

2
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA TECNOLOGIA SATELITAL EN AMERICA LATINA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A :
ELIZABETH RENDON MORALES

DIRECTOR: M.C SALVADOR LANDEROS AYALA



CIUDAD UNIVERSITARIA

1999.

TESIS CON

LIBRO DE ORDEN

27064



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México que a través de la Facultad de Ingeniería y sus maestros me permitieron cumplir con esta meta e iniciar mi futuro como profesionista mexicana.

A mis padres y hermanos con cariño y un profundo agradecimiento por impulsarme a ser lo que ahora soy.

Al M.C. Salvador Landeros Ayala director de esta tesis por compartirme su experiencia y brindarme la oportunidad de trabajar en esta investigación.

A mis maestros sinodales: Ing. Jesus Reyes, Dr. Rodolfo Neri, Dr. Miguel Moctezuma y Dr. Victor Garcia, por compartir su conocimiento y experiencia a esta generación.

A mis amigas Araceli y Erika por estar siempre a mi lado más allá de toda crisis.

CON CARÍÑO

GRACIAS

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Elizabeth Rendón M.', written in a cursive style with some overlapping lines.

Elizabeth Rendón M.

INDICE

PREFACIO..... 1

I. INTRODUCCIÓN..... 4

I.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....5

I.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA SATELITAL.....7

I.3 SEGMENTO ESPACIAL.....8

 I.3.1 El Satélite

 I.3.2 El Centro de Telemetría, Comando y Rango (TC&R).....10

I.4 SEGMENTO TERRESTRE.....11

I.5 TIPOS DE ENLACES.....13

I.6 CONCEPTOS BÁSICOS

 I.6.1 Organismos de Telecomunicaciones Reguladores

 I.6.2 Regiones de la UIT.....14

 I.6.3 Etapas de un proyecto satelital

 I.6.4 Lanzamiento.....15

 I.6.5 Inyección de órbita

 I.6.6 Tipos de Órbita.....16

 I.6.7 Estabilización.....17

 I.6.8 Transpondedor

I.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SATÉLITALES.....17

 I.7.1 Servicio Satelital.....18

 I.7.2 Servicio Fijo (FSS)

 I.7.3 Servicio Móvil (MSS).....19

 I.7.4 Televisión Directa (DBS)

 I.7.5 Órbita Geoestacionaria

 I.7.6 Estación Terrena.....20

 I.7.7 Bandas de Frecuencia Manejadas

 I.7.8 Cobertura Nacional.....21

II. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES EN LATINOAMÉRICA.....22

II.1 LOS SATÉLITES EN EL DESARROLLO DE LATINOAMÉRICA

II.2 SITUACIÓN DE LATINOAMÉRICA FRENTE A LOS SATÉLITES

II.3 SATÉLITES MORELOS.....24

 II.3.1 Parámetros Técnicos De Los Satélites Morelos

 II.3.2 Lanzamiento De Los Satélites Morelos.....25

II.4 SATÉLITES SOLIDARIDAD.....27

 II.4.1 Lanzamiento De Los Satélites Solidaridad

 II.4.2.Cobertura De Los Satélites Solidaridad

II.5 TERCERA GENERACIÓN DE SATÉLITES MEXICANOS.....30

II.6 SISTEMA NAHUELSAT.....32

II.7 SISTEMA BRASILSAT.....36

II.8 SISTEMA PANAMSAT.....40

 II.8.1.Satélites con cobertura a América.....42

II.9 SISTEMA HISPASAT.....	43
II.9.1. Servicios Profesionales.....	
II.9.2. Programas.....	44
II.9.3. Satélites En Operación.....	
II.9.4 Cargas Útiles.....	
II.9.5 TV América.....	45
II.9.6 TV América-Europa.....	
II.9.7 Plataforma.....	46
II.9.8 HISPASAT 1C.....	47
II.9.8.1 Características.....	
II.9.8.2 Coberturas.....	48
II.9.8.3 Parámetros Técnicos.....	49
II.9.8.4 Calendario.....	
II.10 SISTEMA INTELSAT.....	50
II.10.1 Satélites Internacionales De Intelsat Que Se Utilizan En Latinoamérica.....	
II.11 TABLAS RESUMEN DE SATÉLITES EN LATINOAMÉRICA.....	53
III. LA BANDA Ka.....	57
III.1 PANORAMA TECNOLÓGICO DE LOS SATELITES DE COMUNICACIÓN EN AMÉRICA LATINA.....	
III.2 INFRAESTRUCTURA DE LOS SATÉLITES EN BANDA Ka.....	59
III.3 INFORMACIÓN GLOBAL DE LA SUPER CARRETERA.....	
III.4 TECNOLOGÍA PARA SISTEMAS EN BANDA Ka.....	
III.5 ¿ PORQUÉ LA BANDA Ka?.....	61
III.6 VARIEDAD DE APLICACIONES.....	63
III.7 APLICACIONES DE SISTEMAS SATÉLITALES EN BANDA Ka.....	64
III.8 ACTS : Advanced Communications Technology Satellite.....	65
III.9 CONMUTACIÓN A BORDO DE SISTEMAS EN BANDA Ka.....	
III.10 SISTEMAS ACTUALES EN BANDA Ka.....	67
IV. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA EN LA BANDA Ka.....	69
IV.1 DISEÑO DE UN SISTEMA DE SATÉLITES EN BANDA Ka PARA LA REGIÓN DE LATINOAMERICA.....	
IV.2 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES.....	73
IV.3 SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA, COMANDO Y RANGO.....	74
IV.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	
IV.3.2 SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA.....	75
IV.3.2.1 Unidades Codificadoras de Telemetría TEU.....	78
IV.3.2.2 Transmisores de Telemetría TM.....	80
IV.3.3 SUBSISTEMA DE COMANDO.....	
IV.3.3.1 Receptor de Comando CR.....	81
IV.3.3.2 Diplexor de Comando.....	
IV.3.3.3 Unidad Decodificadora de Comando CDU.....	82
IV.3.3.4 Descripción de la Subportadora de Comando en el Enlace de Subida.....	
IV.3.4 SUBSISTEMA DE RANGO.....	83
IV.3.4.1 Rango a través del subsistema de telemetría, comando y rango (STCyR).....	84
IV.3.4.2 Rango empleando un transpondedor del subsistema de comunicaciones.....	
IV.3.4.3 Rango utilizando una señal de televisión.....	

IV.3.4.4 Procedimiento para determinar el Rango por Telemetría y Comando.....	85
IV.3.5 Resumen de Especificaciones del Subsistema de Telemetría, Comando y Rango.....	
IV.4 SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN.....	86
IV.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	
IV.4.2 MANIOBRAS DE CONTROL EN ESTACIÓN.....	89
IV.4.2.1 Maniobra Norte - Sur.....	
IV.4.2.2 Maniobra Este - Oeste.....	90
IV.4.3 Reducción de Residuos (Control en Relación a la Mezcla).....	
IV.4.4 Mediciones de Combustible.....	
IV.4.5 Operaciones de Represurización.....	91
IV.4.6 Maniobra para Reubicación del Satélite.....	
IV.4.7 Resumen de Características del Subsistema de Propulsión.....	
IV.5 SUBSISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA.....	92
IV.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	
IV.5.2 ARREGLO SOLAR.....	
IV.5.3 BATERÍA.....	93
IV.5.4 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.....	94
IV.5.5 CONFIGURACIÓN Y OPERACIÓN DURANTE LA ÓRBITA DE TRANSFERENCIA.....	95
IV.5.6 ÓRBITA GEOESTACIONARIA (configuración y operación en la estación).....	
IV.5.6.1 Operación con Luz de Sol.....	96
IV.5.6.2 Operación Durante Eclipse.....	97
IV.5.7 Actuador Redundante de Ala Solar (ASWA) y Torque Magnético.....	
IV.5.8 Resumen de Características del Subsistema de Potencia Eléctrica.....	98
IV.6 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL Y TÉRMICO.....	99
IV.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	
IV.6.1.1 Espejos.....	
IV.6.1.2 Tubos de Transferencia de Calor.....	100
IV.6.1.3 Sabanas Térmicas.....	
IV.6.1.4 Disipadores Térmicos.....	
IV.6.1.5 Sensores de Temperatura.....	
IV.6.1.6 Termostato electrónico.....	101
IV.6.1.7 Termostato Bimetálico.....	
IV.6.1.8 Calentadores.....	
IV.6.2 ÓRBITA DE TRANSFERENCIA.....	102
IV.6.3 ÓRBITA GEOESTACIONARIA.....	
IV.6.4 CONTROL TÉRMICO.....	
IV.6.5 Resumen de Características del Subsistema Estructural y Térmico.....	103
IV.7 SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACIÓN.....	104
IV.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	
IV.7.2 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SCP.....	105
IV.7.3 SISTEMA DE COORDENADAS DEL SATÉLITE.....	107
IV.7.3.1 Modo de Ascenso.....	
IV.7.3.2 Adquisición de Sol.....	108
IV.7.3.3 Adquisición de Tierra.....	
IV.7.3.4 Modo Normal.....	109
IV.7.3.4.1 Control en Modo Normal.....	
IV.7.3.5 Modo de Control en órbita geoestacionaria (stationkeeping).....	110
IV.7.4 COMANDOS DE VERIFICACIÓN.....	111
IV.7.5 COMANDOS ALMACENADOS.....	112
IV.7.6 Resumen de Características del Subsistema de Control de Orientación.....	

IV.8 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.....	113
IV.8.1 CARACTERISTICAS GENERALES	
IV.8.2 ANTENAS DEL SISTEMA.....	114
IV.8.3 CARGA UTIL DE COMUNICACIONES EN BANDA Ka.....	115
IV.8.4 REPETIDOR EN BANDA Ka.....	116
IV.8.4.1 Amplificación y conversión	
IV.8.4.2 Selección del Transpondedor.....	117
IV.8.4.3 Atenuación y Amplificación	
IV.8.4.4 Filtrado, Multiplexaje y Enrutamiento	
IV.8.5 MÉTODOS DE CONMUTACIÓN A BORDO DEL SATÉLITE.....	118
IV.8.5.1 Conmutación Con Procesador Banda Base.....	119
IV.8.5.2 Conmutación Con Matriz De FI.....	120
IV.8.5.3 Comparación Entre Sistemas.....	121
IV.9 RESUMEN DE ESPECIFICACIONES DE SUBSISTEMAS.....	127
V. CÁLCULOS DE ENLACE EN BANDA Ka.....	130
V.1 ENLACE DE SUBIDA.....	130
V.2 ENLACE DE BAJADA.....	133
VI.CONCLUSIONES.....	138
VI.1 VENTAJAS DEL SISTEMA SATÉLITAL EN BANDA KA.....	142
GLOSARIO.....	145
BIBLIOGRAFÍA.....	147

INDICE DE FIGURAS

Fig. I.1 Arthur C. Clark.....	6
Fig. I.2 Analogía de un satélite.....	7
Fig. I.3 Elementos de un Sistema Satelital.....	8
Fig. I.4 Elementos de un Satélite.....	9
Fig. I.5 Centro de Control desde Tierra.....	10
Fig. I.6 Antena del Centro de Control desde Tierra.....	11
Fig. I.7 E/T Grande.....	12
Fig. I.8 E/T Medianas.....	12
Fig. I.9 Estación VSAT.....	12
Fig. I.10 Lanzamiento.....	15
Fig. I.11 Etapas del Lanzamiento de un Satélite.....	16
Fig. I.12 Estabilización Triaxial.....	17
Fig. I.13 Órbita Geoestacionaria.....	20
Fig. I.14 Antena de Estación Terrena.....	20
Fig. I.15 Ejemplo de Cobertura.....	21
Fig. II.1 Satélite Morelos.....	26
Fig. II.2 Cobertura del satélite Morelos en banda C y Ku.....	26
Fig. II.3 Satélite Solidaridad.....	29
Fig. II.4 Cobertura del satélite Solidaridad 1 y 2.....	29
Fig. II.5 Cobertura del satélite SATMEX 5.....	31
Fig. II.6 Satélite Nahuelsat 1.....	34
Fig. II.7 Coberturas del Satélite Nahuelsat 1.....	35
Fig. II.8 Satélites Brasilsat.....	36
Fig. II.9 Coberturas del satélite Brasilsat IA.....	39
Fig. II.10 Sistema Panamsat.....	40
Fig. II.11 Coberturas de Panamsat 1 y 5.....	42
Fig. II.12 Cobertura América de Panamsat 6.....	43
Fig. II.13 Satélite Hispasat IA.....	45
Fig. II.14 Cobertura Iberia de Hispasat.....	48
Fig. II.15 Cobertura América de Hispasat.....	48
Fig. II.16 Satélites Intelsat.....	50
Fig. II.17 Satélite Intelsat VI.....	51
Fig. II.18 Satélite Intelsat VII.....	52
Fig. II.19 Cobertura de Intelsat.....	52

Fig. III.1 ACTS de la NASA.	58
Fig. III.2 Comunicación con ACTS.	60
Fig. III.3 Servicios por demanda.	61
Fig. III.4 Terminal USAT.	62
Fig. III.5 Voz, Vídeo y Banda Amplia Aeronáutica Móvil.	64
Fig. III.6 ACTS.	66
Fig. III.7 Diagrama de Bloques de conmutación a bordo de ACTS.	66
Fig. IV.1 Elementos del Sistema en banda Ka.	72
Fig. IV.2 Antenas del Sistema.	75
Fig. IV.3 Configuración del satélite en Órbita de Transferencia.	76
Fig. IV.4 Estructura de la Trama.	77
Fig. IV.5 Unidades Codificadoras de Telemetría.	78
Fig. IV.6 Posible distribución de los Impulsores.	86
Fig. IV.7 Tanques del Sistema de Propulsión.	87
Fig. IV.8 Diagrama modular de los Satélites en Banda Ka.	93
Fig. IV.9 Carga Util y Bus.	114
Fig. IV.10 Carga Util de Comunicaciones en Banda Ka.	116
Fig. IV.11 Procedimiento de Entrada/Salida de Señales.	118
Fig. IV.12 Diagrama de Bloques del Procesador Banda Base.	119
Fig. IV.13 Diagrama de Bloques de la Matriz de FI.	121
Fig. IV.14 Técnica de Conmutación OSBS/TDMA.	123
Fig. IV.15 Técnica de Conmutación SS/TDMA.	124
Fig. IV.16 Ejemplos de Terminales del Sistema.	126
Fig. VI.1 Posiciones orbitales de satélites usados en América Latina.	141
Fig. VI.2 Posible cobertura en banda Ka para América Latina.	144

INDICE DE TABLAS

TABLA I.1 Potencial de crecimiento en Regiones de A.L.....	5
TABLA I.2 Regiones declaradas por la UIT	14
TABLA I.3 Clasificación de los Sistemas Satelitales.....	18
TABLA I.4 Bandas de Servicio.....	19
TABLA II.1 Características de los Satélites Morelos.....	25
TABLA II.2 Características de los satélites Solidaridad.....	28
TABLA II.3 Características del satélite SATMEX 5.....	30
TABLA II.4 Características del satélite Nahuelsat 1	34
TABLA II.5 Distribución de equipos terrestre para los diferentes tipos de servicio	37
TABLA II.6 Características del satélite Brasilsat A.....	38
TABLA II.7 Características del satélite Brasilsat B.....	38
TABLA II.8 Parámetros Técnicos de los satélites PanamSat.....	41
TABLA II.9 Plataformas de los satélites Hispasat 1ªA y 1B.....	46
TABLA II.10 Parámetros Técnicos de Hispasat 1C.....	49
TABLA II.11 Características de los satélites Intelsat VI y VI-A.....	51
TABLA II.12 Características de los satélites Intelsat VII y VII-A.....	51
TABLA III.1 Satélites en banda Ka en el Mundo.....	67
TABLA IV.1 Especificaciones Preliminares del Satélite en banda Ka.....	73
TABLA IV.3 Características del Subsistema de Telemetría Comando y Rango.....	85
TABLA IV.4 Características del Subsistema de Propulsión.....	91
TABLA IV.5 Características del Subsistema de Potencia Eléctrica.....	98
TABLA IV.6 Características del Subsistema Estructural y Térmico.....	103
TABLA IV.7 Características del Subsistema de Control de Orientación.....	112
TABLA IV.8 Características del Subsistema de Comunicaciones.....	125
TABLA VI.1 Capacidad Satelital Disponible En América Latina.....	140
TABLA VI.2 Demanda de Transpondedores a Futuro.....	141

PREFACIO

La presente investigación pretende mostrar, estudiar y analizar la situación presente y las perspectivas de los sistemas de satélites en América Latina, del desarrollo de nuevas tecnologías de comunicación satelital en banda Ka, del porque es necesario implementar un nuevo y revolucionario sistemas satelital en banda Ka, específicamente en México y finalmente se propone un proyecto de sistemas de satélites en banda Ka que podría servir como guía para las implementaciones futuras de satélites “inteligentes” en la región de Latinoamérica. La situación actual de los sistemas satelitales en América Latina enfocan la investigación en la revisión de dos bloques fundamentales:

El primer bloque esta compuesto por los sistemas satelitales propios de Argentina, Brasil y México. Estos países han explotado favorablemente la mayor parte de aplicaciones que sus sistemas le permiten, por ejemplo: fax, voz, datos, telex, facsímil, telefonía, televisión, videoconferencia y comunicaciones móviles.

El segundo bloque esta formado por el resto de los países latinos como Colombia, Chile, Perú y Venezuela, quienes aún no cuentan con satélites propios pero que utilizan diferentes satélites de Intelsat, Panamsat e Hispasat para poder comunicar nacional e internacionalmente a sus empresas, en lo que respecta a radiodifusión, vídeo, redes conmutadas, etc.

De la misma manera, la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones que es manejada por los actuales satélites de comunicación, rebasan las ya casi saturadas bandas de frecuencias tradicionales - C y Ku -. En este trabajo se propone el uso de la banda de frecuencia Ka, la cual permite nuevas formas de integración de servicios que los usuarios demandan como voz, vídeo y datos a un menor costo efectivo.

Como parte fundamental de esta tesis se diseña y propone un sistema de satélites en banda Ka para la región de Latinoamérica que involucra a detalle los diferentes subsistemas que conforman al satélite y en ellos la implementación de nuevas tecnologías de comunicación en banda Ka que actualmente emplean otros sistemas(sólo con fines experimentales) y que han tenido gran éxito.

El sistema satelital propuesto representa un proyecto ambicioso ya que pretende ser una guía a seguir en la puesta en marcha de la cuarta generación de satélites Mexicanos, reemplazando a los satélites Solidaridad 1 y 2 en la próxima década, además de mostrar un ejemplo claro de la nueva tecnología de “satélites inteligentes” que revolucionará las comunicaciones en el año 2010.

Con las premisas mencionadas y la información obtenida, la presente tesis se divide en seis capítulos que se describen brevemente a continuación:

El primer capítulo corresponde a la *Introducción*, aquí se hace referencia a los antecedentes históricos de un sistema satelital, una breve descripción de los elementos que lo conforman un sistema satelital, así como definiciones y términos necesarios para comprender con mayor facilidad la información manejada a lo largo de este trabajo.

El segundo capítulo se enfoca al estudio de la *Situación Actual de los Sistemas Satelitales en América Latina*, proporcionando información detallada de cada uno de los sistemas satelitales existentes (Morelos, Solidaridad, Nahuelsat, Brasilsat, Panamsat, Intelsat e Hispasat). Además se brindan mapas de cobertura y cuadros resumen con las características generales de las naves de cada sistema satelital estudiado.

El tercer capítulo proporciona información interesante sobre *La banda Ka*, las características que la hacen ventajosa con respecto a las bandas de frecuencias tradicionales - C y Ku -, las múltiples aplicaciones que brinda en el mercado de telecomunicaciones y en términos generales, el porque actualmente algunos países la emplean en sus sistemas satelitales (exclusivos para investigación) y consideran que revolucionará las comunicaciones vía satélite en los próximos años.

El cuarto capítulo corresponde a la parte medular de esta tesis la *Configuración del Sistema en Banda Ka*, es aquí donde se diseña a detalle cada uno de los módulos del sistema satelital implementando nuevas y revolucionarias tecnologías de comunicación en banda Ka que brindarán ventajas sobre las existentes. Los módulos corresponden a los diferentes subsistemas que conforman al satélite como lo son: Subsistema de Propulsión, Subsistema de Potencia Eléctrica, Subsistema Control Térmico, Subsistema de Telemetría, Comando y Rango, Subsistema de Control de Orientación y Subsistema de Comunicaciones.

En el quinto capítulo se realizan los *Cálculos de Enlaces* de subida y bajada en banda Ka y se cuantifica la calidad de la señal en la recepción para el caso específico de transmisión de vídeo digital. Para el calculo del enlace se hacen algunas consideraciones necesarias en lo que respecta a las características de las estaciones terrenas (E/T), basándonos en E/T de sistemas satelitales que actualmente funcionan (específicamente los satélites Solidaridad).

En el sexto capítulo proporcionaré las *Conclusiones*, abarcándose las siguientes etapas: comparación referente a la situación actual de los diferentes sistemas satelitales Latinoamericanos estudiados, el porque es necesario un sistema de satélites inteligentes y revolucionario en banda Ka para la región de Latinoamérica, las ventajas que ofrece el sistemas satelital propuesto en este trabajo, así como una breve comparación entre sistemas tradicionales (en banda C y Ku) y el sistema satelital en banda Ka.

Lo que corresponde a los *Apéndices* se incluye un Glosario de términos relacionados a Sistemas de Telecomunicaciones vía satélite, pero se considera que el lector del presente trabajo tiene conocimiento previo en el área de comunicaciones analógicas y digitales para poder comprender los resultados obtenidos y las conclusiones dadas.

Para finalizar, se proporciona la *Bibliografía* que se basa principalmente documentos expedidos en los diferentes países que poseen sistemas satelitales propios (como es el caso de México, Argentina y Brasil), y de los diferentes consorcios satelitales (Intelsat, Panamsat e Hispasat). La información basada en libros resultó un poco escasa, ya que en ellos existe muy poca información actualizada debido a la acelerada transformación que experimenta día a día la industria de telecomunicaciones vía satélite.

Adicionalmente las direcciones de INTERNET visitadas sirvieron de apoyo exhaustivo para la investigación relacionada a la banda Ka y a las tecnologías satelitales de punta que se manejan en éste trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías actuales de comunicación vía satélite son un ejemplo claro de los cambios que vivimos y que rodean al mundo en su totalidad, cambios que avanzan hacia la globalización y que influyen directamente en nuestras sociedades y formas de vida. Es aquí donde la información y el manejo de la misma adopta un papel relevante e importante y es sinónimo de poder; como consecuencia, la exigencia de acelerados avances tecnológicos a los que debemos estar preparados, esta siempre presente.

Las ventajas presentes en tecnologías de comunicación por satélite, la globalización de la economía, la creciente demanda de servicios, y en muchos casos, la falta de una infraestructura nacional de red-ancha, hacen de América Latina un excelente mercado donde tecnologías en banda Ka serán seriamente consideradas en investigaciones futuras.

Tomando en cuenta tanto las características similares de la población en América Latina, así como la buena calidad y bajo costo de las comunicaciones por satélite en banda Ka, parece razonable que el siguiente "paso natural" para los países de América Latina y los inversionistas privados sea la operación de sus sistemas satelitales con cobertura continental usando una tecnología nueva, emergente y prometedora, como lo es la banda Ka. De está forma, proyectos individuales innecesarios y costosos deben ser evitados, y las necesidades básicas de telecomunicaciones para cada región deberán ser satisfechas con una muy moderna plataforma tecnológica que introduce y crece con servicios de multimedia y que será aplicable sobre bases de costos compartidos.

En el presente trabajo, primeramente se proporciona una visión general de las tecnologías de satélites utilizados en América Latina incluyendo servicios y el grado de privatización en la región y se muestra el potencial de la banda Ka para transmisiones de multimedia, basados en la estimación de la demanda de servicios para los siguientes 10 años con la oferta de transpondedores disponibles.

La experiencia de América Latina en operar sus propios satélites regionales y domésticos data de alrededor de 13 años atrás. México y Brasil fueron los primeros dos países que lanzaron sus propios vehículos espaciales en 1985. El propósito principal de estas dos primeras generaciones de sistemas satelitales - cada uno conformado por dos satélites en órbita - fue proporcionar servicios domésticos específicamente para radiodifusión de TV, telefonía a larga distancia y transmisión de datos. En aquel tiempo, la tecnología de Fibra Óptica no existía en la región.

A lo largo de este periodo, el número de satélites y los países participantes se ha incrementado; entonces se tiene cobertura territorial muy buena. Cientos de estaciones terrenas han sido instaladas y puestas en operación para proporcionar un amplio rango de servicios, y prácticamente estos sistemas ya han sido privatizados en su totalidad y vendidos a empresarios nacionales y foráneos.

Es indudable que este nuevo escenario de negocios será un detonador para el uso de nuevas tecnologías y servicios, como transmisión multimedia en banda Ka.

Con el fin de observar este potencial, se proporciona el siguiente cuadro comparativo con algunas regiones importantes del mundo (Ver TABLA I.1).

	Latino América	USA	EEC
Extensión Territorial en millones de Km ²	23	9.3	3.2
PIB en billones de dólares	1,200	6,700	6,300
Población en millones	480	290	360
Densidad Telefónica en números de líneas por cada 100 habitantes	9	56	45
Número de países	27	1	15

TABLA I.1 Potencial de crecimiento en Regiones de A. L.

Actualmente, los servicios interactivos han llegado a ser una herramienta cada vez más y más deseable, especialmente en la oficina, y en algunos casos en el hogar, vídeo en demanda, compras y transferencias de grandes cantidades de datos, son sólo algunos ejemplos de los servicios que se pueden proporcionar empleando la banda Ka. Esto es debido a las pequeñas antenas que se necesitan, a la calidad digital de las señales, a la posibilidad de regeneración de las señales a bordo del satélite, y al uso óptimo de la potencia a través de los saltos de haces (haces no continuos).

La expansión de servicios de Internet y la posibilidad de introducir telefonía a bajo costo en áreas rurales son sólo dos de muchas aplicaciones de la nueva tecnología en banda Ka. Para conocer el porque la banda Ka llegará a revolucionar las tecnologías de comunicación vía satélite existentes y como el sistema satelital en banda Ka propuesto en este trabajo es un ejemplo de lo que será en el futuro un "satélite inteligente", es necesario conocer primeramente algunos conceptos básicos que se definen a continuación.

L1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El planteamiento teórico de estos sistemas se da en 1945 por el físico y matemático inglés Arthur C. Clark (Ver Fig I.1), quien expone la posibilidad de un sistema de comunicación que ofreciera una cobertura global colocando solamente tres satélites artificiales en órbita circular de 36,000 km. de altura sobre el Ecuador, de tal forma que estos permanecieran relativamente fijos con respecto a un observador en la superficie de la tierra

Diez años más tarde, John Pierce de los laboratorios Bell, define con el satélite Score (EUA) puesto en órbita durante dos años, los posibles requerimientos técnicos para un sistema de telecomunicaciones vía satélite. Anteriormente a ello la ex-URSS lanzó su primer satélite artificial Sputnik-1. Cuatro años después los EUA lanzaron el satélite Echo-1, lográndose de esta forma la primera comunicación telefónica y transmisión de TV vía satélite.

En 1963, el proyecto Americano Syncom logra una órbita geoestacionaria con el satélite Syncom-2 y un año después, en agosto de 1964 desde el Syncom-3 se transmitieron programas de televisión con imágenes de las Olimpiadas de Tokio, el Syncom-3 logra la órbita geoestacionaria planteada por Clark a 35,786 km. de altura. Esta órbita sería utilizada de ahí en adelante por la mayoría de los sistemas satelitales de comunicación tanto domésticos como internacionales.

Estas generaciones de satélites, de uso prácticamente experimental son mejoradas y en 1964 se da inicio a la explotación comercial de este tipo de sistemas con la aparición de corporaciones como COMSAT en Estados Unidos y el consorcio intergubernamental INTELSAT, el cual con carácter de operador internacional, pone en órbita en 1965 su primera generación de satélites llamada Early Bird, el cual ofrece servicios de telecomunicaciones públicas de un continente a otro. En 1968, INTELSAT logra la cobertura mundial, al colocar un satélite Intelsat-3 en cada uno de los principales océanos del mundo (Atlántico, Pacífico e Indico), transmitiendo por televisión a todo el planeta la llegada del hombre a la Luna.



Fig. I.1 Arthur C. Clark

Para el final de la siguiente década, 14 países además de la ex-URSS y EUA contaban con actividades espaciales como: el viaje a la Luna, el envío de sondas a Marte y Venus, el lanzamiento de naves para explorar el sistema Solar etc.; además de sistemas domésticos como el Anik de Canadá en 1972, operadores internacionales como INTERSPUTNIK por parte de la ex-URSS en 1971 e INMARASAT en 1979 ofreciendo comunicaciones móviles a nivel internacional, generando un promedio de siete satélites geoestacionarios por año.

Para la década de los 80's se suman a la actividad espacial, seis países más, entre los que destacan Brasil y México los cuales con la puesta en órbita de sus primeros satélites Brasilsat-A1 y Morelos-1 respectivamente dan inicio a los sistemas domésticos en Latinoamérica. En esta misma época surgen también los llamados "sistemas regionales" cuando varios países de la comunidad árabe se organizan y lanzan el satélite Arabsat (M. Oriente) el cual es operado en conjunto y da cobertura a más de 20 estados Arabes. Los avances tecnológicos de esta década también son notables, siendo posible la primera recuperación y reparación de un satélite en 1984 gracias al transbordador norteamericano, además de que la cantidad de lanzamientos se incrementa hasta un promedio de 17 satélites geoestacionarios por año.

En lo que va del siglo XX, la actividad espacial sigue con su incremento explosivo, tanto que hasta 1996, se habían lanzado un promedio de 24 satélites geoestacionarios por año, y sólo en 1996, de 98 satélites que según la NASA se habían lanzado en general, más del 28% correspondía a Satélites de Telecomunicaciones en órbita geoestacionaria, lo que quiere decir que existen nueve países más con sistemas satelitales propios, entre ellos Argentina, y la primera compañía privada en ofrecer servicios satelitales globales: PANAMSAT.

I.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA SATELITAL

Un satélite es como un cable en el cielo para conectar dos puntos en la superficie de la tierra. Es un elemento que gira alrededor de otro y puede ejemplificarse con la analogía del sistema solar (Ver Fig. I.2).

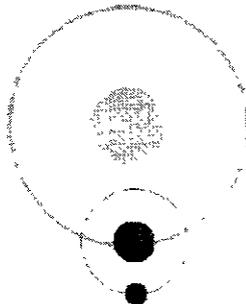


Fig. I.2 Analogía de un satélite

Uno de los sistemas de telecomunicaciones más avanzados resulta ser un circuito sencillo formado por los siguientes elementos:

- Segmento Espacial
- Segmento Terrestre
- Tipos de enlace

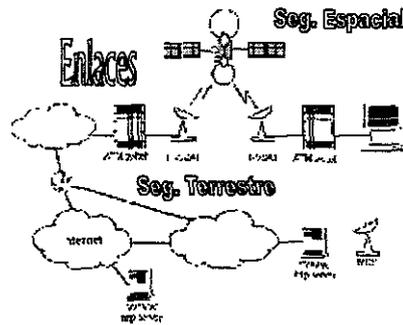


Fig I.3 Elementos de un Sistema Satelital

En el caso de satélites geoestacionarios:

El Segmento espacial está formado por el satélite en sí, y el Centro de Control y monitoreo (TT&C) desde Tierra, así como la posición o cubo imaginario que ocupa el satélite en el arco geoestacionario que corresponde a su zona de cobertura, el cual fue asignado con anterioridad por la UIT para prestar el servicio (Ver Fig. I.3).

El Segmento Terrestre está formado por el transmisor (Tx) y el receptor (Rx) desde Tierra.

Los tipos de enlace que conforman al sistema son el enlace de subida (UPLINK), el enlace de bajada (DOWNLINK) y el Enlace de Telemetría y Comando.

A continuación se describirán brevemente cada una de las funciones y características de los elementos que conforman un sistema de satélites.

I.3 SEGMENTO ESPACIAL

I.3.1 El Satélite

El satélite es un dispositivo encargado de mantener enlazado permanentemente una zona de cobertura previamente diseñada, en la cual se encuentran una red de transmisores y/o receptores de la información que se va a transferir mediante el satélite (Ver Fig I.4). El satélite esta integrado por una serie de subsistemas, estos subsistemas son de suma importancia, ya que cubren todos los aspectos requeridos para mantener la órbita y la correcta operación del satélite. Los subsistemas que conforman al satélite y sus funciones más específicas son:

- Subsistema de Comunicaciones: Se encarga de amplificar las señales y de cambiar la frecuencias de las mismas, además esta formado por un sistema de antenas que transmiten y reciben señales de radiofrecuencia.
- Subsistema de Potencia Eléctrica: Se encarga de suministrar electricidad con adecuados niveles de voltaje y corriente.

