoduladores

Como sus nombres lo indican, en esta etapa se modula la señal transmitida, mediante el uso de una señal portadora que transfiere la información a una frecuencia más alta. En este cambio de banda base a frecuencias intermedias hecha por el modulador, la señal aún no es suficientemente alta para radiarla. Por tal motivo, a la salida del modulador regularmente va un convertidor de subida de microondas y a la entrada del modem, en la etapa de recepción, va el convertidor de bajada, para que la señal recibida sea demodulada. En esta etapa de demodulación la señal de frecuencia intermedia que sale del convertidor de bajada aún esta modulada. La señal del receptor llega distorsionada debido al ruido térmico y al ruido de intermodulación. El grado de distorsión que se introduce depende del tipo de modulación que se haya elegido, del nivel de potencia transmitida, de la ganancia de las antenas en el diseño del enlace .

4.2.5 Interfaces con Redes Terrestres

Las interfases con las redes terrenales se requieren cuando las señales en banda base no se originan o no tienen como destino final la propia estación terrena. Ejemplo de estaciones que no requieren dicha interfaces son las de recepción directa de televisión, las móviles y muchas de las remotas de las redes VSAT.

Las interfaces permiten aceptar y sincronizar las señales entrantes desde una red terrenal a las requeridas en las en la estación terrena y viceversa, en cuanto a voltajes, polarización, señalización, sincronización y otras características. Es decir, por medio de las interfaces la señal de entrada se cambio de formato por aquellos formatos que son adecuados para la

⁴ Low Noise Amplifier

transmisión vía satélite. Para la conexión a la red terrenal necesariamente debe encontrarse en la estación terrenal un equipo terminal de aquella como parte de un enlace.

La terminal de la red terrenal puede enlazar por medio de fibra óptica grupos primario de una red telefónica pública con el otro extremo en un centro de conmutación, o en otro caso ser parte de un enlace por microondas con los estudios de una cadena de televisión. Por ejemplo, en un telepuerto⁵ pueden darse servicios a diversos usuarios con tráfico de datos y el enlace con las instalaciones de cada uno de ellos puede hacerse por medio de líneas físicas dedicadas, por una red digital que opere a través de fibras ópticas o por medio de una red de radio de acceso múltiple por paquetes.

4.2.6 Sistemas de Energía e Infraestructura General

Los edificios, los equipos e instalaciones que sirven como funciones de apoyo para la operación de las estaciones terrenas equivalen a lo que en un satélite constituye su plataforma. Dadas las extremas diferencias entre estaciones terrenas de distintas de distintas capacidades y servicios, dicha infraestructura puede ser importante, como en el caso de una estación transmisora receptora de alto tráfico o como en el caso de terminales móviles pequeñas.

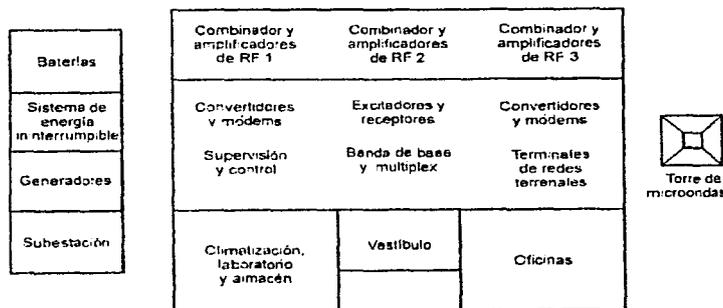


Figura 4.8 Plano de Distribución de Áreas y Equipos en un Telepuerto

Las estaciones terrenas deben de diseñarse de acuerdo a las necesidades y condiciones de operación requeridas para los equipos. Entre los sistemas de apoyo mas importantes están:

- La instalación de equipos de climatización
- Los edificios, las instalaciones exteriores y las antenas con adecuada ubicación en el terreno, considerando especialmente una alta resistencia a sismos, corta distancia entre las conexiones de radiofrecuencia entre los equipos, protección contra

⁵ Estaciones terrenales de gran capacidad de tráfico con múltiples servicios de transmisión de señales de video, voz y datos abiertas al servicio público.

interferencias de sistemas terrenales que operen en las mismas bandas y línea de vista libres para las antenas hacia los satélites y para los enlaces terrenales de microondas y de radio.

- Vías de acceso adecuadas
- Subsistemas de alarma y protección contra incendios
- El sistema de alimentación de energía.

La continuidad del suministro de energía debe de asegurarse en un 99.99 a 99.955 % para que exista una alta disponibilidad del servicio por satélite. Para lograr lo anterior la estación terrena debe de disponer de :

- Se recomienda tener dos acometidas independientes con un alimentador cada una provenientes de dos diferentes líneas externas de alta tensión.
- Dos transformadores activos de alta a baja tensión, cada uno trabajando aproximadamente a media carga alimentando a equipos diferentes, pero con capacidad de proporcionar cada uno toda la potencia requerida.
- Conmutadores de energía para conectar a cada transformador alternativamente las cargas que sean necesarias.
- Circuitos para las cargas críticas y esenciales separados de las no esenciales. Las primeras incluyen todas las cadenas de transmisión y recepción, de FI y de banda de base, los sistemas de seguimiento, los equipos de climatización, la iluminación de la sala principal de equipos, el alumbrado de seguridad y las alarmas contra incendios.
- Sistemas de suministro de energía ininterrumpible de preferencia estático con inversores asociados a los bancos de baterías para obtener independencia de interrupciones breves de la energía comercial externa, tener estabilidad tanto en tensión como en frecuencia y evitar perturbaciones transitorias mayores. Este sistema debe de tener capacidad cuando menos para las cargas críticas que permiten mantener las comunicaciones por satélite y los enlaces terrenales en todo momento.
- Generadores de emergencia de arranque rápido y con capacidad cuando menos para las cargas críticas y esenciales.
- Bancos de baterías tanto para el sistema ininterrumpible como para los dispositivos que vayan a ser alimentados por corriente continua. Los bancos de baterías deben de estar instalados en cuartos aislados con ventilación apropiada y medios para contrarrestar los efectos de los derrames accidentales.
- Las medidas de contención de fuego en el sistema de energía.

En las estaciones VSAT se simplifica notablemente el suministro de energía eléctrica por su bajo consumo, pero normalmente cuentan con un sistema ininterrumpible compacto de corta autonomía cuando están conectadas a las redes comerciales de energía. En algunos casos usan otros métodos de suministro, como las células solares o generadores termoelectricos pequeños que son abastecidos de combustible por personal técnico visitante.

4.2.7 Sistema de Supervisión y Control

Los sistemas de supervisión de las estaciones de mayor tamaño pueden contar con medios para comprobar parámetros de las señales y el ruido tanto en radiofrecuencias como en banda base, los sistemas de energía, los de la antena y su sistema de seguimiento, los estados de actividad de los equipos, algunas de las condiciones de avería en elementos específicos y las variables del medio ambiente exterior e interior. Todo lo anterior tiene la finalidad de detectar degradaciones de las señales o de los subsistemas de apoyo, las posibles relaciones entre el medio ambiente y parámetros de los equipos o tendencias hacia fallas que pueden evitarse antes de que ocurran.

Las alarmas acústicas y visuales indican un deterioro de parámetros fuera de lo tolerado, o una condición de falla real o inminente. En una estación grande están ubicadas en su mayoría directamente en los equipos para facilitar su identificación por el personal pero muchas otras se reproducen en el puesto de supervisión.

La función de control comprende realizar en forma remota la conexión y desconexión de los equipos que no lo hacen en forma automática y determinar sus combinaciones, conmutar los trayectos de transmisión o establecer la conectividad entre las estaciones terrenas de la red y establecer las restricciones de cada una de ellas, Así como las prioridades en una secuencia automática.

En algunas redes desde una estación central es posible conocer los diversos parámetros de operación de todas las demás estaciones terrenas y almacenarlos, así como producir automáticamente listas de sus valores y de las fallas e informes derivados de su procesamiento, independientemente de los que produzca localmente en la misma forma cada estación sobre su propio desempeño.

Las estaciones VSAT cuentan con alarmas sencillas y como opción medios de comprobación, registros y control, generalmente desde una microcomputadora instalada en una de ellas. Entre las opciones pueden incluir el diagnóstico remoto de fallas en la red y la incorporación de las estadísticas de tráfico o la recolección general de datos de operación.

4.3 Innovaciones tecnológicas en las Estaciones Terrestres

Como se muestra en la figura la configuración general de una estación terrestre en donde la antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos de radiofrecuencia más importantes en el modo de recepción, y de la misma forma, la antena y el amplificador de potencia lo son en la cadena de transmisión al satélite. Los parámetros de operación de estos componentes son importantes para realizar los cálculos de enlace al diseñar una red de comunicaciones y asegurar buenos niveles de transmisión y recepción.

En los primeros enlaces satelitales se usaban antenas terrestres muy grandes para compensar las deficiencias de los transmisores de baja potencia, los receptores ruidosos y los amplificadores de niveles bajos de los satélites. Así, las antenas de 30 m de diámetro se

emplearon en el primer estándar de Intelsat de los sesenta, y su costo se convirtió en uno de los factores más importantes en el sistema de comunicaciones, y en la complejidad de su instalación y mantenimiento. La disponibilidad actual de receptores sensibles y menos ruidosos, de transmisores de más potencia y de mayores recursos de energía eléctrica en el espacio, con el consiguiente aumento de la potencia radiada hacia la Tierra, así como varias técnicas complejas de modulación, codificación y acceso múltiple, son avances tecnológicos que han hecho posible el uso de antenas de menor tamaño en las estaciones terrestres.

El principal parámetro de un amplificador de bajo ruido es su temperatura, y mientras más baja resulte, el dispositivo será mejor, porque el ruido que se añade a la señal deseada es menor y la calidad de recepción aumenta. La temperatura del ruido determina la ganancia, las características de sus componentes y la temperatura física del LNA. En años recientes, el desarrollo de dispositivos de arseniuro de galio, especialmente los transistores de efecto de campo han simplificado en gran medida el diseño de este tipo de amplificadores para estaciones terrestres, pues estos dispositivos electrónicos proporcionan temperatura de ruido y anchos de banda comparables a los tradicionales amplificadores paramétricos, pero a menor costo. Aunque el amplificador refrigerado es el de más baja temperatura de ruido resulta también el más complicado, costoso y con mayor riesgo de falla, por lo que su empleo está casi abandonado. Actualmente el LNA más usado en las estaciones terrena y en los satélites es el que emplea transistores de efecto de campo sin refrigeración (FET), pero son mejores los transistores conocidos por las siglas HEMT⁶.

Las estaciones transmisoras terrestres más pequeñas tienen amplificadores de estado sólido, cuya potencia es muy inferior a la de un foco común y corriente, en tanto que las de mayores dimensiones emplean tubos de ondas progresivas (TWT) o klistrones de nueva generación. Los TWT ofrecen anchos de banda del orden de 500 MHz que resultan capaces de proporcionar hasta 10 kW de potencia, por ser dispositivos de banda angosta (comúnmente 40 MHz), sintonizables dentro de los 500 MHz del ancho de banda empleado típicamente en comunicaciones satelitales, y su potencia máxima es del orden de 3 kW.

Entre los avances más recientes en la fabricación de TWT es la reducción del tamaño, enfriamiento por conducción y mejoramiento de ganancias con colectores de etapas múltiples. En cuanto a los klistrones, las mejoras incluyen colectores multietapas, expansión de ancho de banda instantáneo, mayores potencias y el uso de enfriamiento por aire, lo cual abarata su costo y mantenimiento. Sin embargo, los avances más importantes se han logrado en los amplificadores de potencia de estado sólido, que tienen un buen desempeño lineal para la transmisión digital y multiportadora, no requiere de equipo de RF de respaldo y es factible producirlos en grandes cantidades.

⁶ High Electro Mobility Transistor

4.4 Costo unitario por estación

A continuación se muestra una tabla del costo unitario de las estaciones esclavas y maestras en banda Ka. [ORD01]

234,445	7,750

Estos serán los precios que se utilizarán para calcular la factibilidad económica mas un cargo por instalación. Las características de las estaciones terrenas que utilizaremos en el proyecto, se mencionan en el capítulo 7.

Referencias

1. [ROS99] C. Rosado, "Comunicaciones por Satélite", Limusa, México, 1999
2. [PRI93] Pritchard W. "Satellite Communications Systems Engineering", Prentice Hall, USA, 1993.
3. [PRA86] T. Pratt, "Satellite Communications", Jhon Wiley & Sons, 1986.
4. [CR01] Cruz y Hernández, "Cálculos de enlace y atenuación por lluvia para comunicaciones por satélite en la banda Ka para México", UNAM, Facultad de Ingeniería, 2001.
5. Apuntes de la clase de Seminario de telecomunicaciones impartida por el Dr. Salvador Landeros Ayala en la Facultad de Ingeniería, UNAM.
6. [ORD01] Ordóñez, "Comparación de cálculos y costos de enlaces satelitales ocn estaciones VSAT en las bandas Ku y Ka", UNAM, Facultad de Ingeniería, 2001.

CAPITULO 5

Subsistemas del Satélite

Un satélite típico consiste de una carga para establecer la comunicación y de una red formada por los subsistemas de soporte o bus. Los subsistemas de soporte del satélite son:

- Subsistema estructural
- Subsistema de energía eléctrica
- Subsistema de control térmico
- Subsistema de rastreo, telemetría y comando
- Subsistema de posición y orientación
- Subsistema de propulsión
- Subsistema de antenas
- Subsistema de comunicaciones

Al diseñar un satélite es primordial conocer exactamente su peso, pues esto es de gran importancia al ponerlo en órbita. Cada uno de los subsistemas del satélite supone un porcentaje de masa respecto al total. La masa total de transpondedores y antenas se denomina carga útil.

El porcentaje de masa de cada uno de los subsistemas, y por ello también del de comunicaciones, depende del tipo de estabilización que emplee el satélite. Los satélites con estabilización por Giro llevan un tres por ciento menos de carga útil que los estabilizados en Tres Ejes, lo cual se ve compensado por algunas de las características de dicho tipo de estabilización.

5.1 Subsistema Estructural

La estructura para alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto debe ser diseñada para que soporte una variedad de pesos. Durante el lanzamiento y puesta en órbita la estructura sufre aceleraciones, impactos, radiaciones y cambios térmicos por lo cual su armazón debe ser rígido, resistente y ligero. La protección de la estructura contra efectos de descargas y otras perturbaciones eléctricas originadas en el espacio es difícil, ya que tiene como consecuencia daños en los elementos mas sensibles como en el subsistema de telemetría, debido a los pulsos de alto voltaje originados por descargas.

La estructura satisface la necesidad de contar con una tierra común para todas las unidades y subsistemas, tanto para fines de retorno de potencia eléctrica como para las

descargas electrostáticas. Para su función de retorno de potencia del subsistema de energía es conveniente que se asegure que la resistencia eléctrica de la estructura no cause una pérdida mayor de 0.1V a ninguna unidad alimentada por corriente continua.[ROS99]

Una gran variedad en materiales y técnicas han sido utilizados para la estructura. Como el satélite no queda directamente expuesto durante el lanzamiento su forma no tiene que ser aerodinámica, y tampoco el ambiente altamente enrarecido de su operación en el espacio exige forma alguna. La forma de un satélite depende en gran medida del subsistema de energía y del método de estabilización utilizado. Las estructuras más comunes, la mayoría derivadas de prácticas aeronáuticas, se muestran en la figura siguiente:



Figura 5.1 Estructuras Típicas

En la siguiente tabla se enlistan los materiales más comunes que se usan en el diseño de las estructuras del satélite. Los materiales presentan características como resistencia mecánica, resistencia a la radiación, rigidez, estabilidad dimensional, peso reducido y baja resistencia eléctrica.

Materiales de la Estructura mas Comunes
Aluminio
Magnesio
Acero inoxidable
Titanio
Grafito fenólico reforzado
Fibra de vidrio
Berilio (Beryllium)

Tabla 5.1 Materiales Estructurales mas Comunes

El porcentaje de la masa total del satélite representado por la estructura es menor al 20%. Este porcentaje tiende a decrecer cuando el peso del satélite es alto y tiene un cuerpo estabilizador y tiende a aumentar cuando el peso del satélite es alto y se estabiliza por giro como se muestra en la gráfica.

Estabilizador
por giro

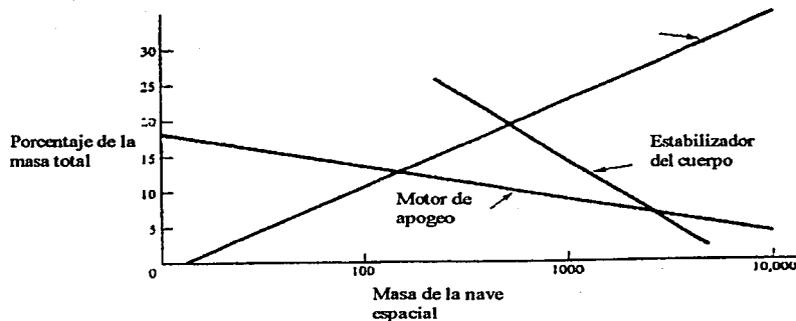


Figura 5.2 Factores del motor de apogeo y estructura

Las cargas electrostáticas se desarrollan por el efecto de partículas provenientes del sol y del espacio que tienen una intensidad mayor durante periodos de tormentas solares y pueden llegar a producir descargas entre partes de la nave que tengan distinto potencial. A fin de evitar que las cargas causen una diferencia de potencial en diversas partes de la estructura, es necesario que todos los objetos y superficies metálicas estén conectados entre si a la tierra del subsistema de energía. Aun las partes con dieléctricos expuestos al exterior como los cables deben permitir el drenaje de cargas a la estructura metálica. Con esto se logra una distribución uniforme de cargas. En muchos casos, se emplea pintura conductora, cintas conductoras, material adhesivo conductor y hojas metálicas delgadas en las superficies externas, los cables que conectan sensores y mecanismos que sobresalen del cuerpo principal de la estructura se cubren con blindaje metálico.

5.2 Subsistema de Energía Eléctrica

La energía primaria de los satélites comerciales se obtiene de la radiación solar por medio de células fotovoltaicas. Debido a la falta de radiación solar durante eclipses se requiere contar con el apoyo de baterías para asegurar la continuidad de la alimentación.

La potencia eléctrica requerida por un satélite depende en alta proporción de la energía total de los amplificadores de radiofrecuencia y cambia con el tipo de servicio al que esta destinado. La capacidad de suministro de energía eléctrica varía por los cambios estacionales en la radiación solar captada, incluyendo los eclipses. Los requisitos de energía deben establecerse para la máxima demanda real al final de la vida de un satélite debido a la degradación de la capacidad de los elementos que la proporcionan.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

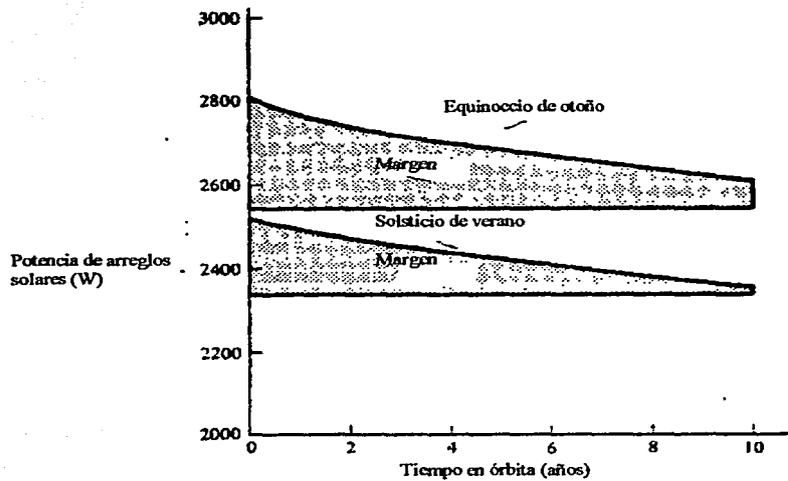


Figura 5.3 Margen de arreglos solares

Para especificaciones técnicas, en los requisitos de energía, se puede señalar que todos los amplificadores operaran cerca de saturación pero se debe tomar una proporción mínima de amplificadores con retención de potencia (característica de los transpondedores para múltiples portadoras) pues esto permite ahorros en el costo de la plataforma. La siguiente tabla muestra los requisitos de energía para un satélite estabilizado en tres ejes con un consumo de potencia de mas de 1.5kW [ROS99]

Concepto	Solsticio de Junio	Equinoccio de Septiembre	Eclipse
Repetidores	1341	1341	1334
Control de Actitud	45	45	45
Telemetría y Comando	50	50	50
Térmico	200	224	170
Electrónica del subsistema de energía	50	57	34
Carga de Baterías	30	190	-----
Total de Cargas	1716	1907	1633

Tabla 5.2 Presupuesto de Requisitos de Energía para Satélite Estabilizado por Tres Ejes

La energía que pueden utilizar las celdas solares es proporcional al coseno del ángulo de inclinación que forman los paneles solares con el plano perpendicular a la radiación solar, ángulo que varía entre 23.4 y 0 grados. Esto se debe a que los satélites estabilizados por tres ejes los paneles solares se orientan continuamente hacia el sol girando sobre el eje de cabeceo norte-sur pero no sobre el de balanceo.

Debido a que la órbita de la tierra alrededor del sol es elíptica el flujo de potencia de la radiación que recibe del sol varía en proporción inversa al cuadrado de la distancia entre los centros de los cuerpos celestes según la época del año, siendo máximo para la menor distancia como se muestra en la tabla y en la siguiente figura.

Equinoccio de marzo	0.996	0	1.008
Solsticio de junio	1.016	23.4	0.889
Equinoccio de septiembre	1.0034	0	0.993
Solsticio de diciembre	0.984	-23.4	0.948

Tabla 5.3 Potencia Utilizable de la Radiación

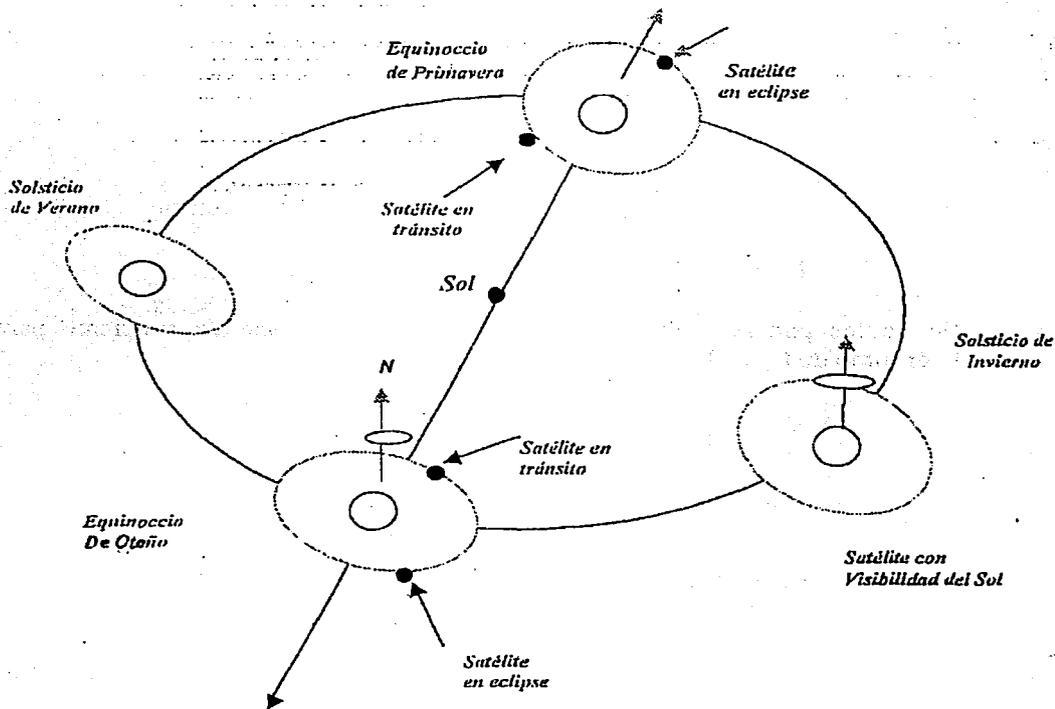


Figura 5.4 Representación gráfica de los equinoccios y solsticios en el año

Un panel esta formado por el número determinado de celdas conectadas en serie y/o paralelo que sean necesario para proporcionar la corriente y el voltaje requeridos para las cargas a las que esta conectado. Las celdas solares de silicio son las mas convencionales y tienen una eficiencia de 10 al 15%. Otras celdas se construyen a base de arseniuro de Galio (GaAs) y tienen una eficiencia aproximada del 16% pero tienen una mayor masa quebradiza y un alto costo, por lo que se emplean en satélites de alta potencia. En la siguiente gráfica se muestra la relación del temperatura y la eficiencia de los dos tipos de celdas.

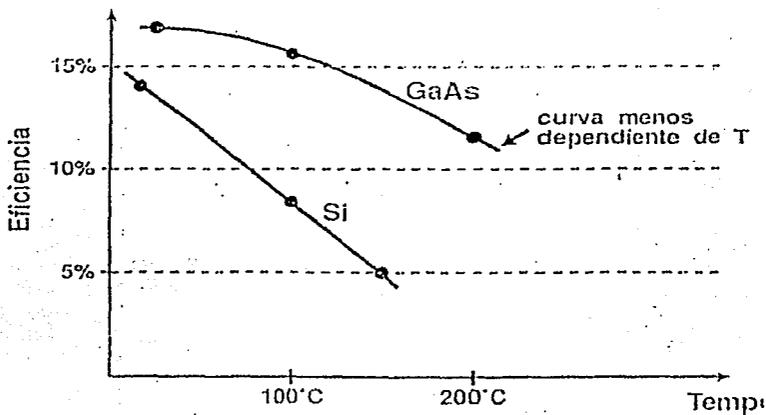


Figura 5.5 Eficiencia de las celdas solares

La superficie de los paneles solares necesaria para producir energía suficiente para satisfacer el consumo de todas las cargas del satélite es :

$$A_p = \frac{P_L}{S_r \eta F_d F_l F_s} M \quad [m^2]$$

donde

P_L es la potencia requerida en las cargas.

S_r es la potencia solar utilizable por metro cuadrado usada como referencia.

η es la eficiencia inicial de conversión de energía de las celdas sin cubiertas

F_d es el factor de pérdidas en los cables de distribución de energía y en dispositivos en serie antes de los acondicionadores de potencia.

F_l es el factor por deterioro de las celdas solares al final de la vida útil del satélite (0.9 para el 10% de reducción de potencia)

F_s es un factor debido a pérdidas iniciales en las cubiertas protectoras y en las conexiones de las celdas, y al aumento de superficie por soporte, con valor típico de 0.85

M es el factor de margen (1.05 para el 5% de margen)

La reducción del rendimiento de los paneles durante su vida útil se debe al deterioro por la radiación de partículas y a cambios en las características en las cubiertas, siendo mas acentuada durante los primeros cinco años. En este aspecto se han logrado grandes mejoras, por lo que los paneles solares de un satélite estabilizado en tres ejes pueden tener una disminución de su rendimiento de solo 13% en los 14 años en órbita, es decir, F_i es igual a 0.87.

Las baterías son necesarias para suministrar de energía eléctrica a la nave durante los eclipses que impiden la iluminación de los paneles solares. Este fenómeno ocurre en dos periodos al año alrededor de los equinoccios, en lapsos diarios dentro de unos 21 días antes y después del 21 de marzo y del 21 de septiembre, cuando el satélite entra en la sombra creada por la tierra al interceptar la radiación solar.

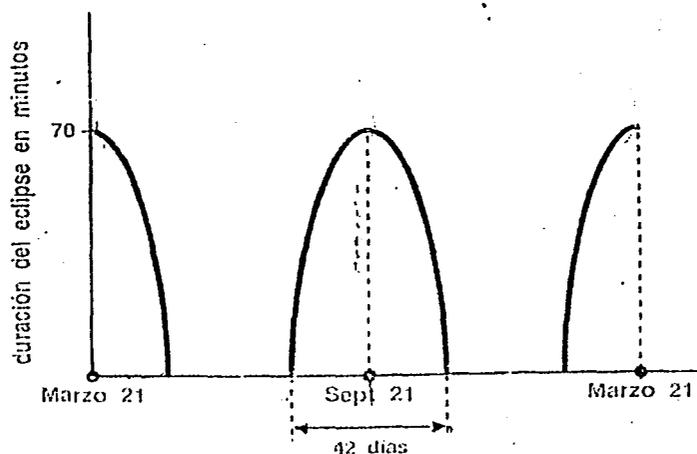


Figura 5.6 Duración de los eclipses de Tierra

Esto se debe a que en esos periodos el eje tierra-sol forman un ángulo menor de $\pm 8.7^\circ$ con el plano de la órbita del satélite. La mitad del intervalo de tiempo de cada eclipse ocurre al medianoche, tomando como referencia horaria la longitud del satélite estacionario. Al iniciarse los eclipses su duración aumenta cada día hasta alcanzar unos 70 minutos como máximo y disminuye hasta desaparecer.

Las baterías mas utilizadas son las de níquel-cadmio (Ni Cd) las cuales no han podido ser mejoradas para reducir su deterioro en misiones de larga duración y son muy pesadas. Otro tipo de baterías son las de níquel-hidrogeno (NiH₂), las cuales son mas ligeras, fiables y tienen el doble de eficiencia por kg.

La batería es sensible a la duración e intensidad de la carga, la duración de la vida de la batería depende del control de la carga, de la profundidad de su carga durante los eclipses y del control de su temperatura que es optima entre 5 y 15°C. [ROS99]

La distribución de energía desde los paneles solares y la batería se realiza por medio de una conjunto de cables, sensores de corrientes, termostatos, fusibles y conmutadores de potencia y una de sus funciones mas importantes es proteger la nave de fallas motivadas por cortos circuitos. Estas funciones pueden efectuarse a través de diversos centros de carga dentro del satélite.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de consumo típico de energía en los diferentes subsistemas del satélite.

Configuración	
24 transpondedores	
Banda ka	
36 MHz de ancho de banda de los canales	
50W	
Reuso de frecuencias (polarización Horizontal y Vertical)	
<i>Subsistema de Comunicación</i>	<i>Power (W)</i>
TWTAs (24), 50 W (eficiencia 50%)	2400
Suministro de Potencia Pérdida (5%)	120
Receptores (2)	20
Amplificadores (24)	10
Potencia requerida	2550
Margen (10%)	250
Potencia de comunicación total	2800
<i>Bus</i>	
TT&C	50
Control de Orientación	20
Control Térmico	50
Potencia	10
Carga de batería	500
Margen (10%)	70
Potencia total del bus	700
Potencia total de la nave	3500

Tabla 5.4 Consumo de energía

Como se menciona anteriormente para que un satélite funciona bajo condiciones normales en ausencia de eclipses es generada mediante celdas solares, que se caracterizan principalmente por su eficiencia para convertir la energía solar en eléctrica, y la cantidad de potencia depende de éste parámetro y de la intensidad de la radiación solar, que incide ortogonalmente sobre su superficie. Una celda solar convencional consta de una juntura p-n, en la que se forma una capa intrínseca (eléctricamente neutra), y cuando la luz solar

incide sobre ella se absorbe energía y se liberan electrones, lo cual causa un flujo de corriente eléctrica en el circuito externo conectado a la celda. La eficiencia de conversión de las celdas disminuye con el tiempo, debido a daños por radiación e impactos de partículas atómicas o micrometeoritos en estructura semiconductor. Sin embargo, con la ayuda de capas protectoras los arreglos solares son diseñados de tal forma que permanezcan en operación óptima al menos en las primera etapas de la vida útil del aparato, que actualmente es cercana a los 15 años para un satélite geostacionario de alta potencia. La opción de tener celdas solares más eficientes que la de algunos años atrás hace posible el incremento en la potencia de los modelos de los satélites modernos o bien, permite tener arreglos solares más ligeros y pequeños con las mismas potencias equivalentes, lo cual significa una reducción en el costo del lanzamiento y operación en órbita del satélite. Por ejemplo por cada kilogramo ahorrado en la masa del satélite, el costo del lanzamiento puede reducirse aproximadamente 70,000 dólares.

En los satélites actuales requieren de una mayor cantidad de potencia porque los sistemas de comunicaciones son cada vez más complejos, es por eso que el uso de celdas solares de capas múltiples permiten generar la potencia deseada a un menor costo. Los materiales con los que se hacen estas celdas solares de capas múltiples son el arsenio de galio, el germanio, el silicio y el fosforo de indio-galio.[LAND02]

5.3 Subsistema de Control Térmico

El sistema térmico tiene como objetivo mantener las temperaturas requeridas en el satélite para que su operación sea satisfactoria, es decir cada elemento del satélite debe de operar dentro de un rango de temperatura establecido en sus hojas de especificaciones. Los elementos del satélite operan en forma degradada o dejan de operar si los elementos del satélite operan fuera de sus rangos de temperatura. La temperatura del satélite depende de la potencia generada internamente, la que radie el espacio y la radiación recibida principalmente por el sol.

Algunas partes del satélite, como los paneles solares de los satélites estabilizados en tres ejes, deben soportar temperaturas extremas al alternarse los periodos de exposición a la radiación solar con los de la falta de ella. Otros componentes requieren temperaturas en una gama relativamente estrecha para funcionar adecuadamente como los amplificadores de potencia en estado sólido, los tanques de propulsión y las baterías.

El flujo directo de la radiación del sol tiene una densidad de potencia casi constante de $1370 \pm 46 \text{ W/m}^2$ según la época del año, durante los eclipses se produce un cambio brusco en la temperatura y aun así el sistema debe de mantener las temperaturas de operación. Los amplificadores de potencia convierten en calor entre el 40 y 60 % de la energía eléctrica que consumen dependiendo de su eficiencia. La energía generada internamente por los amplificadores de potencia depende de la proporción entre los transpondedores operados a saturación con una sola portadora y los operados con múltiples portadoras, así como de la ocupación de su capacidad a lo largo de su vida útil.

En el interior del satélite la temperatura no es uniforme se presentan gradientes que dependen de la cantidad de calor y ubicación de los puntos en que se genera, interviniendo la conducción y la radiación entre sus componentes. Para evitar esto, se utilizan tubos de calor para absorber grandes cantidades de calor provenientes de fuentes de altas temperaturas como un tubo transmisor. Estos diseños explotan la alta temperatura de evaporación de los fluidos en donde el calor que se absorbe en el lado caliente del tubo se condensa en el extremo mas frío desde donde el fluido regresa al lado caliente por medio de conductos. De esta forma se dispersa el calor y se conduce a las superficies radiadores externas. Son altamente efectivos para enfriar el satélite y pueden ser colocados directamente bajo los TWT y tienen el beneficio de proveer una estructura rígida.

Por otro lado, para evitar las temperaturas bajas se introducen elementos de control como calefactores eléctricos, los cuales evitan que algunas unidades alcancen temperaturas demasiado bajas. Los calefactores eléctricos operan cuando falta la radiación solar y cuando los transpondedores generan muy poco calor. Se usan en unidades de control de canal, en sensores de Tierra, en las baterías, en los impulsores y en los conductos de propulsión, entre otras aplicaciones.

La utilización de materiales como espejos de cuarzo, plásticos aislantes (Kapton, Mylar y Kevlar) y pinturas de diversos colores (según su emitancia¹ y absorbencia) son factores que permiten el control térmico. Los plásticos aislantes se utilizan en las superficies externas del cuerpo principal del satélite para reducir la penetración de radiación solar y en la parte posterior de los reflectores de antena para reducir las distorsiones por calor, así como también se utilizan para aislar entre sí elementos internos y para evitar el congelamiento de los impulsores. Se requieren plásticos aislantes para conservar las temperaturas del motor de apogeo² y de las sustancias propulsantes sobre las mínimas de ignición, además se emplea una barrera térmica entre el motor y otras partes de la plataforma.

5.4 Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando

Las principales funciones de este subsistema son :

- Recolección, confirmación, modulación y transmisión de la información relacionada con la configuración y desempeño del satélite.
- Recepción, demodulación, decodificación y distribución de las señales de mando destinadas a mantener el adecuado funcionamiento del satélite y a adaptar la carga útil a las necesidades de la misión.
- Recolección, confirmación, modulación y transmisión de la información relacionada con la configuración y desempeño del satélite.

¹ Flujo radiante por unidad de área emitido por una superficie

² Es el punto más alejado del centro de la Tierra en la órbita de un satélite.

- Intercomunicación de señales destinadas a realizar una determinación de alta precisión de la distancia del satélite a un punto sobre la Tierra.

En la actualidad a menudo se emplean una parte de la banda de la carga útil, aunque pueden utilizarse distintas frecuencias para la comunicación en órbita de transferencia y en órbita geoestacionaria.

La sección de telemetría recibe las señales de los sensores, los cuales vigilan los estados de temperatura, voltajes, corrientes, presiones, aceleraciones y ángulos relativos. Las señales recibidas son procesadas en un formato y secuencia predeterminada, moduladas y transmitidas al centro de control. El centro de control analiza las señales de los sensores y envía señal de mando hacia el subsistema del satélite. Cada señal de mando se recibe en el subsistema, se demodula y almacena. Al mismo tiempo se regresa por la sección de telemetría al centro de control para que después de su verificación, confirmación y reexpedición la señal pueda ser encaminada al dispositivo que deba de ejecutarla.

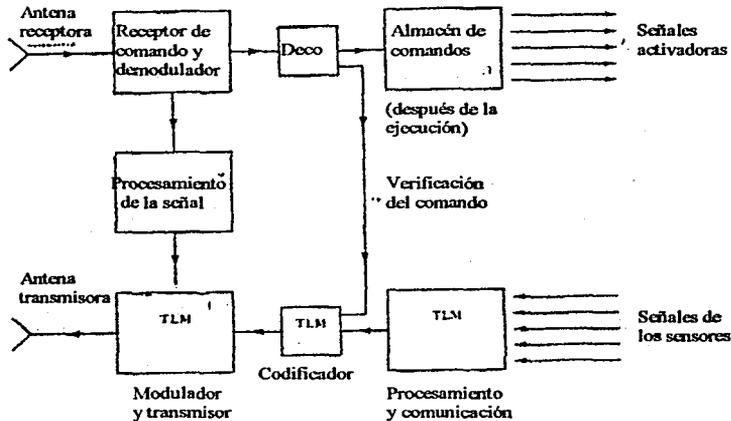


Figura 5.7 Sistema general de TTC

En un satélite comercial el número de parámetros medidos puede ser desde más de doscientos hasta cerca de mil, pero como la mayoría de ellos no cambia rápidamente el muestreo del valor de cada uno no necesita ser muy frecuente (intervalos de 30 segundos a 2 minutos). Por otro lado, el error de la medición de la magnitud de los mismos no excede de 0.5 a 1%.

Como la telemetría es vital para la operación correcta de un satélite sus elementos mas importantes deben tener redundancia, es decir, debe de contarse con dos transmisores y dos codificadores en conexión cruzada. La información del parámetro de cada punto de

medición se toma por muestreo, se digitaliza, se codifica y se multiplexa en el tiempo con los datos de los demás sensores para producir dos flujo continuos, uno por cada transmisor y también mediante opciones de operación se puede vigilar un parámetro en forma mas continua.

La codificación de las señales puede realizarse en una sola unidad de equipo. Es decir, mediante una serie de conductores que llegan de cada sensor al codificador. Otra forma es mediante múltiples codificadores distribuidos y sincronizados que se conectan a una canal común, el cual tiene la ventaja de evitar un número excesivo de cables, aunque se requiere duplicar todos los elementos del subsistema para asegurar la fiabilidad del conjunto.

Durante la órbita de transferencia no es posible transmitir la telemetría por la antenas de la carga útil porque no están desplegadas. Por lo que, se utiliza una antena adicional llamada antena Omni. La antena Omni es una antena muy sencilla con radiación directa en un ángulo toroidal muy amplio. En la posición de órbita geostacionaria la redundancia de antenas y canales alternativos de telemetría se mantienen en cualquier momento para asegurar la comunicación en toda circunstancia.

Las señales de mando son muy pocas en comparación con las de telemetría y no tienen la secuencia repetitiva de éstas. Las señales de mando siempre conducen a una acción o a una cadena de acciones con un propósito específico. Debido a ello, un error humano puede tener consecuencias muy perjudiciales y por otro lado se requiere de una mayor seguridad del enlace y se emplea la verificación del mando descrita anteriormente. Además, el enlace ente el centro de control y el satélite se calcula para que la probabilidad de identificación correcta de una palabra de código sea mayor de 99.7%. En realidad la confirmación de un mando puede ser una palabra código diferente a la de preparación transmitida originalmente desde el centro de control. Otra medida de seguridad consiste en que una estación terrena no puede tener acceso a la secciona de telemando al menos que utilice la contraseña adecuada.

En el caso de las señales de mando generadas internamente en la nave por el procesador de control la probabilidad de error es muy baja y los algoritmos de operación deben reducir aun mas la probabilidad de consecuencias no deseadas. Sin embargo, es importante programar el procesador de tal forma que no envíe señales de mando en caso de que se tengan señales riesgosas.

Después de la demodulación los decodificadores convierten las señales de mando a la forma conveniente para su ejecución y las dirigen a las unidades que actúan directamente sobre válvulas, motores, dispositivos pirotécnicos, conmutadores y relevadores.

Un método para medir la distancia de la estación TT y S al satélite consiste en trasmitir señales moduladas desde TT y S en una frecuencia de telemando y regresarlas por la sección de telemetría, determinándose la distancia por medio de la medición de la diferencia de fase entre las señales transmitidas y recibidas. Un procesador especial en el equipo del centro de control puede calcular automáticamente la distancia eliminando

como parte del mismo los cambios de fase causados por los equipos en el satélite y en la estación terrena.

5.5 Subsistema de Posición y Orientación

El objetivo del subsistema de control de orientación es conservar el apuntamiento de las antenas del satélite hacia una zona de cobertura, aunque en los satélites comerciales actuales también deben permitir que se haga una óptima capacitación de energía por medio de los paneles solares.

En los satélites geoestacionarios mas modernos se puede conservar la precisión del apuntamiento dentro de un valor de desviación de $\pm 0.1^\circ$ o $\pm 0.05^\circ$ y aun menor respecto a los ejes más importantes para la comunicación. Así mismo, la estabilización de un satélite geoestacionario facilita la inmovilización aproximada de sus antenas y ofrece resistencia a las perturbaciones que en forma constante tienden a desviar su orientación.

El control de orientación se basa en sensores para detectar cambios en la orientación de las antenas de apuntamiento fijo, los cuales alimentan al procesador. El procesador ordena acciones correctivas a los dispositivos destinados a aplicar fuerzas de giro sobre la plataforma. Además de las acciones correctivas que puede realizar el satélite de forma autónoma, para cierto tipo de correcciones o en condiciones de emergencia se envían comandos directamente desde el centro de control. Este sistema se muestra en la figura siguiente.