- Subsistema de Control Térmico: Se encarga de regular la temperatura de la nave en su totalidad.
- Subsistema de Control de Orientación: Se encarga de mantener y controlar la posición y orientación del satélite durante su vida útil.
- Subsistema de Propulsión: Proporciona incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación.
- Subsistema de Telemetría, Comando y Rango: Se encarga de intercambiar información con el centro de control desde Tierra para garantizar el correcto funcionamiento de la nave.
- Subsistema Estructural: Se encarga de alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

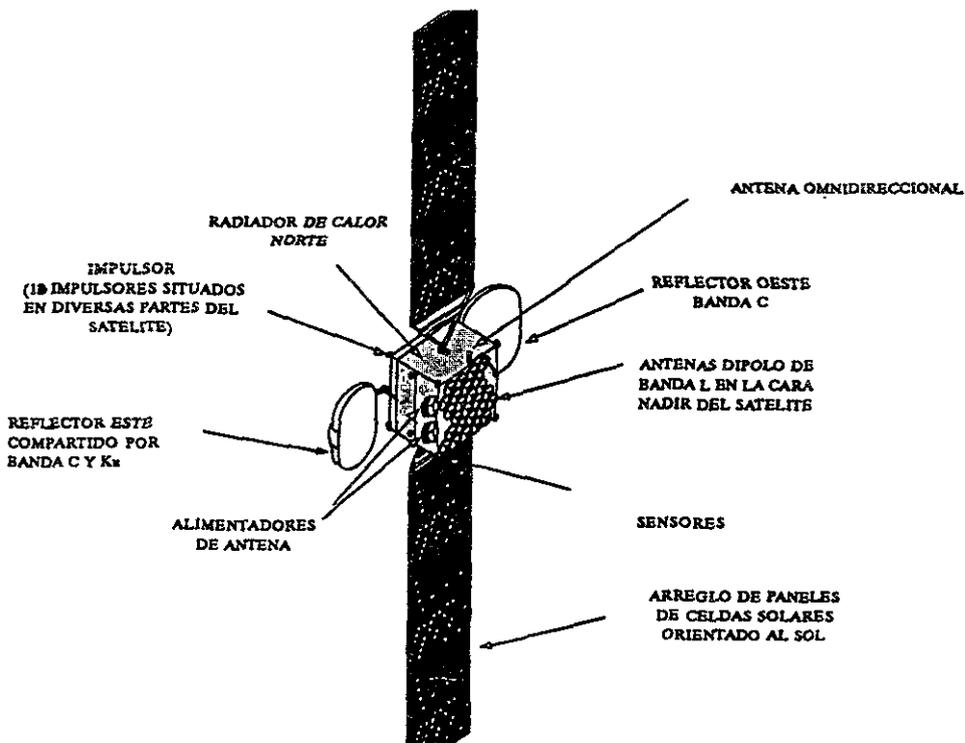


Fig. I.4 Elementos de un Satélite

I.3.2 El Centro de Telemetría, Comando y Rango (TC&R)

El Centro de Telemetría, Comando y Rango desde tierra realiza las siguientes funciones:

- Apoya la operación de puesta en órbita de la nave, lo que permite la validación y control, de la configuración durante la órbita de transferencia y la verificación de los parámetros orbitales.
- Realiza las pruebas de aceptación en órbita, tanto de la plataforma como de las cargas útiles, así como pruebas periódicas durante todo el periodo de vida útil del sistema.
- Mantiene el control orbital mediante determinaciones precisas de la posición del satélite y la ejecución de maniobras periódicas de mantenimiento de posición, dentro de los estrictos márgenes especificados respecto a su posición nominal.
- Realiza el control y el seguimiento de todos los subsistemas a lo largo de la vida útil del satélite.
- Supervisa los parámetros de radiofrecuencia de toda la carga útil a lo largo de la vida de la nave.
- y finalmente monitorea las señales portadoras de los usuarios del sistema (Ver Fig. I.5 y I.6).

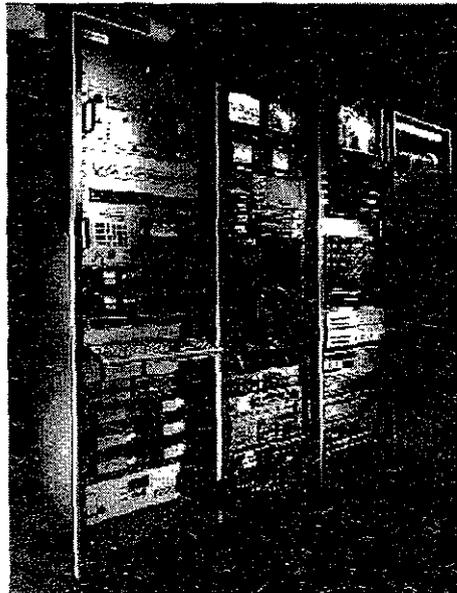


Fig I.5 Centro de Control desde Tierra

I.4 SEGMENTO TERRESTRE

Este segmento corresponde a las antenas en Tierra del sistema satélital y pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Estaciones Fijas:** Servicio fijo de Tx y/o Rx de RF, Datos y TV.
- **Terminales móviles:** Terminales móviles de Tx y/o Rx de RF y Datos.
- **Telepuertos:** Servicio simultáneo a redes de diversos usuarios.



Fig. I.6 Antena del Centro de Control desde Tierra

Estos elementos se encuentran en comunicación temporal o permanente con el satélite, para poder realizar la recepción o transmisión de información. Este tipo de elementos llamados Estaciones Terrenas (E/T) pueden variar su tamaño y forma según la función que realicen. Las Estaciones terrenas se clasifican por su tamaño y diámetro en:

- **E/T Grandes**

Este tipo de estaciones tienen antenas de 10-30 metros de diámetro, son utilizadas para proveer de una alta capacidad de transmisión en telefonía, datos o televisión (Ver Fig. I.7).



Fig. I.7 E/T Grande

- **E/T Medianas**

Este tipo de estaciones tienen antenas de 3-10 metros de diámetro, es posible verlas en edificios y comercios ya que tienen capacidades de recepción en difusión de TV, cuando se les ve en regiones remotas, están diseñadas para transmitir un número pequeño de líneas telefónicas o servicios de datos (Ver Fig. I.8).



Fig. I.8 E/T Medianas

- **Redes VSAT**

Cada una de estas antenas es de aproximadamente uno o dos metros de diámetro, estas antenas de pequeña apertura (Very Small Aperture Terminal) son de precio relativamente bajo (Ver Fig. I.9).

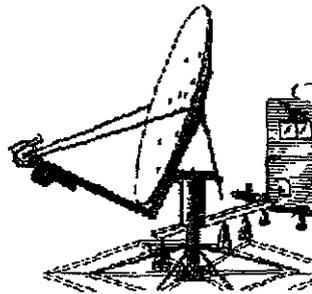


Fig. I.9 Estación VSAT

1.5 TIPOS DE ENLACES

En lo que respecta a los enlaces de las diferentes estaciones en Tierra con el satélite, estos están plenamente definidos por la UIT, ya que existen diferentes rangos de frecuencia dependiendo del uso, la región a la que se aplica y las bandas de frecuencia que utiliza el satélite. El enlace de subida: UPLINK (de la E/T al satélite) esta definido en cada una de las bandas de frecuencia, así como el enlace de bajada: DOWNLINK (del satélite a la E/T), se utilizan frecuencias diferentes para evitar interferencias entre las señales de entrada y salida del satélite. En estos tipos de enlaces, la información transmitida es: telefonía, datos y televisión. Con los enlaces de Telemetría y Comando se supervisa el satélite y es operado por el centro de control desde tierra. Además de las frecuencias empleadas dentro de las bandas de servicio del satélite, se llegan también a utilizar frecuencias más bajas, dentro del rango de los MHz, por ejemplo el satélite Solidaridad-2 utiliza frecuencias de 3.7 MHz y 5.925 MHz.

1.6 CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación, se definirán algunos conceptos fundamentales para complementar y entender en su totalidad la información que se maneja en el sistema satelital propuesto en este trabajo.

1.6.1 Organismos de Telecomunicaciones Reguladores

- Se crea en 1959 la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que actualmente cuenta con 160 países miembros, con el fin de coordinar las actividades en ese campo basándose en un convenio firmado por los países participantes para facilitar las relaciones pacíficas, la cooperación internacional y el desarrollo económico-social de los pueblos. Existe además un Reglamento de Radiocomunicaciones, así como varios órganos, comisiones, departamentos y comités que supervisan el desarrollo de las telecomunicaciones mundiales.
- Dentro de cada país con actividades de telecomunicaciones, existe un organismo nacional que se encarga de dictar políticas y reglamentos internos en coordinación con la UIT, en otras palabras se encarga de regular las actividades de telecomunicaciones en sus naciones o territorios. En el caso de México, su organismo regulador es: la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL).

I.6.2 Regiones de la UIT

Para lograr una mejor coordinación y supervisión de los sistemas de telecomunicaciones, la UIT dividió al globo terráqueo en tres regiones. En ellas se consideraron las características propias de la región para poder asignar parámetros y frecuencias de uso. Estas regiones poseen variantes propias en los tipos de servicios que pueden ofrecer además de las frecuencias asignadas para cada uno de ellos (Ver Tabla I.2).

REGIÓN 1	REGIÓN 2	REGIÓN 3
Africa	América del Norte	Oceanía
Europa	América del Sur	Asia(Menos ex-URSS)
Medio Oriente	Centroamérica	
ex-URSS (Europa y Asia)	Caribe	

TABLA I.2 Regiones declaradas por la UIT

I.6.3. Etapas de un Proyecto Satelital

Una vez que un país u organización decide invertir en un proyecto satelital, el proyecto es asignado a una compañía encargada a la construcción del mismo en base a las especificaciones y necesidades descritas previamente. Un proyecto de satélite lleva alrededor de tres a cuatro años en su elaboración ya que tiene que cubrir las siguientes etapas:

- Diseño del satélite
- Adquisición de partes
- Diseño de la estación de control de tierra
- Ensamble y pruebas de unidades
- Integración y pruebas de subsistemas
- Instalación y pruebas de la estación de Control
- Integración y pruebas del satélite
- Operaciones previas al lanzamiento
- Lanzamiento
- Servicios pos-lanzamiento
- Programas de entrenamiento:
 - Cursos teórico-prácticos
 - Entrenamiento sobre el trabajo.

I.6.4 Lanzamiento

Una vez que se tiene listo el satélite, se contrata una agencia para realizar el lanzamiento, este tipo de agencias cuentan con vehículos capaces de poner al satélite en órbita espacial (Ver Fig. I.10).

Existen diferentes vehículos lanzadores que se caracterizan por su forma de colocar los satélites en el espacio, estos son:

- Los vehículos que colocan al satélite en órbita de transferencia mediante la llamada órbita de Hoffmann .
- Los vehículos que son capaces de poner al satélite directamente en su órbita geoestacionaria.
- Los transbordadores espaciales que emplean una órbita de transferencia con características diferentes al primer grupo.

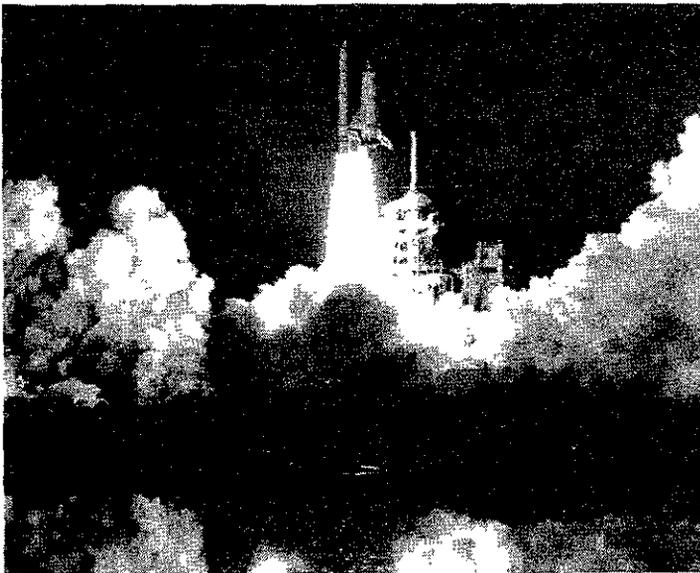


Fig. I.10 Lanzamiento

I.6.5 Inyección de órbita

En el caso de los vehículos que utilizan la órbita de Hoffmann (comúnmente más empleada) se realizan los siguientes pasos (Ver Fig 1.11):

- Disparo del conjunto lanzador-satélite (desde la tierra hacia el Este)
- Colocación del satélite en una órbita baja de estacionamiento (en conjunto con la última fase del lanzador)
- Impulsión del satélite a una órbita elíptica de transferencia (alcanzada esta órbita concluye el lanzamiento)
- Finalmente, se realiza el viaje del satélite hacia su órbita geoestacionaria definitiva empleando su motor de apogeo integrado.

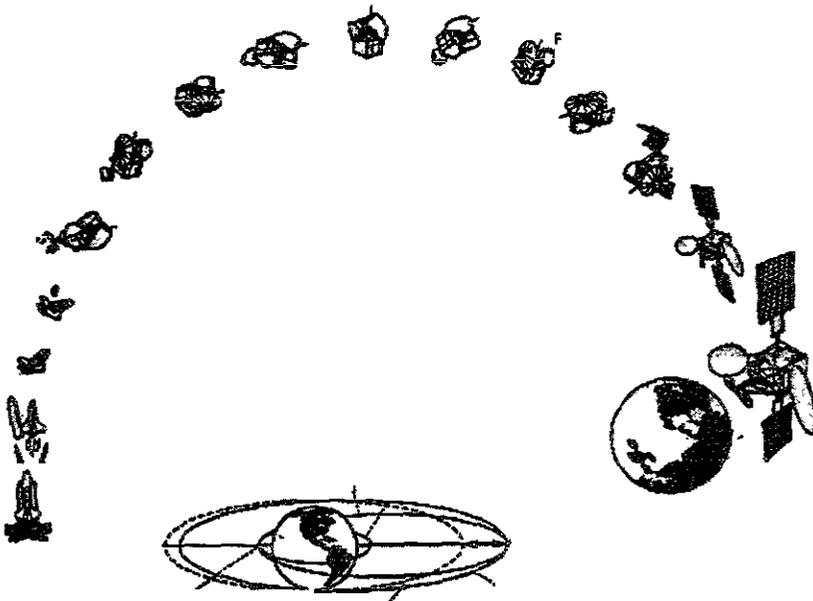


Fig I.11 Etapas del Lanzamiento de un satélite

I.6.6 Tipos de Órbita

Existen dos tipos de órbita denominadas:

- **Órbita de transferencia:**
son aquellas que se involucran en el proceso de lanzamiento del satélite
- **Órbitas de Servicio:**
son las órbitas que el satélite emplea de forma definitiva para proporcionar el servicio para el cual fue diseñado. En el caso de sistemas fijos, esta órbita es conocida como geoestacionaria.

I.6.7. Estabilización

Este término permite mantener relativamente “estable” al satélite en lo que concierne a su orientación con respecto a la tierra. Dentro de los sistemas de telecomunicaciones vía satélite, existen dos tipos de estabilización:

- **Estabilización por Giro o Rotación (Spin):**

Se emplea generalmente en satélite cilíndricos y que llevan las celdas solares montadas sobre la mayor parte de su superficie.

- **Estabilización Triaxial (tres ejes):**

Se utiliza en satélites con cuerpo fijo y en forma de caja, ya que llevan sus paneles solares en una especie de alas que son desplegadas al inicio de su servicio (Ver Fig. I.12).

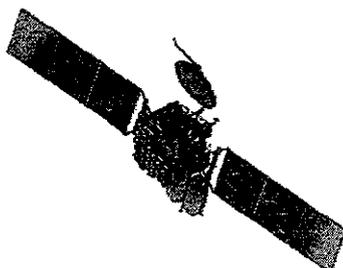


Fig I.12 Estabilización Triaxial

I.6.8 Transpondedor

El transpondedor o transponder, es un conjunto físico del receptor capaz de convertir frecuencia, amplificar y transmitir señales dentro de un satélite. Existen dos tipos principales de transpondedores, los cuales se diferencian por su etapa de amplificación:

- Amplificadores de Estado Sólido (SSPA) de potencias bajas.
- Amplificadores de Tubo de Onda Viajera (TWTA) de altas potencias.

I.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS SATELITALES

En la actualidad existe una gran diversidad de sistemas satelitales de telecomunicaciones entre los que destacan: sistemas con fines meteorológicos, sistemas de exploración del espacio, sistemas de navegación, sistemas militares, sistemas científicos etc. Pero dentro de estos sistemas existe también una serie de clasificaciones que se describen en la Tabla I.3:

CLASIFICACIÓN	TIPOS
POR SU TIPO DE SERVICIO	Servicio Fijo (FSS) Servicio Móvil (MSS) Servicio de Difusión Directa (DBS)
POR SU COBERTURA	Internacional o Global Regional Domestico o Nacional
POR SU TIPO DE ÓRBITA	Órbita Geoestacionaria (GEO) Órbita Baja (LEO) Órbita Intermedia (MEO) Órbita Inclínada Órbita Polar
POR SU FRECUENCIA	Altas Bajas
POR SU USO	Comunicaciones Militar Navegación Meteorológicos Experimentales
POR EL TAMAÑO DE E/T	Grandes Pequeñas

TABLA I.3 Clasificación de los Sistemas Satelitales

La primera clasificación (por su tipo de servicio) es la más importante, ya que frecuentemente el análisis de los sistemas se hace bajo esta división. Las divisiones siguientes: cobertura, órbita y uso, se toman en cuenta al momento de diseñar los campos de información de la base de datos para cada uno de los satélites.

Antes de avanzar al siguiente capítulo es necesario conocer información adicional sobre el tipo de servicio que proporciona un sistema satelital, para comprender en su totalidad la funcionalidad del proyecto propuesto.

I.7.1 Servicio Satelital

Los Servicios Satelitales son una serie de servicios específicos ofrecidos mediante el empleo o intervención de satélites de telecomunicaciones.

I.7.2. Servicio Fijo (FSS)

Es el servicio de radiocomunicaciones entre estaciones terrenas y puntos fijos específicos usando uno a más satélites, en algunos casos este servicio incluye enlaces satélite-satélite, aunque estos pueden ser considerados servicios inter-satélites; los servicios satelitales fijos también incluyen enlaces de alimentación para los servicios espaciales de radiocomunicación.

I.7.3. Servicio Móvil (MSS)

El servicio móvil corresponde a los servicios de radiocomunicaciones entre estaciones terrenas móviles y una o varias estaciones espaciales o entre estaciones espaciales utilizadas por este servicio; o entre estaciones terrenas móviles por medio de una o varias estaciones espaciales También pueden considerarse incluidos en este servicio los enlaces de conexión necesarios para su explotación.

I.7.4 Televisión Directa (DBS)

Servicio de radiocomunicación en el cual las señales emitidas o retransmitidas por estaciones espaciales están destinadas a la recepción directa por el público en general. La expresión "recepción directa" abarca la recepción individual y comunal (Ver TABLA I.4).

BANDA	SERVICIO	FRECUENCIA (GHz)
L	MSS	1 - 2
S	MSS	2 - 4
C	FSS	4 - 8
X	MILITAR	8 - 12.4
Ku	FSS	12.4 - 18
	MSS	
	DBS	
Ka	FSS	18 - 40
	MSS	
	DBS	

TABLA I.4 Bandas de Servicio

I.7.5 Órbita Geoestacionaria

- Es la órbita que se emplean comúnmente en el segmento espacial de los sistemas de comunicaciones satelitales con servicio fijo, la cual posee las siguientes características (Ver Fig. I.13):
- Geometría Circular.
- Angulo de inclinación de cero grados, con relación al plano del ecuador.
- Periodo de 23 hrs.56 min. y 4.1 seg. (igual a la tierra sobre su propio eje).
- Altura sobre el nivel del mar de 35,786 Km.
- Radio orbital de 42,164 Km.
- Velocidad del satélite de 3,075 m/s.
- Aplicaciones de Telecomunicaciones.



Fig. I.13 Órbita Geoestacionaria

I.7.6 Estación Terrena

Corresponde a la estación terrena localizada siempre en la superficie de la Tierra o dentro de una porción mayor de la atmósfera terrestre y utilizadas para comunicación con: una o más estaciones espaciales, con una o más estaciones del mismo tipo, con uno o más satélites reflectores, etc (Ver Fig. I.14).

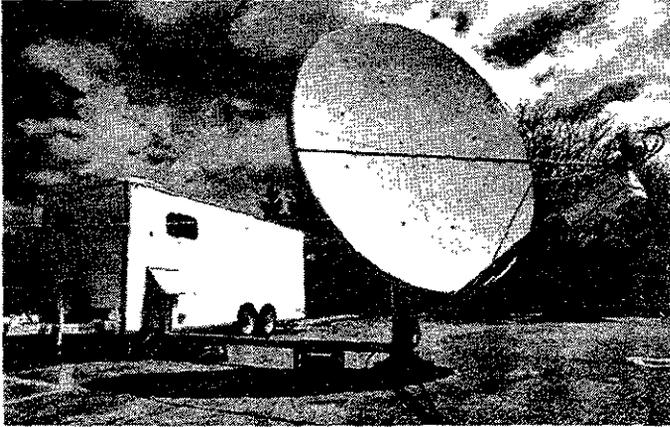


Fig. I.14 Antena de Estación Terrena

I.7.7 Bandas de Frecuencia Manejadas

El tipo de información transmitida empleando Servicio Fijo, es principalmente: Telefonía, Datos, Música y Televisión. La UIT define como bandas de frecuencias para este tipo de servicio a: las Bandas C y Ku, las cuales poseen un ancho de banda (BW) de 500 a 1,225 MHz. La banda X también es empleada por satélites militares y gubernamentales con un BW de 500 MHz. Actualmente debido a la creciente demanda de servicios fijos se emplea la banda Ka (que se estudiará en los capítulos siguientes) la cual posee un BW de aproximadamente 3,500 MHz.

I.7.8 Cobertura Nacional

Este tipo de cobertura es ofrecido principalmente por los sistemas domésticos, los cuales cubren totalmente su territorio nacional y en algunos casos llegan a ofrecer servicios a países vecinos pero sin ser considerados dentro de la cobertura Regional, ya que generalmente los dueños u operadores son concesionarios de los gobiernos respectivos, por ejemplo: Solidaridad de México y Nahuel de Argentina (Ver Fig. I.15).

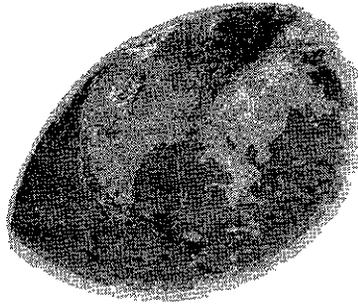


Fig. I.15 Ejemplo de Cobertura

II. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE SATELITES EN LATINOAMÉRICA

II.1 LOS SATELITES EN EL DESARROLLO DE LATINOAMÉRICA

La actividad satelital se hace presente en varios puntos del mundo. Sistemas satelitales propios o internacionales: ambos apoyan a la comunicación de las empresas modernas .

A pesar de la competencia que se ha originado en el mercado de las telecomunicaciones desde la aparición de nuevas tecnologías como la fibra óptica, radio enlaces, sistemas digitales, entre otros. Los sistemas satelitales debido a sus características se han convertido en la infraestructura principal para la comunicación de varios países del continente Europeo y Asiático, así como en toda Norteamérica. Dichos sistemas, los cuales en su mayoría han sido lanzados por la empresa europea ARIANESPACE actualmente son utilizados por estos gobiernos en zonas aisladas para realizar diferentes actividades de comunicación, como por ejemplo: integrar redes privadas de instituciones - que por su crecimiento - se encuentran geográficamente dispersas. Asimismo difunden la mayoría de las señales de televisión abierta y restringida, desde su origen hasta las estaciones transmisoras.

El camino seguido por estas naciones - el cual se comenzó a recorrer desde hace varios años con la liberalización de sus industrias - es diferente al que han seguido varios países de América Latina, ya que éstos por diferentes razones económicas, políticas y de organización no han podido tener la penetración en estos sistemas como lo hubieran deseado.

El lento crecimiento que se ha dado en la tecnología satelital no es por falta de interés de estos gobiernos, sino en algunas ocasiones se debe a los escasos recursos financieros que se destinan a estos proyectos.

II.2 SITUACIÓN DE LATINOAMÉRICA FRENTE A LOS SATÉLITES

Actualmente en América Latina existen dos grupos que de diferente manera han hecho uso exhaustivo de los satélites. El primer conjunto esta compuesto por tres países que cuentan con sistemas satelitales domésticos :Argentina, Brasil y México.

Estos países han explotado favorablemente todas las aplicaciones que sus propios sistemas satelitales permiten, ya que por ejemplo hacen uso en más de un 80% de: fax, voz, datos, telex, facsímil telefonía, televisión, videoconferencias, comunicaciones móviles, comunicaciones privadas de voz, transmisión de señales de vídeo, distribución de noticias, datos financieros, comunicaciones entre computadoras etc.

El segundo grupo esta formado por el resto de los países latinos como Colombia, Chile, Perú y Venezuela, quienes aún no cuentan con satélites propios , pero sí hacen un constante uso de sistemas satelitales internacionales como Intelsat y Panamsat.

La actividad satelital en estos países no se ha dejado a un lado, sino al contrario los usuarios que requieren de este tipo de tecnología y no cuentan con infraestructura satelital propia se han dado a la tarea de rentar diferentes satélites de **INTELSAT** y **PANAMSAT** para así comunicar nacional e internacionalmente a sus naciones y empresas, en lo que se refiere a radiodifusión, vídeo, redes públicas y redes conmutadas. La actividad satelital en América Latina aumenta

Existen además de los sistemas ya mencionados, algunos sistemas satelitales como el sistema español **HISPASAT** que ofrecen cobertura regional, cubriendo algunos países del centro y Sudamérica además del Caribe.

Los países que cuentan con satélites domésticos - Argentina, Brasil y México - han hecho uso de ellos en más de un 80%, pues no sólo los han utilizado para manejar sus redes públicas y su tráfico nacional sino que también administran cientos de redes privadas de comunicación y manejan el tráfico internacional que se presente, de manera que estos servicios aumentan favorablemente la economía del país.

Por ejemplo, en el caso de México actualmente se cuenta con tres satélites geostacionarios, el **Satmex 5** y los **Solidaridad I** y **II**. Dichos satélites atienden las demandas de más de 350 grandes usuarios como empresas de televisión que enlazan a 500 estaciones; 150 sistemas de televisión por cable y 35 redes de radiodifusión que comunican a 1,530 estaciones de radio del país; y operadores de redes privadas que satisfacen las necesidades de transmisión de datos y voz de empresas financieras, industriales y de servicios.

México se perfila como uno de los países latinos que desea consolidar su posición en la comunicación satelital y como prueba de ello, ha colocado en órbita geostacionaria a 36 mil Km. de altura un nuevo satélite, el **SATMEX 5** que reemplaza al **Morelos II** y proporciona servicios principalmente a las empresas interesadas en ofrecer DTH (Direct to Home: Televisión directa al Hogar).

Otro país que también cuenta con sistemas satelitales propios es Argentina, quien hace un constante uso de su satélite **Nahuel 1**, específicamente para satisfacer las necesidades de telecomunicaciones en lo que se refiere a vídeo, servicios de redes públicas y redes públicas conmutadas.

El sistema doméstico argentino ofrece cobertura a todos los países de habla hispana de América, Brasil y Estados Unidos. Estos satélites son utilizados principalmente por empresas que requieren comunicación bidireccional para difundir información nacional e internacional y dar asimismo apoyo a los programas de educación vía satélite, educación médica y diagnóstico que permiten conjuntar a unidades hospitalarias oficiales y particulares, así como universidades, colegios y sociedades científicas y médicas. Es decir, según información de Nahuel, este sistema satelital actualmente ofrece servicios regionales a Argentina, Chile, Uruguay, Paraguay y el sur de Brasil en lo que respecta a: Distribución de televisión, Servicio de datos, videoconferencias, Telefonía, Redes empresariales, Telemedicina, Tele-educación, Redes para la administración pública etc.

Cabe destacar que este sistema satelital ofrece servicio al 95% de la población de Argentina, a toda la de Uruguay y a gran parte de la población de Chile y Brasil, en lo que respecta a empresas de distribución por cable (comunidades rurales, hogares, haciendas, hoteles y centros de recreo). Para recibir las señales de producción masiva se necesitan antenas de 50 cm a 80 cm de diámetro, la distribución de televisión a todos los países de América se realiza con antenas pequeñas, las Redes de distribución de datos eficientes utilizan receptores pequeños así como las redes telefónicas de alta capacidad. Todo ello para proporcionar comunicaciones empresariales y privadas de todo tipo entre los países de la región.

Por último, otro país que también cuenta con sistemas satelitales propios y hacen un uso aceptable de ellos es Brasil, quien a través de su sistema denominado **Brasilsat 3 y 4** provee a sus usuarios de una amplia gama de opciones, cobertura, potencia y servicios entre los que destacan: vídeo (distribución de programas), difusión directa al hogar de diversos programas, así como de servicios digitales de periodismo electrónico por satélite

A continuación se hará una descripción general de los sistemas satelitales que actualmente gobiernan la región de América Latina

II.3 SATÉLITES MORELOS

En el caso del sistema de satélites mexicanos, se consideró originalmente dos naves espaciales, llamadas Morelos I y II puestas en órbita en 1985. El sistema fue gobernado completamente por su propietario

La primera generación de estos satélites fue resultado de la demanda de servicios de comunicaciones de televisión, telefonía y redes digitales de cobertura nacional, prevista para el crecimiento de México en la década de lo 80's.

Los satélites Morelos pertenecen a la familia HS-376 fabricados por la compañía Hughes y fueron los primeros de la serie en ser adaptados para operar en forma híbrida. Ambos satélites incluyeron repetidores en las bandas C y Ku de frecuencia, con una cobertura total de territorio mexicano. De esta manera, fueron capaces de proveer servicios de comunicaciones de televisión, telefonía y datos hacia y desde cualquier punto de la República mexicana.

II.3.1 Parámetros Técnicos de los Satélites Morelos

Los satélites Morelos fueron diseñados alrededor de la plataforma HS-376 de satélites de estabilización por giro. Su tiempo de vida estimado fue de 9 años en uso normal.

En el caso de Morelos 1 su periodo de operación fue a partir de su lanzamiento en 1985 hasta 1994, en que fue retirado de operación para ser sustituido por el satélite Solidaridad 2. El Morelos 1 fue enviado en una órbita de gran altura, para evitar colisiones con otros satélites operando en órbita geoestacionaria.

El Morelos 2 estuvo en una órbita de almacenamiento desde 1985 hasta 1989, cuando entró en operación en órbita geoestacionaria.

II.3.2. Lanzamiento De Los Satélites Morelos

Los primeros satélites mexicanos se contrataron en la compañía Hughes Aircraft en 1982, y fueron lanzados por la NASA desde el Centro espacial Kennedy, en florida E.U.A.

El Morelos 1 se lanzó en junio de 1985 a bordo del Transbordador Espacial Discovery, en la misión SBS-51-G. La posición orbital geoestacionaria del Morelos 1 fue 113.5 W.

El Morelos 2 se lanzó en octubre de 1985 a bordo del Transbordador espacial Atlantis, en la misión SBS-61-B. La posición orbital geosíncrona del Morelos 2 es 116.5 W (Ver TABLA II.1 y Fig. II.1 y 2).

En 1993 y bajo las siguientes premisas: asegurar el reemplazo a tiempo del Morelos 1, procurar satisfacer la demanda de servicio por satélite a corto y mediano plazo incluida la comunicación al Caribe, Centro y Sudamérica y al noroeste de EUA y obtener máxima flexibilidad para adecuar la carga útil de los satélites a las necesidades de los diferentes servicios, según requerimientos de Telecom; México inicia la segunda generación de satélites: el sistema Solidaridad.

MODELO	HS-376
ESTABILIDAD	POR GIRO
PESO TOTAL	666 Kg.
PESO SECO	521 Kg.
COMBUSTIBLE	145 Kg.
POTENCIA	777 W
VIDA ÚTIL	9 AÑOS
DIMENSIONES	2.16m DE DIÁMETRO 6.66m DE LONGITUD

TABLA II.1 Características de los satélites Morelos

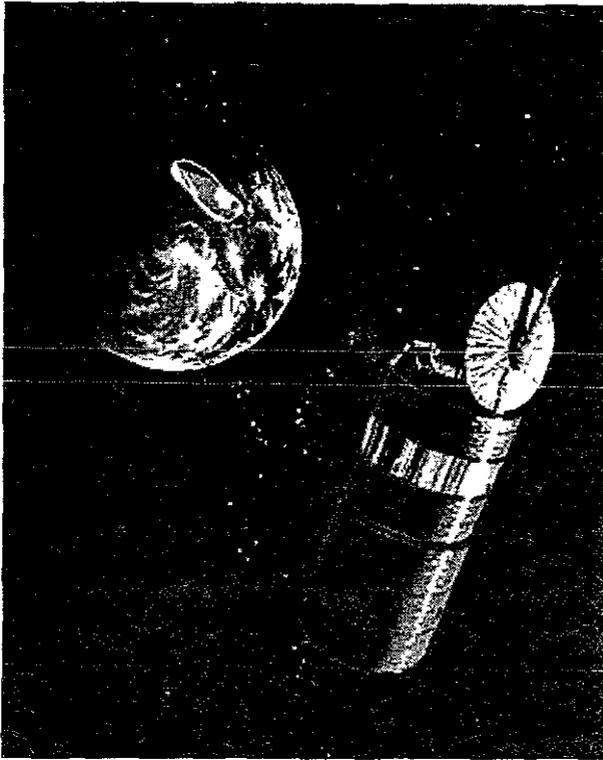


Fig. II.1 Satélite Morelos



Fig. II.2 Cobertura del Satélite Morelos en Banda C y Ku

II.4 SATÉLITES SOLIDARIDAD

Considerando el tiempo de vida de los satélites Morelos y los sucesos en la aceptación de los servicios fijos vía satélite, así como la demanda explosiva de la capacidad de transpondedores para redes privadas VSAT y los servicios DTH en la prevista bandas Ku se nombró la segunda generación de satélites llamada Solidaridad 1 y 2, empezando sus operaciones en 1994. Este nuevo sistema introduce el rehuso de la banda Ku con doble polarización equipo en banda L para servicio móvil, y una verdadera cobertura continental con un gran número de huellas, en conjunto gran potencia y una larga vida útil.

Observando la figura II.4 para la comparación de coberturas y bandas frecuencias empleadas en el Norte y Sur de América. Actualmente el satélite Morelos I esta fuera de servicio y el satélite Morelos II dejó de funcionar en noviembre de 1998. En ambos casos - Morelos y Solidaridad - las naves fueron construidas por Hughes. Morelos I y II fueron lanzados por la NASA, y Solidaridad 1 y 2 por Arianespace.

La segunda generación de satélites mexicanos fue resultado directo de la demanda increíble de capacidad satelital por parte de usuarios privados mexicanos, principalmente para aplicaciones de redes corporativas de voz y datos.