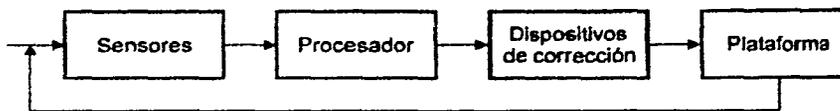


Figura 5.8 Proceso Simplificado del Control de Orientación Autónomo

En el sistema de rotación por estabilización simple el satélite giraba en su totalidad sobre el eje de máximo momento de inercia (que se escoge perpendicular al plano de la órbita) siendo de forma cilíndrica con poca altura relativa a su diámetro, lo que lo hace incondicionalmente estable. En el sistema de rotación por estabilización simple es satélite opone cierta resistencia a las perturbaciones y se mantiene erecto con mecanismos sencillos para darle alta fiabilidad. Sin embargo, este sistema implica el uso de antenas de radiación toroidal que desperdician fuera de la tierra mas del 95% de la energía emitida.

Posteriormente debido a la necesidad de utilizar diversas antenas en un solo satélite surgió el sistema de estabilización por doble rotación con todas sus ventajas y desventajas. En este sistema se logro la libertad para diseñar cargas útiles mas complejas con bandas y coberturas múltiples. A pesar de sus ventajas esta técnica tiene el inconveniente de que el satélite no es incondicionalmente estable y puede tender a la presesión (movimiento cónico del eje de giro con un periodo mayor que el de rotación),

debido a que el eje de rotación corresponde al mínimo momento de inercia, movimiento que en caso de quedar fuera de control puede aumentar hasta que el satélite quede girando sobre su eje máximo de inercia. Entre las ventajas de esta técnica se incluye una mayor simplicidad en los impulsores que sirven para corregir los errores de orientación y de órbita y la fuerza centrífuga ayuda a alimentar el líquido propulsante a los impulsores.

En la siguiente figura se muestra un satélite de doble rotación, aunque para facilitar su presentación no se incluyen reflectores múltiples.

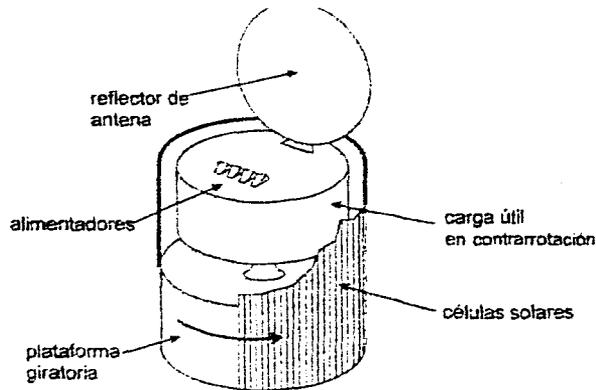


Figura 5.9 Arreglo de la Carga Útil y la Plataforma de un Satélite de doble Rotación

En los sistemas estabilizados en tres ejes el elemento rotatorio mas importante es un volante de inercia o rueda de momento ubicado dentro de la plataforma que gira a alta velocidad respecto al eje perpendicular al plano de la órbita. Como la plataforma no tiene rotación el satélite puede adoptar cualquier forma conveniente, usualmente rectangular. Los paneles solares son planos y se pliegan para el lanzamiento, se despliegan en órbita y quedan separados del cuerpo principal y expuestos constantemente al Sol en toda la superficie de una de sus caras, orientándose continuamente mediante un mecanismo para captar la mayor cantidad posible de energía en todo su momento. Así mismo, se pueden colocar los reflectores de las antenas en los lados este y oeste de la estructura. En la figura se muestra un satélite estabilizado por tres ejes.

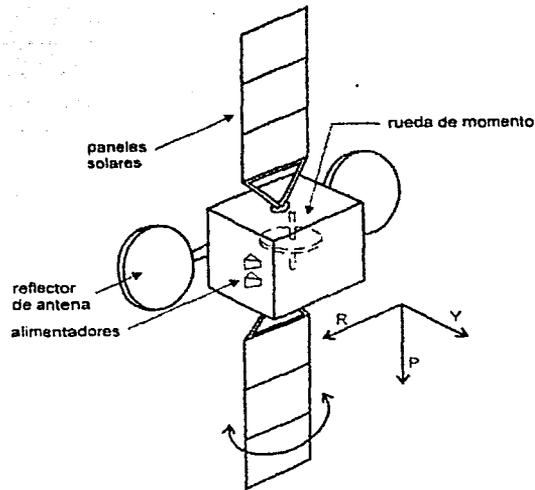


Figura 5.10 Esquema de un satélite estabilizado en tres ejes
(P, eje de cabeceo perpendicular al plano de la órbita; R, eje de balanceo tangente a la órbita y Y, eje en dirección al centro de la Tierra)

La rueda de momento sin ser muy grande, es el elemento giratorio de más inercia en el satélite y en algunos casos es el único que puede almacenar momentos recibidos del exterior al acelerar o desacelerar su giro para corregir temporalmente la orientación por errores de cabeceo. Cuando la rueda acelera su velocidad de giro produce una fuerza en dirección opuesta sobre la plataforma que si tiene el valor adecuado cancela el momento de giro perturbador. La rigidez giroscópica resultante no conviene que sea excesiva porque debido a sus características producirían demasiado acoplamiento entre los movimientos de los tres ejes.

La rueda de momento no siempre es capaz de actuar en los tres ejes, es por eso que se incluyen ruedas denominadas de reacción que en cualquier instante pueden estar inmóviles o girar en una o en otra dirección para oponer momentos correctores a fin de conservar la orientación del satélite. Generalmente, las ruedas de reacción operan en los ejes de balanceo. Sin embargo, los paneles solares debido a su distancia al centro de masa estos son muy efectivos para descargar momentos de balanceo y guiñada mediante el giro de sus alas solares.

El procesador de control de orientación debe admitir una diversidad de parámetros de entrada provenientes de los sensores, comunicándose con otros subsistemas y enviar señales de control a los actuadores como se muestra en la figura.

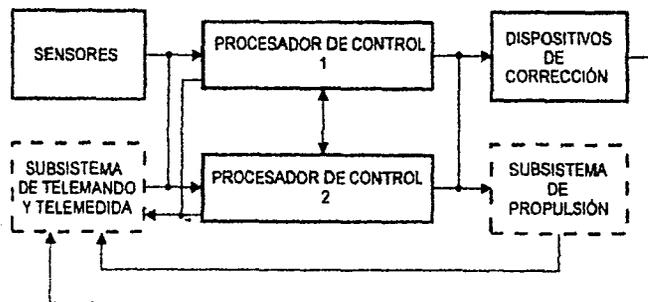


Figura 5.11 Configuración de Conexiones de un Procesador de Control

La programación lógica del procesador puede estar dividida en módulos correspondientes cada uno a una fase o un procedimiento parcial de la misión, como la fase de ascenso, el apuntamiento al Sol, el apuntamiento a la Tierra, la descarga de momentos, el ajuste del apuntamiento de los reflectores, rutinas de autoverificación y el control de la orientación cuando se están llevando maniobras de control de órbita.

Los agentes perturbadores de la posición geostacionaria de un satélite causan la excentricidad de ésta, la inclinación de su plano y otros desplazamientos menores produciendo un efecto equivalente al desapuntamiento de las antenas de las estaciones terrenas más el de aumento o disminución de la longitud del enlace. Las causas principales de las perturbaciones son, en orden de importancia, la masa de la Luna, la masa del Sol, la falta de esfericidad de la Tierra y la presión solar.

El efecto combinado del Sol y la Luna ocasionan principalmente una inclinación del plano de la órbita a razón de 0.75° a 0.95° por año. La falta de esfericidad de la Tierra origina una deriva del satélite en longitud, es decir, a lo largo de la órbita. La presión de la radiación solar sobre la superficie del satélite tiene el efecto de desacelerar un satélite geostacionario durante la mañana y acelerarlo durante la tarde causando la excentricidad de la órbita que se observa como una oscilación de su posición en longitud.

Para corregir los efectos de todas las perturbaciones se realizan las maniobras periódicas de activación de los impulsores que deben ser más frecuentes si se desea conservar la posición del satélite entre los límites de tolerancia más estrechos, lo que en principio no altera el consumo total necesario de líquidos propulsantes. Para mantener al satélite dentro de $\pm 0.1^\circ$ de su posición empleando impulsores basados en procesos químicos el tiempo máximo entre correcciones en la dirección norte-sur es de cerca de dos meses y de dos a tres semanas en la dirección este-oeste.

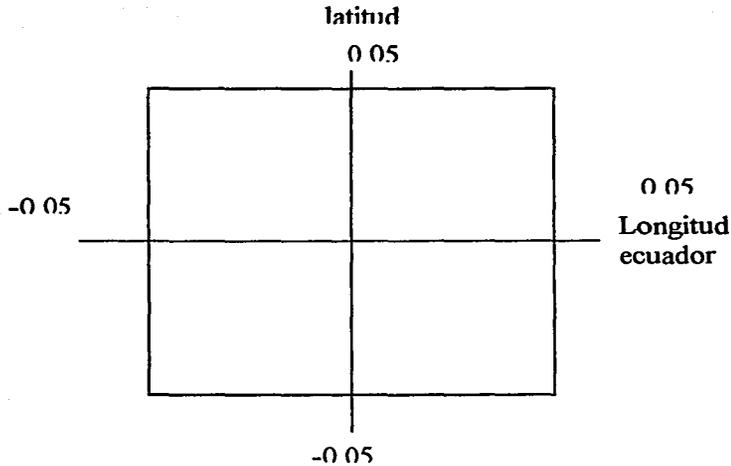


Figura 5.12 Las tres maniobras del satélite (Norte-Sur, Este-Oeste, Orientación) mantienen al satélite dentro de una caja imaginaria.

Para el control de la posición los impulsores deben activarse en combinaciones que eviten en la mayor medida posible los cambios de actitud, es decir, aplicando impulsos simultáneos que conjuntamente tengan una resultante aproximadamente sobre el centro de masa del satélite.

5.6 Subsistema Propulsión

El subsistema de propulsión es utilizado para proveer al satélite el impulso necesario para moverlo de la órbita de transferencia a la órbita geostacionaria final. En la estación, el sistema de propulsión es utilizado para mantener la posición del satélite dentro de los límites de posición del cubo imaginario. [EV99]

La función principal del sistema de propulsión es generar las fuerzas que actúan en el centro de masa del satélite. Estas fuerzas modifican la órbita del satélite para asegurar su colocación en la órbita correcta y son fuerzas reactivas que resultan de la expulsión de material. [MAR93]

Existen dos clases de propulsores:

- Impulsores de baja potencia, van de unos cuantos milinewtons a unos cuantos newtons, es utilizado para la órbita de control.
- Impulsor de media y alta potencia. De acuerdo con el lanzador utilizado este impulsor forma el motor de apogeo o el motor de perigeo.

Las características específicas de la órbita de control son las siguientes:

- El nivel de potencia bajo.
- Un número grande de ciclos de operación de duración limitada.
- El tiempo de operación acumulativo de cientos o miles de horas.
- Un periodo de vida mayor de 10 años.

Existen dos clases de sistemas de propulsión:

1. Propulsión química, de la cual el nivel de impulso se encuentra entre 0.5 newtons y varios cientos de newtons para propulsión de propelente líquido, y de diez a mil newtons para propulsión con propelentes sólidos. La propulsión química ha sido la más utilizada en los satélites. El hidrógeno y el oxígeno son muy atractivos porque se combina generando mucha energía y produciendo agua pero deben mantenerse líquidos a muy baja temperatura por lo que solo son convenientes en otras aplicaciones en las que se consume totalmente como en los vehículos de lanzamiento.
2. Propulsión eléctrica, la cual puede dar un impulso del orden de milinewtons a algunas décimas de milinewtons. La propulsión eléctrica involucra el uso de campos electrostáticos o electromagnéticos para acelerar la ionización del material. Es caracterizada por bajos impulsos (menos 0.1 newton). La propulsión eléctrica requiere grandes cantidades de potencia eléctrica. Varias técnicas de propulsión eléctrica han sido desarrolladas como la propulsión y la propulsión iónica.

El uso de energía eléctrica mejora el rendimiento de los propulsores si se compara con el de los químicos ya que requieren de una cantidad muy pequeña de masa de propelente para acelerar el conjunto espacial. En la actualidad el propelente de un sistema eléctrico puede ser expulsado con una velocidad hasta 20 veces más rápida que en un propulsor químico convencional. La propulsión eléctrica puede usar como propelente un gas raro (argón o xenón), un metal líquido (cesio o indio), o un propelente convencional como la hidracina o sustancias similares (amoníaco o nitrógeno). Una característica importante de cualquier propulsor es su impulso específico, que se define como el empuje producido o aplicado por cada unidad de masa de propelente que se consume cada segundo.

Los propulsores eléctricos actuales se pueden dividir en tres amplias categorías: electrotrémicos, electrostáticos y electromagnéticos. Los electrotrémicos usan la energía eléctrica únicamente para calentar el propelente químico convencional y aumentar su entalpía, y entre ellos están los propulsores de hidracina, cuyo rango de impulso específico es de 300 a 1200 segundos. Los electrostáticos emplean una diferencia de potencial de cargas para acelerar los iones de propelente, y existen varios subtipos, pero los más importantes actualmente son los propulsores iónicos de rejilla y los de efecto Hall, cuyo impulso específico varía entre 2000 y 10000 segundos según el diseño y sus dimensiones. Los electromagnéticos usan un campo electromagnético para acelerar al plasma o material ionizado del propelente y pueden alcanzar impulsos específicos de 1000 a 5000 segundos. La propulsión puramente eléctrica se utiliza en satélites geostacionarios de telecomunicaciones para mantener la orientación norte-sur del satélite y para ciertas maniobras en la órbita de transferencia. [LAND02]

El impulso depende del propelente utilizado y del tipo de impulsor.

Gas frío (Nitrógeno)	70
Hidracina	220
Hidracina caliente	300
Bipropelente	290-310
Iones eléctricos	1,000-10,000
Sólidos	290

Tabla 5.5 Propelentes

El subsistema de propulsión del satélite se constituye con un impulsor o motor de apogeo, con impulsores de mucho menor fuerza destinados tanto al control de la posición orbital como a coadyuvar en el control de la actitud y con los demás elementos para que los impulsores puedan operar.

Los motores de apogeo de combustible sólido conocidos como AKM⁴ solo pueden ser encendidos una vez por medio de un dispositivo, produciendo un fuerte impulso de poca duración para circularizar la órbita. Estos motores tienen el inconveniente de cualquier desviación de su impulso en dirección o magnitud causa un error de la órbita que debe corregirse después por medio de los impulsores de baja potencia. Algunos de los satélites que los utilizan descartan el motor cuando se extingue.

Normalmente todos los tanques se mantienen aislados y en general todo el subsistema de propulsión se mantiene inactivo hasta que el satélite se separa del vehículo de lanzamiento. Los tanques de gas inerte a presión se requieren para inyectar el combustible y el oxidante hacia la red y los impulsores. Para la ignición del motor de apogeo en la órbita de transferencia es necesario un regulador para controlar la presión de los tanques.

El número mínimo de impulsores de baja potencia para los satélites estabilizados en tres ejes es de seis más los de redundancia, por lo que algunos satélites cuentan con más de veinte en total. En caso de falla del motor de apogeo se pueden utilizar cuatro impulsores de baja potencia axiales como respaldo, siendo necesaria una duración mayor de cada intervalo de combustión

5.7 Subsistema de Antenas

Sin sus antenas, cualquier satélite se ve privado de funcionalidad, pues es el instrumento que le permite llevar a cabo su función de radiar información a cualquier punto de la tierra. En las antenas algunos de los factores que influyen en la comunicación van desde el material de que está fabricada, que influye en su peso, eficiencia de transmisión, el rango de frecuencias en el que puede ser usada, hasta en su forma, que proporciona unos niveles de potencia y unos patrones de cobertura determinados.

³ Impulso específico es el impulso (Fuerza x tiempo) comunicado durante un intervalo de tiempo por unidad de peso de propelente consumido durante este intervalo.

⁴ Apogee Kick Motor

5.7.1 Tipos de Antenas

De hilo. Este tipo de antenas se usa principalmente en las bandas VHF y UHF en los sistemas de Telemetría, Seguimiento y Control, TT&C (Telemetry Tracking and Control). Se sitúan con el objetivo de proporcionar una cobertura omnidireccional, de forma que la comunicación TT&C no se vea interrumpida sea cual sea la posición del satélite, por ejemplo si este gira sobre su eje cuando se encuentra en la órbita de transferencia.

Bocinas. Las bocinas se utilizan a frecuencias de micro ondas donde se requieren haces anchos para cobertura global o como alimentadores de reflectores, ya sea una o varias. Son aperturas de varias longitudes de onda de tamaño que presentan un buen acoplo de impedancias entre la guía y el espacio libre. En estas antenas es difícil conseguir ganancias superiores a 23 dB o anchos de haz inferiores a 10°.

Desde la órbita geoestacionaria son 18° los que se necesitan para una cobertura global, algo que se puede conseguir perfectamente con este tipo de antena.

Reflectores. Las antenas de este tipo suelen tener como alimentadores bocinas y proporcionan una mayor apertura que la que puede ser conseguida con una bocina.

El elemento radiador o conjunto de elementos que permiten la radiación de la energía al espacio o la recepción de la energía desde este constituyen una antena o el sistema de antenas de un satélite. Las antenas tienen un comportamiento igual para transmisión y para recepción a la misma frecuencia por el principio de reciprocidad, por lo que una misma antena puede ser usada para recepción y para transmisión con resultados similares en ganancia y dirección si en ambos casos se usa la misma banda.

5.7.2 Huella de Potencia de un Satélite.

En una huella de potencia se indica la potencia con que emite el satélite hacia esa zona en concreto, expresándola en dBW (decibeles por watt).

$$\text{dBW} = 10 \log P_s / 1W$$

Siendo P_s la potencia de salida del satélite expresada en vatios.

Esto es lo que se denomina PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) del satélite.

En los mapas de la huella de potencia o zonas de cobertura, se indica el valor del PIRE en dBW. Con este dato, se puede calcular la instalación receptora adecuada a cada lugar de recepción.

5.7.3 Cobertura

Las características principales de las antenas de un satélite dependen fundamentalmente de la extensión y forma deseadas de la cobertura o coberturas y en resumen son:

- Uniformidad entre el haz y la región que se desea cubrir
- Un patrón de radiación con lóbulos laterales reducidos

- Alto aislamiento entre polarizaciones ortogonales
- Directividad de haz precisa

Para radiar o recibir desde una máxima cobertura de un satélite internacional se usa un haz llamado global y se requiere solo un radiador primario aunque tiene baja ganancia. La cobertura global se usa cuando se desea conectar enlaces entre estaciones terrenas ubicadas en cualquier parte de la superficie terrestre.

Para una cobertura menos abierta se requiere uno o mas radiadores primarios y un reflector eléctricamente conductivo para concentrar el haz en cierta medida, o un grupo de radiadores primarios sin reflector.

En algunos casos es deseable contar con un haz angosto apuntable en una gama de direcciones, lo que es posible utilizando un mecanismo controlado por mandos emitidos por el centro de control del satélite creando un haz elíptico.

La figura 5.12 muestra dos formas de ubicar un radiador primario respecto del reflector variando su posición.

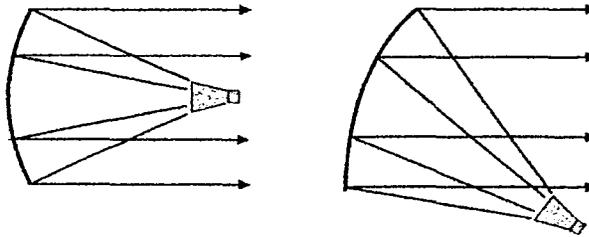


Figura 5.12 Efecto del Cambio de Ubicación de la Bocina de Radiación Primaria Respecto del Reflector

En el primer caso el radiador se encuentra en el foco del paraboloide, la corneta obstruye y desvía la radiación reflejada dirigiendo parte de ella en ángulos no deseados, incluyendo el efecto de giro de la polarización, que puede causar interferencias en la radiación con polarización ortogonal cuando se reutilizan frecuencias por este medio. En el segundo caso, el reflector parabólico no es simétrico representando una sección de una parábola mas grande que no incluye el vértice, lo que evita la incidencia de la reflexión sobre el radiador primario y dirige la radiación en ángulo respecto de dicho eje. Esta solución origina una pérdida de eficiencia menor que se compensa por la reducción de la radiación de los lóbulos laterales y de la interferencia en la polarización cruzada.

En algunos casos es deseable un haz conformado en vez de elíptico, con una huella que corresponda aproximadamente al área nominal de cobertura para obtener las ventajas de reducir tanto el desperdicio de energía en zonas no deseadas como la interferencia a otros sistemas. Una de las técnicas para lograr un haz conformado consiste en utilizar un reflector parabólico y un grupo de radiadores primarios, cada uno con potencia y fase

ajustadas para obtener la forma deseada de la huella. El grupo de radiadores queda fuera del eje del reflector reduciendo los lóbulos laterales de radiación. Mientras mayor sea el número de radiadores primarios mejor puede ser la aproximación de la conformación del haz a una cobertura irregular. Normalmente es deseable que el PIRE sobre la zona de cobertura sea relativamente uniforme lo que generalmente se logra con un mayor número de radiadores sin embargo, el costo y las dificultades de diseño y construcción dificultan la construcción de la antena. Otra forma de lograr este objetivo consiste en utilizar un solo radiador alimentador y un reflector casi parabólico con desviaciones en la geometría de su superficie que permiten conformar un haz para la cobertura deseada.

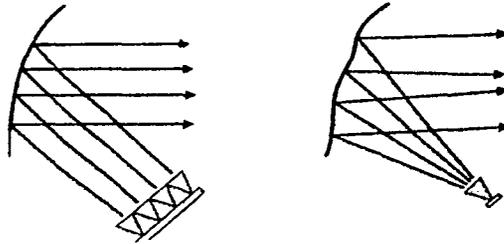


Figura 5.13 Haces Conformados

Algunos de los beneficios principales que presenta este tipo de antenas de un solo radiador alimentador y un reflector con desviaciones en su superficie son: peso, costo y menor pérdida en los alimentadores.

5.7.4 Reutilización Espacial de Frecuencias.

Consiste en utilizar el mismo conjunto de frecuencias para transmisión y recepción en zonas geográficas separadas en la superficie terrestre. Para ello hay que diseñar con cuidado las antenas, tal que los lóbulos secundarios hacia de una zona hacia la otra sean de un nivel considerablemente bajo, para que la interferencia sea permisible. Se suelen usar para todo ello alimentadores compuestos por agrupaciones de bocinas, como los de la figura, que permiten diseñar patrones de cobertura a medida.

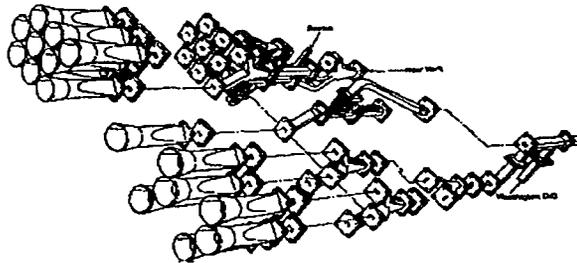


Figura 5.14 Alimentadores Compuestos

Resaltar que para transmisiones FM este nivel es de unos -25 dB, mientras que en modulaciones digitales se permite hasta -17 dB.

5.7.5 Reutilización de Frecuencias por Polarizaciones Ortogonales.

Esta técnica se basa en generar cada haz que se proyecta en dos polarizaciones ortogonales, cosa que implica que la antena posea un aislamiento entre ambas de unos 25 dB en las zonas de cobertura, requisito muy estricto en la fase de diseño de la misma. Un problema, por ejemplo, en los reflectores parabólicos, es el gran acoplo que presentan entre polarizaciones ortogonales debido a la curvatura y las características de radiación del alimentador, por lo que la solución suele ser usar una configuración Cassegrain para evitar el bloqueo que produce el alimentador, compuesto generalmente por agrupaciones de bocinas. En la figura se observa un reflector de este estilo.

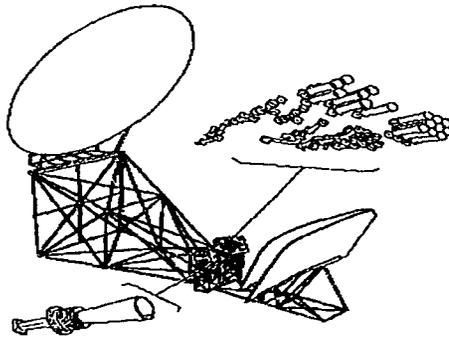


Figura 5.15 Configuración Cassegrain

Para obtener ambas polarización se sitúa el pequeño *dipolo* existente en el interior del convertidor, en posición vertical así, sólo podremos ver las emisoras que transmiten con polarización vertical, sin lograr ver ninguna de las que transmiten con polarización horizontal. En la antena parabólica tendremos que girar el convertidor, con el fin de situar el dipolo en posición horizontal o vertical, en función de la señal que queramos recibir. Esto se puede realizar automáticamente mediante un polarizador, que no es más que un dispositivo electromecánico que se encarga de girar la polarización de la señal captada.

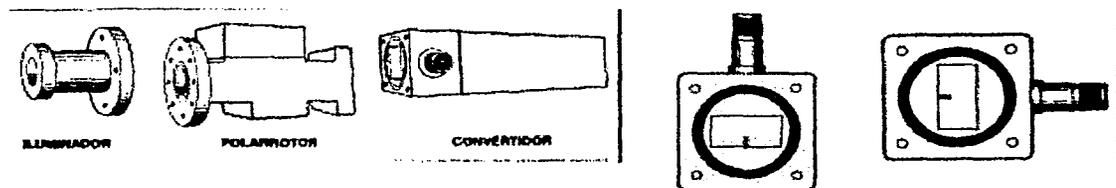


Figura 5.16 Polarizadores

De esta forma, con un solo convertidor, podremos recibir tanto las señales de polarización horizontal como vertical.

La limitación que tiene este sistema es la fiabilidad de las partes móviles sometidas a la acción de los agentes atmosféricos y la precisión en el posicionamiento.

Otra solución consiste en la utilización del llamado sistema ortomodo, que consiste en una doble guía de ondas que separa las dos polarizaciones, horizontal y vertical, en dos diferentes salidas que aplican las señales a dos diferentes convertidores.

Actualmente los reflectores parabólicos perfilados constituyen una de las tecnologías satelitales de fines de los años noventa y se emplean para generar haces conformados que tienen un área de cobertura irregular y bien definida. Dándole el perfil adecuado al reflector y utilizando un solo alimentador, en lugar de un arreglo de alimentación con decenas de cornetas y una red de formación del haz, se puede reducir el costo y el peso total del sistema de antenas, además de evitar las pérdidas de potencia asociadas con el sistema tradicional de alimentación y, consecuentemente, los reflectores con superficie perfilada para formar un haz conformado se incluyen hoy en los satélites más avanzados. Estos reflectores se diseñan por medio de un procedimiento matemático iterativo, para calcular las perturbaciones superficiales que permitan sustituir a decenas de cornetas alimentadoras por una sola, obteniéndose así el mismo patrón de radiación. Con esta sorprendente innovación ahora es posible ahorrar en los costos de lanzamiento del orden de 10 millones de dólares, ya que al sustituir por una sola las decenas de cornetas que tradicionalmente se empleaban, además de quitar toda la red asociada de microondas, la masa de la antena se reduce más de 100 kilos. [LAND02]

5.8 Subsistema de Comunicaciones

Un satélite de comunicaciones proporciona una plataforma en la órbita geoestacionaria para la retransmisión de comunicaciones de voz, vídeo y datos.

En el diseño del sistema total el enlace de bajada, satélite a tierra, es normalmente la parte más crítica. Para obtener un buen rendimiento la relación potencia de señal a potencia de ruido debe ser de unos 5 dB a 25 dB dependiendo de:

- Ancho de Banda de la señal transmitida.:
- Tipo de modulación empleada.

En general, transmisiones de baja potencia obligan a usar anchos de banda menores, para mantener la relación señal a ruido. Por contra, a mayor potencia transmitida y antenas más directivas es posible aumentar el ancho de banda, con el subsiguiente incremento de la capacidad del enlace.

5.8.1 Frecuencias y Bandas.

En comunicaciones por satélite se utilizan principalmente las bandas C, Ku y Ka. La elección entre una y otra viene dada por sus diferentes características, las cuales afectarán a la decisión respecto el tipo de antena y, una vez conocido el tipo adecuado, a su diseño. Por ejemplo: que presente menos problemas de propagación ante lluvia densa, que las antenas puedan poseer haces más estrechos y mayor control sobre el patrón de cobertura.

El ancho de la banda de satélite debe de satisfacer las necesidades de capacidad. Por ello, para poder satisfacerlas, la tendencia es aumentar ese ancho de banda de alguna forma o reutilizar frecuencias. En este segundo aspecto existen dos técnicas que son la Reutilización Espacial de Frecuencias o la reutilización basada en Polarizaciones Ortogonales a la misma frecuencia.

5.8.2 Transpondedores

Descripción, configuraciones e intermodulación.

El ancho de banda total del satélite se suele dividir en canales, cada uno de los cuales es manejado por un transpondedor. Un transpondedor está formado por un filtro paso banda para la selección del canal en particular, un convertidor de frecuencias, para cambiar de la del enlace ascendente a la del descendente, y un amplificador.

En los primeros satélites se solía usar uno o dos transpondedores que manejaban cada uno la mitad del ancho de banda, pero esto no resultaba bien debido a la no linealidad del tubo de onda progresiva, usado como amplificador en su zona de saturación, lo que resultaba en la aparición de productos de intermodulación de las diferentes portadoras. Por ello, es mejor usar transpondedores con poco ancho de banda, aunque se necesiten más, se reducen los efectos de la distorsión por intermodulación.

Una configuración típica es la que consiste en tomar canales de unos 36 MHz, para lo cual, si tomamos un ancho de banda típico de 500 MHz, se necesitan 12 transpondedores. Sin embargo, se puede aumentar la capacidad al doble si se utilizan polarizaciones ortogonales, siendo entonces 24 los transpondedores embarcados en el satélite para los mismos 500 MHz.

Ancho de Banda.

La elección del ancho banda, tiene que ver con la técnica de modulación que se emplee, además de la naturaleza de la señal transportada. Esto influirá en las antenas también, dado que deberán mantener sus características en dicho ancho de banda.

Para modulaciones digitales TDMA en cada instante de tiempo hay sólo una portadora en el transpondedor, por lo que el amplificador puede trabajar en zona no lineal y obtenerse mayor eficiencia en la transformación de potencia DC a potencia RF.

Cuando la modulación es analógica, FM por ejemplo, o incluso FDMA, el amplificador se debe mantener en zona lineal para minimizar los productos de intermodulación. El grado en que se reduce la potencia de salida respecto a la zona de saturación se conoce como output backoff. Esto repercute en la relación portadora a ruido, que se ve disminuida, por lo que se puede transmitir menos información con FDMA que con TDMA, es decir, señales con menor ancho de banda.

Tecnología de Haz Conmutado (Switched-Beam Technology)

Combinando esta técnica con procesamiento de la señal a bordo se puede aumentar considerablemente la capacidad del satélite. Consiste en que el satélite genere un haz estrecho para cada una de las estaciones terrestres con las que se comunica, y a las cuales transmite secuencialmente usando división por multiplexación en el tiempo de las señales. El haz debe cubrir solamente una estación terrena, lo cual permite tener a la antena una gran ganancia comparado con las antenas de cobertura zonal.

En los satélites que emplean esta técnica se requiere almacenamiento de datos ya que la comunicación es con una estación terrestre cada vez. El uso de antenas de alta ganancia permite incrementar la PIRE del transmisor del satélite, con lo que se aumenta la capacidad del enlace descendente.

5.9 Centro de Control y Estación TTS⁵

El Centro de Control y la Estación TTS pueden estar localizadas en la misma área o separadas cierta distancia en distintos terrenos. En el primer caso se tienen menores costos de inversión en equipos de operación ya que se evita la adquisición de equipos de enlace terrenal y se optimiza el capital humano, pero si se encuentran en una ciudad grande el terreno puede ser costoso y se corre con riesgos de interferencia de radiofrecuencia. Así mismo, se recomienda que ambas instalaciones se encuentren en sitios de poca actividad sísmica. En la siguiente figura se muestra el diagrama por bloques de ambas instalaciones.

⁵ Estación de Telemando, Telemetría y Seguimiento

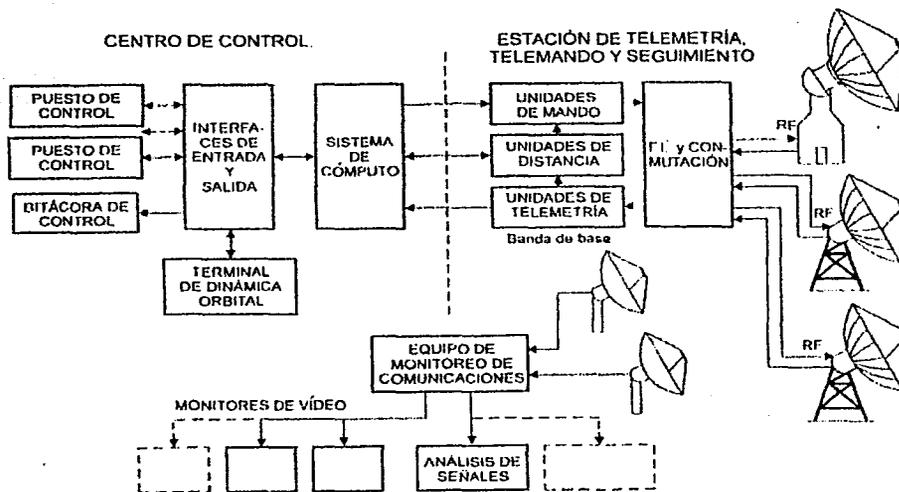


Figura 5.17 Diagrama por bloques del centro de control y estación TTS para un sistema de dos satélites.

Como se vio anteriormente, el Centro de Control es el lugar donde se realiza la supervisión del estado del satélite y se expiden las señales de mando para ejecutar en ellos todas las funciones que no realizan en forma autónoma. El Sistema de Cómputo desarrolla las funciones de conversión, cálculo, interpretación, grabación y presentación de los datos de Telemetría por los cual es la parte más importante de la instalación.

Las unidades básicas de equipo mostradas en la figura están asociadas o contienen otras unidades con funciones menos esenciales que no se muestran en la figura. Por ejemplo, existe una terminal de sistema de cómputo que se utiliza para tener acceso a los programas para hacerles las actualizaciones o modificaciones convenientes. Lógicamente también deben existir equipos de calibración y de medición que se utilizan durante las pruebas en órbita a fin de verificar las características de los satélites antes de ponerlos en operación.

La estación TTS, que es el medio de enlace entre el centro de control y el satélite, requiere de los mismos elementos esenciales en banda base, frecuencia intermedia y radiofrecuencia que las estaciones terrenas de los usuarios. Las unidades en banda base modulan las señales de mando que se transmiten y demodulan y demultiplexan las señales de telemetría recibidas. En la sección de frecuencia intermedia se realizan las intercomunicaciones y conmutaciones necesarias para las distintas etapas y circunstancias de operación, como en la etapa de órbita de transferencia en la cual se emplea la antena de movimiento ilimitado. Así mismo, la estación usualmente cuenta con una antena de movimiento angular limitado destinada al control de cada satélite y una de movimiento

limitado para el seguimiento completo de los satélites en órbita de transferencia, para pruebas y para situaciones de emergencia.

En la parte inferior de la figura se muestra una configuración de equipos para la función de supervisión de las señales de los usuarios del sistema de satélites y en general todo el espectro de frecuencias de sus transpondedores. Esta área debe verificar el PIRE y la anchura de banda y otras características del espectro de las señales de las estaciones prototipo o de todas las de una red que vayan a empezar a utilizar el sistema, antes de aprobar su operación continua, y después verificará ocasionalmente todas las señales de las redes en operación. Otra función de esta área es el de apoyar a los usuarios cuando es necesario cambiar sus redes a otro transpondedor o a otro satélite por lo que en esta área se programa todo el proceso de cambio.

Además de las instalaciones básicas mencionadas un centro de control puede contar también con:

- Un simulador dinámico de los satélites que se utilice para entrenar al personal de controladores.
- Un laboratorio de carga útil conteniendo un transpondedor completo de cada banda para conocer su desempeño con señales de características peculiares aún no utilizadas en el sistema. También sirve para reproducir condiciones anómalas detectadas a través de la telemetría.
- Un sistema de localización de estaciones terrenas que puedan ocupar ilegalmente la capacidad de los satélites o causarles interferencia. Es una herramienta del control, de comunicaciones y por tanto su ubicación en la estructura de la organización puede ser ajena al centro de control.

5.10 Resumen de los Subsistemas

Subsistemas de Satélite		
Subsistema	Función	Principales Características Cuantitativas
Comunicaciones Transpondedores Antenas	Recibir, amplificar, procesar, y retransmitir señales; capturar y radiar señales.	Potencia del Transmisor, ancho de banda, G/T, ancho de haz, orientación, ganancia, saturación de densidad de flujo de portadora
Estructura	Sostiene al satélite durante el lanzamiento y el entorno orbital	Frecuencias de resonancia, fuerzas estructurales
Control de Orientación	Mantiene las antenas apuntadas a las estaciones terrenas y las células solares al sol	Tolerancias de ejes horizontal, vertical y de acercamiento
Control Térmico	Mantiene los rangos de temperatura adecuados durante la vida del satélite, con y sin eclipses	Rango de temperatura media del satélite y rangos para componentes críticos
Propulsión	Mantiene la posición orbital, controla las correcciones de cambios orbitales y despliegue en la órbita inicial	Impulso específico, masa de propelente y aceleración
TT&C	Monitorea el estado del satélite sus parámetros orbitales, y controla sus operaciones	Precisión de medidas de velocidad y posición, número de puntos de telemetría y número de comandos
Satélite Completo	Proporcionar operaciones de comunicaciones satisfactorias en la órbita deseada	Masa, potencia primaria, tiempo de vida, fiabilidad, número de canales y tipos de señales

5.11 Arquitectura del Satélite propuesto

El diseño de un satélite requiere de muchos factores. Como se muestra en la figura existen varios aspectos que influyen en la arquitectura de un sistema satelital.

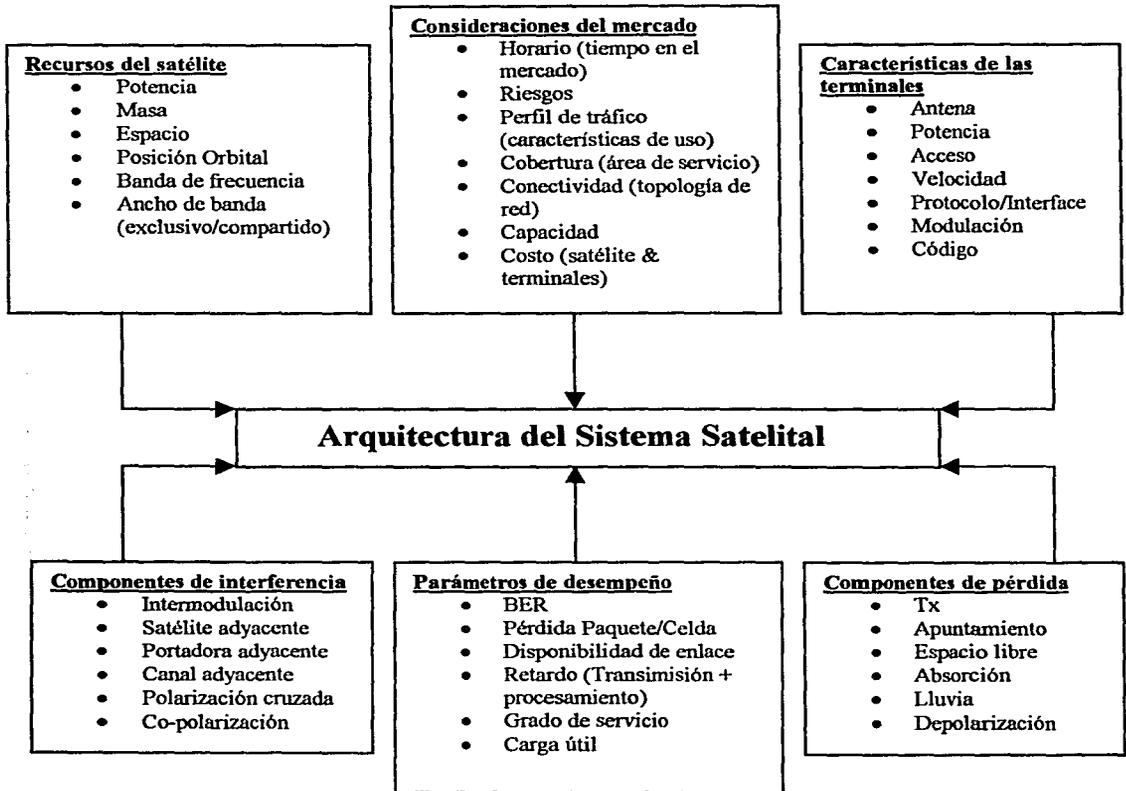


Figura 5.18 Arquitectura del Sistema Satelital.

Es casi imposible cubrir todos los requisitos, ya que algunos se encuentran en conflicto con otros, por lo que para llegar a un diseño satelital óptimo se deben de realizar varios modelos para que todos los recursos del satélite sean utilizados y los requerimientos de sistemas y servicios sean cubiertos por completo.

Una configuración ya estudiada es la que se muestra a continuación. Esta es la del satélite canadiense ANIK F2. [GRA01]

Vida útil	15 años
Banda del enlace de subida	29.5 GHz a 30.0 GHz
Banda del enlace de bajada	20.0 GHz a 20.5 GHz
Polarización de transmisión	Horizontal
Polarización de recepción	Vertical
Configuración del haz	45 haces pequeños
Masa aproximada del satélite/Potencia aproximada	900 kg/12 kW en DC
Número de transpondedores	8
Número de portadoras por transpondedor	Cientos
Ancho de banda de cada transpondedor	500 MHz
Número de TWTAs	80 (64 activos +16 de redundancia) x 120 W
PIRE del satélite	44 [dBW]
G/T	14 [dB/K]
Conectividad	Estrella
Area de cobertura	México

Tabla 5.6 Características principales del satélite

En la siguiente tabla se muestran los parámetros del segmento terrestre y de los enlaces.