En 1992 se encargó a la compañía Hughes Aircraft la construcción de dos satélites nuevos, de mayor potencia que los satélites Morelos, y que a su vez fueron lanzados por la Agencia Espacial Europea (ESA) desde el centro Espacial de Kourou, Guyana Francesa, mediante cohetes ARIANNE 44LP en noviembre de 1993 (Solidaridad 1) y en octubre 1994 (Solidaridad 2).

Los satélites solidaridad 1 y 2 fueron diseñados a partir de la plataforma HS-601 de satélites de estabilización Triaxial de Huhges. Tienen un periodo de vida estimado de 14 años, por lo que se espera estén en operación hasta 2007 y 2008, respectivamente. Ambos satélites cuentan con transpondedores de bandas C y Ku para aplicaciones genéricas de comunicaciones de TV, voz y datos; así como la banda L para aplicaciones de comunicaciones móviles.

II.4.1 Lanzamiento De Los Satélites Solidaridad:

El Solidaridad 1 se lanzó en Noviembre de 1993 a bordo del cohete Ariane 44LP, en el vuelo 61. La posición orbital geosíncrona del Solidaridad 1 es 109.3 W.

El solidaridad 2 se lanzó en Octubre de 1994 a bordo de otro cohete Ariane 44LP, en el vuelo 68. La posición orbital geosíncrona del Solidaridad 2 es 113.5 W (Ver TABLA II.2).

II.4.2. COBERTURA DE LOS SATÉLITES SOLIDARIDAD

Los satélites Solidaridad fueron diseñados para proporcionar capacidad de comunicación satelital a México así como a los países latinoamericanos que no cuentan con infraestructura propia de este tipo, a través de varios repetidores en su banda C. Este diseño pretende aumentar las relaciones comerciales y culturales entre los países de la región latinoamericana

MODELO	HS-601
ESTABILIDAD	TRIAxIAL
PESO TOTAL	2773.23 Kg.
PESO SECO	1280.4 Kg.
COMBUSTIBLE	1492.8 Kg.
POTENCIA	3370 W
VIDA ÚTIL	14 AÑOS
DIMENSIONES	6.67m ANTENA-ANTENA 21m PANELES DESPLEGADOS

TABLA II.2 Características de los satélites Solidaridad

Por otro lado, los satélites Solidaridad permiten una comunicación directa entre México y las principales ciudades de Estados Unidos y Canadá, que se espera refuerce el intercambio comercial entre estos países.

Finalmente, la carga útil en banda L permitirá interactuar con usuarios móviles dentro del territorio nacional, así como con sistemas similares de E.U y Canadá.

Esta nueva generación de satélites al igual que los Morelos permite portadoras del tipo:

- Telefonía Multicanal FDM/FM/FDMA (solo en banda C).
- Dos portadoras de vídeo FM/FDMA con subportadoras de audio (Solo en transpondedores de 72MHz o 54 MHz)
- Televisión de alta definición y señales de vídeo utilizando técnicas digitales de compresión
- SCPC/FM/FDMA
- SCPC/QPSK/FDMA
- TDMA/QPSK/TDMA (Eficiencia Máxima de 1.667 bits/Hz)
- Espectro expandido
- Sistemas de Modulación FM

Con la entrada en funcionamiento de la segunda generación de satélites Mexicanos se obtienen actualmente las siguientes ventajas:

- Aumento al doble de la capacidad en comparación con los sistemas Morelos.
- Incremento de la potencia de las señales
- Cobertura de los países vecinos
- Misión para servicios móviles
- Mejoras en el sistema de redundancia
- Mejoras en confiabilidad, vida útil y calidad en todos los subsistemas (Ver FIG. II.2)



FIG. II.3 Satélite Solidaridad.



Fig. II.4 Cobertura de los Satélites Solidaridad 1 y 2

II.5 TERCERA GENERACIÓN DE SATÉLITES MEXICANOS

Desde que el Morelos II se encuentra fuera de servicio, ha sido reemplazado por el que provisionalmente es llamado SATMEX 5 que también está construido por Hughes. La ventana de lanzamiento fue reservada por Arianespace en Noviembre de 1998. Este satélite no tiene equipo en banda L para servicios móviles, ya que sólo incluye las tradicionales bandas de frecuencia C y Ku pero ahora con cobertura continental como se muestra en la figura II.5. Existirán dos centros de operación, uno en la ciudad de México y el otro ubicado en la ciudad de Hermosillo, a pocas cientos de millas de la frontera de E.U.

La nueva propiedad privada tiene el derecho de transmitir y recibir señales, ambas en México y E.U. - de acuerdo al arreglo bilateral de reciprocidad de señales entre los dos gobiernos -, y de instalar y operar una variedad de redes de telecomunicaciones públicas. Los dos centros de control pertenecen ahora a este nuevo consorcio, así como a los satélites Morelos II, Solidaridad 1 y 2. También los derechos derivados y asociados con el SATMEX 5 han sido transferidos a este consorcio, al igual que su lanzamiento.

Actualmente, México ha registrado con la ITU cuatro posiciones orbitales para DTH; estas son: 68°, 78°, 127° y 130° Longitud Oeste. Para servicios fijos se coordinan cuatro posiciones en la banda C y Ku en 105°, 127°, 138° y 145° Longitud Oeste, de la misma forma que la banda extendida en las tres posiciones orbitales ya ocupadas. En la banda Ka, México ha solicitado diez posiciones orbitales para un sistema de satélite global, llamado MEGASAT, una supercarretera de información satelital.

Después de la correspondiente licitación internacional, la construcción del SATMEX 5 fue asignada a la compañía Hughes, este satélite está basado en la plataforma HS-601HP, que corresponde a una versión de alta potencia de la versión HS-601 (tipo Solidaridad); la cual puede suministrar hasta 8 KW de energía al sistema de comunicaciones (más del 130% que el Solidaridad) y consta de 24 transpondedores en banda C y 24 de alta potencia en banda Ku (Ver TABLA II.3).

MODELO	HS-601HP
ESTABILIDAD	TRIAXIAL
PESO TOTAL	3223 Kg.
PESO SECO	1750 Kg.
COMBUSTIBLE	149 Kg.
POTENCIA	3370 W
VIDA ÚTIL	14 AÑOS
DIMENSIONES	6.67m ANTENA-ANTENA 21m PANELES DESPLEGADOS

TABLA II.3 Características del satélite SATMEX 5

Dentro de las características importantes se pueden resaltar las siguientes:

- El arreglo solar posee celdas de Arsenuro de Galio de empalme dual (una nueva tecnología en construcción de celdas solares).
- Posee amplificadores del tipo TWTA (también nueva tecnología).
- Además posee un excitador / limitador / amplificador de tecnología de punta.
- El Subsistema de Propulsión se complementa con propulsión eléctrica.

El diseño propuesto para el SATMEX 5 ofrece un desempeño de comunicaciones que satisface o excede los requerimientos principales. Dentro de la banda Ku será posible obtener servicios DTH con antenas menores a 60 cm. de diámetro. Además los márgenes PIRE y G/T son más que suficientes para la difusión digital considerando el peor de los casos del límite de cobertura y aún con errores de apuntamiento.

Este nuevo sistema satelital representa un incremento en la capacidad espacial y un mejoramiento a los centros de control y comando del sistema, además, Hughes ha impuesto capacitación a los operadores de los centros de control, lo cual permitirá que el sistema se opere completamente con autosuficiencia y alta eficiencia.

El lanzamiento del SATMEX 5 se realizó mediante la empresa de lanzadores europeos Arianespace, que mediante su equipo colocó en órbita el satélite desde la Guyana Francesa en Sudamérica en noviembre de 1998 (Ver Fig. II.5).

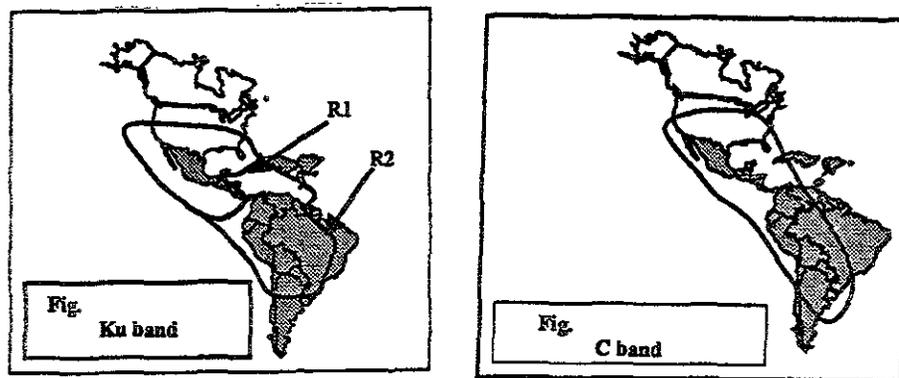


Fig. II.5 Cobertura del Satélite SATMEX 5

II.6 SISTEMA NAHUELSAT

Una infraestructura de comunicaciones eficientes y bien planeado es un elemento clave para el desarrollo económico y social de una región. Por esta razón, a finales de 1992, el gobierno Argentino, a través de CNT (Comisión Nacional de Telecomunicaciones), llamó a concurso internacional para la autorización de la explotación de un sistema de comunicaciones por satélite utilizando posiciones orbitales a coordinarse para la Argentina.

La unión transitoria de empresas formada por Daimler Benz Aerospace, Aerospaziale y Alenia Spazio ganó este concurso y fue la adjudicataria, por parte del gobierno Argentino, de la autorización correspondiente, en 1993. Con este logro, Argentina y los demás países de América Latina se vieron beneficiados, por primera vez con la posibilidad de tener cobertura satelital en la banda Ku, banda que hasta entonces sólo estaba disponible para Canadá, E.U. y México. Esta banda permite la utilización de facilidades satelitales terrenas eficientes y económicas.

A diferencia de los casos de México y Brasil, el sistema Argentino fue construido con inversiones privadas. La sociedad de financiamiento incluye bancos, compañías de servicios de telecomunicaciones e Industrias satelitales, ambos nacionales y foráneos, como es el caso de Aerospaziale y Alenia Spazio.

En 1993 Nahuelsat comienza a proveer facilidades satelitales en Argentina, Chile y Uruguay operando dos satélites denominados Nahuel 1C y NAHUEL 2C, que conforman el "Sistema interino", ocupando posiciones orbitales argentinas.

Estos satélites fueron decomisados y reemplazados por el satélite Nahuel 1, actualmente en operación. Probablemente es incorrecto hablar de éste como un verdadero sistema, ya que este es sólo una nave espacial en órbita, llamada Nahuel 1 (Ver TABLA II.4). De cualquier forma, se espera que este sistema crezca, debido a la demanda de algunos servicios, la competencia y la gran importancia de la región.

De este modo, se coordina con la ITU cinco posiciones orbitales adicionales para el crecimiento de su capacidad en un futuro próximo. Nahuel 1 fue puesto en órbita en 1997. En contraste con los satélites Brasil, esta nave Argentina opera exclusivamente en la banda Ku, y sus huellas también cubren Brasil y el resto de América Latina (ver Fig. II.7).

En 1995 se firman dos convenios, uno con los satélites Solidaridad en banda C, y otro por el cual se incorpora el satélite Hispasat 1B en la banda Ku, con su cobertura sobre Europa y América. En 1996, se firma un convenio de Cooperación y reciprocidad con el sistema satelital Brilsat en Argentina y se permite la operación de Nahuel en Brasil, a través de Embratel.

En junio de 1995 se inicia en Buenos Aires, la construcción de la Estación Terrena de Telecomando, Telemetría y Control. Esta estación se encarga del control del satélite Nahuel 1 y monitorea el tráfico de todo el Sistema Satelital Nahuel.

El lanzamiento del primer satélite Nahuel se realizó en Enero de 1997, desde Francia con un Ariane IV, lanzador que desde hace 14 años cubre las dos terceras partes de los lanzamientos de satélites comerciales en el mundo.

Finalmente, el primero de Marzo de 1997, luego de transferírsele el tráfico de los satélites transitorios el satélite Nahuel 1 comenzó a operar en la posición 71.8 de longitud oeste, cubriendo desde la Antártida y Tierra del Fuego hasta el sur de los Estados Unidos, en la banda Ku, 14/12 GHz, con tres haces diseñados específicamente para ésta región.

El sistema Nahuelsat posee tres regiones de cobertura (Ver Fig. II.7):

- Sud América
- Brasil
- Latinoamérica

Un haz cubre toda la Argentina, Chile, Uruguay, Paraguay y parte de Brasil y Bolivia, el segundo cubre todo Brasil y el tercero es un haz global cubriendo todos los países de Latinoamérica. Además Nahuelsat tiene su estación de monitoreo y control en Buenos Aires. El satélite Nahuel 1 se encuentra ubicado en la posición 71.8 de longitud oeste y tiene una vida útil de por lo menos 12 años. Esta previsto ampliar la oferta de capacidad satelital para la región en un futuro cercano, a través del satélite Nahuel 2 en otra posición orbital.

Nahuelsat, mediante convenios comerciales firmados con Embratel de Brasil y Satélites Mexicanos S.A. provee también de capacidad satelital en la banda C a bordo de los satélites Brasilsat y Solidaridad. También es posible transmitir información en la banda Ku desde Argentina hacia Europa, a través de capacidad a bordo del satélite Hispasat, gracias a un acuerdo comercial con dicha empresa.

Los servicios regionales que ofrece Nahuelsat son: distribución de televisión, servicio de datos, videoconferencia, telefonía, redes empresariales, telemedicina, educación a distancia, redes para la administración pública etc.

De esta manera, tanto en tierra como en espacio, Nahuelsat cuida cada detalle para alcanzar el punto más alto de calidad de servicio, asesoramiento y asistencia a sus clientes, aportando toda su experiencia y capacidad empresarial para impulsar el desarrollo y la integración de toda América.

Al igual que México, Argentina tiene programados nuevos satélites que permitirán la difusión de TV Directa al Hogar (DTH), además se planea una distribución desde y a todos los países de América, con antenas pequeñas, redes de distribución de datos eficientes, redes telefónicas de alta capacidad y comunicaciones privadas y empresariales de todo tipo entre los países de la región.

PLATAFORMA	SPACEBUS 2000
ESTABILIZACIÓN	3 EJES
PESO TOTAL	1780Kg.
POSICIÓN EN ÓRBITA	GEO 71.8 LONGITUD OESTE
VIDA ÚTIL	12 AÑOS
POTENCIA	3200 W
VIDA ÚTIL	AÑOS
BW	54 MHz.
AMPLIFICADORES	55W
ANTENAS	2
HACES	48 Y 50 dBW
TRANSPONDEDORES	18 ACTIVOS EN BANDA Ku Y 6 DE RESPALDO
DIMENSIONES	1.64x1.46x 2.2M. (22.3 DESPLEGADO)

TABLA II.4 Características del satélite Nahuelsat 1



Fig II.6 Satélite Nahuelsat 1

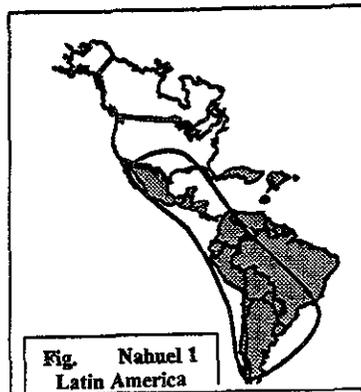
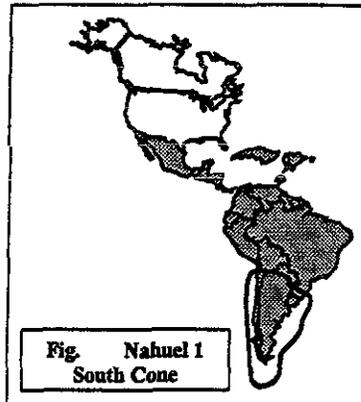


Fig. II.7 Coberturas del Satélite Nahuel 1

II.7 SISTEMA BRASILSAT

El sistema Brasilsat propiedad del gobierno también empezó sus operaciones en 1985. Este sistema esta formado por dos naves espaciales llamadas Brasilsat A1 y Brasilsat A2. El sistema exclusivo en banda C para los tradicionales servicios fijos por satélite (telefonía, datos, radio y difusión de TV), fue más tarde reemplazado por la segunda generación del sistema, en 1994. Los nuevos satélites fueron llamados Brasilsat B1 y B2.

Los servicios de redes públicas vía satélite son óptimos para las empresas que requieren de las más avanzadas posibilidades de interconexión de: redes telefónicas celulares, tele-educación, tele-medicina, datos, videoconferencia, administración de flotas de camiones, así como redes privadas punto a punto nacionales e internacionales.

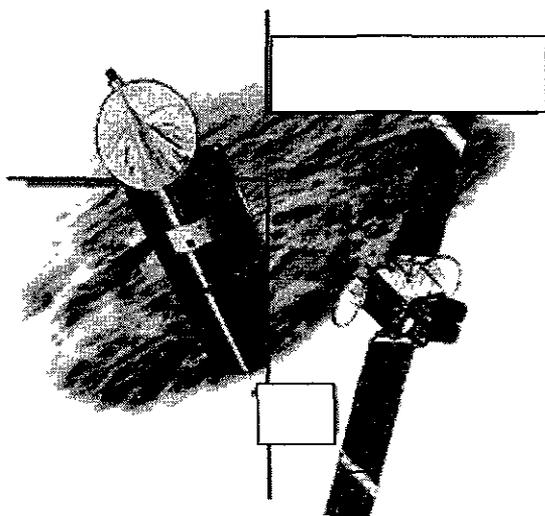


Fig. II.8 Satélites Brasilsat.

Brasil es el tercer país latinoamericano que cuenta con un sistema satelital propio, con sus satélites Brasilsat A y B(Ver Fig. II.8) proporciona a sus usuarios una amplia gama de opciones, cobertura, potencia y servicios entre los que destacan: vídeo, distribución de programas, difusión directa al hogar de noticias, eventos deportivos, telenovelas así como servicios digitales de periodismo electrónico por satélite.

Resulta también interesante comentar que estos satélites no emplean la banda Ku, posiblemente debido a las altas probabilidades de lluvia tropical en la región y a los grandes márgenes de operación que se necesitan. Si esto es cierto, es inseguro si se desea usar la banda Ka en un futuro cercano. De cualquier forma, esta desventaja aparente puede ser resuelta con satélites de alta potencia futuros como tal, esto ya es disponible en el mercado. Otra característica única del sistema Brasilsat es que es el único en América Latina que usa la banda X, en este caso dedicada a sus fuerzas armadas.

Con respecto a la privatización, reglas especiales han sido establecidas desde 1995, tal como permisos flexibles al sector privado para la explotación del sistema de satélites, basado en la competencia libre. Cambios futuros que ocurrirán en 1999 son esperados.

La cobertura del sistema Brasilsat, se puede dar en dos configuraciones (Ver Fig. II.9) y es importante resaltar que las similitudes tienen cierto interés en la cobertura de grandes áreas fuera del territorio de Brasil:

- La cobertura Nacional: que cubre todo el territorio Brasileño.
- La cobertura Regional: que esta dedicada a los países miembros del bloque económico de América del Sur (Mercosur).

Dentro de su red de estaciones terrestres, Brasil cuenta con la siguiente distribución de equipos terrestre para los diferentes tipos de servicio que se ofrecen (Ver TABLA II.5):

E/T para Servicios Básicos de Telefonía, Telex y otros	Estaciones Existentes: 59	Estaciones Previstas: 10
Red Datasat - Plus	Estaciones Existentes: 101	Estaciones Previstas: 11
E/T de Redes especializadas en Tx de Datos a Baja Velocidad	Estaciones Activadas: 2323	
Redes de Distribución de Señales de TV	Estaciones Transmisoras: 9	Estaciones Receptoras: 18
Redes de Distribución de Señales de Audio	Estaciones Activadas: 3	

TABLA II.5 Distribución de equipos terrestre para los diferentes tipos de servicio

La segunda generación del sistema Brasileño ha representado una evolución tecnológica, una mejor planeación y distribución de las ventajas de tener un sistema satelital doméstico, lo que ha permitido el avance de este país sudamericano dentro del ámbito económico y científico a nivel mundial. Actualmente Brasil, aún considerado un país en vías de desarrollo, cuenta ya con un cultura espacial que le permite hacer sus propios desarrollos e investigaciones en este campo de la tecnología.

Las TABLAS II.6 y 7 muestran la capacidad real de cada uno de los equipos, y como el mercado brasileño de servicios satelitales resulta rentable en base a la capacidad actual instalada y a las expectativas de demanda programada.

TRANSPONEDORES	24 en Banda C
ANCHO DE BANDA	36 MHz
COBERTURA	NACIONAL
POLARIZACIÓN	LÍNEAL
AMPLIFICADOR	TWTA
AMP. DE RESPALDOS	6
POTENCIA	932 W.
ESTABILIZACIÓN	SPIN

TABLA II.6 Características del satélite Brasilsat A

TRANSPONEDORES	<ul style="list-style-type: none"> • 24 en Banda C 4 en Banda C Extendida • 1 en Banda X
ANCHO DE BANDA	<ul style="list-style-type: none"> • 36, 33 MHz • 60 MHz
COBERTURA	<ul style="list-style-type: none"> • BRASIL Y MERCUSUR (en banda C) • AMÉRICA DEL SUR Y OCÉANO ATLANTICO (en banda X)
POLARIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • LINEAL • CIRCULAR
AMPLIFICADOR	<ul style="list-style-type: none"> • SSPA CON LINEALIZADOR • TWTA
AMP. DE RESPALDOS	<ul style="list-style-type: none"> • 6 • 1
POTENCIA	1651 W
ESTABILIZACIÓN	SPIN

TABLA II.7 Características del satélite Brasilsat B

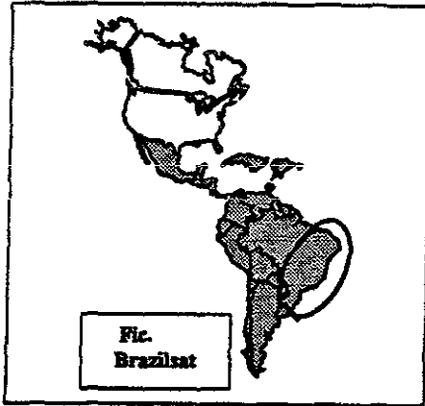


Fig. II.9 Coberturas de los Satélites Brasilsat

II.8 SISTEMA PANAMSAT

Panamsat Corporation, es el principal proveedor comercial mundial de servicios de comunicaciones satelitales con una red global de 24 satélites geosíncronos (Ver Fig. II.10) y siete instalaciones técnicas terrestres. Constituida en mayo de 1997 mediante la fusión de la antigua Panamsat Corporation y la división Galaxy Satellite Services de Hughes Communications Inc. Panamsat tiene el apoyo de más de 400 profesionales en cinco continentes.

Panamsat revolucionó la industria de las telecomunicaciones en 1998 con el lanzamiento de PAS-1, el primer sistema de satélites privado en el mundo. Este satélite estableció comunicaciones corporales entre usuarios y radio difusores para desarrollar comercio y redes privadas empleando antenas pequeñas y económicas

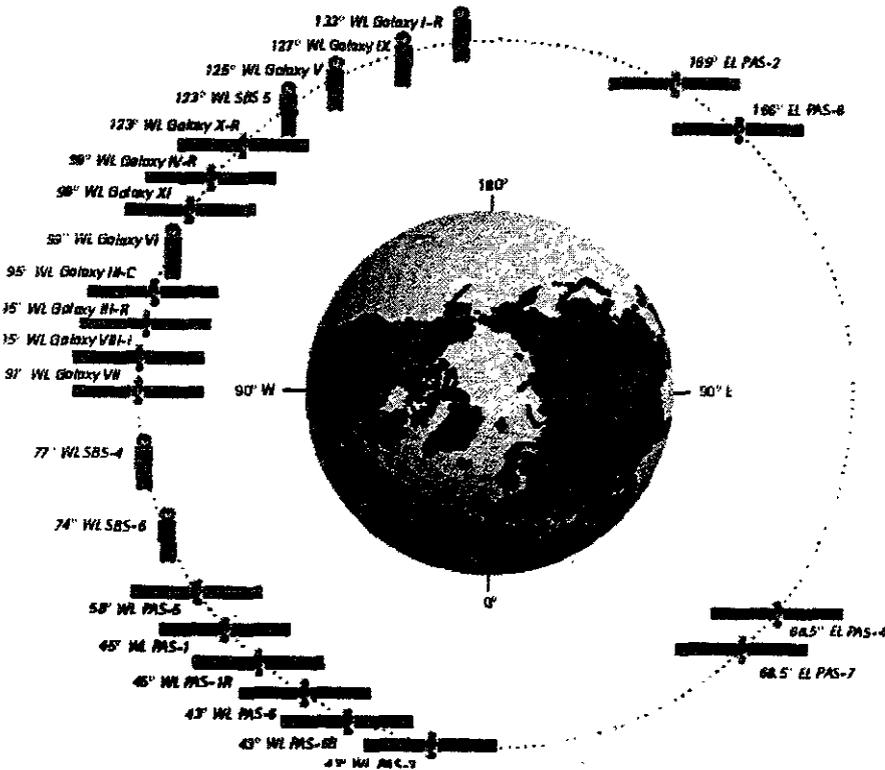


Fig. II.10 Sistema Panamsat

Entre los recursos y las capacidades de Panamsat se incluyen:

- Los principales satélites de televisión difundida y por cable en los Estados Unidos, América Latina, el subcontinente de la India y la región de Asia y el Pacífico.
- Plataformas de satélites para servicios de televisión directa al hogar en América Latina, Sudáfrica, Oriente Medio y la India.
- Servicios de transmisión en vivo para cobertura de programas en todo el mundo.
- Servicios globales de telecomunicaciones basadas en satélites y acceso a Internet.

Estos recursos le permiten a Panamsat proporcionar servicios de radiodifusión y telecomunicaciones a centenares de clientes en todo el mundo como: radiodifusoras, Sociedades Anónimas, proveedores de servicios de telecomunicaciones en los E.U, África, Europa y Asia, organizaciones de noticias, proveedores de servicios de Internet en más de 30 países etc. Panamsat planea lanzar seis satélites adicionales para fines de 1999.

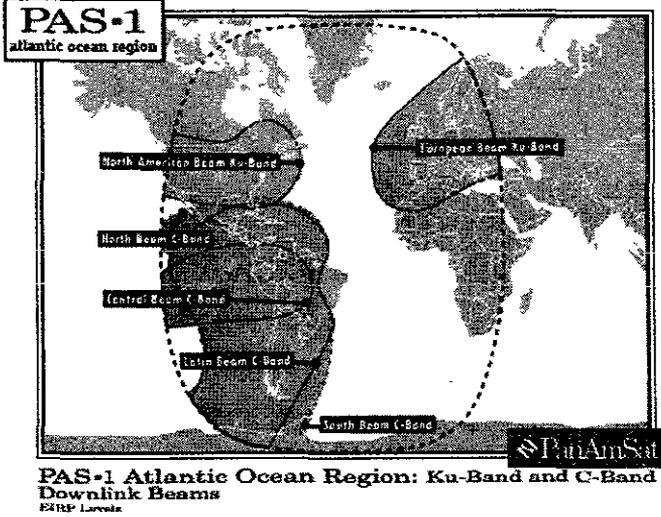
Los satélites Panamsat con cobertura en América son: GALAXY 3, PANAMSAT-1 PANAMSAT-3, PANAMSAT-5 y PANAMSAT-6 (Ver TABLA II.8 y Fig. II.11 y 12). Estos emplean tecnología avanzada que incluyen: reflectores y conmutadores de haces, transpondedores con linealizadores que permite la transmisión digital óptima de multi-portadora. El uso de linealizadores disminuye la distorsión de cada portadora digital, y minimiza la interferencia entre varias portadores cuando comparten el mismo transpondedor.

Satélite	Servicio	Posición	Uso	Vida Util	Potencia	Bandas
GALAXY-3R	FSS	95' O	Vídeo y Audio	15 Años	6000 W	C yKu
PAS-1	FSS y DBS	45' O	TV. Y Datos	13 Años	1350 W	Cy Ku
PAS-3	FSS y DBS	39.5' O	TV. Y Datos	12 Años	1350 W	Cy Ku
PAS-5	DTH y DBS	58' O	TV. Y Datos	15 Años	4000 W	Cy Ku
PAS-6	DTH y DBS	43' O	TV. Y Datos	15 Años	4000 W	Ku
		BANDA Ku		BANDA C		
TRANSPONDEDORES		16 X 54 MHz		16 x 54 MHz		
CAPACIDAD DE CRUCE		Sobre 8 Transpondedores de Ku a C		Sobre 8 Transpondedores de C a Ku		
POTENCIA DE SALIDA DEL TRANSPONDEDOR		63 Watt		34 Watt		
REDUNDANCIA		Receptores 4 : 2		Receptores 4 : 2		
HACES		3 de Subida 5 de Bajada		3 de Subida 5 de Bajada		

TABLA II.8 Parámetros Técnicos de los satélites PanamSat

II.8.1. Algunos Satélites con cobertura en América:

- **PAS-1** : Proporciona cobertura al norte de América, América Central, Sud América, el Caribe y Europa.



- **PAS-5** : Proporciona cobertura a México, América Central, Sud América, el Caribe y Europa.

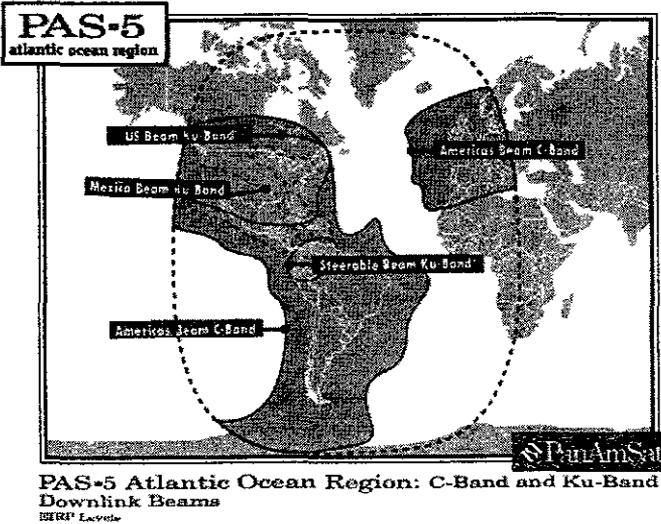


Fig. II.11 Coberturas de Panamsat 1 y 5

- **PAS-6** : Proporciona cobertura a Sud América.

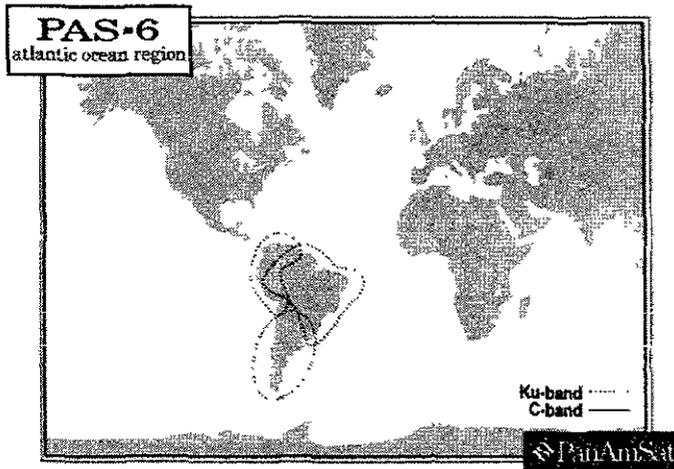


Fig II.12 Cobertura América de Panamsat 6

II.9 SISTEMA HISPASAT

Hispasat tiene una posición a 30° Oeste, es el único sistema europeo que puede ofrecer servicios de telecomunicaciones por satélite a ambos lados del Atlántico entre Europa y América. La alta potencia de los satélites Hispasat 1A e Hispasat 1B y su huella perfectamente adaptada a la geografía española, permite ofrecer mejores prestaciones para difusión de canales de TV Directa al Hogar que el resto de los satélites que operan sobre España.

Hispasat ha sido uno de los primeros operadores de satélites en transmitir diferentes ofertas de canales de TV Digital . Desde septiembre de 1997 se recibió a través de Hispasat una amplia oferta multicanal digital; más de 35 canales de temática y canales pentium, así como otros servicios interactivos multimedia son captados, en toda España, con las antenas parabólicas más pequeñas y más baratas del mercado.

II.9.1 Servicios Profesionales

Los grandes operadores de telecomunicaciones españoles e internacionales como Telefónica, Retevisión, British Telecom, France Telecom, entre otros, utilizan los satélites Hispasat para ofrecer a sus clientes servicios de comunicaciones por satélite tales como: distribución de las cadenas españolas de televisión; distribución de las señales de las grandes cadenas españolas de radio; contribución de TV desde Europa y América; difusión de datos; implantación de redes empresariales; redes de teleimpresión de Periódicos; Redes de Control Ambiental etc.

La sociedad Hispasat actualmente construye el tercer satélite. El Hispasat IC, que entrará en operación a finales de 1999, éste permitirá hacer frente a las futuras demandas del creciente mercado español e Iberoamericano de la TV Digital. Paralelamente, la sociedad Hispasat ha comenzado a realizar los estudios de diseño de la segunda generación de satélites que garantizarán la continuidad del sistema.

II.9.2 Programas

Hispasat participa, tanto a nivel nacional como europeo, en diversos programas de innovación tecnológica como el programa DESAT con el apoyo del Ministerio de Industria (CDTI), que propiciará que la industria Aeroespacial Española tenga una destacada participación en la construcción de los futuros satélites Hispasat.

Igualmente Hispasat es líder del programa Europeo *Digitat*, en el desarrollo de la interactividad por satélite asociada a la TV Digital.

II.9.3 Satélites En Operación

El sistema Hispasat está compuesto por:

- Dos satélites en órbita, situados ambos en la posición orbital de 30° Oeste (Ver Fig. II.13 y TABLA II.9).
- Un Centro de Control de Satélite, con las funciones de telemetría, Telecomando y Control de los satélites en órbita .
- Un Centro de Control de Capacidad de Telecomunicaciones de los satélites, dedicados a comprobar el correcto estado de funcionamiento de los repetidores de telecomunicación alojados en los satélites.

II.9.4 Cargas Útiles

Las cargas útiles de los satélites Hispasat 1A y 1B son prácticamente equivalentes, ambos han sido equipados para prestar las siguientes misiones:

- Radiodifusión Directa:

Esta misión cuenta con cinco canales de Televisión y portadoras de sonido asociadas en canales de 27 MHz. Estos cinco canales son los asignados a España en la conferencia CAMR-77, en la banda Ku 12-12.5 GHz. Hispasat, con tubos de potencia de 110 W, consigue una Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE) de más de 56 dBW sobre todo el territorio Español. Este diseño permite la recepción individual o colectiva con antenas de 40 cm. de diámetro.

- Servicio Fijo:

La misión del Servicio Fijo cuenta con 16 transpondedores de diversos anchos de banda (8 de 36 MHz, 2 de 46 MHz, 2 de 54 MHz y 4 de 72 MHz) en la banda de Servicio Fijo (14 GHz/12-11 GHz).

- Servicios proporcionados en América Latina:

La misión América cuenta con las misiones secundarias: TV América y América-Europa que permite ofrecer diversos servicios a ambos lados del Atlántico.

II.9.5 TV América

Esta misión está integrada por dos transpondedores (uno en cada satélite) que permite el enlace ascendente desde cualquier zona del área de cobertura Europea del Servicio Fijo y el descenso de esta señal sobre una zona de América que se extiende desde Nueva York a Tierra de Fuego.

Los transpondedores están equipados con tubos de 110W que permiten la distribución de señales de Televisión a antenas parabólicas entre 80 cm. y 1.5 m.(44 dBW en gran parte de la cobertura). Estos mismos canales son utilizados para la difusión de emisoras de radio y también de sistemas de difusión de datos.

II.9.6 TV América-Europa

El satélite Hispasat 1B implementa asimismo dos transpondedores de retorno desde América de 54 y 72 MHz que permite realizar el enlace ascendente en el área de cobertura americana y el enlace descendente se realiza en toda la zona de la cobertura europea . Esta capacidad propicia la contribución y distribución de señales de televisión desde América hacia Europa o, en su caso, servicios de distribución de datos.

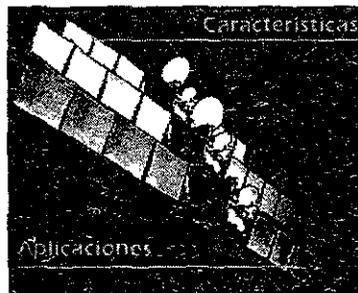


Fig II.13 Satélites Hispasat

II.9.7 Plataforma

La plataforma o modulo de servicios es la encargada de mantener operativos los satélites en su posición orbital durante su vida útil.

DESCRIPCIÓN	HISPASAT 1A	HISPASAT 1B
Plataforma Estabilizada	3 ejes	3 ejes
Masa Satélite sin combustible	1044.5 Kg.	1050 Kg.
Masa de lanzamiento	2190.5 Kg.	2206.5 Kg.
Masa Carga/útil	273 Kg.	279 Kg.
Potencia Total	3792 W	3792 W
Potencia Consumida	3463 W	3479 W
Potencia Cons Carga Útil	2308 W	2563 W
Vida Operacional	10 años	10 años
Posición Orbital	30°	Oeste 30°
Control Orbital	0.05°	0.05°

TABLA II.9 Parámetros Técnicos de los satélites Hispasat 1ªA y 1B

II.9.8 HISPASAT 1C

El consejo de Administración de la sociedad Hispasat, S.A. ha autorizado la construcción del tercer satélite del sistema Hispasat y ha elegido a la compañía francesa Aerospatiale como contratista principal del satélite Hispasat 1C.

Teniendo en cuenta los informes elaborados por la propia sociedad y después de realizar una valoración detallada y minuciosa de la propuesta de Aerospatiale, el Consejo de Administración de Hispasat ha tomado la decisión de seleccionar la oferta de Aerospatiale por ser la que mejor se ajusta a los requisitos establecidos para la construcción de Hispasat 1C. El satélite Hispasat 1C contará con un total de 24 transpondedores de gran potencia que reforzarán la actual oferta de servicios del sistema Hispasat y garantizará su expansión ante la creciente demanda de nuevos Servicios de Comunicación por Satélite.

El plazo previsto de fabricación de Hispasat 1C es de 23 meses. De acuerdo con estas previsiones, el tercer satélite del sistema Hispasat podría ser lanzado a finales de 1999; su vida útil será de 15 años y su masa de lanzamiento de unas tres toneladas.

El Hispasat 1C se situará, junto con los dos satélites predecesores, en la posición orbital de 30° Oeste, lo que reforzará aún más la capacidad del sistema Hispasat para ofrecer Servicios de Comunicaciones por Satélite tanto en Europa como en América; capacidad única de los satélites Hispasat, con respecto al resto de los satélites Europeos, que se ha revelado de crucial importancia para los operadores de Telecomunicaciones de ambos lados del Atlántico.

La puesta en marcha de la construcción y posterior lanzamiento del tercer satélite supone la consolidación del sistema Hispasat, al garantizarle la capacidad necesaria para hacer frente a la creciente demanda de los Operadores en Europa y en América.

II.9.8.1 Características

El tercer satélite del sistema Hispasat contará con 24 transpondedores de alta potencia, que aumentará la capacidad y flexibilidad del Sistema Español de Comunicaciones por Satélite. El satélite Hispasat 1C, ha sido diseñado para distribuir y difundir, a ambos lados del Atlántico, una amplia oferta de canales de TV Digital en español.

Hispasat 1C ofrece, así mismo, una plena conectividad entre América y Europa para el desarrollo de los servicios de comunicaciones por Satélite más avanzados. Con este satélite Hispasat consolida su posición como primer Operador de Satélites Europeo que proporciona capacidad fuera de Europa. La característica más sobresaliente del Hispasat 1C es su alta flexibilidad para ofrecer cualquier tipo de Servicio de Comunicaciones por Satélite en Europa y América. Las prestaciones de la carga útil de Hispasat 1C son:

- No. de Transpondedores: 24
- Frecuencias: Banda Ku
- Ancho de Banda: 36 MHz
- Potencia: 111 W
- Antenas: 3

II.9.8.2 Coberturas

El Hispasat 1C dispondrá de las siguientes regiones de cobertura (Ver Fig. II.14 y 15):

	PIRE (DBW)	G/T (DB/K)
IBERIA/EUROPA	54.5 / 44	8 / -5
AMERICA	47 / 41	1 / -5

• COBERTURA IBERIA

La cobertura Iberia abarca la Península Ibérica, Islas Canarias, Baleares y Norte de Africa. Es importante destacar que en esta cobertura se incorpora los territorios insulares de Portugal: Azores y Madeira. (Ver Fig. II.14)

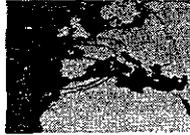


Fig. II.14 Cobertura Iberia

• COBERTURA AMERICA

El Hispasat 1C, mejora la cobertura *América* proporcionada por los Hispasat 1A y 1B, ampliando su huella en la costa oriental de Brasil. A la cobertura América se le puede asignar hasta 12 transpondedores de alta potencia, con un elevado grado de conectividad, que permitirán establecer Servicios de Comunicaciones por Satélite entre América-América, América-Europa y Europa-América.

Hispasat 1C contribuirá a consolidar el desarrollo de la oferta audiovisual y el soporte para la distribución de contenidos de las plataformas de TV digital iberoamericanas a ambos lados del Atlántico (Ver Fig. II.15). Las utilidades más significativas de Hispasat 1C en la cobertura de América será la difusión, distribución y contribución de TV, el desarrollo de redes panamericanas de telecomunicaciones, redes corporativas, etc.



Fig. II.15 Cobertura América

Hispasat 1C incorpora matrices de conmutación a bordo que permiten asignar transpondedores a cualquiera de las conectividades posibles, consiguiendo optimizar la capacidad espacial y ajustarla en todo momento a la demanda de los operadores de ambos lados del Atlántico.

II.9.8.3 Parámetros Técnicos

La plataforma de Hispasat 1C es la plataforma SPACEBUS 3000B de AEROSPATIALE, estabilizada en tres ejes, con una masa de aproximadamente 2780 Kg., que incorpora los últimos avances tecnológicos que se han producido hasta la fecha (Ver TABLA II.10).

PLATAFORMA	SPACEBUS 3000B
ESTABILIZADA EN:	3 EJES
MASA	2780 Kg.
VIDA ÚTIL	15 AÑOS
POTENCIA	5950 W
CONTRATISTA PRINCIPAL	AEROSPATIALE
ANTENAS	3 (DOS DESPLEGABLES)

TABLA II.10 Parámetros Técnicos de Hispasat 1C

II.9.8.4 Calendario

La construcción del Hispasat 1C se ha iniciado en noviembre de 1997, y su lanzamiento y entrada en operación esta prevista para finales de 1999.

- Contratación con Aerospatiale: Noviembre 1997
- Fabricación: 23 meses
- Selección de la lanzadera ATLAS II AS de ILS: Diciembre 1997
- Lanzamiento: 2° semestre de 1999
- Entrada en servicio: principios del 2000.

II.10 SISTEMA INTELSAT

II.10.1 Satélites Internacionales de Intelsat que se Utilizan en Latinoamérica

La capacidad actual de Intelsat para América Latina se compone de una constelación de satélites Intelsat VI, y de la potencia de las naves Intelsat VII y VII-A. Desde 1997, se dispone de los Intelsat VI y VII, cuyo diseño y fabricación pretenden responder a las necesidades físicas de la región.

Intelsat cuenta con un sistema satelital mundial formado por 24 satélites. Los servicios que ofrecen estos satélites se dividen en tres categorías: red pública conmutada, redes privadas y radiodifusión. Con todos estos servicios los usuarios pueden definir desde la contribución hasta la distribución de su vídeo, pasando con la conectividad de Internet.

Cabe destacar que del sistema de satélites Intelsat se deriva el mayor número de radiodifusoras latinoamericanas, redes VSAT (internacionales y regionales) de transmisión telefónica y datos. (Ver Fig. II.16-19 y TABLA II.11 y12)

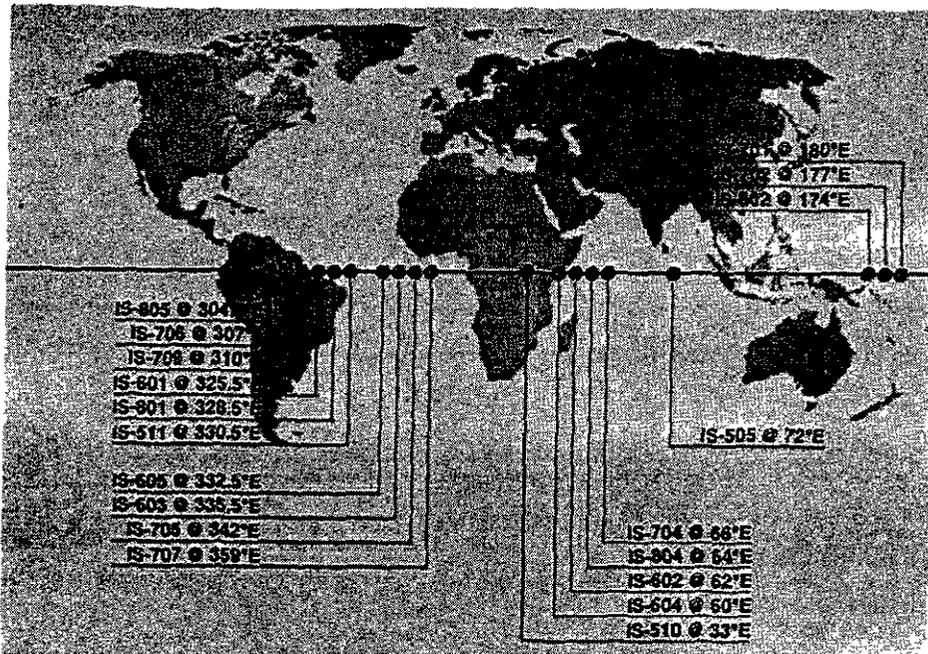


Fig. II.16 Satélites Intelsat.

INTELSAT VI Y VI-A

	INTELSAT VI	INTELSAT VI-A
MODELO	SS/Loral(Fs-1300)	SS/Loral(Fs-1300)
TRANSPONDEDORES	BANDA C: 42*36MHz	BANDA C: 42*36MHz
	BANDA Ku: 20*36MHz	BANDA Ku: 22*36MHz
POTENCIA MÁXIMA	BANDA C: 41 dbw	BANDA C: 41 dbw
	BANDA Ku: 51 dbw	BANDA Ku: 54 dbw
VIDA UTIL:	MÁS DE 15 AÑOS	MÁS DE 15 AÑOS

TABLA II.11 Características de los satélites INTELSAT VI y VI-A

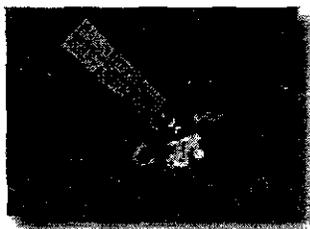


Fig. II.17 Satélite Intelsat VI

INTELSAT VII Y VII-A

	INTELSAT VII	INTELSAT VII-A
MODELO	Lockheed Martin(7000)	Lockheed Martin(7000)
TRANSPONDEDORES	BANDA C: 64*36MHz	BANDA C: 36*36MHz
	BANDA Ku: 12*36MHz	BANDA Ku: 6*36MHz
POTENCIA MÁXIMA	BANDA C: 41 dbw	BANDA C: 40 dbw
	BANDA Ku: 53 dbw	BANDA Ku: 51.5 dbw
VIDA UTIL:	MÁS DE 15 AÑOS	MÁS DE 15 AÑOS

TABLA II.12 Características de los satélites INTELSAT VII



Fig. II.18 Satélite Intelsat VII

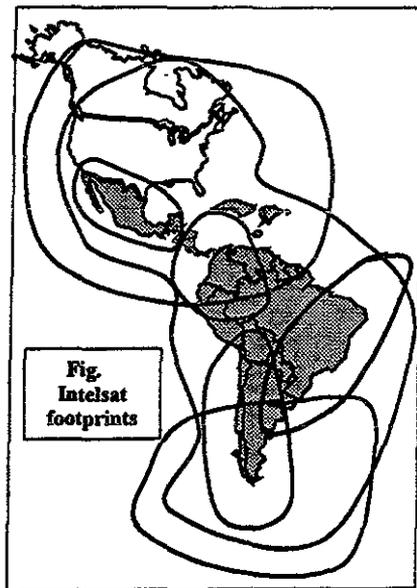


Fig. II.19 Cobertura América de los satélites Intelsat

II.11 TABLAS RESUMEN DE SATÉLITES EN LATINOAMÉRICA**II.11.1 SISTEMA MORELOS Y SOLIDARIDAD**

	MORELOS	SOLIDARIDAD
MODELO	HS-376	HS-601
ESTABILIDAD	POR GIRO	TRIAxIAL
PESO TOTAL	666 Kg	2773.23 Kg
PESO SECO	521 Kg	1280.4 Kg
COMBUSTIBLE	145 Kg	1492.8 Kg
POTENCIA	777 W	3370 W
VIDA ÚTIL	9 AÑOS	14 AÑOS
DIMENSIONES	2.16m DE DIÁMETRO 6.66m DE LONGITUD	6.67m ANTENA-ANTENA 21m PANELES DESPLEGADOS

II.11.2 SISTEMA NAHUELSAT

	NAHUELSAT 1
PLATAFORMA	SPACEBUS 2000
ESTABILIZACIÓN	3 EJES
PESO TOTAL	1780Kg
POSICIÓN EN ORBITA	GEO 71.8 LONGITUD OESTE
VIDA ÚTIL	12 AÑOS
POTENCIA	3200 W
VIDA ÚTIL	AÑOS
BW	54 MHz.
AMPLIFICADORES	55W
ANTENAS	2
HACES	48 Y 50 Dbw
TRANSPONEDORES	18 ACTIVOS EN BANDA Ku Y 6 DE RESPALDO
DIMENSIONES	1.64x1.46x 2.2M (22.3 DESPLEGADO)

II.11.3 SISTEMA BRASILSAT

Características del satélite Brasilsat A

TRANSPONEDORES	24 en Banda C
ANCHO DE BANDA	36 MHz
COBERTURA	NACIONAL
POLARIZACIÓN	LÍNEAL
AMPLIFICADOR	TWTA
AMP. DE RESPALDOS	6
POTENCIA	932 W.
ESTABILIZACIÓN	SPIN

Características del satélite Brasilsat B

TRANSPONEDORES	<ul style="list-style-type: none"> • 24 en Banda C • 4 en Banda C Extendida • 1 en Banda X
ANCHO DE BANDA	<ul style="list-style-type: none"> • 36, 33 MHz • 60 MHz
COBERTURA	<ul style="list-style-type: none"> • BRASIL Y MERCUSUR (en banda C) • AMÉRICA DEL SUR Y OCEANO ATLANTICO (en banda X)
POLARIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • LINEAL • CIRCULAR
AMPLIFICADOR	<ul style="list-style-type: none"> • SSPA CON LINEALIZADOR • TWTA
AMP. DE RESPALDOS	<ul style="list-style-type: none"> • 6 • 1
POTENCIA	1651 W
ESTABILIZACIÓN	SPIN

II.11.4 SISTEMA PANAMSAT

Parámetros Técnicos de los satélites PanamSat:

Satélite	Servicio	Posición	Uso	Vida Util	Potencia	Bandas
GALAXY-3R	FSS	95° O	Vídeo y Audio	15 Años	6000 W	C y Ku
PAS-1	FSS DBS	y 45° O	TV. Y Datos	13 Años	1350 W	Cy Ku
PAS-3	FSS DBS	y 39.5° O	TV. Y Datos	12 Años	1350 W	Cy Ku
PAS-5	DTH DBS	y 58° O	TV. Y Datos	15 Años	4000 W	Cy Ku
PAS-6	DTH DBS	y 43° O	TV. Y Datos	15 Años	4000 W	Ku
		BANDA Ku			BANDA C	
TRANSPONDEDORES		16 X 54 MHz			16 x 54 MHz	
CAPACIDAD DE CRUCE		Sobre 8 Transpondedores de Ku a C			Sobre 8 Transpondedores de C a Ku	
POTENCIA DE SALIDA DEL TRANSPONDEDOR		63 Watt			34 Watt	
REDUNDANCIA		Receptores 4 : 2			Receptores 4 : 2	
HACES		3 de Subida 5 de Bajada			3 de Subida 5 de Bajada	

II.11.5 SISTEMA HISPASAT

DESCRIPCIÓN	HISPASAT 1A	HISPASAT 1B
Plataforma Estabilizada	3 ejes	3 ejes
Masa Satélite sin combustible	1044.5 Kg.	1050 Kg.
Masa de lanzamiento	2190.5 Kg.	2206.5 Kg.
Masa Carga/útil	273 Kg.	279 Kg.
Potencia Total	3792 W	3792 W
Potencia Consumida	3463 W	3479 W
Potencia Cons Carga Útil	2308 W	2563 W
Vida Operacional	10 años	10 años
Posición Orbital	30°	Oeste 30°
Control Orbital	0.05°	0.05°

	HISPASAT 1C
PLATAFORMA	SPACEBUS 3000B
ESTABILIZADA EN:	3 EJES
MASA	2780 Kg.
VIDA ÚTIL	15 AÑOS
POTENCIA	5950 W
CONTRATISTA PRINCIPAL	AEROSPATIALE
ANTENAS	3 (DOS DESPLEGABLES)

II.11.6 SISTEMA INTELSAT VI Y VII

	INTELSAT VI	INTELSAT VI-A
MODELO	SS/Loral(Fs-1300)	SS/Loral(Fs-1300)
TRANSPONEDORES	BANDA C: 42*36MHz	BANDA C: 42*36MHz
	BANDA Ku: 20*36MHz	BANDA Ku: 22*36MHz
POTENCIA MÁXIMA	BANDA C: 41 dbw	BANDA C: 41 dbw
	BANDA Ku: 51 dbw	BANDA Ku: 54 dbw
VIDA UTIL:	MÁS DE 15 AÑOS	MÁS DE 15 AÑOS

	INTELSAT VII	INTELSAT VII-A
MODELO	Lockheed Martin(7000)	Lockheed Martin(7000)
TRANSPONEDORES	BANDA C: 64*36MHz	BANDA C: 36*36MHz
	BANDA Ku: 12*36MHz	BANDA Ku: 6*36MHz
POTENCIA MÁXIMA	BANDA C: 41 dbw	BANDA C: 40 dbw
	BANDA Ku: 53 dbw	BANDA Ku: 51,5 dbw
VIDA UTIL:	MÁS DE 15 AÑOS	MÁS DE 15 AÑOS

III. LA BANDA Ka

III.1 PANORAMA TECNOLÓGICO DE LOS SATELITES DE COMUNICACIÓN EN AMÉRICA LATINA

Existe otra banda de frecuencias aún mayores que las mencionadas anteriormente (Banda L, C y Ku), denominada Ka. Esta banda se utilizan ya en algunos satélites experimentales, por ejemplo, al ACTS de la NASA en los Estados Unidos, el N-STAR en Japón y el ITALSAT en Italia. Varias compañías en el mundo piensan iniciar el uso de estas frecuencias a más tardar en el año 2000, y se vislumbra un gran futuro comercial para la banda Ka, especialmente porque tiene siete veces el ancho de banda de sus contrapartes las bandas C y Ku, lo cual permitirá transmitir cantidades de información todavía mucho mayores que las que se manejan actualmente. El rango de frecuencias de la banda Ka es de 18 a 40 GHz. Es posible que la tercera generación de satélites mexicanos incluyan esta tecnología dentro de algunos años.

Durante varios años se ha estado experimentando con satélites geoestacionarios que transmiten y reciben en la banda de frecuencia Ka. Las pruebas continúan, transmitiendo datos, voz y vídeo digitalizados, que se integran en paquetes con enormes cantidades de información, regenerables a bordo del satélite y conmutables entre transpondedores y haces digitales de iluminación. Son los ejemplos pioneros los que serán en el futuro próximo, los "satélites inteligentes". La Banda Ka dejará de ser experimental y pronto habrá muchos sistemas satelitales que utilizarán este rango de frecuencias para transmisiones de banda ancha.

Los principales problemas tecnológicos a los que se enfrentan actualmente para poder explotar provechosamente y al máximo esta banda de frecuencias Ka, varias veces superior en capacidad a las ya tradicionales y convencionales C y Ku, consiste en la atenuación de las señales transmitidas por los efectos de lluvia, el ruido, la potencia de los transmisores y, en términos generales, a la estabilidad, la rapidez y la confiabilidad de todos los dispositivos electrónicos que integran un satélite operativo. Pero los avances han llegado a un punto de madurez tal, que sólo en los Estados Unidos la FCC (organismo regulador, equivalente a la COFETEL de México) ha recibido varias solicitudes de diferentes empresas, que quieren lanzar satélites que funcionen en la banda Ka. Y no sólo hay planes para utilizarlos en la órbita geoestacionaria sino también en constelaciones de orbital bajas, como el proyecto TELEDESIC, que consistirá de 840 satélites y que será una red digital mundial de alta velocidad por satélite, equivalente a todas las redes terrestres de fibra óptica integradas.

Lo anterior indica que los sistemas en banda Ka, además de novedosos podrían ser sumamente lucrativos. Por ello, indiscutiblemente, la iniciativa privada representa un papel de gran importancia en todos los nuevos sistemas satelitales, ya que requieren inversiones muy fuertes, generando así la tendencia de privatización del sistema a nivel mundial.

Las comunicaciones por satélite se equilibran para asumir nuevos papeles en la infraestructura de información nacional y global. La demanda en crecimiento de servicios es manejada por los satélites de comunicación más allá de las ya casi saturadas bandas de frecuencias C y Ku que están siendo usadas por satélites comerciales. Proponiendo el uso de la banda de frecuencias Ka, 14 sistemas de comunicación se han presentado a la FCC (Federal Communications Commissions) para proveer servicios domésticos e internacionales de GEO para un total de 62 satélites de comunicación en la banda Ka.

Se han hecho acuerdos adicionales con la FCC para emplear la banda Ka en servicios fijos no geoestacionarios y enlaces alimentados para grandes sistemas LEO. Veintidós sistemas de satélites de comunicación se han presentado a la ITU (International Telecommunication Union) para el empleo de la banda Ka proporcionando servicios internacionales fijos por satélite involucrando más de 60 satélites de comunicación adicionales.

Los sistemas de satélite de comunicación comerciales futuros usarán tecnología avanzada reciente que permitirá mayor eficiencia en el uso de la órbita y reuso del espectro, permitiendo nuevas formas de integración de servicios de usuario como voz, vídeo y datos a un mejor costo efectivo.

Como precursor de estos satélites comerciales, ACTS (Advanced Communications Technology Satellite) de la NASA (Ver Fig. III.1) esta ya en la órbita geoestacionaria, probando tecnologías avanzadas de alta ganancia en la banda Ka. Organizaciones industriales, de gobierno y Universidades emplean ACTS para conducir una gran variedad de servicios integrados como vídeo, datos, voz y proyectos de multimedia. Estos proyectos son pioneros, en la innovación y servicios de menor costo que serán la base para muchos de los nuevos sistemas comerciales.



Fig. III.1 ACTS de la NASA

III.2 INFRAESTRUCTURA DE LOS SATÉLITES EN BANDA Ka

El mundo esta experimentando una demanda explosiva de servicios de Telecomunicaciones. En un nivel personal estamos rodeados con una plataforma de dispositivos que nos permiten la comunicación con otros como son: e-mail, correo de voz, facsímile, computadoras, teléfonos celulares, radiocalizadores y videoconferencias. En un nivel corporativo, las computadoras de escritorio generalmente son reemplazadas por Workstations. Un elemento clave aquí es la Red, tanto dentro de la organización como entre organizaciones. Desde que los negocios hoy en día son conducidos en una escala global, las redes deben proveer de interconectividad global. Adicionalmente, la demanda agregada para servicios de comunicación individual y corporativa es orientada a redes con anchos de banda y tasas de transmisión muy grandes. Las redes deben correr a cientos de Megabits por segundo para satisfacer el creciente apetito global de información y la conectividad en tiempo real.

III.3 INFORMACIÓN GLOBAL DE LA SUPER CARRETERA

Alrededor del mundo, varios países están integrando Redes de Comunicación diversas y heterogéneas dentro de su infraestructura nacional de información. Estas redes nacionales son enlazadas con la infraestructura de información global, frecuentemente referida a la super carretera de información. Los satélites jugarán un papel clave en la implementación de la verdadera super carretera de información global con satélites híbridos ágiles y redes terrestres. Una ventaja clave es que el acceso a satélites puede ser establecido rápidamente con costos relativamente bajos; otra ventaja es que los satélites pueden cubrir fácilmente todas las áreas para proveer de accesos universales.

NASA R&D ha soportado retos nacionales de telecomunicaciones desde 1962 iniciando con el lanzamiento de ECHO, el primer mundo de comunicaciones por satélite. La sociedad productiva y la industria han sido parte del soporte desde entonces. Los avances hechos por la NASA en esta área continúan con ACTS, lanzado el 12 de septiembre de 1993, en órbita estacionaria a 100° longitud oeste. ACTS proporciona en la banda Ka pruebas para la evaluación y validación de tecnologías de comunicación necesarias para el siglo XXI (Ver Fig. II.2) .

III.4 TECNOLOGÍA PARA SISTEMAS EN BANDA Ka

Todos los nuevos sistemas en la banda Ka que han sido recientemente propuestos, emplean variaciones de la tecnología desarrollada en la NASA con ACTS. Las llaves de esta tecnología son:

- **Saltos de haces con alta ganancia:** Un rápido y reconfigurable patrón de salto de haces angostos. Las antenas de alta ganancia son capaces de producir haces que habilitan comunicaciones con estaciones terrenas pequeñas y de menores costos que las actuales.

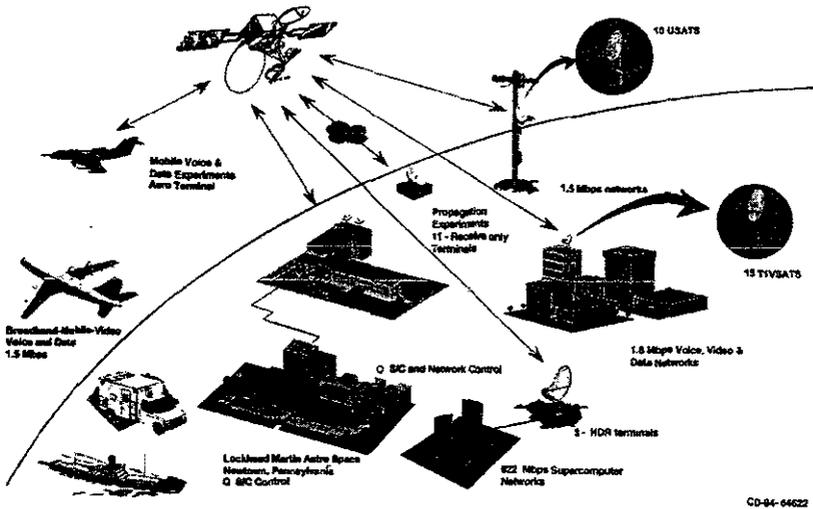


Fig. III.2 Comunicación con ACTS

- **Conmutación en Banda Base:** Un procesador digital de alta velocidad que reside en el satélite y circuitos individuales de ruteadores que proporcionan una malla de interconectividad de saltos simples.
- **Conmutación de Microondas:** Un dinámico conmutador reconfigurable a bordo del satélite que opera a frecuencias de microondas, capaz de rutear tráfico de alto volumen, punto a punto y punto multipunto.
- **Transpondedores de gran ancho de banda:** Los transpondedores trabajan con anchos de banda del orden de Gigahertz que permite muy alta tasa de transmisión de datos.
- **Servicios por Demanda:** La habilidad de seleccionar circuitos de satélite con diferentes anchos de banda y la interconectividad con redes telefónicas terrestres (Ver Fig. III.3).

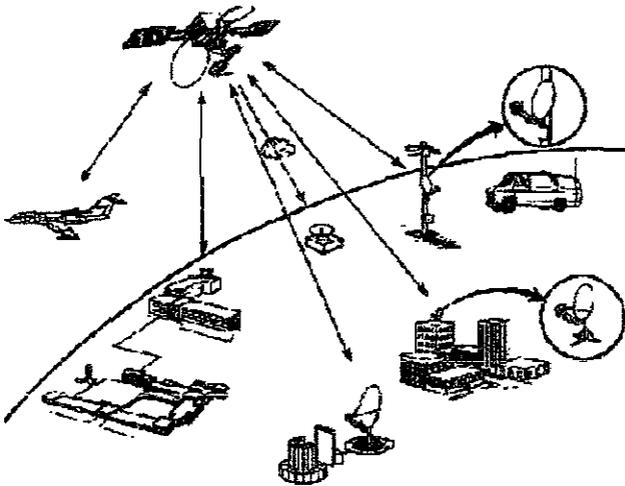


Fig. III.3 Servicios por demanda

III.5 ¿PORQUÉ LA BANDA Ka ?

Los satélites con haces de alta ganancia permiten el uso de potencias bajas y terminales de usuario de apertura pequeña. Un buen número de las nuevas propuestas de Sistemas de Servicios de Satélite Fijo (FSS) están empleando haces en la banda Ka. Los sistemas de haces de alta ganancia en frecuencias de la banda C y Ku no son posibles, debido a que ellos causan interferencias con los sistemas existentes. La tecnología VSAT - banda C y Ku - proporciona saltos simples, además los servicios de enlaces de voz y datos que se manejan emplean antenas con diámetro de 2..4 m. Actualmente, las antenas tienen un costo de \$35,000.

En contraste, los sistemas geostacionarios con haces en la banda Ka usarán terminales con diámetro de 66 cm. empleando 1W, transmitiendo a 30 GHz. Este tamaño de terminal es más barata de producir e instalar que las arriba mencionadas. Adicionalmente, la capacidad del sistema en la banda Ka puede soportar muchos (más de un millón) de terminales USAT(Ver Fig. III.4). Esta terminal proporciona servicios digitales integrados dúplex a 384 Kbps.

Las terminales de usuario en sistemas LEO (de Teledesic) son más pequeñas que las de otros sistemas geostacionarios con tasas de transmisión de datos equivalentes.

Los haces también permiten un gran rehuso de frecuencias. Para sistemas geostacionarios en la banda Ka, el factor de rehuso es típicamente entre 9 y 12, comparado con el factor de rehuso de 2 a 3 de los sistemas en la banda Ku. Adicionalmente, los haces de alta ganancia permiten también tasas de transmisión de datos mucho más altas que las convencionales.

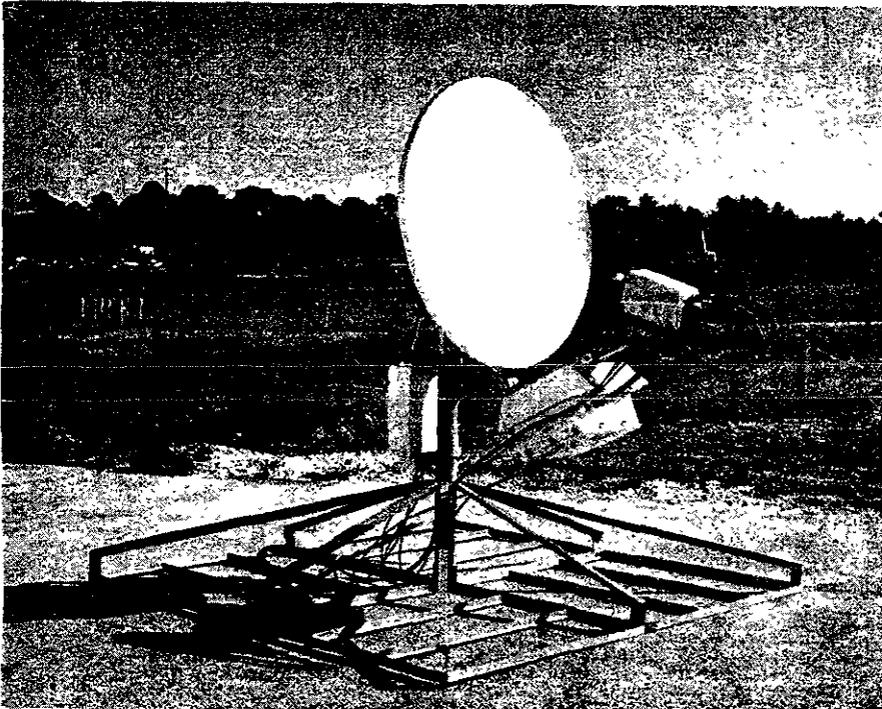


Fig. III.4 Terminal USAT.