Técnica de acceso	TDMA
Tasa de transmisión	2 Mbps
Diámetro de la antena receptora	1.5 m
Diámetro de la antena transmisora	5.6 m
Potencia HPA	100 W
Disponibilidad	99.50%

Tabla 5.7 Características de las estaciones terrenas

El resto de los siguientes subsistemas del satélite tendrán las siguientes características generales:

Sistema de energía eléctrica	Celdas solares de Arsenurio de Galio y baterías de Níquel-Hidrógeno
Sistema de control térmico	Radiación y conducción interna en menor grado
Sistema de posición y orientación	Estabilización triaxial y sensores de Sol, de Tierra y de radiofrecuencia.
Sistema de propulsión	Propulsores eléctricos (iones de Xenón)
Rastreo, telemetría y comando	Sensores de temperatura, presión corriente, posición de interruptores, etc. Comandos como atenuadores, propulsores, conmutación de amplificadores, etc. Entrada doble: comando + ejecución / verificación
Sistema estructural	Aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero. Plásticos reforzados con fibras de carbono y paneles de aluminio

Tabla 5.7 Características de los Subsistemas del Satélite

Referencias

1. [ROS99] C. Rosado, "Comunicaciones por Satélite", Limusa, México, 1999
2. [PRI93] Pritchard W. "Satellite Communications Systems Engineering", Prentice Hall, USA, 1993.
3. [PRA86] T. Pratt, "Satellite Communications", Jhon Wiley & Sons, 1986.
4. [MAR93] G. Maral, "Satellite Communications Systems", John Wiley & Sons, 1993.
5. Apuntes de la clase de Seminario de telecomunicaciones impartida por el Dr. Salvador Landeros Ayala en la Facultad de Ingeniería, UNAM.
6. [EV99] B.G.Evans, Satellite Communication Systems, IEE Telecommunication series tercera edición, Londres 1999.
7. [LAND02] Landeros, Neri, Cuellar, "Innovaciones tecnológicas en satélites y estaciones terrestres", Revista Ciencia y desarrollo, No. 164, México, Mayo-junio 2002.
8. [GRA01] A. Gramy, K. Gordon, "Next generation Ka Band satellite concept to extended the reach of Canada's broadband infrastructure", IEEE 2001

Paginas de Internet

1. <http://www.upv.es/satellite/trabajos/pracGrupo2/intro/intro.html>
2. <http://www.satmex.com/clientes/glosario.php>
3. <http://www.euromet.met.ed.ac.uk/external/demos/courses/glossary/radiant2.htm>

CAPITULO 6

Aplicaciones, Servicios y Mercado

6.1 Introducción

Para poder ofrecer una mayor capacidad (ancho de banda) se necesita implementar plataformas de telecomunicaciones capaces de transmitir grandes volúmenes de información hacia múltiples puntos dispersos geográficamente. De esta forma, pueden incluir diversos servicios tales como voz, datos, video e Internet en una sola plataforma, optimizando el uso del satélite y de su infraestructura terrestre.

El uso de un gran ancho de banda favorece los servicios de conectividad integral de Internet evitando así los cuellos de botella terrestres, la alta probabilidad de fallas en múltiples puntos de conexión y optimizando el uso asimétrico requerido por este tipo de servicios. Adicionalmente, representa una solución ideal para asegurar el funcionamiento de cualquier red terrestre con un alto grado de confiabilidad, en caso de desastres.

Un satélite representa un excelente canal de teledifusión de señales simultáneas a través del continente americano para transmisiones en vivo de eventos educativos o incluso monitorear aplicaciones médicas e impartir un mismo curso a nivel continental por medio de un broadcast. Es ideal para enviar simultáneamente información relevante que requiere ser incorporada al instante.

A través de la tecnología VSAT se alcanzan puntos geográficos distantes a un bajo costo por medio de una sencilla instalación. Esta solución es ideal para empresas corporativas nacionales o internacionales con requerimiento de comunicación desde 1 ó 2 enlaces hasta miles de ellos.

Las aplicaciones de los satélites en México representan tecnológicamente la mejor solución para las poblaciones rurales con escasas o nulas probabilidades de contar con otro tipo de infraestructura, ya que se pueden ofrecer servicios de telefonía local, de larga distancia nacional e internacional a través de sus estaciones terrenas.

6.2 Servicios de Banda Ancha

Debido a que el aumento en el tráfico ha sido mayor a la capacidad de crecimiento de la infraestructura de las redes terrestres los servicios por satélite, actualmente, son la mejor

solución para la transmisión de información debido a que sus costos son flexibles y es una solución escalable.

Los sistemas vía satélite son la mejor solución para aplicaciones de flujo asimétrico de datos, siendo mas rápidas que otras soluciones de acceso de banda ancha, ya que estos pueden dar servicio al transmitir datos de Internet directamente a los puntos de operación que cubre la huella del satélite. La capacidad de un satélite con haces puntuales y con un procesador abordo permite una expansión acelerada de la infraestructura terrestre, ya que un solo satélite brinda servicios de banda ancha a una vasta área terrestre.

Algunos de los parámetros del mercado de mayor importancia para servicios de bada ancha son:

- Necesidad de una solución de última milla para grandes flujos de información y acceso a Internet en áreas poco pobladas.
- Demanda de capacidad de transporte que soporte la infraestructura de Internet.
- Demanda de transmisión de archivos de alta velocidad por parte de los usuarios.
- Flexibilidad y escalabilidad para la transmisión de datos en Internet.
- Incremento en la demanda de la capacidad satelital para cubrir la transmisión IP y las aplicaciones de multitransmisión.
- Decremento en los precios de venta y renta de los transpondedores.
- Disminución del costo de equipos terrenales en adquisición por volumen.
- El panorama de competencia se ha visto modificado debido al ingreso de fabricantes de satélites al negocio de servicios.
- Las nuevas aplicaciones y la oferta de grandes anchos que proporciona la banda banda Ka aumentará el número de usuarios.

Las principales restricciones que se tienen en los servicios de banda ancha por satélite son :

- La expansión de la capacidad de las redes de fibras ópticas.
- El bajo nivel de ingreso de los países en vías de desarrollo.
- La problemática del financiamiento de proyectos.
- La poco conocimiento del avance de la tecnología por parte de los usuarios y de los grupos de toma de decisiones.
- La competencia con los sistemas DSL y cable-modem.
- La necesidad de nuevas tecnologías que mejoren la confiabilidad y el desempeño.
- El lento consumo de los nuevos servicios.

6.3 Análisis de Competitividad

El crecimiento en el mercado de los servicios de banda ancha por satélite depende de tres factores fundamentales:

- La competitividad de las soluciones satelitales dentro de las tecnologías terrestres.-
- El desarrollo de contenido de aplicaciones que requieran de un gran ancho de banda.

- El ambiente regulatorio de las políticas de cada país dentro de la huella de cobertura.

De acuerdo a estos factores podemos decir que para atraer y retener a los usuarios se requiere identificar y desarrollar aplicaciones clave como tele-medicina, tele-educación, telefonía rural e Internet a alta velocidad. Las soluciones satelitales tienen la ventaja de ganar mercado en zonas de poca infraestructura terrestre que requieran de topologías tipo malla. Esta ventaja ha permitido el desarrollo de la siguiente generación de sistemas satelitales y de servicios.

Actualmente, los inversionistas del mercado tienden a adquirir tecnología terrestre. Sin embargo, la tendencia a futuro es adquirir diseños de sistemas con planes de negocios apropiados para servicios integrados de banda ancha, en los cuales los satélites tienen la mayor ventaja.

Entre las tecnologías que representa una mayor competencia al mercado satelital se encuentran las alámbricas e inalámbricas, las cuales han extendido su alcance y además proponen nuevas aplicaciones y servicios que las soluciones satelitales deben satisfacer o exceder. Las tecnologías como cable-modem y DSL compiten con las soluciones vía satélite para los accesos de datos de banda ancha al lugar. Los satélites ocupan el lugar más pequeño del mercado de todos los medios de transmisión sirviendo a una pequeña fracción de los cuatro segmentos del mercado: consumidores, SME, grandes empresas y carriers.

El acceso inalámbrico de banda ancha tiene un potencial en el mercado más grande que el del satélite. El cable-modem es primeramente un servicio a clientes cuyo enfoque se basa en los pequeños negocios. Finalmente, las tecnologías basadas en fibra óptica en un futuro (10 años) dominarán la mayor parte del mercado de negocios, aunque habrá penetración de las tecnologías por satélites en los cuatro segmentos del mercado.

Las ventajas más evidentes de los satélites frente a otras tecnologías son :

- Cobertura ubicua
- Infraestructura instantánea
- Topologías de broadcast (transmisión)
- Proceso de regulación de las comunicaciones por satélite.

La cobertura ubicua y la infraestructura instantánea que proporciona el satélite representa la solución idónea para redes ubicadas en áreas alejadas de las redes terrestres. En una era donde las compañías se están globalizando la cobertura total ofrecida por los satélites es una característica atractiva.

Los satélites ofrecen varias ventajas para la industria de la transmisión la mayoría de los transmisores de TV cuentan con los servicios del satélite para sus operaciones. Aunque la entrega de señales en última milla es relativamente nueva para los satélites sigue siendo la mejor plataforma de soporte en la industria televisiva.

6.4 Mercados Satelitales en el Mundo

En promedio la mayoría de los satélites operan en un 80% de su capacidad. En una industria con gran desarrollo y donde para muchas aplicaciones no hay alternativas el mercado de los servicios por satélite es sensible a las condiciones de demanda y oferta.

Los principales motores de los mercados de banda ancha, son el crecimiento del volumen del tráfico de las aplicaciones y el incremento de la velocidad de la transmisión. El tráfico agregado en las aplicaciones puede ser usado para definir los mercados.

Otro indicador del mercado de servicios de banda ancha es el valor percibido y absoluto de las velocidades de transmisión-recepción desde la perspectiva del usuario final, podría decirse que es un indicador económico. El valor de la velocidad es evidente en los mercados de la industria y no solamente para aplicaciones de Internet.

6.5 Estrategias para los Servicios Satelitales en Banda Ancha

El beneficio de los operadores satelitales ha sido proporcionar servicios de carriers rentando la capacidad a otros quienes a su vez venden los servicios a usuarios finales. Sin embargo, algunos están perdiendo el monopolio de sus mercado domésticos mientras que otros se enfrentan a la creciente competencia de las alternativas terrestres.

Las tendencias son las siguientes: los nuevos servicios requieren de modelos más complejos e integrales de negocios, y los servicios de aplicaciones y mercados especializados requieren de un conjunto de tecnologías y competencias. Cada modelo de negocios debe ser hecho a la medida, con soluciones a varias cuestiones estratégicas interrelacionadas.

Convencional	Cable, voz, larga distancia. Transmisión de datos. Extensiones de red, restauración.	Redes privadas/WANs, videoconferencia. Aplicaciones de la industria especializada. Televisión para negocios.	
Recientes	Satélite fijo, telefonía, troncales para Internet.	Soluciones de redes híbridas para datos.	Transmisión directa al hogar. Servicios satelitales móviles. Conectividad a Internet.
Emergentes	Capacidad en banda Ka.		Multicasting Servicios de Internet. Servicio de posicionamiento global. Radio por satélite. Multimedia interactiva. Aplicaciones para mercados.

Tabla 6.1 Soluciones de Servicios

6.6 Servicios Satelitales para el Consumidor

El mercado de servicios directos al consumidor representa el área más activa en el desarrollo de los servicios de valor agregado por satélite, siendo los servicios de transmisión directa al hogar DTH¹ uno de los segmentos más lucrativos y de mayor crecimiento del mercado.

Las tendencias de transmisión de paquetes están enfocadas a la parte de datos y de telefonía. Hasta ahora, las tres corrientes de servicios: voz, datos y radiodifusión tienen que converger en ofertas comerciales.

En el mercado de la telefonía, los sistemas para servicio público y acceso a telecentros en áreas remotas y rurales, ofrecerán datos de alta capacidad a una velocidad suficiente que incluya accesos a internet, multimedia y transmisión básica de voz, a partir de desarrollo de terminales y de la infraestructura requerida de red.

Las aplicaciones de mercados verticales tales como la telemedicina y el aprendizaje a distancia están sujetas a análisis separados ya que debe hacerse una clara distinción entre cuales servicios de aplicación están dentro de la industria de servicios satelitales y cuales corresponden a una demanda evidente. A pesar de que estas aplicaciones han estado en desarrollo desde la llegada de las terminales VSAT a mitad de los años 70s, este tipo de aplicaciones no ha adquirido una relevancia significativa, por lo que la industria satelital está a la expectativa de su contraparte terrestre, dependiendo de las tendencias del mercado de aplicaciones.

Debido a la creciente superioridad de los protocolos de Internet como un estándar en la transmisión digital de datos, los servicios relacionados con Internet corresponden al área de mercado de mayor crecimiento para los servicios satelitales. La industria satelital está enfocada tanto a la oferta de servicios para última milla como a la interconexión de troncales siendo ésta un área de crecimiento muy lucrativa y de mayor potencial en el mercado a corto y a largo plazo.

Algunas características de los nuevos sistemas satelitales son:

- Cargas útiles en banda Ka
- Tecnología con demanda de ancho de banda
- Sofisticados sistemas VSAT que requieren un gran ancho de banda
- Infraestructura de red terrestre convergente
- Múltiples constelaciones para satélites geostacionarios

¹ Direct Transmission Home

6.7 Crecimiento de los Sistemas de Banda Ka

La siguiente fase de los servicios satelitales de banda ancha estará marcada por la introducción en los servicios en banda Ka. Los servicios de banda Ka operan en frecuencias más altas, permitiendo una mayor capacidad de transporte de datos. Quizá el factor más relevante en el uso de banda Ka es el tamaño de las terminales permitiendo el crecimiento del mercado DBS².

Por otro lado, las terminales de los sistemas actuales en banda Ku son más económicas en su fabricación en comparación con las terminales en banda Ka.

Los sistemas satelitales de banda ancha, la mayoría proyectados para ser lanzados a partir del 2002 competirán contra las redes alámbricas de banda ancha en áreas urbanas e industriales. Las redes de fibra óptica estarán disponibles para cubrir las necesidades de banda ancha en el segmento de negocios y se desarrollarán servicios de datos de alta velocidad como DSL o cable-módem para el segmento residencial.

Los servicios de banda ancha de las compañías satelitales podrían ser forzados a servir a más usuarios remotos y a regiones con una infraestructura de telecomunicaciones débil, además podría liberar el crecimiento de Internet y servir como soporte a las redes terrestres al proveer de capacidad a la transmisión de datos a grandes distancias y formar asociaciones con los proveedores de soluciones para la última milla y así llegar a los usuarios finales.

La liberación del mercado de las telecomunicaciones en todo el mundo no solo permite que entren al mercado nuevos competidores, sino también que se ponga especial atención a la oferta de interconectividad global. Esto incrementa el valor de los proveedores satelitales en el mundo de la banda ancha haciendo competidores más fuertes y socios atractivos, debido a su habilidad para ofrecer conectividad a largas distancias y en regiones de baja infraestructura terrestre.

El despliegue de las redes satelitales estará emergiendo como una opción atractiva para los proveedores de servicios en términos de cobertura y de tiempo de mercado. Algunos de los primeros clientes para los servicios de banda ancha probablemente corresponderán al sector de negocios, debido a la necesidad de conexión de sitios remotos para clientes multinacionales.

Las comunicaciones satelitales tienen la habilidad de actualizar y modernizar las capacidades de telecomunicaciones rápidamente comparado a las tecnologías alámbricas. En algunas áreas, los satélites podrían ser el método primario para la transmisión de datos, habilitando los servicios de alta velocidad en áreas donde no hay otro tipo de acceso.

² Direct Broadcast System/Satellite: servicio que distribuye una señal de audio, vídeo o datos sobre una extensa zona predeterminada, permitiendo la recepción con terminales de pequeño diámetro.

Se espera una de las aplicaciones más populares sea la video-conferencia, aunque la tecnología y la interfase para el usuario no estén disponibles aún y requiera de un mejor desarrollo. Las aplicaciones más prometedoras como la tele-medicina y el aprendizaje a larga distancia, todavía permanecen en el mercado de servicios.

El uso de la banda Ka permitirá la miniaturización de la antena del satélite, haciendo su producción más económica y simple. Esta es una consideración importante, ya que de esta manera la industria satelital planea entrar a los mercados residenciales y de pequeños negocios. Además, la banda Ka permite el reuso de las frecuencias y los satélites para esta banda utilizarán haces puntuales y un procesador de señales a bordo que permite un uso más eficiente del espectro disponible.

6.8 Aplicaciones de Banda Ancha en México

Se pretende que este proyecto responda a las necesidades y oportunidades específicas de las regiones y comunidades del país; para ello, se plantean las siguientes acciones inmediatas:

- Interconectar localidades rurales con distintas redes públicas de telecomunicaciones
- Intercomunicar los tres niveles de gobierno: municipal, estatal y federal.
- Aprovechar la infraestructura de telecomunicaciones e informática de las oficinas públicas.
- Facilitar el acceso al Sistema por medio de escuelas e instituciones académicas, centros de salud, centros comunitarios digitales.
- Incorporar al Sistema contenidos, servicios y prácticas acerca de educación, salud, economía, gobierno, ciencia, tecnología e industria.

Aplicaciones en Tele-educación.

Hoy en día, esta infraestructura cuenta con 5 213 líneas analógicas, 1088 digitales y 43 conmutadores, lo cual ha permitido ofrecer un mejor servicio a los usuarios.

La preparación académica representa el capital humano que permite competir con el mundo. En la sociedad moderna, el manejo del conocimiento es el elemento más importante de su desarrollo cultural, social y económico. La Tele-educación contempla siguientes objetivos:

- Mejorar la cobertura y eficiencia en la educación.
- Proporcionar una educación permanente de todos los mexicanos.
- Poner a disposición de la población los beneficios de la cultura, la ciencia y la tecnología.
- Equipamiento y conectividad de 80 mil escuelas equipadas en cinco años. Un total de 1 200 bibliotecas equipadas y enlazadas.
- Capacitación de profesionales del sector educativo.
- Digitalización del acervo cultural mexicano.
- Atención a comunidades marginadas.

El gobierno enfrenta nuevas formas de participación pública en la toma de decisiones y debe tener listos los canales para darles un seguimiento teniendo como objetivos principales:

- Satisfacer las necesidades sociales y culturales
- Eficientar las operaciones gubernamentales mediante el aprovechamiento de la tecnología de la información y las comunicaciones.

Para el 2005, se estima que 100% de los servicios y trámites gubernamentales de alto impacto estarán listos para ser realizados o entregados en forma electrónica. En el 2006, se pretende que todos los mexicanos puedan acceder de alguna forma a los servicios gubernamentales en línea.

Dentro de dicha estrategia, se engloban todas las iniciativas relacionadas con la prestación electrónica de trámites y servicios por las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. Algunos ejemplos de estos servicios son:

- El servicio de *Cita médica* telefónica o por internet prestado por el ISSSTE.
- Apoyo a los trabajos de exportación e importación de las empresas mexicanas a través de toda una serie de trámites electrónicos.
- El pago de impuestos por medio de internet y el uso de firma electrónica para dar reconocimiento y validez legal a las transacciones realizadas por medios electrónicos.
- Los trámites y servicios de derecho-habientes del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

Aplicaciones en Tele-medicina

Debido a la importancia de generar igualdad de oportunidades entre la población de áreas rurales y urbanas, promover a través de la salud el desarrollo humano y las capacidades de la población en condiciones de pobreza, así como elevar las capacidades de respuesta del personal de salud y de las instituciones del sector.

La misión de la Tele-medicina es impulsar, conducir y regular la incorporación y utilización del sistema para el mejoramiento del nivel de salud de los mexicanos, gracias al acceso universal a servicios básicos y especializados de salud con calidad, eficientes y equitativos. La Telemedicina facilitará la intercomunicación eficiente entre todas las unidades del sector salud, comprendiendo los servicios públicos, sociales y privados.

Sus objetivos son:

- Mejorar la calidad y la cobertura de los servicios de salud, con prioridad para las localidades de mayor marginación.
- Poner al alcance de la población información en salud relativa a todas las instituciones del sector.
- Capacitación y educación continua del personal de salud.

6.9 Poblaciones rurales en México

Dada la orografía de México y el desarrollo actual de la redes terrestres de telecomunicaciones es muy difícil poder dar servicios de banda ancha en zonas rurales, por lo que se busca tener acceso a estas poblaciones por medio de otro tipo de tecnología como la satelital. El objetivo del proyecto es llevar servicios de tele-medicina, tele-educación, telefonía rural e internet a poblaciones rurales, actualmente en México existen las siguientes números de población rural.

Entidad federativa	Población			Densidad de población (habitantes por km ²)
	Total	Urbana	Rural	
Total	97 483 412	72 769 822	24 723 590	60
Aguascalientes	944 285	757 579	186 706	179
Baja California	2 487 367	2 278 000	209 367	35
Baja California Sur	424 041	344 735	79 306	6
Campeche	690 689	490 309	200 380	12
Coahuila de Zaragoza	2 298 070	2 054 753	243 317	15
Colima	542 627	464 438	78 189	99
Chiapas	3 920 892	1 791 858	2 129 034	53
Chihuahua	3 052 907	2 519 447	533 460	12
Distrito Federal	8 605 239	8 584 919	20 320	5 643
Durango	1 448 661	924 055	524 606	12
Guanajuato	4 663 032	3 133 783	1 529 249	150
Guerrero	3 079 649	1 703 203	1 376 446	48
Hidalgo	2 235 591	1 102 694	1 132 897	108
Jalisco	6 322 002	5 345 302	976 700	80
México	13 096 686	11 304 410	1 792 276	611
Michoacán de Ocampo	3 985 667	2 606 766	1 378 901	68
Morelos	1 555 296	1 328 722	226 574	314
Nayarit	920 185	590 428	329 757	34
Nuevo León	3 834 141	3 581 371	252 770	59
Oaxaca	3 438 765	1 531 425	1 907 340	37
Puebla	5 076 686	3 466 511	1 610 175	149
Querétaro de Arteaga	1 404 306	948 872	455 434	116
Quintana Roo	874 963	721 538	153 425	22
San Luis Potosí	2 299 360	1 357 631	941 729	36
Sinaloa	2 536 844	1 710 402	826 442	43
Sonora	2 216 969	1 842 117	374 852	12
Tabasco	1 891 829	1 016 577	875 252	77
Tamaulipas	2 753 222	2 351 929	401 293	35
Tlaxcala	962 646	755 263	207 383	238
Veracruz-Llave	6 908 975	4 079 968	2 829 007	96
Yucatán	1 658 210	1 348 753	309 457	38
Zacatecas	1 353 610	722 064	631 546	18

NOTA: Cifras al 14 de febrero. Incluye una estimación de población de 1 730 016 personas que corresponden a 425 724 viviendas sin información de ocupantes.

FUENTE: INEGI. Estados Unidos Mexicanos. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Tabulados Básicos y por Entidad Federativa. Bases de Datos y Tabulados de la Muestra Censal.

Tabla 6.1 Número de Población rural en México

Entidad Federativa	Número de localidades				Población			
	1 a 499	500 a 2 499	2 500 a 14 999	15 000 y más	1 a 499	500 a 2 499	2 500 a 14 999	15 000 y más
	habitantes	habitantes	habitantes	habitantes	habitantes	habitantes	habitantes	habitantes
Total	182 335	13 993	2 528	513	10 622 618	14 100 972	13 340 614	59 419 208
Aguascalientes	1 710	125	16	5	64 081	122 625	69 592	687 987
Baja California	3 933	108	36	9	87 525	121 842	189 320	2 088 680
Baja California Sur	2 690	36	13	4	42 607	36 699	77 106	267 629
Campeche	2 959	114	22	4	88 413	111 967	124 526	365 783
Coahuila de Zaragoza	4 046	120	26	19	122 003	121 314	117 937	1 936 816
Colima	1 214	40	14	5	32 622	45 567	83 737	380 701
Chiapas	18 160	1 149	127	17	1 061 545	1 067 489	670 169	1 121 689
Chihuahua	12 642	172	37	11	353 151	180 309	217 039	2 302 408
Distrito Federal	447	2	10	21	17 674	2 646	80 171	8 504 748
Durango	5 962	256	35	5	268 251	256 355	186 164	737 891
Guanajuato	7 872	949	81	30	608 987	920 262	411 892	2 721 891
Guerrero	6 756	837	109	16	556 166	820 280	502 181	1 201 022
Hidalgo	3 806	691	83	16	456 444	676 453	418 684	684 010
Jalisco	10 634	447	139	39	488 873	487 827	834 219	4 511 083
México	3 245	1 197	338	61	480 480	1 311 796	1 752 449	9 551 961
Michoacán de Ocampo	8 746	759	158	23	592 115	786 786	856 328	1 750 438
Morelos	1 136	120	70	15	79 731	146 843	405 010	923 712
Nayarit	2 360	207	37	7	109 067	220 690	205 598	384 830
Nuevo León	5 599	84	28	15	167 579	85 191	177 722	3 403 649
Oaxaca	9 290	1 062	145	14	865 224	1 042 116	758 849	772 576
Puebla	5 269	1 027	234	26	524 954	1 085 221	1 210 804	2 255 707
Querétaro de Arteaga	2 166	257	53	5	172 994	282 440	233 029	715 843
Quintana Roo	2 044	103	15	5	52 460	100 965	81 362	640 176
San Luis Potosí	6 757	491	46	8	490 618	451 111	272 333	1 085 298
Sinaloa	5 691	483	75	11	350 061	476 381	374 776	1 335 626
Sonora	7 857	190	46	15	190 413	184 439	249 537	1 592 580
Tabasco	1 927	586	80	12	271 420	603 832	369 108	647 469
Tamaulipas	8 633	147	33	13	253 644	147 649	187 379	2 164 550
Tlaxcala	1 026	138	71	10	39 562	167 821	383 752	371 511
Veracruz-Llave	20 197	1 560	225	50	1 366 516	1 462 491	1 199 121	2 880 847
Yucatán	3 093	183	75	12	87 398	222 059	372 937	975 816
Zacatecas	4 468	353	51	10	280 040	351 506	267 783	454 281
NOTA:	Cifras al 14 de febrero.							
FUENTE:	INEGI: Estados Unidos Mexicanos. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Tabulados Básicos y por Entidad Federativa. Bases de Datos y Tabulados de la Muestra Censal.							

Tabla 6.2 Número de poblaciones rurales en México

Referencias

1. [PND] “Aplicación de los Sistemas por Satélite en el Plan Nacional de Desarrollo y en el proyecto e-México ” Telecomunicaciones de México, 3 de septiembre del 2001.

Páginas de Internet

1. <http://www.satmex.com.mx/servicios/index.php#>
2. http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo8_99.00/DBSnow.html#1.1
3. <http://www.e-mexico.gob.mx/>
4. <http://www.sct.gob.mx>
5. <http://www.inegi.gob.mx/difusion/espanol/fnuevopdi.html>

CAPITULO 7

Análisis Financiero

7.1 Introducción

Un proyecto de inversión se define como “ Un plan que si se le asigna determinado monto de capital y se le proporcionan insumos de diversos tipos, podrá producir un bien o servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general.”

La preparación y evaluación de proyectos se ha transformado en un instrumento de uso prioritario entre los agentes económicos que participan en cualquiera de las etapas de la asignación de recursos para implementar iniciativas de inversión.

La evaluación de proyectos se encarga de construir toda la metodología necesaria para reducir al máximo cualquier posibilidad de pérdida financiera y contar con una base científica que sustente las inversiones realizadas, dicha metodología incluye diversos estudios tales como análisis de la demanda, de la oferta, del mercado, etc. y se usan diversas herramientas matemáticas para realizar los pronósticos necesarios, los cuales se basan en técnicas estadísticas entre las que se consideran las series de tiempo, la regresión lineal, el análisis por mínimos cuadrados, etc.

Ahora, conviene analizar el significado del riesgo, el cual se puede definir como: la incertidumbre concerniente con la ocurrencia de una pérdida; en un proyecto de inversión existen principalmente dos tipos de riesgos: los riesgos financieros y los no financieros.

Para evaluar un proyecto de inversión y para que este resulte con éxito. Debe seguirse una serie de pasos en los cuales se busque la rentabilidad para el inversionista, de tal modo que los resultados obtenidos de los análisis y evaluaciones den como resultado una toma de decisiones adecuada para realizar o no un proyecto de inversión, o bien para darle un nuevo enfoque a su estructura.

A continuación se muestra las etapas del proceso de la evaluación de proyectos:

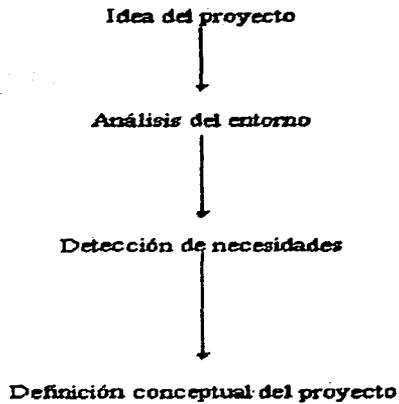


Figura 7.1 Etapas del proceso de evaluación.

La estructura general que debe tener la evaluación de proyectos es la siguiente:

La estructura general que debe tener la evaluación de proyectos es la siguiente:

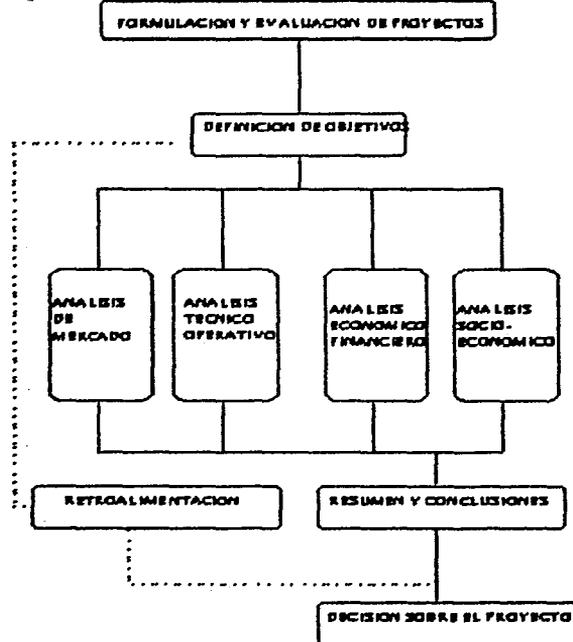


Figura 7.2. Estructura general de la evaluación

Nuestro objetivo primordial será tratar la evaluación de proyectos de inversión desde el punto de vista financiero y no bajo el enfoque social. Es importante mencionar que en los proyectos de inversión el grado de incertidumbre puede ser mayor y puede incluir las fechas en las cuales se producen los ingresos y los egresos y la magnitud de estos.

El análisis de los proyectos de inversión desde el punto de vista financiero se pueden clasificar en tres grandes grupos :

- El primer grupo se basa en el análisis de la conveniencia financiera de un proyecto de inversión cuando este se considera aisladamente. Esta consideración es uno de los pilares centrales de la evaluación de proyectos y se refleja explícitamente en la determinación de la llamada tasa de interés de oportunidad.
- El segundo grupo se basa en el concepto de racionamiento del capital, el cual nos indica en que forma debe de invertirse una cierta cantidad de dinero par obtener el máximo rendimiento financiero
- El último grupo se basa en alternativas de inversión que son mutuamente excluyentes, es decir si se elige una opción las otras opciones no se pueden tomar.

En este momento surge el problema sobre el método de análisis que se empleará para comprobar la rentabilidad económica del proyecto. Se sabe que el dinero disminuye su valor real con el paso del tiempo, a una tasa aproximadamente igual al nivel de inflación vigente. Esto implica que el método de análisis empleado deberá tomar en cuenta este cambio de valor real del dinero a través del tiempo.

La rentabilidad de un proyecto se puede medir de muchas formas distintas: en unidades monetarias, porcentaje o tiempo de demora la recuperación de la inversión, ente otras. Los criterios que vamos a usar en este capítulo por ser los mas usados y confiables son :

- El método del Valor Actual Neto (VAN) también conocido como el método del Valor Presente Neto (VPN)
- El método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

El análisis del proyecto pretende sólo aportarle mas información al inversionista, para que en definitiva sea él el que determine si colocara sus recursos en el negocio evaluado. Muchas veces le servirá visualizar una medida de rentabilidad porcentualmente como la que le entrega la TIR. En otras, podrá influir fuertemente el periodo de recuperación de su inversión. De igual forma, le será de gran ayuda tener la información de cuanta rentabilidad puede esperar en el primer año de su inversión, para decidir si posterga la inversión o asume esa menor rentabilidad.

Sin embargo, lo mas importante para el evaluador será tener presente que con estos métodos no esta evaluando el proyecto, sino que solo esta entregando una medida de rentabilidad de un solo escenario futuro proyectado.

7.2 Método del Valor Actual Neto (VAN)

Este es el método mas conocido, mejor y generalmente mas aceptado, el cual mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. El VAN compara a todos los ingresos y egresos del proyecto en un solo momento del tiempo, el cual se denomina momento cero. La razón de ello es que es más fácil apreciar la magnitud de las cifras en el momento más cercano al que se deberá tomar la decisión.

El valor actual del flujo neto (ingresos menos egresos) refleja lo que queda después de pagar los costos y lo que el inversionista quiere o va a ganar. Sin embargo, en el valor actual del flujo neto no se ha tomando en cuenta el egreso de la inversión. Por ello, el VAN se define como el valor actual neto de los flujos menos la inversión inicial.

Es importante mencionar que el inversionista gana un cierto porcentaje, pero solo sobre la inversión que en cada periodo no ha sido recuperada. Esto, quiere decir que dicho porcentaje no se recibe sobre la inversión, sino sobre el saldo de la inversión no recuperado.

De acuerdo con lo anterior, si el VAN es cero, el inversionista gana justo lo que quería ganar; si es positivo, el VAN muestra cuánto más gana por sobre lo que quería ganar; pero si es negativo, no indica pérdida, sino cuanto faltó para que el inversionista ganara todo lo que quería ganar.

Con un VAN igual a cero no se aumenta el patrimonio de la empresa durante el horizonte de planeación estudiado. Pero aunque $VAN=0$, si la TREMA (Tasa de Rendimiento Mínimo Atractiva) es superior a la tasa inflacionaria promedio de ese periodo, entonces si habrá un aumento en el patrimonio de la empresa. Por otro lado, si el resultado es $VAN > 0$, sin importar cuanto supere a cero ese valor, esto sólo implica una ganancia extra después de ganar la TREMA aplicada a lo largo del período considerado. Eso explica la gran importancia que tiene seleccionar una TREMA adecuada.

El VAN se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \left[\sum_1^n \frac{FNE}{(1+i)^n} \right] - P$$

donde VAN = Valor Actual Neto, FNE = Flujo Neto de Efectivo, n = Período considerado, P = Inversión inicial.

Si observamos la siguiente gráfica, el valor del VAN es inversamente proporcional al valor de la TREMA aplicada, de tal modo que si se pide una TREMA muy alta (un gran rendimiento en la inversión), el VAN puede volverse fácilmente negativo.

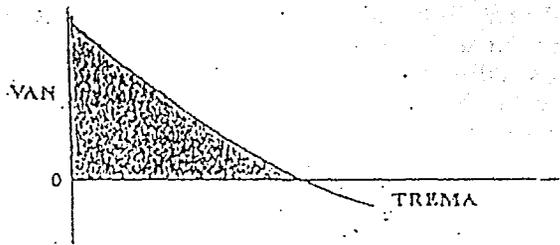


Figura 7.3 Gráfica de TREMA vs VAN

Como colusiones generales acerca de ese método se tienen las siguientes :

- Se interpreta fácilmente su resultado en términos monetarios
- Supone una reinversión total de todas las ganancias anuales
- Su valor depende exclusivamente de la TREMA aplicada
- El valor de la TREMA lo determina el evaluador
- Si el VAN es mayor o igual a cero el proyecto se acepta.
- Si el Van es menor a cero se rechaza.

7.3 Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, es decir la TIR busca hasta cuánto podría el inversionista aumentar la tasa de retorno exigida. Es decir, hasta cuánto podrá ganar. Para ello busca aquella tasa que hace al VAN igual a cero, lo cual indica que el inversionista va a ganar justamente lo que quería ganar. En este caso, la TIR es igual a la tasa exigida. Si el VAN es negativo, el inversionista no alcanza a ganar todo lo que quiere; o sea, la TIR es inferior a la tasa exigida. De acuerdo a esto, la VAN y la TIR conducen a la misma decisión.

El criterio de aceptación que emplea el método de la TIR es : si la TIR es mayor que la TREMA, acéptese la inversión; es decir, si el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, la inversión es económicamente rentable.

7.4 Definiciones Contables Importantes en la Evaluación de Proyectos

COSTO: Es un gasto, erogación o desembolso en dinero o especie, acciones de capital o servicios, hecho a cambio de recibir un activo. El efecto tributario del término costo (o gasto) es el de disminuir los ingresos para obtener la renta. En un sentido amplio, es la medida de lo que se debe dar o sacrificar para obtener o producir algo.

DEPRECIACIÓN: Pérdida de valor que experimenta un activo como consecuencia de su uso al paso del tiempo o por obsolescencia tecnológica. Debido a la depreciación los activos van perdiendo su capacidad de generar ingresos. La depreciación puede ser medida

en forma precisa sólo al final de la vida útil de los activos, por esto se han ideado varios métodos de cálculo para estimar el monto de la depreciación en cada periodo.

En términos cambiarios es la disminución del valor o precio de un bien, debido al aumento de la tasa de cambio bajo un régimen cambiario flexible. En términos contables, la depreciación es una reducción del activo fijo, sea en cantidad, calidad, valor o precio, debida al uso, a la obsolescencia o sólo por el paso del tiempo. La depreciación se mide anualmente, y depende de los factores ya mencionados, así como del precio de compra y la duración estimada del activo.

INGRESO TOTAL: Conjunto de percepciones totales de una empresa. Equivale al precio unitario por el número de unidades vendidas. Total de los recursos obtenidos por las ventas del producto o servicio de la firma durante el periodo establecido.

INVERSIÓN: Es el flujo de producto de un período dado que se usa para mantener o incrementar el stock de capital de la economía. El gasto de inversión trae como consecuencia un aumento en la capacidad productiva futura de la economía. La inversión bruta es el nivel total de la inversión y la neta descuenta la depreciación del capital. Esta última denota la parte de la inversión que aumenta el stock de capital. En teoría económica el ahorro macroeconómico es igual a la inversión.

IMPUESTO: Pago obligatorio de dinero que exige el estado a los individuos o empresas que no están sujetos a contraprestación directa, con el fin de financiar los gastos propios de la administración del Estado y la provisión de bienes y servicios de carácter público, tales como administración de justicia, gastos de defensa, subsidios y muchos otros. Sólo por ley pueden establecerse los impuestos de cualquier naturaleza que sean, señalarse sus modalidades, su repartición o su supresión. Las dos

IMPUESTO SOBRE LA RENTA (ISR): Impuesto anual sobre los ingresos individuales y de las empresas u otras organizaciones.

BASE GRABABLE: La utilidad final a la cual se le aplicarán los impuestos.

TASA DE DESCUENTO: Tasa de interés que establece la equivalencia entre sumas futuras y presentes. Es una medida de Rentabilidad mínima exigida por el Proyecto y que permite recuperar la Inversión inicial, cubrir los costos efectivos de producción y obtener beneficios. La tasa de actualización representa la tasa de interés a la cual los valores futuros se actualizan al presente.

La tasa de actualización o descuento a emplearse para actualizar los Flujos será aquella tasa de rendimiento mínima esperada por el inversionista por debajo del cual considera que no conviene invertir. Cuando una persona o un grupo de personas invierten en un Proyecto lo hacen con la expectativa de lograr un rendimiento aceptable. La Rentabilidad esperada será favorable si es superior a la tasa de referencia, ya que nadie pretenderá ganar por debajo de esta tasa, que puede ser la tasa de oportunidad del mercado concebida esta como el mayor rendimiento que se puede obtener si se invirtiera el dinero en otro Proyecto de riesgo similar disponible en ese momento.

Para seleccionar la tasa adecuada no existe un criterio común, algunos autores proponen el empleo de la tasa de interés bancaria sobre prestamos a largo plazo, el índice de inflación mas una prima de riesgo, el costo ponderado de capital, etc. Si la tasa seleccionada es muy alta, entonces puede rechazarse Proyectos que tengan buenos retornos, por otro lado, una tasa que sea muy baja puede dar lugar a aceptar Proyectos que en los hechos conduzcan a pérdidas económicas. Se puede usar como el valor de la tasa de actualización al TREMA, el cual es la tasa de Rentabilidad mínima atractiva.

TASA DE DESCUENTO ACUMULADO: Es la tasa de descuento referida a cierto periodo de tiempo.

FLUJO DE CAJA NETO DESCUENTO (FCND): Es un estado financiero que mide solamente los movimientos de efectivo, excluye las depreciaciones y amortizaciones de activos porque no constituyen una salida de dinero. Del saldo operativo acumulado, debe quedar disponible para cubrir compromisos por concepto de servicio de la deuda, impuestos, dividendos y reposición de activos. Es importante medir las necesidades de efectivo a lo largo del año, generalmente mes a mes, en función de las fechas previstas de cobro y de pago; el grado de detalle dependerá del tipo y tamaño de la empresa. El Flujo de Caja de cualquier Proyecto se compone de cuatro elementos básicos:

- a. Los egresos iniciales de fondos.
- b. Los ingresos y egresos de operación
- c. El momento en que ocurren estos ingresos y egresos, y
- d. El valor de desecho o salvamento del Proyecto.

Los Egresos Iniciales corresponden al total de la Inversión inicial requerida para la puesta en marcha del Proyecto. El capital de trabajo, si bien no implicará siempre un desembolso en su totalidad antes de iniciar la operación, se considerara también como egreso el momento cero, ya que deberá quedar disponible para que el administrador del Proyecto pueda utilizarlo en su gestión.

Los Ingresos y Egresos de Operación constituyen todos los Flujos de entradas y salidas reales de caja. Es usual encontrar cálculos de ingresos y egresos basados en los Flujos contables en estudio de Proyectos, los cuales por su carácter de causados o devengados, no necesariamente ocurren en forma simultanea con los Flujos reales.

El Flujo de Caja se expresa en momentos. El momento cero reflejara los egresos previos a la puesta en marcha del Proyecto. Si se proyecta reemplazar un activo durante el periodo de Evaluación, se aplicara la convención de que en el momento de reemplazo se considerara tanto el ingreso por la venta del equipo antiguo como el egreso por la compra del nuevo. Con esto se evitara las distorsiones ocasionadas por los supuestos de cuando vender efectivamente un equipo o de las condiciones de crédito de un equipo que se adquiere.

El Horizonte de Evaluación depende de las características de cada Proyecto. Si el Proyecto tiene una vida útil esperada posible de prever y si no es de larga duración, lo mas conveniente es construir el Flujo en ese número de años. Si la Empresa que se crearía con el

Proyecto tiene objetivos de permanencia en el tiempo, se puede usar la convención generalmente usada de proyectar los Flujos a diez años, donde el valor de desecho refleja el valor del Proyecto por los beneficios netos esperados después del año diez.

FLUJO DE CAJA NETO DESCUENTO ACUMULADO (FCNDA): Enseña en que periodo se podrá contar con dinero propio una vez cubierto los posibles déficit acumulados. El déficit es el resultado negativo de la diferencia entre ingresos y egresos.

ACTIVO: Representa el total de bienes y derechos que son propiedad de la entidad y que son necesarios para el logro de sus objetivos.

PASIVO: Representa todas las deudas y obligaciones a cargo de la empresa y que fueron contraídas con terceras personas.

CAPITAL CONTABLE, CAPITAL LÍQUIDO O CAPITAL NETO: Es la diferencia aritmética entre el valor de todas las propiedades de la organización y el total de sus deudas, es decir, la diferencia aritmética entre el activo y el pasivo.

7.5 Propuesta Financiera para el Satélite Mexicano

El lanzamiento de un nuevo sistema satelital de banda ancha implica desde el inicio costos fijos muy altos. Es por eso que los operadores del servicio aplican precios altos y se enfocan al sector de negocios. Sin embargo, esta situación limita el acceso a servicios de banda ancha por parte de los clientes residenciales limitando las economías a escala. Para que los operadores satelitales tengan penetración en los mercados de masa, deben tener un acercamiento escalonado en la oferta de los servicios. La tendencia de los operadores satelitales es primero penetrar en el mercado empresarial y posteriormente atacar los mercados de consumo una vez que los costos de las terminales hayan disminuido y las aplicaciones en banda ancha sean más conocidas.