Estos factores facilitan la construcción de satélites con capacidad de comunicación muy grande y eficiente. La tecnología geoestacionaria de satélites en la banda C y Ku permite anchos de banda por unidad (nave espacial en órbita) con relación a su peso de 2 MHz/kg. Excepto para NetSat 28 (que emplea 1000 haces y proyecta una eficiencia de 504 MHz/Kg. con un total de anchos de banda de aproximadamente 1000 GHz.), el propósito de los satélites FSS con conmutación dinámica a bordo (en banda Ka) es proyectar un número equivalente de anchos de banda de 1.7 a 4.9 MHz /Kg.. El sistema de haces eficientes representan una ventaja significativa en costos para proporcionar servicios por demanda y comunicaciones eficientes.

El propósito de los sistema GEO es usar conmutadores a bordo en banda base para el ruteo de llamadas, y un gran número de estos conmutadores son de configuración por paquete en modo de transferencia asincrona (ATM). Las tecnologías tradicionales - banda C y Ku - no proporcionar tales comunicaciones eficientemente.

Debido a la demanda de servicios integrados, las ventajas de costo y eficiencia logradas mediante el empleo de satélites con haces en la banda Ka son significativos. El costo de servicios con estos satélites esta proyectada a ser menor o igual a los costos de sistemas terrestres en nuestros días.

III.6 VARIEDAD DE APLICACIONES

Los sistema en banda Ka soporta tecnologías de propagación, pruebas y experimentos de aplicación. Las operaciones experimentales en E.U. son conducidas 24 horas al día, 7 días a la semana. Más de 100 diferentes organizaciones de industrias, gobierno y Universidades están actualmente experimentando con Sistemas de Telecomunicaciones vía satélite en banda Ka empleando una familia de 57 estaciones terrenas que soportan tasas de transmisión de datos de 9.6 Kbps a 622 Mbps. Las pruebas de servicio son diseñadas, para proporcionar cobertura completa a redes terrestres. Esto envuelve una gran variedad de servicios con cobertura fija, móvil y vídeo con un gran potencial comercial.

Las pruebas en banda Ka muestran una muy buena calidad de la voz, ya que los retardos generados en el satélite durante la transmisión no afectan la calidad de la señal. La tasa de error de bit de estos servicios es muy satisfactoria. La demanda de servicios de telecomunicaciones asigna e implementa técnicas de acceso múltiple sobre redes en banda Ka, proporcionando retardos del orden de 10 a 12 segundos para servicios de telefonía regular y 3 a 8 segundos para ISDN. La terminal de apertura muy pequeña (Very Small Aperture, Terminal (VSAT)) es muy versátil proporcionando interfaces con telefonía digital a tasas de transmisión de 64 Kbps a 1.8 Mbps. Adicionalmente, las aplicaciones de vídeo, voz, datos y multimedia son compatible con estos sistemas en banda Ka.

Las conexiones directas con redes terrestres VSAT extienden la versatilidad de la tecnología en banda Ka. Los protocolos de señalización y estándares de telefonía son soportados tan exitosamente como los protocolos ISDN y ATM. Las redes satelitales en banda Ka, con su compensación por lluvia desvanecida, operan muy bien en condiciones pobres. Además las estaciones terrenas pequeñas son altamente deseables por su fácil instalación y transportación. Las ventajas de la interconectividad VSAT directa VSAT, la habilidad de controlar un ancho de banda grande (con de canales de 28 a 64 Kbps), la habilidad de mezclar y acoplar canales de 64 Kbps para tasas de transmisión de datos altas y redes punto-multipunto y multipunto-punto son algunas de las muchas ventajas que ofrece la banda Ka.

El uso de computadoras remotas vía enlaces satelitales en banda Ka con altas tasas transmisión de datos (High Data Rate) del orden de cientos de Megabits/segundo, son un claro ejemplo del potencial tecnológico y de servicios que poseen estos sistemas.

Las estaciones terrenas que emplean tecnologías HDR fueron descubiertas conjuntamente por la NASA y ARPA. Las estaciones terrenas son relativamente pequeñas 3.4-m y proporciona servicios a redes ópticas sincronas (SONET) basadas en OC-3 (155 Mbps) y OC-12 (622 Mbps). La red satelital en banda Ka, duplica las funciones de la red de fibra óptica basada en SONET.

III.7 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS SATÉLITALES EN BANDA Ka

- Medicina
- Redes Empresariales
- Restauración de Redes Terrestres
- Redes Científicas
- Red Digital de Servicios Integrados
- Educación
- Tácticas de Vídeo, Voz, Datos e Imagen

Servicios Fijos y Transmisión de Vídeo

- Supervisión Control y Adquisición de Datos
- Voz, Vídeo y Banda Amplia Aeronáutica Móvil (Ver Fig. III.5)
- Comunicaciones a Muy Altas Tasas de Transmisión de Datos Compatible con la Super carretera de la Información Terrestre
- Interooperabilidad de Protocolos y Redes

Los usuarios que emplean las múltiples aplicaciones de los sistemas de telecomunicaciones vía satélite en banda Ka han mostrado que este tipo de sistemas, pueden proveer comunicaciones robustas y confiables, ya que las pérdidas por lluvia desvanecida pueden ser superadas y/o controladas. Adicionalmente, el ACTS ha reducido significativamente este riesgo con su sistema de haces en la banda Ka, debido a los procedimientos y tecnologías de conmutación a bordo y microondas. Esto ha creado alta confiabilidad entre proveedores, usuarios, inventores y manufactureros que emplean dicho sistema; por todo lo anterior, es evidente el gran crecimiento y explosión de la banda Ka.

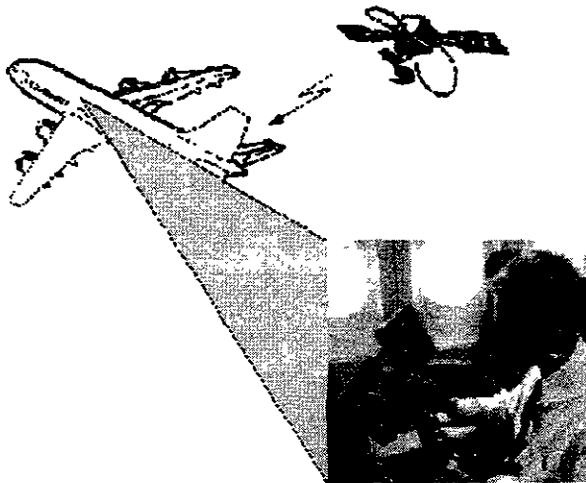


Fig. III.5 Voz, Vídeo y Banda Amplia Aeronáutica Móvil.

Los nuevos satélites de comunicación en la banda Ka (como Astrlink, CyberStar, Galaxy/Spaceway, GEStar, VoiceSpan, Millennium, Teledesic, EchoStar y KaStar) indican cambios revolucionarios en el camino de comunicar gente y tiene un significado social, político, tecnológico y económico enorme .

A continuación hablare un poco sobre un sistema de satélites experimental en banda Ka desarrollado por la NASA, el sistema ACTS (Advanced Communications Technology Satellite).

III.8 ACTS : Advanced Communications Technology Satellite.

Uno de los más significativos programas de comunicaciones por satélite para el futuro de la industria satelital, es el Satélite con Tecnología de Comunicaciones Avanzadas (ACTS).

Por más de cuatro años, iniciando en 1992, el ACTS opera en órbita de prueba experimentando tecnologías futuras de comunicación satelital. El ACTS es pionero de múltiples tecnologías como: saltos de haces, procesadores y conmutadores digitales bandabase a bordo de alta velocidad, y técnicas de compensación adaptiva por lluvia desvanecida. Además, el ACTS trabaja en una nueva porción del espectro en RF con enlaces de subida y bajada en la banda Ka.

GE Astro Space, bajo contrato de NASA Lewis Resarch Center, proporciona soporte al satélites ACTS. El diseño de ACTS incorpora fiabilidad y ejecución, necesarios en todas las misiones experimentales. Los descubrimientos en la carga útil de ACTS han sido hechos a la medida, para cumplir con el objetivo principal de la misión, que es el crear una plataforma con tecnología espacial calificada y madura para la cual la industria satelital pueda soportar nuevas capacidades de comunicación futuras. Las antenas, conmutadores y otras tecnologías incorporadas en ACTS han sido seleccionadas para soportar las necesidades del extenso consorcio de industrias privadas, agencias de gobierno y usuarios de Universidades.

El lanzamiento en 1992 de ACTS y sus operaciones subsecuentes, han proporcionado a los Estados Unidos el prototipo de la siguiente generación de satélites de comunicación comercial (Ver Fig. III.6).

III.9 CONMUTACIÓN A BORDO DE SISTEMAS EN BANDA Ka

Cuando los datos digitales son ruteados a través del satélite en banda Ka de una estación terrena hacia un segundo destino en alguna otra parte de la tierra, existen dos posibles caminos para que las señales puedan ser conmutadas, esto es, ordenarlas y rutearlas electrónicamente de puntos origen, hacia puntos destino. Una vez que la señal llega al satélite las llamadas pueden ser ruteadas mediante conmutación con *un procesador en banda base o con una matriz de conmutación a frecuencia intermedia (IF)*, cada una de ellas trabaja en conjunto con las diferentes técnicas de conmutación.

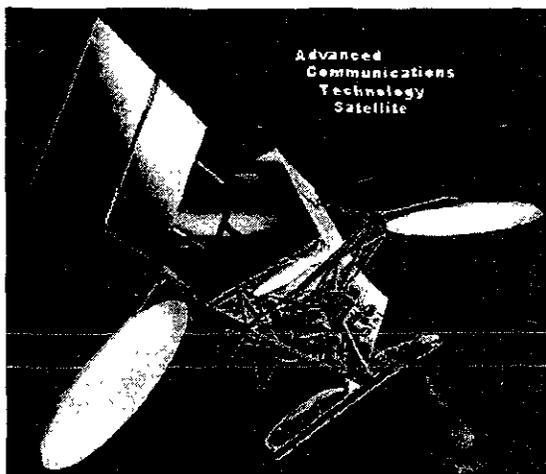


Fig. III.6 ACTS

La siguiente figura III.7 muestra el diagrama de bloques de la conmutación a bordo de ACTS de la NASA.

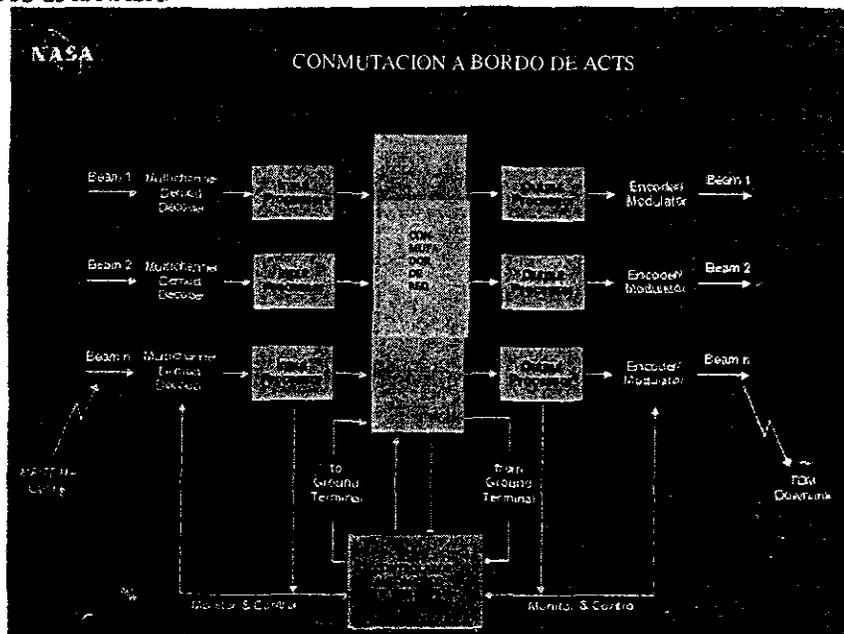


Fig. III.7 Diagrama de Bloques de conmutación a bordo de ACTS

El procesador banda base es usado con la técnica de conmutación llamada Onboard Stored Baseband Switched TDMA (OSBS/TDMA). (El nombre refleja la capacidad del procesador banda base para almacenar llamadas, y para conmutar en banda base).

La matriz de conmutación de IF de los sistemas en banda Ka es usada en conjunto con una técnica llamada Satellite Switched TDMA (SS / TDMA). Con esta técnica debe existir una coordinación precisa entre la ráfaga de enlace de subida y el estado de la matriz de conmutación. En el siguiente capítulo se analizará a detalle ambos tipos de conmutación a bordo.

III.10 SISTEMAS ACTUALES EN BANDA Ka

La siguiente Tabla III.1 muestra un cuadro resumen de los proyectos más viables en cuanto a comunicaciones satelitales a nivel mundial en banda Ka .

PROGRAMA	COMPañIA	CAPACIDAD (Gbps)	No. DE SATÉLITES	PUESTA EN MARCHA	COSTO (Billone sUSDS)
Astrolink	Lockheed Martin	61	9	2000	4
Celestri	Motorola	115	63	2000	12.9
Cyberstar	Loral Aerospace	15	3	1999	1.6
GE Star	GE Americom	44	9	2001	4
M Star	Motorola	166	72	2001	6.1
Spaceway	Hughes Galaxy	88	20	2001	3.2
Teledesic	Teledesic	64	288	2000	4

TABLA III.1 Satélites en banda Ka en el Mundo.

Adicionalmente a estos se encuentran también: Euroskyway, KaStar Morning Star, Orion, Skybridge, VoiceStan y West pero debido a su poca difusión no son muy conocidos.

Para el caso de América Latina existe una fuerte competencia en el creciente mercado de servicios satelitales, donde se ofrecen servicios a través de los satélites: Solidaridad, Intelsat, el consorcio Panamsat - Hughes, Brasilsat y Nahuelsat.

Actualmente México tiene registradas ante la UIT solicitudes para nuevas posiciones espaciales. Para cubrir el servicio DTH, se ha solicitado las posiciones orbitales: 69°, 78°, 127°, y 130° en el arco de Norteamérica (Oeste), además, se están coordinando cuatro posiciones más para servicio fijo en banda C y Ku en: 105°, 127°, 138° y 145° (Este), los cuales y junto con la expansión de las posiciones actuales en banda Ka se planea desarrollar el sistema MEGASAT que representará una supercarretera de información.

Hoy en día sólo México, Argentina y Brasil cuentan con sistema satélital propio; desde finales de los 80's y principios de los 90's, Bolivia, Ecuador, Perú, Colombia y Venezuela (países que conforman el llamado "Pacto Andino") tienen planeado desarrollar un proyecto satélital llamado "Simon Bolívar", el cual ofrecerá servicios a socios. Este proyecto se ha visto detenido debido a la falta de una posición libre en el arco geoestacionario (que actualmente se continúa gestionando) y a la poca coordinación y acuerdo de estos países sobre la organización y aportaciones al financiamiento de la nave.

Dentro de este mismo objetivo, pero fuera del "Pacto Andino", Chile se inicia en las actividades espaciales con el proyecto Fasat-Alfa, el cual es un satélite científico propiedad de la Fuerza Aérea Chilena que transmite imágenes y datos del Territorio Chileno (incluyendo la Antártica).

Los sistemas nacionales domésticos están sufriendo un proceso de apertura a la inversión privada y es México el último de los países en dar el paso hacia este intento nuevo de desarrollo y eficiencia en las telecomunicaciones nacionales. Los sistemas Brasilsat y Nahuelsat, ya han dado este paso. Brasil por su parte con tres satélites, da en 1995 inicio a la reestructuración de su sector de telecomunicaciones, abriendo el mercado nacional a una competencia justa y libre. Mientras que Argentina inicia con un carácter esencialmente privado, y viene como efecto la creación de un fuerte grupo internacional de inversión privada, el cual resulta interesante para consorcios mundiales, reflejándose con la compra de 17.25 % de acciones de Nahuelsat S.A. por GE Americom en 1997.

En el siguiente capítulo se brindarán las especificaciones del sistema de satélites en banda Ka propuesto en esta tesis, que pretende representar la cuarta generación de satélites mexicanos, reemplazando a los satélites Solidaridad y mostrando una nueva tecnología de satélites inteligentes para el año 2010.

IV. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA EN LA BANDA Ka

IV.1 DISEÑO DE UN SISTEMA DE SATÉLITES EN BANDA Ka PARA LA REGIÓN DE LATINOAMÉRICA

El sistema de satelital propuesto en esta tesis pretende:

- representar la cuarta generación de satélites Mexicanos
- reemplazar a los satélites Solidaridad 1 y 2 en la próxima década.
- mostrar como debe cambiar a futuro el sistema Satelital Mexicano
- y ejemplificar una nueva tecnología de “satélites inteligentes” que actualmente es empleada por otros sistemas y que revolucionará la comunicaciones en el año 2000.

El sistema satelital en México después de un proceso de privatización del 75 % de sus acciones, enfrenta actualmente un potencial de crecimiento que debe aprovecharse adecuadamente, por ello la compañía Loral Aerospace con experiencia internacional forma parte de su administración.

México se coloca en una posición de competencia real por el mercado Latinoamericano de telecomunicaciones vía satélite con Nahuelsat, Brasilsat, Panamsat e Intelsat, así como con la industria de Telecomunicaciones de Estados Unidos, debido al tratado de reciprocidad que existe entre ellos y a las constelaciones globales que existen en nuestros días.

Los satélites mexicanos futuros deberán representar un negocio rentable, que permitan asignar recursos propios al desarrollo de la industria espacial del país, el cual se ha visto abandonado desde hace algunos años. Actualmente, México tiene registradas ante la UIT solicitudes para nuevas posiciones espaciales que incluyen el desarrollo de nuevos proyectos espaciales como: solicitud de las posiciones orbitales: 69°, 78°, 127°, y 130° en el arco de Norteamérica (Oeste) para cubrir el servicio DTH, además, se están coordinando cuatro posiciones más para servicio fijo en banda C y Ku en: 105°, 127°, 138° y 145° (Este), los cuales y junto con la expansión de las posiciones actuales en banda Ka se planea desarrollar el sistema MEGASAT que representará un proyecto viable en la expansión de la demanda de servicios en América Latina.

México entró en actividad satelital desde hace muchos años, en donde había sólo algunos equipos prestando servicio, pero con la apertura de su sistema doméstico se garantizó un mercado que no había sido explotado, donde los usuarios son grandes compañías y/o grupos de industriales que utilizaban al satélite para fines propios, comunicaciones internas del gobierno mexicano o para servicios de telefonía internacional. Este servicio internacional era manejado y regulado exclusivamente por el estado y además tenía problemas para ofrecer el servicio a varios territorios de América.

Cuando la demanda en servicios de telefonía y difusión de TV aumentan, se generan cantidades de información impresionantes que toman importancia según su contenido y sobre todo su disponibilidad inmediata a cualquier hora y en cualquier lugar; es aquí donde el sistema satelital mexicano toma un nuevo impulso en la transmisión de datos ya que, supera en su mayoría a las redes terrestres y la participación de la iniciativa privada aumenta impulsando su desarrollo tecnológico.

En aquella época, los sistemas satélites dan un crecimiento radical con el fin de explotar aquellos servicios que la red terrestre no puede o tiene problemas para hacerlo, generándose de esta forma la tercera generación de satélites mexicanos que pretende recuperar su mercado natural, pero serán los equipos del año 2000 a los que les toque superar la capacidad y cobertura de redes terrestres.

En el campo de transmisión de imágenes, la televisión digital vía satélite toma un papel importante, por lo que es necesario dirigir la cuarta generación de satélites mexicanos hacia este mercado.

En el aspecto de la transmisión de datos, actualmente se cuenta con una cantidad enorme de computadoras en la oficina, e incluso en el hogar pero que no llegan a tener un uso significativo hasta que se conectan entre sí formando una red, en donde la cantidad de información disponible se incrementa y la demanda de servicios aumenta. Un ejemplo de ello lo representa la red mundial INTERNET, donde todo equipo que se conecta a ella tiene acceso tanto a una base de datos impresionante, como a medios de transmisión de información inmediatos a un destino específico como lo es el CORREO ELECTRÓNICO.

Adicionalmente, los conceptos de distancia y tiempo se reducen y el concepto de disponibilidad de acceso a la información de vuelve primordial. Es aquí donde actualmente los servicios satelitales tienen un gran campo de aplicación ya que existe un gran número de computadoras en movimiento constantes como: laptops, notebooks, palmtops etc que interactúan con un gran número de equipos de manejo de datos como: teléfonos celulares, pagers etc. y que no pueden comunicarse ampliamente con la red terrestre mientras están en movimiento, ya que las redes celulares carecen de altas capacidades de información así como de amplia cobertura.

Con lo mencionado anteriormente, es necesario replantear los principios y formas de comunicaciones del sistema satelital mexicano que representará el año 2000 ya que actualmente se tiene ya un mercado saturado y acostumbrado a la interface e iteración con: el teléfono, el fax, el módem, sistemas móviles, redes de PC, etc.

Además, el crecimiento en el área de las comunicaciones de negocios aumenta y sumado a ello, la tendencia de desregulación que contribuye a: la eliminación de fronteras geográficas, al tipo de cobertura de los sistemas satelitales y al uso de diferentes órbitas; permite dar un panorama hacia los múltiples propósitos de servicio que los satélites futuros deberán ofrecer. Los que significa que los sistemas satelitales deberán manejar: servicios de DTH, redes tipo VSAT, transmisión de datos a altas velocidades, además de equipos móviles.

El que México cuente para el próximo reemplazo de sus actuales satélites en órbita con dos posiciones espaciales seguras y quizás con las posiciones solicitadas a la UIT, garantiza que la industria satelital mexicana ofrecerá una oportunidad de crear una red regional de satélites para América Latina con múltiples equipos y múltiples servicios; explotando por supuesto, todos los avances tecnológicos a nivel mundial en lo que respecta a desarrollo satelital .

El sistema de satélites propuesto en esta tesis cumple con las expectativas arriba mencionadas y representa un proyecto ambicioso en nuestros días, si se desea tener un desarrollo importante en la cultura espacial nacional, ya que dentro de algunos años será necesario reemplazar los satélites Solidaridad o quizá antes, si se consolida la solicitud de posiciones adicionales. Algunas especificaciones básicas del sistema propuesto son:

- Emplea la banda de frecuencias Ka.
- Posee una configuración triaxial.
- Proporciona alta potencia eléctrica para la transmisión de señales mediante grandes y eficientes paneles solares.
- Representa un “satélite inteligente”, ya que proporciona regeneración y almacenamiento de señales a bordo para grandes volúmenes de datos a altas velocidades.
- Puede competir con sistemas terrestres de Fibra Óptica en capacidades de información, alta velocidad y niveles de eficiencia.
- Posee un sistema de antenas, que permite una reconfiguración dinámica del patrón de radiación, así como haces múltiples que ofrecen servicios altamente eficientes.
- Ofrece un periodo largo de vida útil.
- Proporciona un control milimétrico de accesos para la alta cantidad de usuarios y de volumen de información que manejará.
- Maneja los mismos sistemas de compresión digital y las mismas capacidades de memoria y análisis que ofrecen los sistemas terrestres.
- Hace más eficiente la transmisión, ya que el equipo toma decisiones automáticas.
- Maneja transpondedores de alta potencia y sensibilidad para cubrir cualquier contingencia que se llegará a presentar.
- Posee equipos de autodiagnostico y autocorrección de problemas empleando equipos de respaldo.
- Garantiza el grado de seguridad en la transmisión
- Cuenta con un arreglo de antenas y haces que emplean rehusos de frecuencias y técnicas de polarización, que permiten compartir áreas de cobertura específicas.
- Posee un avanzado equipo de propulsión electrónica que elimina el problema de duración y espacio los tanque de combustible.
- El sistema Comunicaciones emplea tecnologías de conmutación a bordo en banda Ka que actualmente emplean otros sistemas satelitales en el mundo como el ACTS y representan el elemento más innovador de esta propuesta.

El diseño del satélite en la banda Ka esta compuesto por seis subsistemas fundamentales que son Subsistema de Propulsión, Subsistema de Potencia Eléctrica, Subsistema Control Térmico, Subsistema de Telemetría, Comando y Rango, Subsistema de Control de Orientación y Subsistema de Comunicaciones; estos subsistemas permiten el control continuo y la supervisión del estado operativo de los equipos que conforman el satélite. Además su trabajo en conjunto permite cumplir con la tarea principal de su diseño que es el establecimiento de comunicaciones a muy bajo costo y empleando anchos de banda pequeños.

La siguiente figura IV.1 muestra las partes fundamentales del satélite en banda Ka propuesto.

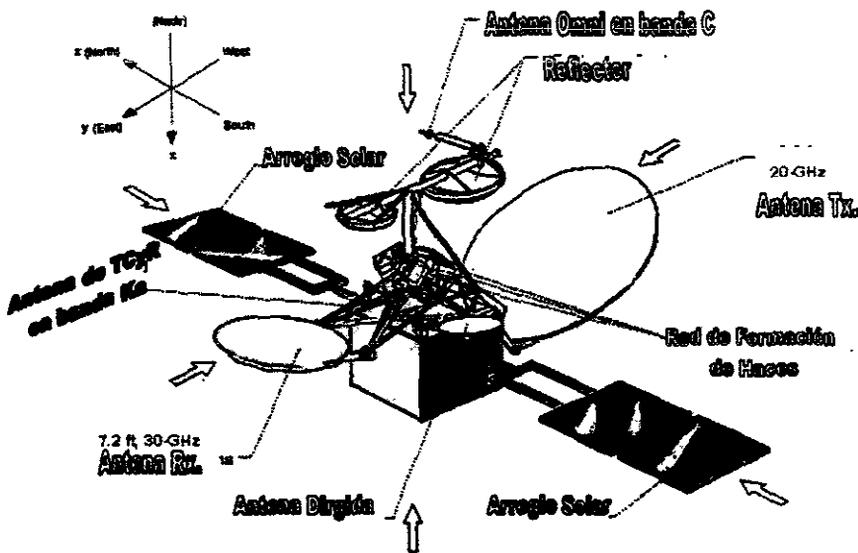


Fig. IV. 1 Elementos del Sistema en banda Ka

IV.2 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES:

CLIENTE	SATMEX
PAIS	México
ESTABILIZACIÓN	Satélite de tecnología de comunicación Estabilizada a 3 ejes
APLICACIONES	Comunicaciones: empleando tecnología de punta de conmutación inteligente a bordo y regeneración de señales.
SERVICIO	Fijo, Móvil y DTH
USOS TÍPICOS	Transmisión de TV Analógica y Digital, Voz y Datos
VEHICULO DE LANZAMIENTO	Ariane 4
TIPO DE SATÉLITE	HS-601
POSICIÓN ORBITAL	Geosíncrona, Ecuatorial: 109.2° y /6 113° Oeste
VIDA ÚTIL	16 años
CONSTRUCTOR	Hughes Aircraft
BANDA	Ka

TABLA IV.1 Especificaciones Preliminares del Satélite en banda Ka.

A continuación se describirá detalladamente las funciones principales de los diversos subsistemas, los elementos que lo conforman y el nivel de sofisticación que caracteriza a este nuevo sistema de satélites en la banda Ka.

IV.3 SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA, COMANDO Y RANGO

IV.3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

El subsistema de Telemetría, Comando y Rango (STCyR) proporciona la capacidad de comandar desde una estación terrena la información del estado y funcionamiento del satélite, para controlar de manera óptima las diversas operaciones dentro de la nave (incluyendo la de otros subsistemas); así mismo a través de él, la señal de bajada transmitida desde tierra se enruta para obtener la distancia a la que se encuentra el satélite de la tierra (Rango). Adicionalmente, el STCyR realiza las siguientes funciones básicas:

- El subsistema de Telemetría colecta y transmite información relacionada con el estado de los diferentes subsistemas, así como de la configuración y buen funcionamiento del satélite durante el transcurso de su vida útil.
- El subsistema de Comando recupera, decodifica y distribuye los mensajes de comando ya sea, originados internamente desde el Subsistema de Control de Orientación (ACS) o externamente por algún comando enviado desde Tierra en un enlace en banda Ka.
- El subsistema de Rango envía un conjunto de tonos hacia la estación de control. El Rango, es el procedimiento para medir y determinar con suficiente exactitud la distancia entre la estación terrena y el satélite, midiendo el tiempo que tarda la señal en su recorrido y la fase de llegada a la estación terrena.

El subsistema de Telemetría Comando y Rango permite la identificación de fallas en los diferentes subsistemas que conforman al satélite, para analizar y tomar una acción correctiva durante las operaciones de prueba, lanzamiento y durante toda la vida útil del satélite. Este subsistema opera en el rango de frecuencias de la banda Ka, es completamente redundante y esta soportado por un sistema de antenas, las cuales han sido seleccionada basándose en los requerimientos de acuerdo a la fase de la misión del satélite y el diseño de las mismas involucra un compromiso entre la ganancia real y el área de cobertura. Las antenas con las que cuenta el subsistema son: la antena bicónica omnidireccional en banda C montada en un mástil desplegable, dos antenas de alta ganancia de reflector parabólico en banda Ka y una antena direccionable (Ver Fig. IV.2).

- Antena Omnidireccional:

La antena omnidireccional de telemetría se utiliza principalmente para proporcionar cobertura de comunicación durante el lanzamiento y la órbita de transferencia (Ver Fig. IV.3), es decir cuando el satélite no cuenta todavía con una posición fija de operación; y sirve como respaldo en la operación en estación en caso de falla como cuando se pierde la posibilidad de mantener el apuntamiento fino de la señal de control, debido a una alteración considerable de su posición.

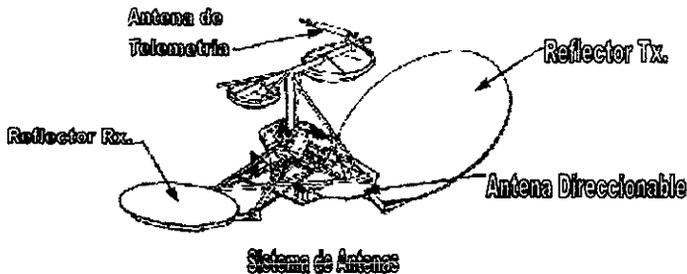


Fig. IV.2 Antenas del Sistema

- Antenas de Reflector Parabólico:

Las antenas de alta ganancia de reflector parabólico se utiliza de manera normal, cuando el satélite se encuentra en posición correcta de operación; esto es, cuando describe una órbita geosíncrona sobre el plano del ecuador a 36,200 Km. de distancia aproximadamente de la superficie terrestre; es decir, la antena de la banda Ka es usada para el control del satélite en operación normal en estación (órbita geoestacionaria), esta antena tiene cobertura de alta ganancia para flujo de telemetría por medio de multiplexaje de señales.

- Antena dirigida:

Esta antena se emplea principalmente para proporcionar cobertura de comunicación de regiones específicas mediante los haces dirigidos no continuos (saltos de haces) una vez que el satélite se encuentra en órbita geoestacionaria y en operación.

A continuación se describirá detalladamente cada uno de los elementos que conforman este subsistema.

IV.3.2 SUBSISTEMA DE TELEMETRÍA

Este subsistema permite coleccionar, agrupar y transmitir los datos del comportamiento, estado y condición de cada uno de los diferentes subsistemas con la exactitud y periodicidad necesaria para determinar el comportamiento del satélite, además proporciona los elementos de observación y control necesarios durante todas las fases de prueba en Tierra y su periodo de vida útil.

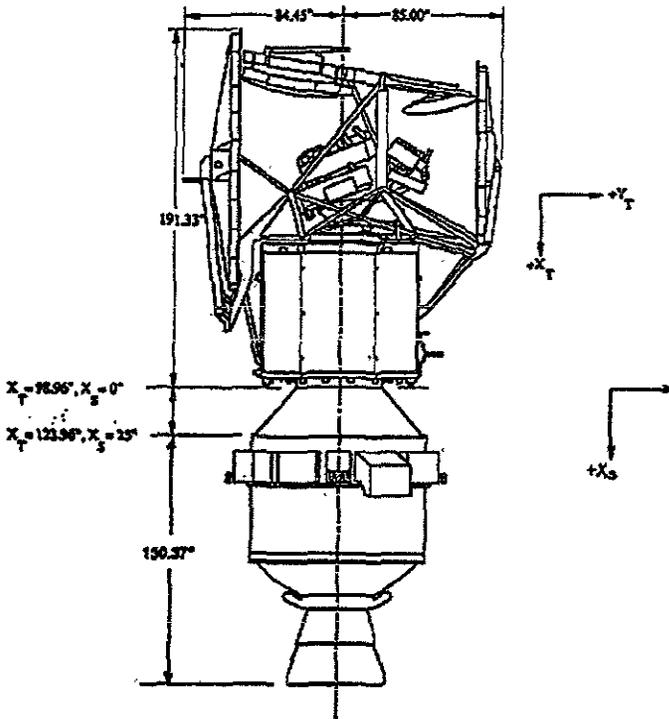


Fig IV.3 Configuración del satélite en Órbita de Transferencia

El enlace de radiofrecuencia transmite redundantemente a través de dos transmisores. La señal digital de telemetría está formada por dos flujos PCM idénticos simultáneos a una velocidad de 1.024 Kbps. Cada flujo consiste de una subportadora de 32 KHz, la cual está modulada en formato PSK (Phase Shift Keying) con un código de datos NRZ-M. Los datos contenidos en cada flujo están seleccionados en un formato de muestreo de datos, llamado "dwell" (de alta velocidad).