Los proyectos satelitales requieren de una gran inversión por lo que son de alto riesgo. La integración de un grupo inicial de inversionistas es el mayor reto para establecer las bases del proyecto y obtener ganancias en un futuro.

De acuerdo a los datos obtenidos del INEGI existen 24'723,590 habitantes rurales en México. Este proyecto plantea cubrir el 75% de la población rural en un periodo de 12 años, para lograr este objetivo se propone una estación terrena por cada 1000 habitantes aproximadamente distribuyéndose según la densidad de población, dando un total de 25,000 estaciones terrenas esclavas. Con el fin de sincronizar a las estaciones esclavas, por cada 1,000 estaciones terrenas esclavas se colocará una estación maestra. El total de estaciones maestras será de 25.

7.5.1 Ventas

La capacidad de ventas totales se dará cuando la empresa venda toda la cantidad de anchos de banda del satélite. En la tabla 1 se presentan los anchos de banda disponibles del satélite y los precios de venta unitarios. El satélite cuenta con 8 transpondedores de 500 MHz de los cuales solo se utilizan 7 y uno queda como respaldo.

El volumen de ventas anuales dependerá de la cantidad de las instalaciones de estaciones esclavas y maestras que se realicen en tierra, por lo tanto en la tabla 2 se puede apreciar cómo se incrementa en porcentaje cada año la cantidad de estaciones terrenas instaladas. La distribución para la instalación de las estaciones maestras se muestra en la tabla 3.

Basados en la tabla 2 a continuación se calculó la cantidad de anchos de banda que se podrán vender cada año en unidades y en millones de dólares mostrándose en la tabla 4.

Debido a que en el manejo real de un proyecto existen cuentas que no se pagan inmediatamente se consideraron las cuentas por cobrar las cuales se calcularon como un doceavo de la fracción anual en la tabla 5. Los ingresos o cobranzas de cada año se calculan como las cuentas por cobrar al final del año anterior más la facturación menos las cuentas por cobrar de ese año

7.5.2 Inversiones

Las inversiones requeridas para el proyecto así como las especificaciones del equipo, obra civil e instalaciones se describen en la tabla 6 y las inversiones totales anuales en millones de dólares se muestran en la tabla 7.

7.5.3 Costos

El proyecto requiere una estructura empresarial mediante la cual se cubren todas las áreas necesarias para iniciar el proyecto y para mantenerlo trabajando. El organigrama propuesto de la empresa se muestra en la figura 2.

La nómina requerida de la empresa para la óptima operación del proyecto según el organigrama planteado se muestra en la tabla 8 la cual abarca los costos mensuales por persona, los costos anuales y los costos por departamento. Los costos representados incluyen seguro social, prima vacacional y todas las prestaciones que la ley establece.

El análisis del proyecto también cubre gastos de materiales usados por mantenimiento del mismo, los cuales se encuentran en la tabla 9. En esta parte se consideró que el gasto del mantenimiento es el 3% de la inversión.

Debido a la depreciación de los activos fijos en la tabla 10 se hizo un análisis de las depreciaciones de los activos por año de servicio del satélite; obteniendo también el valor

en libros que tendríamos al final de cada año de operación. De acuerdo a la ley para las comunicaciones por satélite que establece la Secretaría de Hacienda y Crédito Público LISR-PM-Inversiones, en la SECCION III de las Inversiones, número 44- PORCIENTOS DE DEDUCCIÓN DE ACTIVOS FIJOS, fracción XII, se establece que:

XII Tratándose de comunicaciones satelitales:

- a) 10% para equipo satelital en tierra, incluye antenas para la transmisión y recepción de llamadas y equipo de monitoreo del satélite.
- b) 12% para el segmento satelital en el espacio, incluye satélites utilizados para el control y monitoreo en las comunicaciones vía satélite.

De la inversión total en activos fijos de 772.21 MD se solicita un crédito refaccionario de 213 MD. El crédito se debe obtener en el año cero para pagarlo a 13 años con un año de gracia al 12% anual sobre saldos insolutos (no pagados) y con pagos iguales de capital. En la tabla 11 se muestra el costo financiero anual, pago de capital y saldos al final de cada año.

El costo de la producción anual en millones de dólares, que indica cuánto costó lo que se facturó se muestra en la tabla 12.

Finalmente a partir de los análisis realizados anteriormente se pueden obtener el estado de resultados del proyecto por año en MD en la tabla 13. Este estado de resultados indica las pérdidas y ganancias del proyecto. La caja mínima es el margen de seguridad es decir la cantidad mínima de dinero que se debe tener en el banco y cubre 2 meses del costo del personal.

El flujo de efectivo representa el dinero que entra y sale de la empresa durante los 15 años de operación del proyecto, está representado por el total de ingresos y egresos, así como el dinero en caja al final de cada año. Esto se encuentra en la tabla 14.

El balance del proyecto al final de cada año (ver tabla 15) representa los activos, los pasivos y el capital cumpliendo con la expresión contable: $\text{Activo} = \text{Pasivo} + \text{Capital}$, demostrando que el análisis financiero es el correcto.

Debido a que es necesario analizar el dinero que se obtendrá durante los 15 años de operación en valores presentes, la tabla 16 nos muestra la VAN para cada año de servicio del satélite, así como la TIR total del proyecto, lo cual demuestra que el proyecto es económicamente factible ya que la TIR es superior a las tasas ofrecidas en los fondos de inversión.

Referencias

1. [GR64] Eugene L. Grant y W. Grant, "Principles of Engineering Economy", Ed. Ronald, Fourth Edition, USA 1964.
2. [ORD01] Ordóñez, "Comparación de cálculos y costos de enlaces satelitales con estaciones VSAT en las bandas Ku y Ka", UNAM, Facultad de Ingeniería, 2001.
3. [PND] "Aplicación de los Sistemas por Satélite en el Plan Nacional de Desarrollo y en el proyecto e-México" Telecomunicaciones de México, 3 de septiembre del 2001.

Páginas de internet.

<http://www.cft.gob.mx>

<http://www.shcp.gob.mx/index01.html>

http://www.geocities.com/evalproy_act/princ.htm

<http://www.ayudacontador.cl/ayudacontador/monografias/diccionariocontable.PDF>

<http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/15/costocapital.htm>

<http://www.javeriana.edu.co/decisiones/glosariofront.htm>

http://www.pfe-consultores.com/articulos/cash_flow_y_flujo_de_caja.htm

<http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/18/alumno/cap5.html>

CAPITULO 8

Conclusiones

Como tantos, los sistemas de comunicaciones por satélite están sometidos a una dinámica que, como consecuencia de su propio desarrollo tecnológico y de las condiciones en que tiene lugar la prestación de los servicios, origina una evolución constante de las aplicaciones e, incluso, del propio concepto.

Existen varios factores en cuanto al desarrollo social, tecnológico y económico de los satélites:

- La citada evolución tecnológica, que determina si es físicamente y económicamente realizable es, tal vez más que en otros ámbitos de la ingeniería de telecomunicación, un factor determinante de su progreso.
- El marco regulatorio, la propia naturaleza de los servicios proporcionados, junto con el uso del espectro radio-eléctrico en un ámbito transnacional han impuesto durante muchos años un modelo cooperativo, excluyente de actores o soluciones alternativas.
- Por último, la competencia planteada por otras tecnologías (como más significativa el cable de fibra óptica) que ha desplazado y reorientado la utilización de los sistemas satelitales hacia otras aplicaciones.

Pues bien, los sistemas de satélite, con 40 años de historia ya a sus espaldas, están viviendo en estos momentos un período extraordinariamente floreciente, tanto en lo que concierne a los sistemas tradicionales, como al surgimiento de nuevos sistemas y conceptos.

Efectivamente, los servicios de radiodifusión directa, planificados en la década de los 70, se convirtieron en realidad durante los 80 (tanto en Europa como en América), y empezó a ser normal ver instalaciones de recepción de satélite por todas partes. Al mismo tiempo, tuvieron lugar los primeros desarrollos de productos adecuados para implementar redes empresariales de diversas características y topologías: es decir, lo que genéricamente conocemos como redes VSAT.

Esta evolución de los servicios tuvo lugar al mismo tiempo que sucesivas generaciones de cables de fibra óptica, cada vez con mayor capacidad, fueron erosionando la función primaria en la que los satélites habían justificado su existencia hasta entonces, la de cable en el cielo. No obstante, hay que insistir en que, a mediados de los años 80 dos de cada tres llamadas telefónicas internacionales eran cursadas vía satélite.

Las mejoras tecnológicas introducidas en los 80, tuvieron la virtud de convertir en realidad las ventajas específicas de los sistemas satelitales, muchas de las cuales habían sido hasta la fecha más teóricas que reales.

De ellas sin lugar a dudas, la más significativa, la clave de todo el futuro inmediato, la constituye la capacidad de difusión. Es difícil imaginar un método más eficiente para hacer llegar a todo un país o a un continente un conjunto de señales de Radio o de Televisión, que un emisor en el espacio con cobertura optimizada para cubrir la zona deseada.

Debido a los desarrollos tecnológicos de doble uso que tuvieron lugar en los años 80, y al empuje tecnológico proporcionado por el programa ACTS de la NASA, un conjunto muy significativo de compañías ha desarrollado una serie de conceptos, en su mayoría con alcance global, que representan una alternativa a la provisión terrestre de dos tipos de servicio:

- Telefonía móvil (pequeños LEO)
- Redes de banda ancha (LEOs y GEOs)

Las Compañías que se han embarcado en esta experiencia, tienen diversos intereses estratégicos que hacen más entendible su posicionamiento en tanto en cuanto se dan sinergias con otros productos o servicios por ellos proporcionados.

Desde el punto de vista tecnológico, los principales elementos comunes a estos sistemas son los siguientes:

- Empleo de antenas multihaz para mejorar prestaciones y capacidad de los sistemas.
- Reutilización múltiple de frecuencias en banda Ka.
- Otro elemento tecnológico fundamental en el desarrollo de los nuevos sistemas (en su mayor parte con vocación de provisión global de servicios), son los enlaces entre satélites: Inter Satellite Links (ISL's). Estos enlaces permiten encaminar flujos de tráfico de manera óptima, bien a telepuertos conectados a las redes terrestres, bien a otros abonados utilizando rutas que se encaminan a través de otros satélites del mismo sistema.
- Utilización de impulsores de control orbital más eficientes, han permitido aumentar la vida útil de forma notable (15 años).
- La fiabilidad de los componentes activos mejora sistemáticamente, por lo que es posible establecer una relación mejor entre los subsistemas activos y los de respaldo.
- Por último, los propios lanzadores han aumentado significativamente su capacidad, de lo cual es un ejemplo la transición desde las 4 toneladas que es capaz poner en órbita de transferencia GEO Ariane 4, hasta las más de 7 toneladas que anuncia Ariane 5.

Todos estos avances conducen a un mismo resultado: mejorar la relación prestaciones/costo del uso de los transpondedores.

Con posterioridad al desarrollo de los sistemas móviles en órbita baja ha tenido lugar una verdadera avalancha de anuncios de lanzamiento de sistemas orientados a servicios interactivos en banda ancha, basados fundamentalmente en el uso de la banda Ka con haces muy pequeños, por lo que para cubrir un continente como Europa son necesarias varias decenas de estos haces.

El desarrollo inicial de estos conceptos tuvo lugar para satélites en órbita geoestacionaria y los primeros prototipos, tanto europeos como norteamericanos, parten de esta base. Sin embargo, el entusiasmo por los LEOs se ha hecho extensivo a estos sistemas, por lo que hoy en día tomando una muestra (limitada por necesidad) de los diversos sistemas en banda Ka propuestos, comprobamos la variedad de las propuestas presentadas en los que en todos los casos se dan las mencionadas características: utilización de la banda Ka, reutilización de frecuencias, etc.

Por lo anterior, este proyecto está preparado para ofrecer servicios de acceso a Internet con entrega de alta velocidad, la distribución de productos multimedia, servicios de alta definición (sean profesionales o abiertos al público) y prácticamente cualquier servicio que exija la distribución de gran cantidad de información a múltiples destinatarios.

Para la realización de este trabajo se tomaron en cuenta dos factores importantes: el factor técnico y el factor económico. En el factor técnico encontramos resultados sobre las características del satélite y de las estaciones terrenas que cumplieran con los requisitos para la transmisión y recepción de señales a fin de cubrir de manera óptima todo el territorio mexicano. Además la optimización de factores técnicos repercute directamente en el resultado económico del proyecto. El segundo factor analizado en este trabajo fue la viabilidad económica del proyecto ya que la ingeniería no solo debe de abarcar aspectos teóricos sino que debe ser factible en la práctica.

Dentro del factor técnico se estudió y se comprobó que técnicamente sí es posible desarrollar un satélite que cubra los requisitos para funcionar en banda Ka, tomando como referencia la configuración del satélite canadiense, por otro lado se observa que la tecnología requerida en las estaciones terrenas también es viable ya que los diámetros de las antenas, la ganancia, la potencia, entre otros, sí son posibles para la disponibilidad del 99.5% inclusive donde las condiciones climatológicas no son las más favorables para la transmisión satelital. Por lo tanto se puede garantizar la óptima operación del sistema satelital propuesto en esta tesis.

Económicamente este proyecto es factible ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis financiero se tiene una recuperación de la inversión inicial después de los primeros 5 años de operación del satélite con una tasa de recuperación (28.7995%) mayor que la propuesta (22%); por lo cual el valor presente neto es mayor que cero.

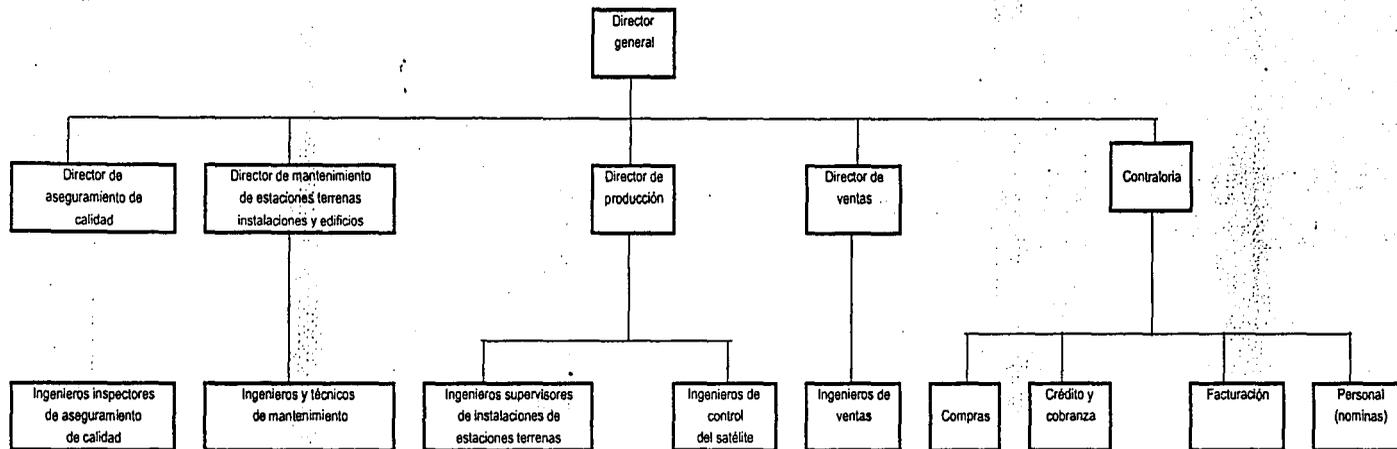
La idea del lanzamiento de un satélite es llegar hasta donde la infraestructura terrena no puede, es decir llegar a aquellas poblaciones marginadas que no cuentan con servicios de comunicación, ni con tecnologías de información, los cuales pueden ser utilizados para superar el rezago educativo y el atraso tecnológico. Gracias a la nueva tecnología de banda ancha los servicios que se pueden brindar mejores soluciones integrales como lo puede ser la telemedicina.

De acuerdo con los datos económicos obtenidos en este trabajo podemos concluir que es posible y necesaria la realización de poner en órbita un satélite mexicano en banda Ka, ya que se cuenta con la tecnología y el capital humano adecuado para su realización.

Debido a que el proyecto es económicamente y tecnológicamente factible se puede plantear la creación de un nuevo satélite mexicano que le de continuidad al proyecto cubriendo otro tipo de necesidades y además que plantee la cobertura total de las comunidades rurales de México e incluso de Latinoamérica. El desarrollo tecnológico esperado con las estaciones terrenas en zonas rurales también contempla su continuidad con una infraestructura terrestre que pueda complementarse con otras tecnologías con el fin de brindar nuevos y mejores servicios mediante la creación de redes híbridas en comunidades rurales.

Un proyecto de esta magnitud implica nuevos empleos que le dan un impulso al progreso del país ya que los beneficios sociales se ven reflejados en todo el país y no únicamente en las comunidades rurales.

ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



ANCHO DE BANDA	CANTIDAD DE ANCHOS DE BANDA DISPONIBLES PARA LA VENTA	PRECIO DE VENTA UNITARIO POR MES [0]	PRECIO DE VENTA ANUAL UNITARIO [MD]
50 [kHz]	20000	820.728	0.010
1 [MHz]	1000	14724.912	0.177
36 [MHz]	26	296912.160	3.563
500 [MHz]	1	4123779.996	49.485

ESTACIONES ESCLAVAS	0.0085
ESTACIONES MAESTRAS	0.27
NOTA: EL COSTO DE LAS ESTACIONES TERRENAS INCLUYE INSTALACION	

AÑO	CANTIDAD DE ESTACIONES ESCLAVAS INSTALADAS	PORCENTAJE ANUAL DE INSTALACION DE ESTACIONES ESCLAVAS EN %	CAPACIDAD VENDIBLE DEL SERVICIO DE SATELITE EN %
0	5000	20.00	20.00
1	4000	16.00	36.00
2	3000	12.00	48.00
3	2000	8.00	56.00
4	2000	8.00	64.00
5	2000	8.00	72.00
6	2000	8.00	80.00
7	2000	8.00	88.00
8	2000	8.00	96.00
9	1000	4.00	100.00
10	0	0.00	100.00
11	0	0.00	100.00
12	0	0.00	100.00
13	0	0.00	100.00
14	0	0.00	100.00
15	0	0.00	100.00
TOTAL	25000	100.00	

AÑO	CANTIDAD DE ESTACIONES ESCLAVAS INSTALADAS	PORCENTAJE ANUAL DE INSTALACION DE ESTACIONES ESCLAVAS EN %
0	5	20.00
1	4	16.00
2	3	12.00
3	2	8.00
4	2	8.00
5	2	8.00
6	2	8.00
7	2	8.00
8	2	8.00
9	1	4.00
10	0	0.00
11	0	0.00
12	0	0.00
13	0	0.00
14	0	0.00
15	0	0.00
TOTAL	26	100.00

Tabla 4. CANTIDAD DE ANCHOS DE BANDA VENDIDOS POR AÑO EN UNIDADES Y EN VALORES [MD] POR NIVEL DE FRECUENCIA																		
CONCEPTO		AÑOS															TOTAL	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
CANTIDAD DE ANCHOS DE BANDA VENDIDOS POR AÑO EN UNIDADES	60 [kHz]	4000.00	7200.00	9600.00	11200.00	12800.00	14400.00	16000.00	17600.00	19200.00	20000.00	20000.00	20000.00	20000.00	20000.00	20000.00	20000.00	
	1 [MHz]	200.00	360.00	480.00	560.00	640.00	720.00	800.00	880.00	960.00	1000.00	1040.00	1040.00	1040.00	1040.00	1040.00	1040.00	
	36 [MHz]	5.20	9.36	12.48	14.56	16.64	18.72	20.80	22.88	24.96	26.00	27.04	27.04	27.04	27.04	27.04	27.04	
	600 [MHz]	0.20	0.36	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96	1.00	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	
VALOR DE LAS VENTAS ANUAL EN MILLONES DE DOLARES POR FRECUENCIA	60 [kHz]	0.00	39.39	70.91	94.55	110.31	126.06	141.82	157.58	173.34	189.10	196.97	196.97	196.97	196.97	196.97	196.97	2284.91
	1 [MHz]	0.00	35.34	63.61	84.82	98.95	113.09	127.22	141.36	155.50	169.63	176.70	183.77	183.77	183.77	183.77	183.77	2088.06
	36 [MHz]	0.00	18.53	33.35	44.47	51.88	59.29	66.70	74.11	81.52	88.93	92.64	96.34	96.34	96.34	96.34	96.34	1093.11
	600 [MHz]	0.00	9.90	17.81	23.75	27.71	31.67	35.63	39.59	43.55	47.51	49.49	51.46	51.46	51.46	51.46	51.46	51.46
VALOR ANUAL DE LAS VENTAS EN [MD]		0.00	103.18	186.69	247.68	288.85	330.11	371.37	412.64	453.90	495.16	616.80	628.65	628.65	628.65	628.65	628.65	6046.98

Tabla 5. CALCULO DE LAS CUENTAS POR COBRAR Y DE LOS INGRESOS O COBRANZA POR AÑO EN [MD]																		
CONCEPTO		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL
CUENTAS POR COBRAR AL FINAL DE CADA AÑO CONSIDERANDO UN MES DE FACTURACION		0.00	8.60	15.47	20.63	24.07	27.51	30.95	34.39	37.83	41.26	42.98	44.05	44.05	44.05	44.05	44.05	
INGRES O COBRANZA ANUAL EN [MD]		0.00	94.56	178.81	242.42	285.41	326.67	367.93	409.20	450.46	491.73	514.08	527.49	528.55	528.55	528.55	528.55	6002.96

Tabla 6 INVERSIONES				
DESCRIPCION GENERALICA	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD	COSTO (MD)	COSTO TOTAL
SATELITE	Satélite de telecomunicaciones que opere en la banda Ka el cual permanece en una órbita fija de 36000 km. en un punto fijo en el espacio.	1	180	
LANZAMIENTO	El lanzamiento se hará con Ariane y por medio de cohetes se dejará en la órbita deseada	1	100	
SEGUROS DEL SATELITE Y DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	Se requiere comprar un seguro del Satélite y de los sistemas de control que garanticen el no perder por alguna contingencia la inversión realizada	1	110	390
EDIFICIO DE CONTROL INDEPENDIENTE PARA EL SATELITE	Edificio con un total de 10,000 m2 de superficie construida incluyendo estacionamientos, área de oficinas administrativas, de ventas, del control del satélite y las instalaciones e infraestructura requerida para el proyecto.	1	25	25
CENTRO MAESTRO DE ACCESO AL SATELITE	Equipo de señalización, telemetría y computación que indican la posición exacta del satélite , así como la calidad de recepción y emisión de las señales por ancho de banda. Con capacidad para reubicar al satélite al punto deseado en el espacio.	1	25	
SISTEMA DE FACTURACION	El sistema de facturación es un software que identifican ancho de banda, usuario y tiempo.	1	4	
CAPACITACION DEL PERSONAL	Capacitación del personal. Personal especializado para cada equipo y sistema.	1	3	32
ESTACIONES ESCLAVAS	Antena : fabricante Prodelin, modelo 3098, diámetro 0.098m. LNA: fabricante JCA, modelo JCA1826-300, 438K. Módem: fabricante Radyne ComStream, modelo CM601A, 9.6 kbps a 2.5 Mbps. HPA: fabricante SPACE LABS INC., modelo SP268-20-29, SSPA de 0.9 Watts.	25000	0.0085	212.5
ESTACIONES MAESTRAS	Antena : fabricante Andrew, modelo ES56 KA-1 Gregorian, diámetro 5.6m. LNA: fabricante JCA, modelo JCA1826-300, 438K. Módem: fabricante Contech, modelo SDM-300A, 2.4 kbps a 5.0 Mbps. HPA: fabricante RF Amplifiers, modelo HD 18337, TWT de 10 Watts.	25	0.27	6.75
TOTAL				666.26

Tabla 7 INVERSIONES TOTALES ANUALES EN MILLONES DE DOLARES																	
CONCEPTO	AÑOS															TOTAL POR CONCEPTO	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
SATELITE, LANZAMIENTO Y SEGURO	390	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	390
EDIFICIO DEL CENTRO INDEPENDIENTE DEL SATELITE	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
EQUIPO DEL CENTRO MAESTRO DE ACCESO AL SATELITE	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
EQUIPO DEL SISTEMA DE FACTURACION Y CAPACITACION	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
ESTACIONES ESCLAVAS Y MAESTRAS	43.85	35.08	26.31	17.54	17.54	17.54	17.54	17.54	17.54	8.77	0	0	0	0	0	0	219.25
TOTAL POR AÑO	490.85	35.08	26.31	17.54	17.54	17.54	17.54	17.54	17.54	8.77	0	0	0	0	0	0	686.25

TABLA 8 CANTIDAD DE PERSONAL POR AREA DEL ORGANIGRAMA, COSTO MENSUAL POR PERSONA Y COSTOS ANUALES POR DEPARTAMENTO

CONCEPTO		COSTO MENSUAL POR PERSONA EN DOLARES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
CANTIDAD DE PERSONAL ADMINISTRATIVO Y DE VENTAS	DIRECTOR GENERAL	12000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	CONTRALOR	8400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	JEFES DE COMPRAS, CREDITO Y COBRANZA, FACTURACION, PERSONAL	3500	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	PERSONAL ASISTENTE DEL AREA, CONTADORES	2100	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
	SECRETARIAS DEL AREA	840	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	DIRECTOR DE VENTAS	8400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	INGENIEROS DE VENTAS	3500	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
	SECRETARIAS DE VENTAS	840	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	PERSONAL DE ASEO GENERAL	420	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
CANTIDAD DE PERSONAL DE PRODUCCION, MANTENIMIENTO Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	DIRECTOR DE PRODUCCION	8400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	INGENIEROS DE CONTROL DEL SATELITE	3500	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	INGENIEROS SUPERVISORES DE INSTALACIONES DE ESTACIONES TERRENAS	3500	114	57	30	23	20	18	15	13	10	0	0	0	0	0	0		
	INGENIEROS DE CONTROL DE ESTACIONES MAESTRAS	2100	44	64	76	84	92	96	104	108	108	108	108	108	108	108	108		
	SECRETARIAS DEL AREA	840	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	DIRECTOR DE MANTENIMIENTO	8400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	INGENIEROS Y TECNICOS DE MANTENIMIENTO	3500	7	10	12	13	14	15	16	17	17	17	17	17	17	17	17		
	PERSONAL TECNICO DE MANTENIMIENTO	2100	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525		
	SECRETARIAS DEL AREA	840	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	DIRECTOR DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	8400	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	INSPECTOR DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	3500	5	7	8	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11		
	SECRETARIAS DEL AREA	840	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
PERSONAL TOTAL EN LA EMPRESA			306	308	331	369	411	449	491	629	561	698	621	656	691	728	761	TOTAL	
COSTOS ANUALES DE PERSONAL ADMINISTRATIVO Y DE VENTAS EN [MD]	DIRECCION GENERAL		0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	2.160	
	CONTRALORIA		0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	0.712	10.686
	VENTAS		1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	1.431	21.470
TOTAL ADMINISTRATIVO Y VENTAS			2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	34.315	
COSTOS ANUALES DE PERSONAL DE PRODUCCION, MANTENIMIENTO Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN [M]	PRODUCCION		6.878	4.988	4.156	4.064	4.140	4.156	4.232	4.249	4.123	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	3.703	63.202	
	MANTENIMIENTO		1.307	2.315	3.281	4.205	5.129	6.053	6.977	7.901	8.783	9.665	10.547	11.429	12.311	13.193	14.075	117.172	
	ASEGURAMIENTO DE CALIDAD		0.341	0.425	0.467	0.509	0.551	0.551	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593	0.593	8.182
TOTAL PRODUCCION, MANTENIMIENTO Y CALIDAD			8.526	7.728	7.904	8.778	9.820	10.760	11.802	12.743	13.499	13.961	14.843	15.725	16.607	17.489	18.371	189.656	

Tabla 9 COSTO ANUAL DE MATERIALES USADOS EN MANTENIMIENTO EN [MD]																
CONCEPTO	AÑOS															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INVERSIONES EN ACTIVOS SUJETOS A MANTENIMIENTO EN [MD]	100.850	35.080	26.310	17.540	17.540	17.540	17.540	17.540	17.540	8.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ACUMULADO DE INVERSIONES EN ACTIVOS SUJETOS A MANTENIMIENTO EN [MD]	100.850	135.930	162.240	179.780	197.320	214.860	232.400	249.940	267.480	276.250	276.250	276.250	276.250	276.250	276.250	276.250
COSTO ESTIMADO DE MATERIALES DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO Y EDIFICIOS (3% DE LA INVERSIÓN EN ACTIVOS)	0.000	3.026	4.078	4.867	5.393	5.920	6.446	6.972	7.498	8.024	8.288	8.288	8.288	8.288	8.288	8.288

Tabla 11 TABLA DE AMORTIZACION DEL CREDITO REFACCIONARIO Y CALCULO DE LOS INTERESES POR AÑO EN [MD]

AÑO	CREDITO	PAGO DE CAPITAL	SALDO DE CAPITAL	INTERESES
0	213.000	0.000	213.000	0.000
1		0.000	213.000	25.560
2		16.385	196.615	25.560
3		16.385	180.231	23.594
4		16.385	163.846	21.628
5		16.385	147.462	19.662
6		16.385	131.077	17.695
7		16.385	114.692	15.729
8		16.385	98.308	13.763
9		16.385	81.923	11.797
10		16.385	65.538	9.831
11		16.385	49.154	7.865
12		16.385	32.769	5.898
13		16.385	16.385	3.932
14		16.385	0.000	1.966
15		0.000	0.000	0.000
TOTAL		213.000		204.480

Tabla 12 ESTADO DE COSTO DE LA PRODUCCION ANUAL EN [MD]																	TOTAL	OBSERVACIONES
CONCEPTO	AÑOS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
MATERIALES DIRECTOS E INDIRECTOS DE PRODUCCION (CONSUMIBLES 1% DEL VOLUMEN DE VENTAS)	1.032	1.857	2.476	2.888	3.301	3.714	4.126	4.539	4.952	5.156	5.285	5.285	5.285	5.285	5.285	60.470	1% DE LAS VENTAS	
PERSONAL DIRECTO E INDIRECTO DE PRODUCCION, MANTENIMIENTO Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	8.526	7.728	7.904	8.778	9.820	10.760	11.802	12.743	13.499	13.961	14.843	15.725	16.607	17.489	18.371	188.556	TABLA DE COSTOS DEL PERSONAL	
ENERGIA ELECTRICA, AGUA, TELEFONO, PAPELERIA, TRANSPORTES	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	13.500	ESTIMACIONES DE INGENIERIA	
COSTO DE MATERIALES DE MANTENIMIENTO	3.026	4.078	4.867	5.393	5.920	6.446	6.972	7.498	8.024	8.288	8.288	8.288	8.288	8.288	8.288	101.949	ESTIMACIONES DE INGENIERIA	
COSTOS TOTALES DE PRODUCCION POR AÑO EN [MD]	13.483	14.563	16.147	17.960	19.940	21.820	23.800	25.680	27.375	28.306	29.316	30.198	31.080	31.962	32.844	364.474	SUMA DE LOS CONCEPTOS	

144

Tabla 13 ESTADO DE RESULTADOS DEL PROYECTO POR AÑO EN [MD]															TOTAL	
CONCEPTO	AÑOS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
VENTAS NETAS	103.159	185.666	247.582	288.846	330.109	371.373	412.638	453.900	495.164	515.796	528.548	528.548	528.548	528.548	528.548	6046.993
MATERIALES DIRECTOS E INDIRECTOS DE PRODUCCION (CONSUMIBLES % DEL VOLUMEN DE VENTAS)	1.032	1.857	2.476	2.888	3.301	3.714	4.126	4.539	4.952	5.158	5.285	5.285	5.285	5.285	5.285	60.470
PERSONAL DIRECTO E INDIRECTO DE PRODUCCION, MANTENIMIENTO Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	8.526	7.728	7.904	8.778	9.820	10.760	11.802	12.743	13.499	13.961	14.843	15.725	16.607	17.489	18.371	188.555
ENERGIA ELECTRICA, AGUA, TELEFONO, PAPELERIA, TRANSPORTES	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	13.500
COSTO DE MATERIALES DE MANTENIMIENTO	3.026	4.078	4.867	5.393	5.920	6.446	6.972	7.498	8.024	8.288	8.288	8.288	8.288	8.288	8.288	101.949
COSTOS TOTALES DE PRODUCCION POR AÑO EN [MD]	13.483	14.563	16.147	17.960	19.940	21.820	23.800	25.680	27.375	28.306	29.316	30.198	31.080	31.962	32.844	364.474
UTILIDAD BRUTA	89.676	171.124	231.434	270.886	310.169	349.553	388.836	428.220	467.789	487.489	499.233	498.351	497.469	496.587	495.705	5682.520
PERSONAL ADMINISTRATIVO Y DE VENTAS	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	2.288	34.315
GASTOS ADMINISTRATIVOS Y DE VENTAS	5.607	6.432	7.051	7.464	7.876	8.289	8.702	9.114	9.527	9.733	9.861	9.861	9.861	9.861	9.861	129.100
DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES	55.635	59.143	61.774	63.528	65.282	67.036	68.790	70.544	41.098	26.375	18.790	15.282	12.651	10.897	9.143	645.968
CARGOS FINANCIEROS O INTERESES	25.560	25.560	23.594	21.628	19.662	17.695	15.729	13.763	11.797	9.831	7.865	5.898	3.932	1.966	0.000	204.480
TOTAL DE GASTOS ADMINISTRATIVOS, DE VENTAS Y FINANCIEROS	89.090	93.423	94.707	94.907	95.108	95.308	95.509	95.709	64.710	48.227	38.803	33.329	28.732	25.012	21.292	1013.864
UTILIDAD NETA ANTES DE ISR(42%) Y PTU(8%)	0.586	77.701	136.728	175.979	215.061	254.245	293.327	332.511	403.079	439.263	460.430	465.022	468.737	471.575	474.413	4668.656
ISR Y PTU	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	237.207	2334.328
UTILIDAD NETA DESPUES DE ISR Y PTU	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	237.207	2334.328

CAJA MINIMA	3.563	3.880	4.248	4.619	5.017	5.399	5.798	6.180	6.532	6.721	6.911	7.058	7.205	7.352	7.499
-------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

145

Tabla 14 FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO POR AÑO EN [MD]																	
CONCEPTO	AÑOS															TOTAL	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15
INGRESOS																	
APORTACIONES DE LOS SOCIOS	282.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	282.000	
CREDITO REFACCIONARIO	213.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	213.000	
COBRANZA	0.000	94.563	178.809	242.424	285.407	326.671	367.934	409.198	450.462	491.725	514.076	527.486	528.548	528.548	528.548	6002.948	
TOTAL DE INGRESOS	495.000	94.563	178.809	242.424	285.407	326.671	367.934	409.198	450.462	491.725	614.076	527.486	528.548	528.548	528.548	6497.948	
EGRESOS																0.000	
PAGO COSTO DE PRODUCCION	0.000	13.483	14.563	16.147	17.960	19.940	21.820	23.800	25.680	27.375	28.306	29.316	30.198	31.080	31.962	364.474	
PAGO GASTOS ADMINISTRATIVOS Y VENTAS (SIN DEPRECIACION)	0.000	7.895	8.720	9.339	9.751	10.164	10.577	10.989	11.402	11.815	12.021	12.149	12.149	12.149	12.149	163.416	
INVERSIONES EN ACTIVOS FIJOS	490.850	35.080	26.310	17.540	17.540	17.540	17.540	17.540	17.540	8.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	666.250	
PAGO DE INTERESES DE CREDITO REFACCIONARIO	0.000	25.560	25.560	23.594	21.628	19.662	17.695	15.729	13.763	11.797	9.831	7.865	5.898	3.932	1.966	204.480	
PAGO DEL CAPITAL DEL CREDITO REFACCIONARIO	0.000	0.000	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	16.385	0.000	213.000	
PAGO DEL ISR Y PTU	0.000	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	2334.328	
DINERO QUE PUEDEN TOMAR LOS SOCIOS		0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	2334.328	
TOTAL PARCIAL DE EGRESOS																0.000	
INGRESOS MENOS EGRESOS (PARCIAL)																0.000	
																0.000	
PAGO DE DIVIDENDOS A SOCIOS	0.000	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	2334.328	
TOTAL DE EGRESOS	490.850	82.604	169.238	219.733	259.242	298.762	338.281	377.771	417.281	479.220	508.805	528.143	529.851	532.282	534.036	6280.276	
CAJA INICIAL	0.000	3.563	15.521	25.092	47.784	73.949	101.867	131.540	162.967	196.148	208.652	216.923	218.266	217.163	213.430	207.942	2040.809
SALDO	3.563	11.958	9.571	22.691	26.165	27.919	29.673	31.427	33.181	12.505	8.271	1.343	-1.103	-3.734	-5.488	9.143	217.085
CAJA FINAL	3.563	15.521	25.092	47.784	73.949	101.867	131.540	162.967	196.148	208.652	216.923	218.266	217.163	213.430	207.942	217.085	2257.894

Tabla 15 BALANCE PROFORMA ANUAL DEL PROYECTO AL FINAL DE CADA AÑO EN [MD]

CONCEPTO		AÑOS															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ACTIVO CIRCULANTE	CAJA Y BANCOS	3.563	15.521	25.092	47.784	73.949	101.867	131.540	162.967	196.148	208.652	216.923	218.266	217.163	213.430	207.942	217.065
	CUENTAS POR COBRAR	0.000	8.597	15.474	20.632	24.070	27.509	30.948	34.386	37.825	41.264	42.963	44.046	44.046	44.046	44.046	44.046
	TOTAL DE ACTIVO CIRCULANTE	3.563	24.118	40.566	68.416	98.019	129.376	162.488	197.353	233.973	249.916	259.906	262.312	261.209	257.476	251.988	261.131
ACTIVO FIJO	INVERSIONES ACUMULADAS EN SATELITE, EDIFICIO Y ESTACIONES TERRENAS	490.850	525.930	552.240	569.780	587.320	604.860	622.400	639.940	657.480	666.250	666.250	666.250	666.250	666.250	666.250	666.250
	DEPRECIACIONES ACUMULADAS	0.000	55.635	114.778	176.552	240.080	305.362	372.398	441.188	511.732	552.830	579.205	587.995	613.277	625.928	636.825	645.968
	VALOR EN LIBROS DE EDIFICIO SATELITES Y EQUIPO	490.850	470.295	437.462	393.228	347.240	299.498	250.002	198.752	145.748	113.420	87.045	68.255	52.973	40.322	29.425	20.282
TOTAL DE ACTIVOS		494.413	494.413	478.028	461.644	445.259	428.874	412.490	396.105	379.721	363.336	346.951	330.567	314.182	297.798	281.413	261.413
PASIVO	PASIVO CIRCULANTE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PASIVO FIJO	213.000	213.000	196.615	180.231	163.846	147.462	131.077	114.692	98.308	81.923	65.538	49.154	32.769	16.385	0.000	0.000
TOTAL DE PASIVOS		213.000	213.000	196.615	180.231	163.846	147.462	131.077	114.692	98.308	81.923	65.538	49.154	32.769	16.385	0.000	0.000
CAPITAL CONTABLE	CAPITAL SOCIAL	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000
	UTILIDADES POR REPARTIR DE EJERCICIOS ANTERIORES	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	UTILIDADES DEL EJERCICIO	0.000	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	237.207
	PAGOS DE DIVIDENDOS	0.000	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	237.207
	UTILIDADES REMANENTES POR REPARTIR DEL EJERCICIO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL CAPITAL CONTABLE		282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000	282.000
TOTAL PASIVO MAS CAPITAL		495.000	495.000	478.615	462.231	445.846	429.462	413.077	396.692	380.308	363.923	347.538	331.154	314.769	298.385	282.000	262.000

Tabla 16 TIR Y VAN POR AÑO

AÑO	DESEMBOLSO	DIVIDENDOS	RECUPERACION DE CAJA Y ACTIVOS	FLUJO NETO DE CAJA	FLUJO DE CAJA NETO ACUMULADO	0.287996	VALOR PRESENTE NETO
0	282.000	0.000		-282.000	-282.000	1.000	-282.000
1		0.293		0.293	-281.707	0.776	0.228
2		38.850		38.850	-242.856	0.603	23.419
3		68.364		68.364	-174.493	0.468	31.996
4		87.969		87.969	-86.503	0.363	31.972
5		107.531		107.531	21.027	0.282	30.336
6		127.122		127.122	148.150	0.219	27.844
7		146.664		146.664	294.813	0.170	24.942
8		166.256		166.256	461.069	0.132	21.951
9		201.540		201.540	662.609	0.103	20.660
10		219.631		219.631	882.240	0.080	17.480
11		230.215		230.215	1,112.455	0.062	14.228
12		232.511		232.511	1,344.966	0.048	11.166
13		234.368		234.368	1,579.334	0.037	8.730
14		235.787		235.787	1,815.121	0.029	6.819
15		237.207		237.207	2,052.328	0.022	5.328
16			282.000	282.000	2,334.328	0.017	4.916
						TIR %	28.800
							0.000

Tabla 17 VALOR DE LA INVERSION AL FINAL DE PROYECTO

RECUPERACION AL FINAL DEL PROYECTO COBRANDO EN EL AÑO 16	CUENTAS POR COBRAR EN EL AÑO 16	44.05
	VENTA DE LOS ACTIVOS EN SU VALOR EN LIBROS	20.282
	REMANENTE DE CAJA AL FINAL DE AÑO 15	217.0852493
TOTAL DE RECUPERACION EN EL AÑO 16		281.41

148

PERIODO DE RECUPERACION DEL PROYECTO																
CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INGRESOS	495.000	94.563	178.809	242.424	285.407	326.671	367.934	409.198	450.462	491.725	514.076	527.486	528.548	528.548	528.548	528.548
EGRESOS	490.850	82.311	130.388	151.369	171.253	191.221	211.139	231.107	251.025	277.681	286.174	295.928	297.140	297.914	298.249	282.199
DEPRECIACION	0.000	55.635	59.143	61.774	63.528	65.282	67.036	68.790	70.544	41.098	26.375	18.790	15.282	12.651	10.897	9.143
BASE GRABABLE	490.850	26.676	71.245	89.595	107.725	125.939	144.103	162.317	180.481	236.583	259.799	277.138	281.858	285.263	287.352	273.056
ISR Y PTU	0.000	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	237.207
INVERSIONES EN ACTIVOS	490.850	35.060	26.310	17.540	17.540	17.540	17.540	17.540	17.540	8.770	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FCN	-282.000	0.293	38.850	68.364	87.989	107.531	127.122	146.664	166.256	201.540	219.631	230.215	232.511	234.368	235.787	237.207
TD	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288	0.288
TD ACUMULADO	1.000	1.288	1.576	1.864	2.152	2.440	2.728	3.016	3.304	3.592	3.880	4.168	4.456	4.744	5.032	5.320
FCN ACUMULADO	-282.000	-281.707	-242.856	-174.493	-86.503	21.027	148.150	294.813	461.069	662.609	882.240	1112.455	1344.966	1579.334	1815.121	2052.328
VAN A UNA TASA DE 22%	137.295															
TIR	28.7999%															
TIEMPO DE RECUPERACION	AÑO 5															