- **MODO DWELL (Muestreo de alta Velocidad)**

El formato de datos de telemetría en modo dwell utiliza palabras de 8 bits, 256 palabras por cada trama menor y 25 tramas menores por cada trama mayor (Ver Fig. IV.4).

Los datos de Telemetría en modo DWELL proporcionan un muestreo acelerado de hasta ocho parámetros y cada trama menor inicia con tres palabras de sincronización, seguidas por la identificación del satélite, la unidad TEU seleccionada, el flujo PCM y el conteo de la trama menor; además en medio de la trama hay dos tipo de datos: los identificadores de canal dwell y los datos dwell. Cada identificador de canal dwell consta de dos palabras y consiste de un campo de tres bits para el tipo de dato, 5 bits para la dirección del módulo multiplexor del TEU, y una dirección de canal de 8 bits. Estos valores identifican los puntos de monitoreo en formato dwell que van a registrarse. La trama dwell termina con la palabra 255 de verificación de datos recibidos (checksum).

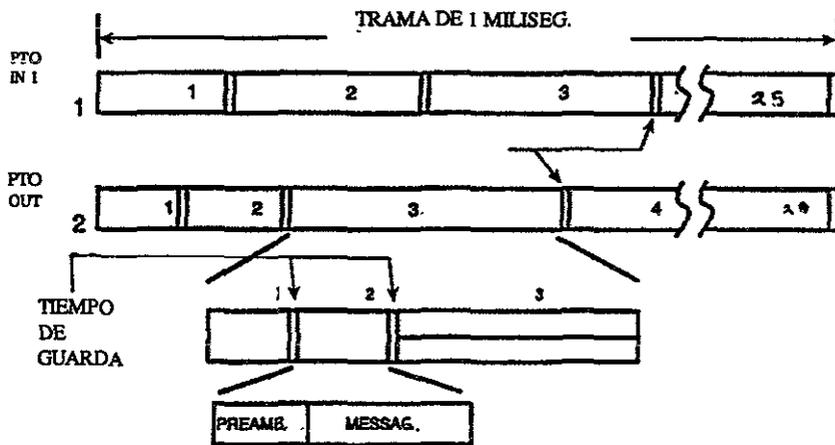


Fig. IV.4 Estructura de la Trama

Los formatos de modo DWELL tienen la configuración descrita anteriormente, sin embargo en algunos casos se maneja otro formato, debido a que contiene un tercer tipo de dato llamado imprescindible (por ejemplo: tres palabras de sincronización, identificación del satélite y conteo de la trama menor). Este formato se emplea únicamente cuando falla uno de los transmisores de telemetría.

El subsistema de Telemetría está conformado por dos unidades fundamentales: las Unidades Codificadoras de Telemetría TEU y los transmisores de Telemetría TM que se describen a continuación:

IV.3.2.1 Unidades Codificadoras de Telemetría TEU

Este satélite en la banda Ka cuenta con dos codificadores, llamados TEU1 y TEU2, cada unidad proporciona 256 canales los cuales pueden soportar hasta 16 puertos serie de telemetría. El TEU procesa los datos como se requiere, los codifica y los transmite en tres flujos de datos; dos flujos de enlace de bajada llamados PCM1 y PCM2 y el flujo de datos solicitado por el procesador de control del satélite (SCP) (Ver Fig. IV.5).

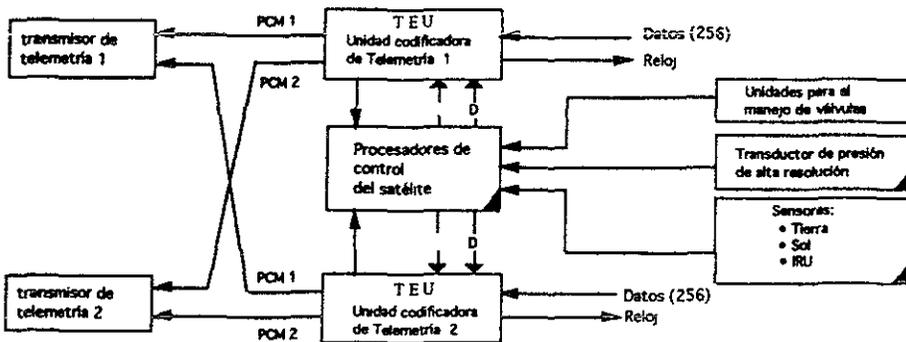


Fig. IV.5 Unidades Codificadoras de Telemetría TEU

Con el fin de conocer el estado operativo y la configuración de los subsistemas que conforman al satélite, la unidad TEU recolecta la información generada por los sensores ubicados en diferentes puntos del satélite, tales como: valores de temperatura, estado de las unidades, posición de los mecanismos, posición de los relevadores, verificación de comandos, voltaje y corriente de la línea de distribución de energía (bus), etc.

Adicionalmente, el TEU da formato a los datos recolectados en tramas mayores, codificándolos y enviándolos hacia los transmisores de telemetría TM para su transmisión hacia la tierra, asimismo, transmite hacia las unidades transmisoras de telemetría TM datos codificados en NRZ-M en una subportadora modulada en PCM con una interfase de cuatro líneas con cada SCP, estos flujos son enrutados hacia los transmisores de telemetría uno y dos.

Cada unidad TEU constituye un subsistema de telemetría digital el cual controla por sí mismo la secuencia de muestreo, la razón de colección de datos de telemetría del satélite y la razón de envío en el enlace de bajada. Además cada TEU consiste de una sección de control (secuenciador de telemetría y una memoria PROM), un modulo de multiplexaje de 256 canales, fuentes de energía de 1mA a 5.12 V, un convertidor analógico/digital, una fuente de alimentación y una interface receptora/conductora para la interconexión con la unidades externas. La sección de control es el corazón del TEU porque proporciona la lógica para manejar la secuencia de estado, las señales de control para los circuitos asociados para conversión, acondicionamiento y el procesamiento de los comandos serie.

Es importante notar que algunos parámetros tales como la velocidad de transmisión de datos, el número de formato, el modo y la frecuencia de la subportadora pueden ser cambiados por comando de tierra.

Otros parámetros como son el número de trama menor o mayor, el número de palabras por trama menor, el tipo de código de datos PCM, y la activación o desactivación de la subportadora, están almacenados en la memoria PROM y no pueden ser cambiados por comando de tierra. Cada localidad de la PROM controla la fuente y el procesamiento de los datos teledidos por cada palabra del enlace de bajada de datos para los flujos PCM1 y PCM2.

Cada unidad codificadora de telemetría TEU esta equipada con 256 canales de datos de los cuales son multiplexados (16 multiplexores de 16 canales cada uno). Cada uno de estos canales acepta las siguientes entradas de datos:

- **Analógica:** El voltaje de 0 a 5.12 V es convertido a 8 bits con capacidad de 364 palabras.
- **Condicional Analógica:** La unidad TEU proporciona 1 mA y como resultado se obtiene un voltaje convertido a 8 bits.
- **Binivel:** Este tipo de señal utiliza 1 bit y define como 0 lógico a un voltaje menor a 2.7 Volts, con capacidad de 312 palabras.
- **Condicional Binivel:** La unidad TEU proporciona 1 mA. utiliza 1 bit y define: 0 lógico de 0 a 2400 ohms y 1 lógico para valores mayores a 2700 ohms
- **Serie:** Cada unidad TEU proporciona las señales de reloj, la envolvente y la sincronía de las tramas a través de la interface de Telemetría serie con la cual obtiene los datos del transductor, con capacidad de 6 palabras.

La unidad TEU tiene señales de salida para sincronización de tramas menores y mayores con el objeto de sincronizar a todas las entradas de datos teledidos al principio de las tramas de telemetría menor y mayor. Además contiene una interface hacia los transmisores de telemetría a través del cual les envía los dos flujos de datos con modulación PCM para los enlaces de bajada llamados PCM1 y PCM2.

El subsistema establece dos tipos de configuraciones para recibir la información del satélite.

- **FLUJO EN PCM (Modulación por pulsos codificados)**

A través de estos flujos se recibe toda la información la información del satélite como son voltaje, corriente, temperatura, posicionamiento (datos de orientación), etc. de las diferentes unidades telemidas. La información recolectada se codifica para asegurar una adecuada recepción cada dos segundos aproximadamente.

- **FLUJO DE SEÑAL DE RANGO**

Regresa los tonos de rango, que fueron previamente enviados, con el fin de determinar la distancia que existe entre la antena de la estación de rastreo y la antena del satélite.

IV.3.2.2 Transmisores de Telemetría TM

Las unidades de transmisión de telemetría realizan las siguientes funciones:

- Proporciona una portadora en la banda Ka hacia dos líneas de transmisión.
- Modula en fase la subportadora de telemetría (proveniente de la unidad codificadora de telemetría TEU), o los tonos de rango (provenientes del receptor de comandos CR) en la portadora.
- Proporciona selección de comando de Tierra para elegir flujo de telemetría ó tonos de rango, así como la fuente de modulación.

El subsistema cuenta con dos transmisores de telemetría, y la información que llevan ambos flujos es similar, lo que representa un respaldo en caso de falla de alguno de los dos flujos. La salida de los transmisores de telemetría es enrutada por la antena de de telemetría. Cada transmisor de telemetría esta conectado a ambos receptores de comando y a cada codificador de telemetría. Se tienen flujos de telemetría completamente redundantes transmitidos simultánea y continuamente durante todas las fases de la misión. Una vez que el satélite se encuentra posicionado para operar en estación, las señales de telemetría son multiplexadas en un canal de comunicaciones para radiodifusión vía la antena del reflector parabólico, además proporciona 256 palabras de telemetría de 8 bits cada una.

IV.3.3 SUBSISTEMA COMANDO

El subsistema de comando del satélite tiene las funciones de recuperar (mediante demodulación), decodificar y distribuir los mensajes enviados a las unidades apropiadas, esta distribución incluye la amplificación de corriente para comandos que involucran la actuación de válvulas o la activación de detonadores (squibs).

Un comando es un mensaje que contiene una instrucción específica codificada digitalmente, el cual modula a una portadora de radio frecuencia y puede ser transmitido al satélite desde Tierra; o bien puede generarse internamente y transmitirse al subsistema de comando; este subsistema recibe comandos de tres fuentes.

- 1.- Comandos enviados desde la estación de control; señal RF.
- 2.- Comandos generados internamente desde el procesador de control abordo del satélite (SCP).
- 3.- Comandos de prueba (en banda base) usados en las instalaciones del fabricante y durante la interconexión con el vehículo de lanzamiento.

Los comandos son enviados al satélite en secuencia de tonos de comandos. Cada comando consiste en series de 48 bits precedidos de un bit de sincronía de la unidad decodificadora de comando (CDU), los cuales son transmitidos a velocidades de hasta 50 bps. Cada bit consiste de un tono de encendido y apagado de 10 ms, el bit de sincronía tiene una duración de 20 ms. seguido por un tono de apagado de 60 ms; el tiempo de encendido se representa por la presencia de una de las 6 frecuencias de tono, mientras que el tiempo de apagado esta representado por la ausencia de dicho tono.

Para realizar la operación de comando se cuenta con dos portadoras de comando en el enlace de subida con frecuencia de 30 GHz en órbita geostacionaria modulada en frecuencia con subportadora de comando y de rango. La subportadora de comando consiste de seis señales senoidales "tonos" en formato RZ-FSK, mientras que la subportadora de rango consiste de cuatro señales senoidales "tonos" en formato FSK. La desviación pico en FM de esta portadora es de 300 KHz para tonos de comando y para tonos de rango.

El subsistema de Comando está conformado por unidades, cada una de estas con características especiales que se describen a continuación:

IV.3.3.1 Receptor de Comando CR

Estas unidades procesan la señal de subida (comando o tono de rango) convirtiéndola de banda Ka a una frecuencia intermedia (FI) común de 254 MHz, demodulan la portadora de los tonos de comando, filtran, amplifican y transmiten los tonos de comando hacia las unidades decodificadoras de comando, y enrutan dichas señales a los equipos correspondientes lo que permite realizar las tareas de comando. Cada receptor de comando acepta ambas frecuencias de comando, por lo que existe redundancia en estas unidades lo que permite la posibilidad de acceder a cualquiera de los dos decodificadores o registros donde será almacenado el comando, o bien puede enrutar el tono de rango a través de un conmutador para su retorno a Tierra, además está diseñado para operar con una portadora de entrada de radio frecuencia de hasta 133KHz.

IV.3.3.2 Diplexor de Comando

La finalidad de emplear un diplexor antes de cada receptor de comando, es de enrutar la señal de control que se recibe desde Tierra mediante la antena de reflector parabólico hacia los receptores de comando sin necesidad de realizar conmutación. esto se hace para efectos de comandar al satélite. Este subsistema cuenta con dos de éstas unidades, una para cada receptor de comando.

IV.3.3.3 Unidad Decodificadora de Comando CDU

El CDU se encarga de la demodulación de la subportadora de comando, decodifica los mensajes de comando que provienen de los receptores de comando (CR) así como de los procesadores de control del satélite (SCP) y se encarga de distribuir a las diferentes unidades los mensajes de comando en forma de *comandos serie o pulsados*. Para comandos que involucran la actuación de válvulas o la activación de detonadores, el CDU utiliza las unidades de manejo de válvulas VDU o las unidades de manejo de detonadores SDU respectivamente para proporcionarles amplificación de pulsos. Los comandos generados por el SCP permiten realizar funciones autónomas que se llevan a cabo a través de la interconexión entre el SCP y la CDU, esta interconexión no requiere bit de sincronía al contrario, requiere que la envolvente sincronicé al comando.

Los comandos son recibidos como ráfagas, es decir como secuencias de tonos en el demodulador interno del CDU, este traduce los tonos en un flujo de lógica binaria. La señal banda base de comando serie que se recibe del SCP y de los dispositivos de prueba simplemente están corrida en nivel, es decir en señales de nivel alto (+5,-12 Volts) usadas por las interconexiones de la unidad, corridas a lógica de bajo nivel empleadas internamente por la CDU. Los datos son enrutados hacia el control de entrada respectivo de cada fuente, el cual sincroniza los datos de entrada con el oscilador maestro del CDU y genera datos de reloj, verifica el formato y código de detección de error del comando, y transmite el comando al explorador (scanner); el cual lee alternadamente los controladores de entrada para validar, decodificar el comando y distribuir los datos hacia la matriz de comandos serie o pulsados según corresponda. También existe una interconexión serie con la unidad codificadora de telemetría TEU, la cual le proporciona a l CDU el estado de los datos. Otros circuitos de soporte para la CDU los cuales complementan su diseño son la fuente de energía, el oscilador, el reiniciador de encendido y el detector de bajo voltaje. Este subsistema cuenta con dos unidades CDU.

IV.3.3.4 Descripción de la Subportadora de Comando en el Enlace de Subida

La subportadora de comando consiste en seis frecuencias de tonos senoidales en la banda de 5 a 15 KHz, los cuales son encendidos y apagados en una señal de formato RZ-FSK y están divididos en dos: Grupo de tono 1 y 2.

Cada grupo contiene tres tonos, de los cuales solamente uno es usado para representar el formato de bits de datos "1"y "0" y el bit de sincronización, además cada bit de datos contiene un tono de encendido y un tono de apagado de 10 ms de duración, mientras que el bit de sincronía consiste de un tono de encendido con duración de 20 ms seguido de un tono de apagado de 60 ms de duración.

Cada unidad decodificadora DCU tiene dos entradas de comando las cuales están conectadas a los receptores de comandos CR y consisten de tres filtros paso banda cuyas frecuencias centrales son, ya sean las del grupo de tonos 1 o las del grupo de tonos 2, donde la salida del receptor de comando CR1 esta conectada hacia los filtros del grupo de tono 1 del CDU1 y del CDU2, así como la salida del receptor de comandos CR2 esta conectada a la entrada del grupo de tonos 2 del CDU1 y el CDU2.

Se utilizan dos tipos de comandos en la unidad CDU, los comandos serie y los comandos pulsados que se describen a continuación:

• COMANDO SERIE

La unidad decodificadora de comando CDU, proporciona comandos serie hacia las unidades codificadoras de telemetría TEU, las unidades para el manejo de detonadores SDU, los procesadores de control a bordo del satélite SCP y hacia los limitadores de voltaje de la batería BVL, a través de una interconexión de tres cables, envolvente, reloj y datos; solo una de las unidades CDU debe enviar un comando serie a una unidad en un momento dado. La transmisión se realiza a 1024 bps y cada comando serie contiene 47 bits de los cuales 24 corresponden al campo para el datos del comando que será transmitido.

• COMANDOS PULSADOS

Estos comandos pulsados se utilizan para encender y apagar unidades, como TEU, SCP, TWT, SSPA, motores, calentadores, controladores de descarga de batería (BCD), así como también para reinicializar a los relevadores, comandar el actuador ajustable de cada ala solar llamado ASWA etc.

La ejecución de cada tipo de comando puede ser inmediata o retrasada, ésta última permite verificar el comando transmitido por medio de la telemetría que se recibe en Tierra.

Cada comando tiene un formato de 48 bits en donde se define: el bit de sincronía, la dirección en el CDU, el tipo de comando y la dirección del satélite a comandar, entre otros; así como también si se trata de un comando pulsado el formato debe contener el ancho del pulso seleccionado y su dirección, si se trata de un comando serie el formato contiene la dirección de salida serial y los datos del comando.

IV.3.4 SUBSISTEMA DE RANGO

El propósito del subsistema de rango es determinar la posición exacta del satélite en órbita, esto se logra conociendo la distancia que existe del satélite a la estación de control en Tierra. Esta distancia se calcula midiendo el tiempo de retraso de ida y vuelta de una señal transmitida al satélite desde la estación de Tierra. El tiempo de retraso asociado al satélite se resta de la medición de rango (retraso) debido a la calibración realizada en el equipo de Tierra antes de efectuar el proceso de rango. Con este sistema de satélites en la banda Ka es posible emplear tres métodos para determinar el rango llamados:

- Rango a través del subsistema de telemetría, comando y rango (STCyR).
- Rango empleando un transpondedor del subsistema de comunicaciones.
- y Rango utilizando una señal de televisión.

IV.3.4.1 Rango a través del subsistema de telemetría, comando y rango (STCyR)

El rango a través de STCyR se lleva a cabo por medio de la salida de Rango de los receptores de comando que se encuentran interconectados en forma cruzada (redundante) entre los dos transmisores de telemetría. Cada transmisor proporciona conmutación para rango o telemetría como se desea. El subsistema de TCyR puede proporcionar simultáneamente señal de rango y señal de datos de telemetría sin tener que realizar alguna conmutación si se utiliza un transmisor de telemetría dedicado para telemetría y otro para rango.

Los tonos de rango seleccionados modulan la portadora del enlace de subida y son recibidos y demodulados por los receptores de comando. El transmisor de telemetría recibe los tonos demodulados por el receptor de comando y envía la señal del enlace de bajada con una portadora modulada en fase. En la estación de control en Tierra, el procesador de tonos de rango (RTP) será parte de la Unidad Integrada de Telemetría y Comando (ITCU) y medirá la diferencia de fase entre la señal transmitida y los tonos recibidos, y calculará el rango.

El sistema de tonos de rango y la precisión del rango se determina midiendo el retraso en la fase del tono de 27.777 KHz. La ambigüedad en el rango se resuelve midiendo el retraso de los cuatro tonos de 35.4 Hz. a 27.777 KHz., estos tonos son creados por la modulación FSK (Frequency Shift Keying) de los dos tonos en la portadora de comando. El procesador de tonos de rango (RTP) en el equipo de Tierra resuelve la ambigüedad en el rango al mezclar estos tonos después de que los detecta.

IV.3.4.2 Rango empleando un transpondedor del subsistema de comunicaciones

El rango determinado por transpondedor utiliza un transpondedor de comunicaciones normal. Lo que da como resultado un retraso de la fase diferente al pasar esta señal a través del satélite.

IV.3.4.3 Rango utilizando una señal de televisión

Para el rango determinado con señal de TV, dicha señal de televisión de FM se hace pasar a través del repetidor/convertidor en banda Ka y después se demodula. Para realizar la medición se hace uso de una unidad calibrada para rango con TV, la cual compara las señales de entrada y salida y determina el retraso existente a lo largo del repetidor y del equipo de prueba, por lo que el retraso que se presenta en el equipo en Tierra se resta del valor total. Este método de medición requiere además del equipo de FM/TV, el uso de una unidad especial para rango con señal de TV y solo se puede realizar cuando el satélite está en condiciones normales de operación en estación.

IV.3.4.4 Procedimiento para determinar el Rango por Telemetría y Comando

- 1.- Calibrar la estación de control.
- 2.- Comandar el transmisor de Telemetría 1 y 2 a modo de rango.
- 3.- Seleccionar el receptor de comando (CR).
- 4.- Realizar el procedimiento de Rango (automático).
- 5.- y Reinicializar el transmisor de Telemetría a modo PCM.

En este procedimiento las mediciones de retraso de fase se toman con las cuatro frecuencias de tonos empezando por la menor, estas frecuencias de tono se incrementan para mayor exactitud al calcular la distancia al satélite, la frecuencia más alta de tono (27.777 KHz) proporciona una exactitud de 10 m, después se repite para los tonos de frecuencias más bajas para asegurar una correcta medición. La precisión del rango del satélite se determina principalmente por las variaciones en el retraso en fase de los receptores de comando y los transmisores de telemetría. El retraso de fase en el satélite es función de la temperatura, el nivel de potencia, el índice de modulación y las unidades usadas; el nivel de potencia de recepción se determina con datos de telemetría del control automático de ganancia AGC proveniente del receptor de comandos. Los retrasos de fase del satélite se calibran de acuerdo a la temperatura; los retrasos de fase de frecuencia intermedia IF se eliminan con la calibración (realizando la medición de retraso de fase) y una vez medido, el retraso en radiofrecuencia RF no cambia, a menos que se cambie algún equipo en Tierra. La medición final menos las calibraciones (IF y RF) nos da la distancia al satélite.

IV.3.5 Resumen de Especificaciones del Subsistema de Telemetría, Comando y Rango

FRECUENCIA DE COMANDO	Banda Ka; banda C Orbits de Transferencia y Reserva.
VELOCIDAD DE COMANDO	100 pps FSK para funciones de bus y 5000 pps para carga útil.
CAPACIDAD DE COMANDO	379 Bajas Velocidades Discretas con 3 Datos Seriales; 256 Altas Velocidades Discretas con 3 Datos Seriales.
FRECUENCIA DE TELEMETRIA	Banda Ka; Banda C Orbits de Transferencia y Reserva .
FORMATO DE TELEMETRIA	8 bits / palabra; 256 palabras / Trama menor; 25 menores tramas / tramas mayores; 1024 bps.
CAPACIDAD DE TELEMETRIA	312 palabras binivel; 364 palabras Analógicas; 6 palabras seriales.
FRECUENCIA DE RANGO	Banda Ka; Banda C órbita de Transferencia y Reserva.
TONOS DE RANGO	4, de 35.4 Hz a 27.777 kHz.

TABLA IV.3 Características del Subsistema de Telemetría Comando y Rango.

IV. SUBSISTEMA DE PROPULSIÓN

IV.4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El subsistema de propulsión lo conforman básicamente: el combustible, el presurizante, los motores, los impulsores (Ver Fig. IV.6) y los dispositivos de control. Con estos elementos se proporciona el impulso y el *momento* necesarios en los tres ejes de la nave para realizar: la colocación del satélite en la órbita geoestacionaria, el control de la orientación, y las funciones de mantenimiento en órbita. En este subsistema están incluidos los componentes y ensamblajes asociados con el almacenamiento acondicionado, enrutamiento, control y consumo del combustible según lo requiera el satélite a través de toda su vida útil.

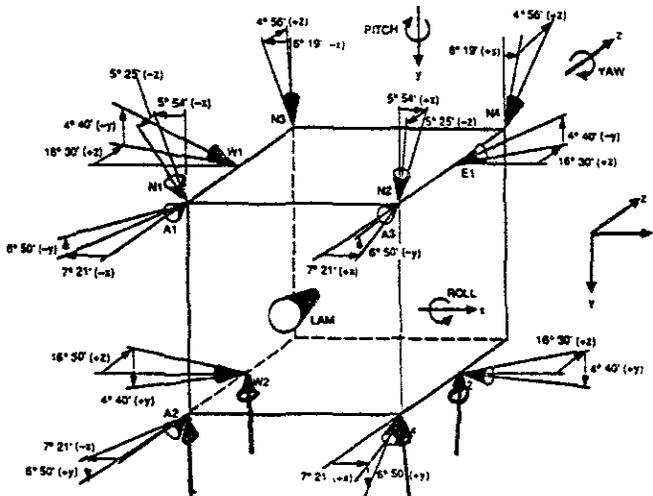


Fig. IV.6 Posible Distribución de los Impulsores..

El diseño incorpora cuatro tanques de combustible de propulsión, dos tanques de presurizante, un impulsor de 550 lbs. llamado LAM (Motor Líquido de Apogeo), 16 impulsores eléctricos de 22 N y un sistema de distribución de tanques de combustible de propulsión. Los tanques de combustible de propulsión proporcionan mayor empuje ya que están fabricados con Hidracina (Bipropelente). Los impulsores eléctricos emplean el mismo material además de Helio y Xenon. (Ver Fig. IV.7).

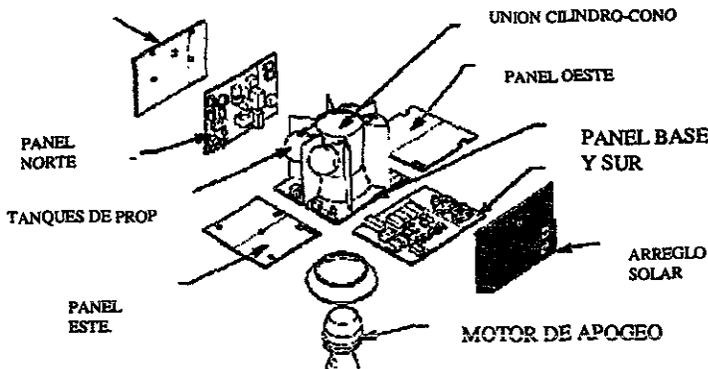


Fig. IV.7 Tanques del Sistema de propulsión

Los cuatro tanques de combustible son esféricos con 79 cm. de diámetro, están hechos de titanio y son usados para contener aproximadamente 1492.8 Kg. de combustible requerido para la misión, es decir la puesta en órbita y la vida útil de servicio del satélite. La diferencia de presiones (se crea por combinación de presión de Helio y Xenon) y la presión de la cámara, hace que el combustible fluya de los tanques hacia el propulsor.

Los tanques de presurizante están contruidos de un material ligero, grafito epóxico sellado sobre una superficie de aluminio y tiene forma cilíndrica con un volumen mínimo de 43.3 litros por tanque; están cargados con gas de Helio y Xenon el cual es usado para expulsar el combustible de propulsión de los tanques. Durante las maniobras en órbita de transferencia el Helio y Xenon es liberado hacia los tanques de combustible de propulsión a través de un regulador. Una vez que el satélite está en órbita geosíncrona, el regulados se aísla y el sistema opera de ahí en adelante en modo de flujo. Durante la órbita de transferencia el flujo del propelente libre de gas se asegura por la fuerza centrífuga debido al giro del satélite y una vez que el cuerpo está estabilizado para las operaciones en estación, lo hace a través de los dispositivos para el manejo de propelente (PMD) localizados en cada uno de los tanques de propelente, los cuales han sido desarrollados y calificados, por lo que el propósito de estos dispositivos es proporcionar la liberación de combustible libre de gas.

Después del regulador se usan válvulas para prevenir que se mezclen vapores de combustible con Helio y Xenon. La represurización de los tanques de combustible puede llevarse a cabo sólo en un tanque utilizando seis válvulas y seis transductores de presión de alta resolución. Además de proveer exactitud en la estimación del combustible de propulsión, el sistema de represurización permite determinar el nivel de presión del tanque, ya sea del combustible o del oxidante con objeto de controlar la razón de mezcla de los mismos, lo cual se conoce como razón de oxidante a combustible.

El subsistema de propulsión eléctrica tiene redundancia para operar en caso de falla. Las válvulas de los tanques de combustible de propulsión utilizan bobinas alambradas con actuador doble. Los impulsores eléctricos de 22 N son funcionalmente redundantes lo que tolera falla en alguno de ellos; cada impulsor eléctrico está equipado con válvulas serie y dispositivos de manejo de válvulas (VDU) están diseñados con dos circuitos, por lo que si se presenta una falla, está no puede comandar el encendido de un impulsor. El diseño de las válvulas acopladas con los circuitos serie para su manejo, asegura protección contra fuga y goteo a nivel del impulsor. Este arreglo le permite a todos los impulsores acceso al combustible..

El motor de apogeo LAM emplea válvulas de doble embobinado con dispositivos de manejo de válvulas dedicados y separados los que le añade confiabilidad a éste. En el caso de que el motor de apogeo LAM falle, el encendido de los impulsores axiales permitirán la inyección de combustible del satélite en el apogeo con medida de respaldo ya que normalmente se realiza usando un solo impulsor de 22 N.

El impulsor LAM y los 16 impulsores eléctricos son usados para realizar las maniobras en órbita de transferencia, control de orientación y mantenimiento en estación (órbita geoestacionaria) que se requieren para cumplir la misión del satélite, los impulsores están contruidos de titanio y distribuidos como se describe a continuación: cuatro axiales localizados en la cara posterior del satélite, cuatro en la cara norte, cuatro en la cara este y cuatro en la cara oeste. Entre otros componentes adicionales se encuentran doce válvulas para activarse mediante detonación, 9 filtros, sensores de temperatura y calentadores.

Este subsistema genera datos de telemetría que proporcionan los sensores de Temperatura localizados en los impulsores eléctricos, en los tanques, en los transductores de presión de alta resolución y en algunas líneas de distribución de combustible de propulsión, así como el estado de todas las válvulas (abiertas o cerradas), la presión de los tanques de combustible, de oxidante y de helio; el tiempo de encendido y conteo de pulsos de los impulsores (a través del procesador de control a bordo del satélite). Entre los comandos de control para este subsistema esta el de encendido del calentador del moto de apogeo LAM y el control para abrir o cerrar las válvulas, además se dispone también de una lista de telemetría y comandos.

El sistema con bipripegol es usado para optimizar todas las fases de la misión del satélite y maximizar su vida. La función principal del motor de apogeo LAM de 550 lbs es la de proveer el incremento de velocidad en el apogeo para llevar al satélite de la órbita de transferencia a la órbita geoestacionaria. Una vez que el satélite se encuentra listo para trabajar en estación (órbita geoestacionaria), el combustible de propulsión se aísla del motor de apogeo LAM al cerrar las válvulas de detonación que se encontraban normalmente abiertas, las cuales se localizan inmediatamente arriba del motor LAM.

Los 16 impulsores eléctricos son usados para controlar la razón de giro y la orientación del satélite durante la órbita de transferencia. Si se requiere encender el motor en el perigeo se cuenta con un control activo de mutación de los impulsores, y una vez en la órbita geoestacionaria los impulsores eléctricos de 22N se utilizan para realizar todas las maniobras de control de orientación.

Estos impulsores eléctricos proporcionan la redundancia necesaria para cumplir con las necesidades de control en todas las fases de la misión en el caso de que alguna fallara. Los cuatro impulsores montados sobre la cara norte proporcionan el incremento de velocidad requerido en la maniobra Norte-Sur (N-S) para el mantenimiento en estación del satélite; cuatro impulsores montados en el lado este y cuatro en el lado oeste proporcionan los incrementos de velocidad para la maniobra Este-Oeste (E-O). Los impulsores de 22 N operan por inyección de propegol a alta velocidad (nueva tecnología) mediante potencia eléctrica, es decir que si se suministra eficientemente propegol y potencia eléctrica, entonces esto se obtiene flujo a alta velocidad.

IV.4.2 MANIOBRAS DE CONTROL EN ESTACIÓN

Durante las operaciones en estación, se realiza un ciclo de maniobras para mantenimiento en órbita geostacionaria cada 14 días. Este ciclo inicia con una maniobra Norte-Sur en el nodo ascendente para corregir la inclinación de la órbita; después de realizar esta maniobra, se tienen entre 24 y 48 horas (dependiendo del tiempo necesario para determinar la órbita, la hora y el día), para realizar una maniobra Este (u Oeste) a las 6:00 a.m. ó a las 6:00 p.m. tiempo local del satélite seguida de una maniobra Oeste (ó Este) 12 horas después. Las maniobras Este-Oeste se utilizan para corregir el corrimiento longitudinal del satélite y la excentricidad de la órbita. También como parte de estas operaciones de control en estación están las mediciones de combustible, aunque estas operaciones no modifican la posición de la órbita.

Las maniobras para control en órbita geostacionaria del satélite en la banda Ka se describen a continuación:

IV.4.2.1 Maniobra Norte - Sur

La maniobra Norte-Sur se realiza disparando un par alternado de impulsores de la cara Norte. La elección del par de impulsores a utilizar para la ejecución de la maniobra depende de la posición del arreglo de paneles solares, y la elección del par de tanques de combustible y oxidante usados, se realiza de acuerdo a una tabla en la cual están programadas las operaciones de represurización, debido a las cuestiones de balanceo y razón de mezcla. Nominalmente uno de los impulsores se disparará en estado estable o continuo, mientras que el impulsor opuesto se disparará en modo pulsado; el resto de los impulsores podrá trabajar en pequeños pulsos para mantener la orientación y para compensar los momentos de giro no deseados con respecto al centro de masa del satélite.

Esta maniobra se realiza cada 14 días y se conoce como *Maniobra de Inclinación* debido a que la órbita del satélite se inclina con respecto al plano del Ecuador a consecuencia de las perturbaciones ocasionadas por la fuerza de atracción del Sol y de la Luna. Además la cantidad de combustible que emplea para esta maniobra depende de la época del año en que se realiza y es 1.2 Kg. aproximadamente.

IV.4.2.2 Maniobra Este - Oeste

Las maniobras Este-Oeste son usadas para corregir la deriva en longitud del satélite debido a que la tierra no es una esfera uniforme y además a la excentricidad de la órbita debido a la fuerza de radiación solar. Una maniobra Este-Oeste completa consta de dos maniobras, la primera proporciona un incremento de velocidad hacia el Este y la segunda proporciona un incremento de velocidad hacia el Oeste; la elección de cual de estas maniobras se realiza primero depende de la posición longitudinal del satélite en la órbita y del efecto de la maniobra anterior de inclinación, sin embargo las dos partes de esta maniobra están siempre separadas alrededor de 12 horas. Para realizar esta maniobra existen cuatro impulsores Este y cuatro Oeste con impulsores de respaldo en el caso de que alguno de estos fallara. Para mantener la orientación del satélite, el resto de los impulsores se puede disparar en pequeños pulsos de acuerdo a la información de los sensores. La cantidad de combustible que se usa para una maniobra Este-Oeste depende de la época del año y es aproximadamente de 30 gramos.

IV.4.3 Reducción de Residuos (Control en Relación a la Mezcla)

Después de combinarse el volumen de combustible de los tanques y el oxidante se obtiene la primer serie de mediciones en el sistema, con esta información se puede determinar el desempeño del motor de apogeo LAM y la relación de mezcla. Las cantidades relativas del combustible y oxidante junto con los datos de la relación de la mezcla que se obtienen de las pruebas de aceptación y las condiciones térmicas observadas, pueden ser usados para determinar la relación de mezcla requerida, para minimizar los residuos.

IV.4.4 Mediciones de Combustible

La estrategia de medición de combustible consiste en la utilización de un modelo matemático que estima la cantidad restante de estos, usando los datos enviados por telemetría de las presiones y temperaturas de los tanques; el proceso proporciona una medición del combustible remanente con una exactitud de ± 1 mes en los primeros cinco años de vida del satélite. Este sistema permite también la represurización individual de los tanque de combustible, lo que permite tener un control en la razón de la mezcla con el fin de reducir los residuos causados por variaciones en la relación de la mezcla.

Adicionalmente a las operaciones de control ya mencionadas, el subsistema de propulsión permite realizar actividades de represurización, así como la maniobra para reubicación del satélite.

IV.4.5 Operaciones de Represurización

Durante un proceso de represurización se presuriza uno de los tanques de combustible de propulsión a 34 KPa, vigilando los valores de presión y temperatura de los demás tanques y después se calcula el cambio en la presión y el combustible de propulsión remanente en el tanque. Durante la vida útil del satélite, cada tanque se presuriza una sola vez a la mitad del ciclo de vida del satélite.

Seguida a las operaciones en la fase de ascenso, una vez que la presión del tanque de helio ha alcanzado 600 psi, el regulador del sistema será aislado por medio de las válvulas de detonación, entonces el sistema de represurización se habilita. El propósito del sistema de represurización es añadir de manera controlada pequeñas cantidades de Helio dentro de los tanque de combustible. Este proceso se realizará una sola vez durante la vida del satélite a la mitad de su ciclo de acuerdo a las mediciones de telemetría.

IV.4.6 Maniobra para Reubicación del Satélite

Cuando se requiere realizar una maniobra de cambio de posición orbital durante la vida de misión, se realiza *la maniobra de cambio de estación*, la cual es análoga a una estación Este-Oeste larga que permite mover al satélite hacia otra posición orbital. Para llevarla a acabo se utiliza un par de impulsores ya sea de Este u Oeste para iniciar la deriva (dependiendo de la dirección de la deriva que lo necesite), y con un par de impulsores opuesto se detiene este movimiento.

IV.4.7 Resumen de Características del Subsistema de Propulsión

DISEÑO	Sistema Hidráulico con empuje redundante y cuatro tanques de combustible.
PROPULSIÓN	150 lbs (LAM)
EMPUJE (Impulsores eléctricos)	16 tanques de 22 N
ESTACIÓN DE GUARDA	+ 0.05°

TABLA IV.4 Características del Subsistema de Propulsión.

IV.5 SUBSISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA

IV.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES:

El subsistema de potencia eléctrica (EPS) realiza principalmente: la generación, almacenamiento y distribución de la energía eléctrica requerida para el buen funcionamiento de todos los subsistemas del satélite durante todas las fases de la misión. El diseño cuenta con un arreglo de celdas solares de Arsenuro de Galio sobre las dos alas solares, las cuales generan la energía eléctrica durante la operación con luz de Sol y son consideradas como la fuente primaria de energía del satélite. La fuente secundaria esta representada por 2 baterías de Níquel-Hidrógeno de 19 celdas cada una, estas almacenan energía y la proporcionan a la línea de distribución de energía (bus) durante los eclipses, así como también soportan un mayor número de ciclos de carga / descarga. La conmutación entre estas fuentes de energía eléctrica es automática, en el momento que se detecte un nivel bajo de voltaje en la operación.

Para que este subsistema satisfaga las necesidades de energía requeridas por el satélite durante todas las fases de prueba en Tierra, lanzamiento, pruebas en órbita y su vida útil, así como para realizar el suministro de energía hacia todos los subsistemas de satélite, utiliza unidades electrónicas para distribución y control, y dos fuentes de energía eléctrica, como son: el arreglo solar y la batería que se describen a continuación.

IV.5.2 ARREGLO SOLAR

El arreglo solar consiste de dos alas solares desplegadas (Ver Fig. IV.8), que se extienden una sobre la cara Norte y otra sobre la cara Sur del satélite; las alas están cubiertas de celdas solares de Arsenuro de Galio y se sujetan al cuerpo del satélite a través de los mecanismos de la unidad especial para manejo llamada *motor de ala solar* (SWD), la cual se hace rotar una vez al día para rastrear al Sol y también se encarga de la transmisión de energía a través de una interface rotatoria (anillos deslizables). Cada ala solar está compuesta por dos paneles que tienen en su interior una estructura de aluminio, una cubierta delgada, un yugo (yoke), un limitador de voltaje de la línea de distribución (BVL) y un actuador de ala solar (SWA). Cada limitador de voltaje de la línea de distribución se emplea para regular el voltaje del arreglo solar y se encuentra montado sobre el yugo de grafito, el cual conecta mecánicamente los paneles con el actuador del panel solar (SWA). Cada panel solar mide 46.9' punta a punta y esta dividido en ocho circuitos eléctricos de celdas solares de Arsenuro de Galio, donde cada circuito consiste aproximadamente del mismo número de celdas, es decir 143 celdas solares interconectadas en serie.

Para proteger los paneles solares contra posibles daños causados por sombra durante el despliegue de las alas solares, en la parte de atrás de cada panel están montados dos diodos en serie conectados eléctricamente con cada grupo o cadena de celdas; una vez que las alas solares han sido desplegadas no se presenta esta sombra.

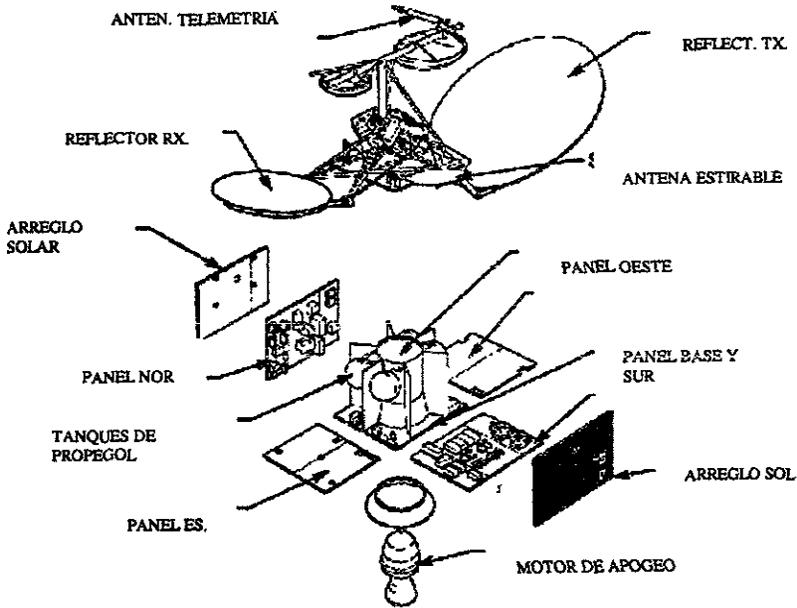


Fig. IV.8 Diagrama modular de los Satélites en Banda Ka

El ensamblado de las celdas solares contiene una interconexión de plata de 0.025 mm. La cual está soldada a un contacto sobre el lado frontal de la celda solar y en la parte posterior está soldada a otro contacto de la siguiente celda; por lo que las celdas son diodos polarizados en inversa y de esta manera el campo eléctrico que evita el flujo de corriente a través del diodo, produce corriente cuando la luz (fotones) causa una separación en los electrones excitándolos. Asimismo aproximadamente 144 celdas en serie (circuitos de celdas) proporcionan voltaje y 48 circuitos en paralelo proporcionan corriente. La potencia eléctrica máxima disponible del arreglo solar presenta degradación a lo largo de la vida útil del satélite debido a que está expuesto intensamente a la radiación. La eficiencia en las celdas solares de Arsenuro de Galio al inicio de la vida del satélite es de aproximadamente. 22.3 %.

IV.5.3 BATERÍA

Una batería de Níquel-Hidrogeno proporciona energía a las cargas del satélite a través de las unidades de descarga de batería. Esta batería está compuesta dos paquetes, los cuales están montados uno en cada esquina de la cara posterior del satélite. La batería tiene una capacidad de 160 Amper-hora. Cada paquete mide aproximadamente 28 cm. de alto por 55 cm. de largo.

Las celdas están montadas sobre un chasis de aluminio maquilado, el cual está sujeto al panel de la plataforma con soportes de aluminio esto indica que las celdas están aisladas eléctricamente del chasis y éste está aislado de los soportes. Las celdas dentro del paquete tienen una cubierta de aluminio. Por la parte exterior, una de las caras del paquete está cubierta con espejos radiadores de calor, mientras que los otros lados tienen sábanas térmicas para que con la ayuda de los dos controladores de calor (termostato electrónico) y los calentadores, se regule la temperatura del paquete.

La telemetría que se requiere para el manejo de la batería la proporciona el subsistema de potencia eléctrica, ya sea directamente de la batería o, a través de las unidades electrónicas de potencia. La información de telemetría incluye el voltaje de la batería, las presiones y temperaturas de los cuatro paquetes de celdas y la corriente de carga y descarga, entre otros. En el caso de que los dos paquetes de celdas del lado Norte o Sur, ó ambos simultáneamente presenten un estado de sobre temperatura, la unidad de control de descarga de batería generará una señal que evita que la batería se cargue, hasta que los paquetes se enfríen o hasta que dicha señal se inhiba por comando de Tierra.

Cada celda de Níquel-Hidrogeno consiste de un conjunto de electrodos positivos y negativos, los cuales almacenan y liberan la energía por medio de una reacción electroquímica reversible. El electrodo positivo es el níquel y el electrodo negativo es el Hidrogeno.

Durante los eclipses, la batería se descarga a través de las unidades de descarga para soportar las cargas del satélite. Cuando la línea de distribución de energía está cargada a su totalidad, la corriente promedio de descarga de la batería es aproximadamente 92 Amperes. Después de cada eclipse, la batería se descarga a una razón de 8 Amperes a través de las unidades de control de carga. Asimismo, una vez que la batería está completamente cargada, se sitúa en una carga lenta llamada *trickle* a 0.8 Amperes hasta el siguiente eclipse. Entre un eclipse y otro, la batería se puede mantener en circuito abierto con cargas periódicas en top-off ó usando carga lenta continua (*trickle*).

IV.5.4 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

Durante las operaciones con la luz del sol, el voltaje de la línea de distribución se regula mediante dos limitadores de voltaje conmutables montados uno en cada ala solar; éstas unidades regulan el voltaje del bus al derivar el exceso de corriente en el arreglo solar. El subsistema cuenta con dos controladores internos para descarga de las baterías, los cuales proporcionan automáticamente la energía regulada de la batería hacia el bus durante eclipses; además también se requiere de éstas unidades para aumentar la energía de los paneles solares.

Las salidas de los paneles solares y de las unidades controladoras de descarga de batería están interconectadas a través de dos unidades de distribución de energía, con objeto de formar una sola línea de distribución (bus). Cada unidad de distribución de energía proporciona la corriente de carga que es enviada por telemetría, lo cual permite conocer y controlar el estado del satélite.

El manejo de la carga de la batería es controlado automáticamente por el procesador de control a bordo del satélite llamado SCP; cuando éste comanda al controlador redundante de carga de batería para que proporcione una corriente de carga apropiada. La unidad de carga de batería le proporciona al procesador de control a bordo del satélite SCP vía telemetría los valores de la presión de las celdas de la batería, con objeto de medir el estado de carga de la batería y determinar la razón de carga apropiada.

IV.5.5 CONFIGURACIÓN Y OPERACIÓN DURANTE LA ÓRBITA DE TRANSFERENCIA

Durante esta etapa las dos alas solares están desplegadas sobre las caras Norte y Sur del satélite, en donde solamente el panel solar de afuera en cada ala está expuesto. El satélite está girando alrededor del eje Z, lo cual origina que la potencia de salida del arreglo solar varíe como una señal senoidal rectificada. En esta configuración el arreglo solar produce solo una fracción de la potencia que es capaz de suministrar cuando los paneles están desplegados, sin embargo como la carga útil de comunicaciones no está operando en órbita de transferencia, la potencia total que se requiere es muy pequeña.

Durante cada ciclo de giro del satélite el arreglo solar produce potencia en exceso comparada con lo requerimientos de carga; este exceso de potencia es usado para cargar la batería. Durante los periodos de giro se presenta el caso en el que los paneles solares no tienen el área de captación directa al sol, por lo que el arreglo solar no puede soportar las cargas conectadas a la línea de distribución; es entonces cuando la batería proporciona a la línea de distribución automáticamente a través de las unidades de control de descarga de la batería. Para la órbita de transferencia la unidad de control de carga de la batería se configura a un modo de carga llamado top-off, el cual consiste en dos niveles de carga: el nivel alto tiene la capacidad de 13 Amperes y el nivel bajo de cero amperes o sin carga. De manera que durante los periodos de capacitación solar en órbita de transferencia, la batería se está cargando y descargando alternamente dos veces por cada giro. Durante los eclipses en órbita de transferencia la batería proporciona toda la energía eléctrica requerida por las cargas conectadas a la línea de distribución.

IV.5.6 ÓRBITA GEOESTACIONARIA (configuración y operación en la estación)

Una vez que el satélite se encuentra en estación y con alas solares ya desplegadas, el subsistema de potencia eléctrica se configura a su capacidad total. El arreglo solar proporciona la energía para todas las cargas del satélite durante las operaciones con luz del sol, mientras que la batería está diseñada para soportar la operación total de la carga útil durante eclipses. Entre las operaciones en órbita se encuentra la operación durante eclipses y las operaciones con luz de Sol; en esta última se tienen tres diferentes modos de operar, que son:

Modos en operación con luz del Sol:

- 1.- Cargar la batería a un nivel de carga alta (high rate) a 8 amperes.
- 2.- A un nivel de carga lenta (Trickle) a 0.8 amperes.
- 3.- Y al estado de ausencia de carga a 0 amperes.

Los cuales sólo pueden ser aplicados cuando no es temporada de eclipses, aunque no es lo adecuado; lo recomendable es mantener la batería a una carga lenta (Trickle) entre las temporadas del eclipse, es decir cuando hay captación solar.

IV.5.6.1 Operación con Luz de Sol

Durante la operación con luz de Sol, el arreglo solar proporciona la energía del satélite como fuente primaria convirtiendo la radiación solar con potencia eléctrica. Cada una de las alas solares está formada por dos paneles cubiertos con celdas solares de Arsenuro de Galio. Hay un limitador de voltaje de la línea de distribución, el cual regula el voltaje producido por las alas solares tirando el exceso de potencia; estas unidades están montadas sobre cada ala solar. Las alas solares giran para rastrear al Sol por medio de su unidad especial de manejo llamada control de ala solar, las cuales a su vez son controladas por el procesador de control a bordo del satélite SCP. Los dispositivos de manejo de las alas tienen anillos deslizables para transferir la energía eléctrica de las alas solares hacia el cuerpo del satélite.

Las unidades controladoras de descarga de la batería verifican continuamente el voltaje de la línea de distribución; éstas generan una señal de control que hace que se reduzca la corriente de carga de la batería si no existe suficiente potencia del arreglo solar para soportar la carga seleccionada. Si al reducir la corriente de carga de la batería no se produce suficiente potencia para soportar las cargas conectadas a la línea de distribución, entonces las unidades de descarga de la batería proporcionarán potencia de la batería como se requiera.

La unidad de control de carga de la batería utiliza la potencia del arreglo solar para cargar la batería al seleccionar una de las tres opciones de carga comandables; el procesador de control SCP configura automáticamente a la unidad de carga de batería para una razón de carga apropiada con objeto de recargar la batería según se requiera, basándose de los datos de presión de las celdas de la batería.

La batería nominalmente se recarga después de un periodo de eclipses, hasta que alcance un 95 % del estado de carga medio de acuerdo a los datos de telemetría de la presión de las celdas, de ahí en adelante se sitúa a una carga de Tricke hasta la descarga en el siguiente eclipse. Entre las temporadas de eclipse la batería puede estar en circuito abierto y ser cargada periódicamente para mantener un estado de carga de entre 50 y 60 %.

IV.5.6.2 Operación Durante Eclipse

Para todos los satélites geoestacionarios cada año se presenta dos temporadas de eclipses de 46 días, esto sucede en primavera y otoño al quedar alineados el Sol, la Tierra y el satélite por lo que la sombra de la Tierra no le permite al satélite captar la energía del sol. En estas temporadas cada 24 hrs. Se presenta un eclipse de capacidad variable.

Durante la operación del satélite en eclipse, la potencia de la línea de distribución es suministrada por la batería de Níquel-Hidrogeno de 19 celdas a través de las dos unidades de descarga de batería. La batería tiene una capacidad de 160 ampere-hora y un nivel máximo de descarga de 70% si ha fallado una celda. Las unidades de carga de batería controlan el aumento de voltaje de una batería, así como también el suministro de la energía regulada a la línea de distribución.

Estas unidades comparten la corriente de descarga equitativamente al proporcionar una carga térmicamente balanceada y predecible para que sea utilizada por el subsistema de control térmico. Cada unidad es inmediatamente redundante y opera en el modo de espera redundante (standby).

IV.5.7 Actuador Redundante de Ala Solar (ASWA) y Torque Magnético (MT)

La unidad que controla la bobina de torque magnético (MT) y el actuador ajustable (ASWA) realiza dos funciones:

- Proporcionar energía a la bobina de torque magnético.
- Con los dos motores de paso ajusta las alas solares Norte y Sur.

Estas dos funciones se usan para compensar las perturbaciones que afectan la orientación (apuntamiento) del satélite. Cuando se suministra energía a la bobina de torque se crea un campo magnético el cual interactúa con el campo magnético de la Tierra para proporcionar un *momento*, por lo que la unidad de control de MT/ASWA tiene la capacidad de invertir la polaridad de la corriente en la bobina de torque magnético.

El circuito de control de torque magnético es parte de la unidad de control del MT/ASWA y sirve para manejar la bobina de torque magnético, por lo que durante la operación en órbita, esta unidad energiza la bobina dos veces al día; quedando encendida por varias horas alrededor de la media noche y medio día; para esto, se aplica un voltaje de la línea de distribución una vez con polaridad negativa y otra con polaridad positiva. Esta bobina se desenergiza durante un eclipse y se controla ya sea por comandos de tierra o por el procesador a bordo del satélite (SCP).

El actuador ajustable de ala solar (ASWA) despliega los paneles solares durante la transición de la órbita de transferencia a la operación en estación del satélite, que consiste en una carcasa externa rellena de aceite para amortiguamiento y una flecha que se desliza en el centro, moviéndose a través del fluido mientras gira.

Además utiliza un dispositivo para compensar los cambios de presión que se presentan en el fluido debido a los cambios de temperatura, por lo que al incrementar la temperatura, el pistón se empuja hacia atrás y el fluido llena el cilindro. El actuador ASWA está montado directamente con el motor de ala solar SWD y se controla mediante comandos de su unidad de control. El sistema ASWA contiene dos motores de paso (no redundantes) uno para mover el motor ASWA de la ala sur y norte; cada motor puede ser comandado directamente por la unidad CDU y esta energizado con líneas de distribución independientes.

Al inicio de la vida útil de este satélite se ajustará el ángulo ASWA de cada ala para minimizar el torque y no se volverá a ajustar a menos que efectos significantes en alguna temporada del año cambien el momento o se requiera potencia adicional en el arreglo solar.

IV.5.8 Resumen de Características del Subsistema de Potencia Eléctrica

POTENCIA DEL ARREGLO SOLAR	3370 Watts (16 años)
FABRICADO	Arsenuro de Galio
SISTEMA DE BATERÍA	2 baterías NiH de 19 AH (celdas) cada una.
BUS DE POTENCIA	35.5(+0.5) Volts con arreglos completos de iluminación.

TABLA IV.5 Características del Subsistema de Potencia Eléctrica

IV.6 SUBSISTEMA ESTRUCTURAL Y TÉRMICO

IV.6.1 CARACTERISTICAS GENERALES

El Subsistema de Control Térmico (SCT) garantiza que todos los componentes o unidades de los diferentes subsistemas se mantengan dentro de un rango determinado de temperatura, desde la etapa de prelanzamiento hasta el fin de la vida útil del satélite, incluyendo las etapas de eclipse de Sol y Luna, equinoccios y solsticios etc. Aún con la degradación de los dispositivos de control térmico (causada por la absorción solar, las descargas electrostáticas durante el calentamiento del motor de apogeo) y con cualquier número de portadoras o canales activos, los subsistemas deberán mantener la temperatura adecuada.

El control térmico se realiza principalmente por medio de dispositivos pasivos como radiadores, disipadores térmicos y sabanas térmicas; también se utilizan calentadores y tubos de transferencia de calor (pipas), además de un número adecuado de sensores de temperatura (36 para el subsistema de comunicaciones y 29 para la plataforma del satélite) se verifica vía telemetría el estado térmico del satélite.

El control térmico normal en el satélite no requiere operaciones de control desde la Tierra, excepto cuando se habilitan calentadores seleccionados en alguna temporada. Las unidades de comunicaciones de alta disipación de calor están montadas en la cara interna de los paneles Norte y Sur, por lo que el calor es radiado directamente al espacio proporcionando la transferencia de energía deseada. Estos paneles radiadores están equipados con tubos de transferencia de calor que permiten un balance térmico (isotérmico) al transportar calor hacia las áreas de alta disipación y llevarlo a las áreas de baja disipación.

El subsistema de Control Térmico esta formado por los siguientes elementos: Espejos, Tubos de transferencia de Calor, Sabanas Térmicas, Disipadores Térmicos, Sensores de Temperatura, Termostato Electrónico, Termostato Bimetálico y Calentadores.

IV.6.1.1 Espejos

Los espejos, están fabricados con una mezcla de plata y cuarzo, estos son usados como radiadores térmicos debido a la baja absorción solar y a la alta capacidad para rechazar calor; están colocados en los paneles Norte y Sur del satélite y en los paquetes de celdas de la batería. Cada radiador esta cubierto de óxido de Iridio para proporcionar suficiente conductividad eléctrica evitando la formación de carga de plasma espacial en el satélite, además de añadir Níquel sobre los bordes del espejo para mantener las caras anterior y posterior al mismo potencial. Los espejos son la vía principal de rechazo de calor y están formados de sustrato de Aluminio con un adhesivo de Arsenuro de Galio.

IV.6.1.2 Tubos de Transferencia de Calor

Estos tubos (PIPAS) son elementos que permiten la evaporación y condensación de un fluido volátil (Amoniaco) para trasladar la energía térmica. El calor de la evaporación, absorbido en un extremo del tubo se libera cuando el gas se condensa en el extremo más frío, entonces el fluido regresa al extremo caliente por la acción capilar a lo largo de las paredes axialmente ranuradas del tubo. Los tubos de transferencia de calor permiten la disipación térmica uniforme y proporcionan alta eficiencia en el rechazo de calor; al mismo tiempo minimizan el gradiente de temperatura de radiador; además por su confiabilidad están incrustados en los radiadores de aluminio, lo que permite realizar pruebas.

IV.6.1.3 Sabanas Térmicas

Las llamadas sabanas térmicas (o cubiertas) están formadas de una capa de material especial (seleccionado por sus propiedades térmicas como Carbón relleno de Kapton) con capas internas de Aluminio. El número de capas internas está en función de su aplicación. La tasa de transferencia de energía a través de éstas sabanas de aislamiento multicapa depende de la eficiencia de cada una de las capas y la absorción de la capa adyacente superior. Se emplea un soporte en el borde de la sabana para detener los extremos de ella y para minimizar la gasificación de contaminantes que deterioran el buen desempeño del radiador térmico. Una sabana (o cubierta) posterior se despliega en la órbita de transferencia después de la separación del vehículo de lanzamiento, pero antes de encender el motor de apogeo líquido (LAM). Esta capa cubre el anillo de separación posterior y minimiza el flujo de calor dentro y fuera del satélite durante el encendido de LAM y durante las operaciones de órbita geoestacionaria.

IV.6.1.4 Disipadores Térmicos

Los disipadores térmicos son bases de Aluminio montadas abajo de las unidades electrónicas de alta potencia para proporcionar conducción lateral al área donde el calor es radiado hacia el ambiente. Los disipadores ayudan a disminuir la temperatura de las unidades montadas para garantizar la operación dentro de los límites de temperatura ya definidos.

IV.6.1.5 Sensores de Temperatura

Los sensores de temperatura monitorean las temperaturas de los componentes críticos del satélite y proporcionan telemetría durante todas las fases de la misión. Todos los sensores de temperatura críticos son redundantes. Los sensores adicionales para pruebas térmicas al vacío son colocados en lugares específicos para ser removidos una vez que la etapa de pruebas finaliza.

IV.6.1.6 Termostato electrónico

Los termostatos electrónicos de estado sólido que controlan los calentadores de Kapton son resistentes a la radiación, están diseñados para soportar un máximo de dos Amperes, contienen una serie de interruptores redundantes para protección contra fallas y además cada interruptor se controla por medio de un termistor independiente. Cuando el termistor enfría (+0.7 °C), el termostato se enciende habilitando el calentador de unidades: los sensores de tierra, las líneas de combustible, los amplificadores de estado sólido SSPA, los inyectores de los impulsores y el LAM, entre otros. Estos termostatos tienen dos modos de operación: MODO DE ESPERA (disipación constante de 0.35 W) y MODO DE ENCENDIDO (la disipación varía con la corriente del calentador).

IV.6.1.7 Termostato Bimetálico

Los termostatos bimetálicos empleados en vehículos espaciales están sellados herméticamente y funcionan como interruptores de un polo un tiro para controlar el encendido de los calentadores de unidades como: batería, mecanismos posicionadores y de despliegue y los multiplexores de salida. Estos interruptores tiene una capacidad funcional de 100,000 ciclos a 1 ampere. En su mayoría los termostatos electrónicos tienen mayor capacidad de ciclos de encendido y apagado que los bimetálicos, pero estos tienen la capacidad de trabajar con corrientes más altas que los electrónicos.

IV.6.1.8 Calentadores

Los calentadores de Kapton son ligeros y de alta confiabilidad, tienen una densidad de potencia máxima de 0.96 W/cm² originando el calentamiento. Los calentadores del subsistema mantienen las condiciones operacionales de las unidades electrónicas para ambientes térmicos de 5 °C abajo de la temperatura esperada.

En la carga útil, el *panel subnadir* divide el satélite en dos secciones, una de alta temperatura y otra de no tan alta temperatura (delantera y posterior respectivamente). Las temperaturas más bajas de la sección posterior son deseables debido a la presencia de los tanques de propelente. Las caras internas de ambas secciones y todas las unidades electrónicas (excepto TWTA) tienen cubierta de alta emitancia para maximizar el acoplamiento térmico con las demás superficies incluyendo el panel radiador opuesto. Las unidades electrónicas están colocadas en distintas regiones térmicas de los paneles de radiación directa (norte y sur); la temperatura de esas zonas concuerda con la temperatura de operación aceptable de las unidades. Las unidades de temperatura crítica están montadas en la parte más fría de la sección posterior.

A continuación se analizará las diferentes características del funcionamiento de este subsistema, tanto en órbita de transferencia como en órbita geoestacionaria y de como se realiza el control térmico en cada una de ellas.

IV.6.2 ORBITA DE TRANSFERENCIA

En la órbita de transferencia, la disipación térmica interna se limita principalmente por la energía disipada por las unidades del subsistema de Telemetría, Comando y Rango y por las unidades electrónicas de control de orientación. Debido a que los paneles solares y las antenas reflectoras están desplegadas durante la órbita de transferencia, las dos terceras partes de las caras Este y Oeste del satélite están bloqueadas por los reflectores mientras que los paneles solares cubren los radiadores Norte y Sur. Esta configuración mantiene un ambiente deseable para el satélite y la batería.

Durante el despliegue del arreglo solar, el satélite gira 1/3 r.p.m.: una vez que los paneles solares son desplegados, los radiadores de calor localizados sobre las caras Norte y Sur del satélite se encuentran expuestos y los calentadores se energizan para mantener dichas caras dentro de los límites de operación. Una vez desplegados los paneles, el satélite iniciará una secuencia de movimiento para poner al arreglo solar perpendicular a la línea del Sol, este procedimiento de operación dura 30 minutos aproximadamente.

IV.6.3 ÓRBITA GEOESTACIONARIA

En la órbita geoestacionaria la condición ambiental que más afecta la estabilidad térmica del satélite es la variación de la intensidad de la energía solar que incide sobre el satélite, debida a la variación del ángulo de incidencia solar en las diferentes estaciones del año y durante las temporadas de eclipse (equinoccio). Los terminados en las superficies externas y las sabanas térmicas se emplean para aislar secciones del satélite de la energía solar incidente; este diseño resiste la degradación debida a la radiación y contaminación de protones y electrones.

IV.6.4 CONTROL TÉRMICO

Cuando la radiación incide sobre una superficie, una parte de ésta energía se absorbe y la otra se refleja, y si el cuerpo es transparente o translúcido parte de está energía se transmite.

Empleando la Ecuación de Energía tenemos:

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$

donde

α : absorción Representa la fracción de la radiación incidente absorbida por la superficie.

β : reflexión. Representa la fracción de la radiación incidente reflejada por la superficie.

τ : transmisión Representa la fracción de la radiación incidente que se transmite a través de la superficie.

Las magnitudes relativas α , β y τ dependen de las propiedades del material, la temperatura, geometría y de la longitud de onda de la radiación.

Los requerimientos térmicos en el interior del satélite impactan directamente en la selección de los materiales de la superficie y en los acabados. Por esta razón el control de la temperatura se lleva a cabo por medio del uso de sabanas térmicas multicapa, termostatos, pipas de calor, radiadores disipadores y calentadores (arriba descritos) para el control térmico. Sin embargo todas las estructuras internas tienen una superficie de alta emitancia en infrarrojos que promueven el intercambio de radiación. Las superficies principales de radiación están ubicadas sobre las caras que tienen mínima exposición al sol (caras Norte y Sur) con el propósito de minimizar la absorción de energía solar, maximizando la liberación de energía térmica.

La posible estructura básica del satélite en banda Ka se define por las siguientes dimensiones: 203 cm. de longitud, 213 cm. de ancho y 75 cm. de profundidad, el montaje de las antenas será de 294 cm. de altura y 76 cm de ancho y el arreglo solar medirá aproximadamente 119 cm. de punta a punta. Es importante resaltar que estas dimensiones pueden variar dependiendo del tamaño de los elementos una vez que se decida implementar un diseño similar al estudiado en este trabajo. Además estas dimensiones se proponen con base en estructuras satelitales existentes en banda Ka.

IV.6.5 Resumen de Características del Subsistema Estructural y Térmico

ESTRUCTURA	Longitud: 80"(203 cm); Ancho: 84"(213 cm.); Profundidad: 75"(190 cm.)
ARREGLO SOLAR	con unión, 46.9"(119.13 cm.)punta a punta
MONTAJE DE ANTENA	Altura: 116"(294.6 cm) sobre el panel de antena; ancho: 29.9"(76.2 cm.) desplegado.
CONTROL TERMICO:	Control de Temperatura Pasivo: Sabanas Térmicas y mantas. Control de Temperatura Activo: Controladores y Calentadores en estado Solido.

TABLA IV.6 Características del Subsistema Estructural y Térmico

IV.7 SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACIÓN

IV.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El Subsistema de Control de Orientación ACS detecta la orientación del satélite y proporciona el control del mismo garantizando el cumplimiento de todos los requerimientos de desempeño, ya que proporciona el control de: sensores, actuadores y la electrónica de procesamiento para todas las fases de la misión; la cual incluye:

- Fase de ascenso estabilizada por giro y desgiro
- Adquisición de Tierra
- y Fase operacional de estabilización tríaixial

Esta última con el concepto de control de momento. El desempeño del satélite debe mantenerse durante los períodos de interferencia en los sensores por el Sol y/o la Luna, así como también durante el encendido de los impulsores, el movimiento de antenas, paneles solares y el accionamiento de válvulas entre otros.

El subsistema de control de orientación (ACS) cumple con la siguientes funciones:

- Proporcionar datos a las estaciones Terrenas de los sensores de orientación y de los actuadores mediante el subsistema de telemetría, permitiendo determinar la orientación del satélite en los tres ejes.
- Proporcionar el control de orientación y la estabilización del eje de impulso del motor de apogeo para alcanzar la órbita de deriva requerida.
- Proporcionar el control de orientación y estabilización durante la transición entre la configuración preoperacional y operacional, incluyendo la adquisición de la orientación de operación nominal en estación (órbita geoestacionaria), además de controlar los despliegues mecánicos y el apuntamiento de sus antenas hacia la Tierra.
- Proporcionar el control de orientación y estabilización durante periodos de interferencia de Sol y Luna o bajo cualquier perturbación externa, como los eventos de flujo de electrones o protones y rayos cósmicos, o perturbaciones de origen interno como: *encendido de impulsores, movimiento de antenas etc.*
- Mantener la dirección de apuntamiento de las antenas en órbita geoestacionaria, para garantizar el desempeño de los parámetros del subsistema de comunicaciones.
- Medir y controlar la orientación de los paneles solares con respecto al Sol para cumplir con los requerimientos de energía eléctrica del satélite.

El subsistema de Control de Orientación incorpora un alto grado de autonomía operacional, funciones de autoverificación, modos de detección de fallas y acciones correctivas.

En operación normal, el ACS controla al satélite y mantiene dichas operaciones por un periodo de tiempo sin la intervención de la estación de control Terrena. La parte fundamental del ACS es el procesador de control a bordo del satélite (SCP), formado básicamente por dispositivos eléctricos y electromecánicos de entrada y salida, para la estabilización y la orientación de la nave. Todas las funciones de control desde la órbita de transferencia hasta la órbita operacional están implantadas en los programas lógicos de vuelo (software). Los sensores de Tierra y de Sol se usan en órbita de transferencia para recolectar datos de la orientación de la nave los cuales son procesados por la estación de control para determinar la orientación del eje de giro, los impulsores se comandan desde Tierra para realizar maniobras de orientación del eje de giro y para encendidos en el apogeo. Las maniobras de adquisición de tierra y de sol emplean la detección de las velocidades angulares en los tres ejes por medio de los giroscopios, así como los sensores de Sol y los de Tierra estático. En operación normal, *el sensor de Tierra estático* de dos ejes mide la orientación en los ejes de alabeo (roll) y cabeceo (pitch).

IV.7.2 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SCP

Las funciones principales del SCP (Procesador de Control del Satélite) son:

1. Procesamiento de datos de Orientación

- Sensar tiempo de inicio
- Determinación de la Orientación

2. Control de Orientación:

- Giro durante órbita de Transferencia
- Incremento de Perigeo.
- Adquisición de Sol / Tierra
- Mantenimiento de Órbita Geoestacionaria (stationkeeping)
- Rastreo de Señal beacon.

3. Control de Posición de

- Dos posicionadores del reflector (2 ejes)
- Dos alas solares
- Dos Plataformas de las ruedas de momento.

4. Manejo Autónomo del Satélite

- Manejo de Carga Útil.
- Manejo de carga y descarga de batería.
- Detección de fallas y recuperación autónoma de ACS.
- Dispositivos electromecánicos para la definición de modos.
- Control de propulsión.

5. Conmutación a bordo

- Métodos de Acceso
- OSBS / TDMA (Conmutación a Bordo en Banda Base)
- SS / TDMA (Matriz de Conmutación de FI)
- Regeneración de Señal a Bordo
- Evita redundancia y pérdida de información

El SCP procesa los datos analógicos y digitales de los sensores a través de los dispositivos de entrada y salida de éstos, los cuales trabajan en conjunto con el convertidor analógico/digital (A/D). El sensor de Tierra estático le envía al SCP señales de detección digital, las cuales son procesadas como referencia inicial en roll y pitch en modo de *operación normal*; estas señales son también la referencia inicial para los modos de apuntamiento de Tierra y de amortiguamiento de momento y son una referencia secundaria para los modos de operación de mantenimiento en estación y transición. Los giroscopios que en forma digital integran la razón de cambio de la posición angular (unidad de referencia inercial), sensan las velocidades en los tres ejes del satélite; esta información se le envía al SCP para mantener el apuntamiento durante las maniobras de control en estación; además, esta información es de ayuda durante las adquisiciones y posicionamiento de la antena (modos de mantenimiento en estación, transición, apuntamiento de Sol, apuntamiento de Tierra y apuntamiento con giroscopio).

Los dispositivos de procesamiento de entrada y salida de los actuadores sirven como interface entre el software grabado en el SCP y los actuadores del subsistema al intercambiar los datos a señales de control en tiempo real.

El SCP controla 16 impulsores eléctricos de 22 N y uno de 550 lbf proporcionando señales a los dispositivos de manejo de válvulas, que pertenecen al subsistema de Telemetría Comando y Rango. El SCP controla el momento del satélite al proporcionar comandos de manejo y ensamblado de la rueda de momento y del motor de pasos. La velocidad de la rueda se cambia con el comando que esta presente; de esta manera la magnitud del momento angular se modifica conforme se requiera por medio de la acción de los algoritmos de control de orientación del servo de lazo cerrado de control. La plataforma de la rueda controla el posicionamiento de la misma en dos ejes usando tres tornillos especiales, la posición de cada tornillo se monitorea por medio de un potenciómetro, el cual proporciona una señal analógica a la unidad codificadora de telemetría (TEU).

El SCP tiene interfaces directas con los subsistemas siguientes:

- El ACS
- Telemetría, Comando y Rango.
- Propulsión
- Potencia Eléctrica
- Comunicaciones.

IV.7.3 SISTEMA DE COORDENADAS DEL SATÉLITE

En órbita de transferencia la orientación nominal del satélite en configuración plegada es tal que el eje positivo de guiñada (yaw) se encuentra en el mismo plano de la órbita y el satélite gira sobre este eje. En órbita geoestacionaria, la orientación nominal es de tal forma que el eje positivo de alabeo (roll) está en el plano de la órbita coincidiendo con la velocidad orbital del satélite. El eje positivo de alabeo (roll) apunta hacia el Este cuando el satélite es visto desde el zenit. El eje positivo de cabeceo (pitch) es ortogonal al plano de la órbita y apunta hacia el Sur. El eje positivo de guiñada (yaw) está en el plano de la órbita y apunta hacia la centro de la tierra .

Los modos de control del cuerpo del satélite son: espera, ascenso, apuntamiento con giroscopios, apuntamiento de Sol, apuntamiento de Tierra, normal, control en estación y transición.

El cambio entre estos modos, puede hacerse por inicialización en el SCP, por comando desde Tierra o por el sistema de protección de fallas, a través del ascenso directo por comando o por una secuencia de cambio de modo a bordo; esta última es la más usada ya que el SCP tiene almacenadas las secuencias necesarias asociadas a cada modo de control; estas secuencias configuran los mecanismos y sensores para la operación adecuada en el modo seleccionado.

IV.7.3.1 Modo de Ascenso

El modo de Ascenso se utiliza durante las operaciones de ascenso entre la separación del vehículo lanzador y el encendido final del motor LAM que circulariza la órbita geoestacionaria. Estas operaciones son las que se realizan durante la órbita de transferencia e incluyen la determinación de la orientación y el control del satélite mientras gira alrededor del eje yaw, haciendo uso de los datos de los sensores de Tierra y Sol. Cuando el Control de Tierra enciende el SCP, éste inicia el modo de espera (standby); el control de Tierra monitorea la velocidad de giro y comanda una maniobra para girar a la velocidad nominal de 10 rpm mientras el satélite permanezca en órbita de transferencia .

Las maniobras en órbita de transferencia permiten pasar a una configuración estable de giro empleando el motor LAM.

Después de alcanzar la órbita geosíncrona el satélite aún en el modo de ascenso, desgrita a 1.5 rpm por medio de comando desde Tierra; es entonces cuando las dos antenas principales se despliegan; después se comanda al modo de apuntamiento con giroscopios y se usa el lazo de control cerrado para reducir la velocidad de giro en el eje yaw a 1/3 de rpm; en estas condiciones de giro se despliegan los paneles solares con el modo de control en espera (standby). Además se realizan diferentes verificaciones a unidades, se envían comandos para desplegar ambas ruedas de momento y calibrar sus plataformas; es entonces cuando el satélite está listo para la adquisición de Tierra.

IV.7.3.2 Adquisición de Sol

Para iniciar la adquisición de Sol se requiere un comando de Tierra que se obtiene mediante:

- La inicialización de un programa para modo de adquisición Sol/Tierra.
- El comando del modo de control a modo de apuntamiento de Sol

Una vez iniciado este proceso, se verifica que el satélite no esté en eclipse; después configura los sensores y los posicionadores, anula las velocidades angulares al comandar al modo de control de apuntamiento con giroscopios y finalmente ejecuta la adquisición de Sol al comandar al modo de apuntamiento de Sol, el cual encuentra y amarra al Sol.

Posteriormente se genera la presencia de la señal de Sol en el SCP al sumar y detectar los umbrales que provienen de dos celdas. La primer fase, inicia la búsqueda y adquisición de Sol en el eje pitch, lo cual se realiza con la referencia de los giroscopios y el control de los impulsores como actuadores, la búsqueda se termina cuando se observa la presencia de la señal del Sol en el eje pitch, después inicia la fase de búsqueda en el eje yaw. Durante la fase de amarre de Sol, ambos ejes (pitch y roll) están controlados de tal forma que el eje roll permanece apuntando al Sol, la orientación en roll se controla en configuración de razón de cambio de la posición usando la transferencia de los giroscopios y los torques de control los proporcionan los impulsores; después viene la fase de búsqueda de Sol en el eje pitch, que se completa con el amarre de la señal de Sol en los ejes pitch y yaw; ésta es la fase final de adquisición de Sol; la lógica se detiene automáticamente en este punto a menos que se emplee una bandera para continuar con la adquisición de la Tierra.

IV.7.3.3 Adquisición de Tierra

Métodos de Adquisición de Tierra:

- *Automática*: Implantada con lógica a bordo de satélite que consiste de un procesamiento de búsqueda en el eje roll; ésta restringido a realizarse en periodos cercanos a las 6:00 a.m. ó 6:00 p.m.

- *No Automática*: Por medio de comandos desde Tierra usando la referencia de los giroscopios en los tres ejes, puede realizarse a cualquier hora del día excluyendo los intervalos en el que el Sol está dentro de 20° en línea de vista del sensor de Tierra.

El modo de apuntamiento de Tierra emplea los impulsores como actuadores en todas las fases. La primer fase (fase de búsqueda) utiliza las referencias de los giroscopios/Sol (en pitch y yaw), y sólo la referencia de los giroscopios en roll. La búsqueda en roll se logra al comandar automáticamente una velocidad angular en roll para el lazo de control; la fase de captura en el cual el eje de pitch se configura solo a la referencia de giroscopios (similar al eje de roll), por lo que ambos ejes quedan en la configuración con los giroscopios. Cuando la Tierra entra en línea con el campo de vista del sensor se inicia la fase de amarre, en la cual las referencias de los ejes de pitch y roll se conmutan a Tierra/giroscopios usando los datos del sensor de Tierra para obtener la posición y los datos de los giroscopios y así obtener la velocidad. Finalmente en la fase de retención de Tierra, el eje yaw se conmuta solo a la referencia de los giroscopios, operand en una configuración de integración de la velocidad angular; roll y pitch permanecen en la referencia de Tierra/giroscopio . Las mediciones en roll y en pitch del sensor de Tierra se usan para calibrar los giroscopios al igual que en el modo de apuntamiento de Sol.

IV.7.3.4 Modo Normal

Debido a que el satélite no ha alcanzado su orientación final , debe realizarse un corrimiento en el eje yaw para acercar el satélite a la orientación nominal de la órbita, con el propósito de pasar a modo Normal en el cual se realiza el control de la orientación por medio de la rueda del momento y los sensores de Tierra. La magnitud del corrimiento depende de la época del año y la hora del día. Una vez en la orientación nominal, el subsistema de Control de Orientación se comanda desde Tierra al modo de transición y después al modo normal. El modo de transición utiliza los mismos sensores y actuadores que el modo de apuntamiento de Tierra.

IV.7.3.4.1 Control en Modo Normal

El control de apuntamiento en órbita geoestacionaria utiliza el momento para proporcionar control total de la orientación en los tres ejes, y los datos del roll y pitch del sensor de Tierra. La rueda de momento es el principal actuador mientras se usa el rastreo de las alas solares para cancelar el momento en roll y en yaw acumulado en la rueda, por lo que el control en pitch está desacoplado del roll/yaw y es muy parecido al control de desgiro de un satélite girostático. Los errores sensados se modelan y se usan para enviar torques al motor que controla la velocidad de la rueda de momento. Debido al control de la rueda de momento en el eje pitch, los movimientos en los ejes de roll y yaw están acoplados cinemáticamente, este acoplamiento permite controlar simultáneamente roll y yaw a partir de las mediciones de orientación en roll.

La rueda de momento está montada sobre una plataforma soportada por tres tornillos para el control del mecanismo, que proporciona la capacidad de movimiento en dos ejes (roll y yaw). Los comandos de torque de control en dos ejes son suministrados al algoritmo de control de la plataforma de la rueda de momento el cual los convierte a tres comandos de posicionamiento que se suministran a los controladores de los tornillos.

El satélite en órbita está sujeto a una variedad de perturbaciones causadas por la presión solar que actúan sobre las alas solares, el cuerpo central y las antenas de comunicaciones. El torque solar que actúa sobre el cuerpo central y las antenas varía durante el día debido a que el cuerpo está rotando con respecto al Sol a la velocidad angular de la órbita (una órbita en 24 hrs.), mientras el torque solar que actúa sobre las alas solares puede considerarse constante durante el día debido a que las alas se mantienen con una orientación fija con respecto al Sol, ambos relativos al sistema de coordenadas inercial.

El subsistema de Control de Orientación mantiene al satélite en la orientación deseada por medio de la Plataforma de la Rueda de Momento (MWP); el eje nominal de la rueda está en la dirección Norte-Sur, de manera que las perturbaciones en pitch pueden manejarse variando la velocidad de la rueda, es decir cambiando la magnitud del vector momento de la rueda. Cuando se alcanza la capacidad máxima del MWP es necesario realizar un amortiguamiento del momento utilizando los impulsores, sin embargo para ahorrar combustible, mejorar la confiabilidad y por conveniencia en la operación se requiere un intervalo de al menos 14 días para realizar este evento. Esta meta se alcanza con la ayuda de dos dispositivos que soportan la función de manejo del momento:

- El torque magnético (MT) y
- El actuador ajustable de ala solar (ASWA). Estudiados anteriormente.

Cuando la corriente eléctrica pasa a través de la bobina de torque magnético, habrá una reacción con el campo magnético de la Tierra causando un torque en la bobina con lo que es posible absorber el momento angular en los tres ejes; por lo que este dispositivo puede realizar la función de amortiguamiento de momento en lugar de usar los impulsores y al controlar apropiadamente la bobina es posible extender el intervalo necesario para disparar los impulsores. Para cancelar la perturbación causada por el torque solar en las alas del satélite, que ocasiona distorsión en ellas, es decir se doblan hacia atrás, se utiliza el mecanismo llamado ASWA instalado en la base del yugo de la ala solar para compensar este efecto, el ASWA es un mecanismo aparte del motor del ala solar (SWD) el cual es usado para rastrear al Sol.

IV.7.3.5 Modo de Control en órbita geostacionaria (stationkeeping)

El Control de la Orientación durante las maniobras en órbita geostacionaria llamadas de inclinación (Norte-Sur) y de deriva-excentricidad (Este-Oeste) se realizan cuando el modo de control del cuerpo del satélite está en control geostacionario (stationkeeping).

Una maniobra Este-Oeste puede durar desde 0.25 seg. hasta 2.5 seg como máximo, mientras que una maniobra de inclinación dura 50 a 80 seg. Aproximadamente; sin embargo la secuencia de eventos alrededor de ellas toma más de dos horas.

Las operaciones de control en Tierra consisten en: cargar los parámetros de comando necesarios, la selección de impulsores y giroscopios a usar, la opción preestablecida, el tiempo de inicio y la duración de la maniobra contenidos en le mensaje de maniobra que realiza el área de dinámica orbital etc. La secuencia inicia cuando se encienden los calentadores de los giroscopios, los cuales se calibran en los tres ejes 15 minutos antes de ejecutar la maniobra, la calibración es una función automática; entonces se inicia la maniobra de control geostacionario ya sea automáticamente por el SCP o por medio de un comando de Tierra; los impulsores se encienden y el control de la orientación se transfiere simultáneamente al modo de stationkeeping; al terminar la maniobra se pasa al estado de retención de la orientación (attitude hold) el cual es una fase del modo de stationkeeping; una vez terminada esta fase cambia al modo de transición para eliminar los transitorios causados por la maniobra; en este modo, al inicio opera simultáneamente con la rueda de momento por un minuto y durante dos minutos solamente con la rueda para después finalmente pasar a modo normal. La meta es mantener al satélite dentro de la latitud y longitud asignadas, es decir en estación, usando el combustible mínimo posible.

La estrategia para este satélite en la banda Ka está en realizar una maniobra Norte-Sur también llamada de inclinación cada 21 días; aproximadamente dos días después se realiza la maniobra Este-Oeste, la cual se divide en dos eventos separados no más de 12 horas. Los sensores usados para la determinación de la orientación son:

- **Sensores de Sol** : El control de órbita de transferencia es de naturaleza autónomo durante la fase de giro del satélite. Estos sensores se emplean para la adquisición de Tierra y de Sol y por el mecanismo de rastreo del Sol.
- **Sensores de Tierra**: 2 Indicadores de Cruce de Horizonte (HCI) usados durante la órbita de transferencia y un sensor estático con cuatro detectores y dos canales, el cual es usado durante las adquisiciones y el control geostacionario.
- **Unidades de Referencia Inercial (IRU)**: éstas unidades contienen a los giroscopios.

IV.7.4 COMANDOS DE VERIFICACIÓN

El SCP proporciona un dispositivo de almacenamiento (buffer) para verificación, en el cual un comando o una cadena de comandos puede almacenarse y solo puede ejecutarse una vez que el buffer se habilita, lo que permite verificarlos por medio de Telemetría. La secuencia es primera entrada - primera salida y tiene capacidad para almacenar hasta 50 comandos.

IV.7.5 COMANDOS ALMACENADOS

El SCP tiene la capacidad de almacenar hasta 256 comandos y pueden cargarse previamente; la secuencia es última entrada - primera salida por lo que los comandos deben cargarse en orden inverso al que van a ser ejecutados y se recomienda que este buffer se borre antes de habilitarlo nuevamente.

En ambos casos cuando el buffer se habilita, un comando serie completo se procesa en cada Interrupción en Tiempo Real (RTI) del procesador y puede consistir desde 1 a 8 grupos de 24 bits.

IV.7.6 Resumen de Características del Subsistema de Control de Orientación

CONTROL DE ÓRBITA DE TRANSFERENCIA	Control de Naturaleza Autónomo durante el giro.
CONTROL EN ÓRBITA:	3 ejes estabilizados vía sensores de Tierra y Sol y mecanismos de momentos. Autotrayectoria de referencia. Usados durante periodos de comunicaciones experimentales.
POSICIÓN EXACTA	0.025 Pitch y Roll, 0.15° Yaw usando Autotrayectoria. 0.1° Pitch y Roll, 0.25° Yaw usando sensores de Tierra.
CONTROL DE POSICIONAMIENTO OFFSET	+ 6° Pitch, +2° Roll.

TABLA IV.7 Características del Subsistema de Control de Orientación:

IV.8 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

IV.8.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El subsistema de Comunicaciones se encarga tanto de recibir y retransmitir las señales de radiofrecuencia de las estaciones terrenas, como de amplificar y cambiar su frecuencia para garantizar la comunicación entre elementos. Este subsistema emplea anchos de banda y tasas de transmisión muy grandes. Adicionalmente, la red de comunicación que proporciona este subsistema corre a cientos de Megabits por segundo para satisfacer el creciente apetito global de información y la conectividad en tiempo real.

Una ventaja clave en este sistema de satélites en banda Ka propuesto es que el acceso al satélite puede ser establecido rápidamente con costos relativamente bajos; otra ventaja es que este satélite pueden cubrir fácilmente todas las áreas mediante los haces no continuos para proveer de accesos universales.

El satélite propuesto en el presente trabajo probablemente se ubicará en órbita estacionaria a 109° o 113° (misma que el Solidaridad 1 y 2 respectivamente) longitud oeste, proporcionando en la banda Ka tecnologías de comunicación necesarias para cumplir con la creciente demanda del mercado latinoamericano. La banda Ka posee siete veces el ancho de banda de sus contrapartes las bandas C y Ku, lo cual permite transmitir cantidades de información muy grandes en comparación con las manejadas actualmente. La Banda Ka se emplea principalmente para transmisiones de **banda ancha**.

Durante varios años, otros países ha estado experimentando con satélites geostacionarios que transmiten y reciben en la banda de frecuencia Ka. Las pruebas continúan, transmitiendo datos voz y vídeo digitalizados, que se integran en paquetes con enormes cantidades de información, regenerables a bordo del satélite y conmutables entre transpondedores y haces digitales de iluminación.

La propuesta de este trabajo representa un ejemplo pionero de lo que será en el futuro próximo, un "satélite inteligente", ya que su estructura y funcionamiento se basa principalmente en tecnologías utilizadas en otros sistemas satelitales experimentales en banda Ka que actualmente están en funcionamiento y de los cuales se han obtenido los resultados esperados como el ACTS de la NASA. Con esta nueva generación de satélites mexicanos se garantiza que en el futuro contaremos con satélites que cumplan con las expectativas de comunicación que el mercado latinoamericano demanda. Por lo anterior se propone el uso de la banda de frecuencias Ka en el diseño de este satélite (30 GHz - de subida, 20 GHz - de bajada).

El subsistema de Comunicaciones corresponde a la parte fundamental de este sistema en banda Ka y emplea las siguientes características en tecnología de comunicación que lo hace superior a los sistema satelitales actuales:

- Saltos de haces con alta ganancia
- Conmutación en Banda Base
- Conmutación de Microondas
- Transpondedores de gran ancho de banda
- Servicios por Demanda

A continuación describiremos el Sistema de Antenas que emplea el satélite en banda Ka para establecer la comunicación entre elementos (estaciones terrenas).

Los satélites con antenas de alta ganancia permiten el uso de potencias bajas y terminales de apertura pequeña (VSAT). Sistemas de alta ganancia en banda C y Ku no son posibles, debido a que ellos causan interferencias con los sistemas existentes.

IV.8.2 ANTENAS DEL SISTEMA

El diseño de éste satélite en la banda Ka integra un tipo especial de carga útil en la banda Ka, empleando dos antenas de superficie reflectora, ubicadas sobre los lados Este y Oeste del satélite (Ver Fig. IV.9).

El diseño de las antenas empleadas en este proyecto poseen alta ganancia, reducen los lóbulos laterales permitiendo menor interferencia entre satélites y de esta forma la distancia entre ellos se reduce, además utiliza polarización cruzada.

La apertura y alta ganancia de las antenas en la banda Ka, combinadas con las bajas pérdidas a la salida, generan la Potencia Efectiva Isotrópica Radiada (PIRE) necesaria para los Amplificadores de Potencia de Estado Sólido (SSPA) y los Amplificadores de Tubo de Onda Progresiva (TWTA). La estructura y soporte de estas antenas son de grafito (con el fin de minimizar los efectos de distorsión térmica). Los reflectores parabólicos miden:

ANTENA RÉCEPTORA	disco de 2.2 m. y directores de 1 m.
ANTENA TRANSMISORA	disco de 3.3 m. y directores de 1 m.

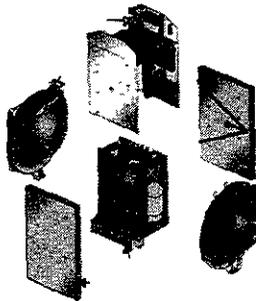


Fig. IV.9 Carga Util y Bus

Los reflectores parabólicos tienen doble rejilla de cobre con protección solar frontal, cubierta térmica en la parte posterior y se iluminan con arreglos de alimentadores fuera de foco.

Las antenas funcionan como acopladores entre la propagación de las señales electromagnéticas y la electrónica de radiofrecuencia de la carga útil de comunicaciones. El propósito de este sistema de antenas es proporcionar haces para los enlaces ascendentes y descendentes.

Los haces también permiten un gran reuso de frecuencias de los valores del espectro de radio frecuencia. Para sistemas geoestacionarios en la banda Ka, el factor de reuso es típicamente entre 9 y 12, comparado con el factor de reuso de 2 a 3 de los sistemas en la banda Ku. Adicionalmente, los haces de alta ganancia permiten tasas de transmisión de datos muy altas.

El reuso de frecuencias en banda Ka se realiza a través de polarización cruzada. Los reflectores utilizan un actuador para su despliegue y sólo el lado Este tiene un mecanismo posicionador (RMP). En general, el sistema de antenas proporciona alta ganancia, aislamiento de polarización y de frecuencia bajo todas las condiciones operativas.

El plan de frecuencias en la banda Ka comprende 25 canales de 108 MHz cada uno, generando un ancho de banda total de 2.7 GHz. La potencia en RF es de 50 Watts por canal.

IV.8.3 CARGA UTIL DE COMUNICACIONES EN BANDA Ka

Para la carga útil de comunicaciones en banda Ka se propone las siguientes regiones de cobertura:

- La región R1 cubre sectores de México, Guadalajara y Monterrey, mediante haces fijos.
- La región R2 cubre mediante haces móviles las principales ciudades de América Latina y ciudades importantes de Estados Unidos como: Chicago, Washington, San Francisco, Miami, Dallas, Houston, San Antonio y parte de Canadá.
- También tiene cobertura completa a Latinoamérica vía haces dirigidos (saltos de haces) (Ver Fig VI.2).

El plan de frecuencias en la banda Ka comprende 25 Canales de 108 MHz de ancho de banda cada uno. Todos los canales reciben y transmiten en la Región R1. El repetidor en banda Ka proporciona la señal de control de potencia de la estación terrena.

La banda Ka tiene tres puertos de recepción con polarización cruzada, utiliza 25 canales operativos, además de 5 de respaldo lo que hacen un total de 30 amplificadores de alta potencia tipo TWTA de 50 W con redundancia en forma de anillo. La banda Ka proporciona un PIRE de :

- 60 dBW Para haces aislados.
- 59 dBW Para sectores contiguos
- 53 dBW Para haces dirigido.

CARGA ÚTIL DE COMUNICACIONES

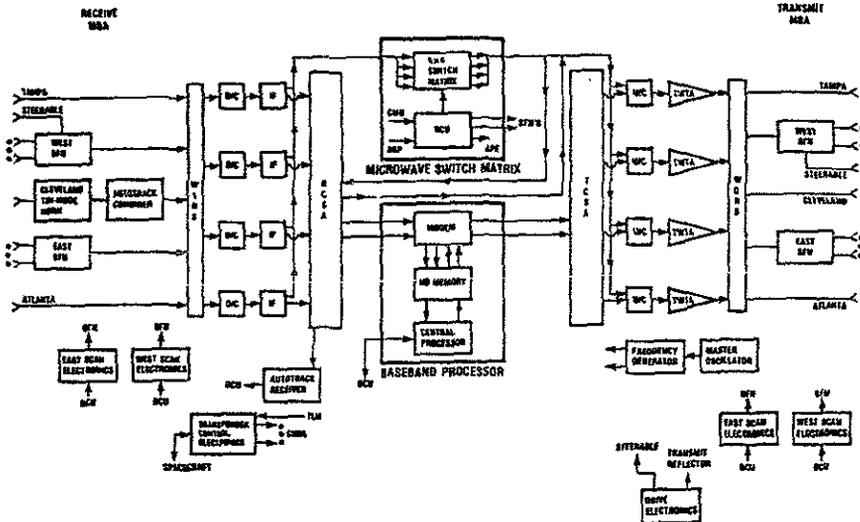


Fig. IV.10 Carga Util de Comunicaciones en Banda Ka.

IV.8.4 REPETIDOR EN BANDA Ka

El diagrama del repetidor en banda Ka está dividido en cuatro secciones (Ver Fig. IV.10) :

- Amplificación de señales de bajo ruido y conversión de frecuencias de recepción.
- Selección del transpondedor.
- Atenuación por pasos y amplificación de alta potencia
- Filtrado, multiplexaje de salida y enrutamiento.

IV.8.4.1 Amplificación y Conversión

En está sección se recibe la señal y se realiza la amplificación de señales con bajo ruido, además la conversión frecuencias intermedia de 2300 MHz en frecuencias de 20 GHz de bajada y 30 GHz de subida. Esta sección contiene tres filtros paso banda para dar forma a la banda de recepción y eliminar las señales no deseadas, cada filtro está conectado a un puerto de entrada enrutado a una configuración en cascada de tres LNA (Amplificadores de bajo Ruido), tres convertidores de bajada y dos receptores.

Los LNA son dispositivos para fijar una temperatura baja de ruido del sistema y los convertidores de bajada proporcionan la ganancia de la sección de entrada común, convierten las frecuencias recibidas a la banda de recepción y fijan la linealidad de esta sección de recepción común.

IV.8.4.2 Selección del Transpondedor

En la sección II las señales recibidas se canalizan por medio de filtros multiplexores de entrada; para enrutar las señales a los canales se emplean dos técnicas de conmutación a bordo del satélite que posteriormente se describirán a detalle, estas técnicas son:

- **Conmutación con Procesador Banda Base**
- **Conmutación con Matriz de FI.**

Los filtros de entrada tienen ancho de banda de 108 MHz. Después de la canalización, los enlaces se enrutan a la red de conmutación para la redundancia en anillo de los amplificadores de canal, el sistema contiene 5 amplificadores de alta potencia TWTA de respaldo.

IV.8.4.3 Atenuación y Amplificación

En la sección de atenuación y amplificación se proporciona la ganancia final del repetidor y los pasos de atenuación de canal por medio de la unidad de control de canal (CCU), esta unidad fija el nivel de entrada al TWTA proporcionando un nivel de atenuación de 0 a 22 dB en pasos comandables de 2 dB, los TWTA operan con una potencia de RF de salida de 50 W cada uno con su fuente de energía (EPC).

IV.8.4.4 Filtrado, Multiplexaje y Enrutamiento

Esta sección completa la salida de anillo de redundancia, combina las señales canalizadas y proporciona el enrutamiento hasta la antena transmisora. La operación inicia con los conmutadores de guía de onda previos a los multiplexores de salida, lo que permite enrutar (Ver Fig IV.11) los canales hacia una región; los dos multiplexores de salida uno para cada polarización hacen eficiente el manejo de frecuencias. Los elementos finales de ésta sección son los filtros de rechazo y el filtro armónico, así como los acopladores de prueba. La función del filtro armónico es proporcionar supresión a los productos de intermodulación (PIM), al ruido y a las señales espurias generadas dentro del receptor. La función del filtro de rechazo es similar a la función del filtro armónico sólo que realiza su trabajo en la banda de recepción.

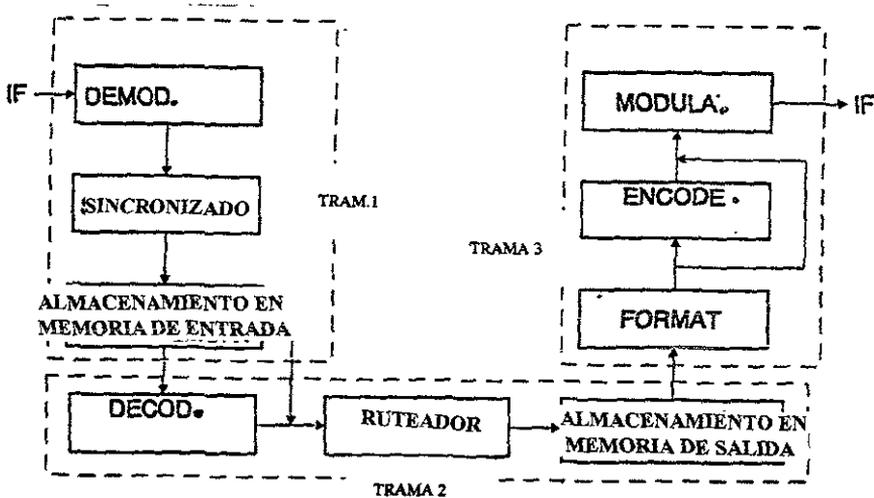


Fig. IV.11 Procedimiento de Enrutamiento de Señales

La densidad de flujo de saturación (SFD) del repetidor en banda Ka en ambas polarizaciones es de -98 dBW/m²; el receptor proporciona una ganancia de 59 dBW con una figura de ruido de 3.4 dB; la relación G/T (Ganancia/Temperatura) es de 2.2 dB/K.

El repetidor en banda Ka incluye los transmisores para la señal beacon que se emplea para medición de desvanecimiento. La función principal del ULPC es proporcionar un nivel de referencia de potencia para que las estaciones terrenas puedan ajustar sus niveles de potencia en el enlace de subida, lo que permite compensar los desvanecimientos de las señales causadas por las condiciones atmosféricas y meteorológicas. La frecuencia de transmisión del ULPC está en el rango de frecuencias de la banda Ka.

IV.8.5 MÉTODOS DE CONMUTACIÓN A BORDO DEL SATÉLITE

Cuando los datos digitales son ruteados a través del satélite en banda Ka de una estación terrena hacia un segundo destino en alguna otra parte de la tierra, existen dos posibles caminos para que las llamadas puedan ser conmutada, esto es, ordenarlas y rutearlas electrónicamente de puntos origen, hacia puntos destino. Una vez que la señal llega al satélite las llamadas pueden ser ruteadas mediante:

- Conmutación con un procesador en banda base
- Conmutación con matriz a frecuencia intermedia (FI)

Cada una de ellas trabaja en conjunto con las diferentes técnicas de conmutación. La forma más simple de describir las diferencias entre estas dos técnicas de conmutación es pensando en llamadas telefónicas como paquetes que necesitan ser transportados. A continuación usando una analogía simple, se describirán ambas tecnologías.

Considerando la llegada de llamadas telefónicas a estaciones terrenas como pequeños paquetes direccionados a diferentes localidades. Los paquetes que son direccionados a diferentes localidades se muestran en varias pantallas grises. Estas corresponden a los diversos números telefónicos que son marcados en las llamadas telefónicas.

IV.8.5.1 Conmutación Con Procesador Banda Base

El procesador banda base SCP es usado con la técnica de conmutación llamada Onboard Stored Baseband Switched TDMA (OSBS/TDMA). (El nombre refleja la capacidad del procesador banda base para almacenar llamadas, y para conmutar en banda base).

Usando la analogía, los paquetes (llamadas) llegan a una estación terrena local donde son agrupadas en conjunto, sin observar su destino final, y se empaquetan en una caja grande. La caja es mandada a una planta de distribución central (el satélite). Este proceso corresponde al multiplexaje y modulación de las señales de llegada y a la señal de arranque mandada hacia el satélite (Ver Fig. IV.12 y 14).

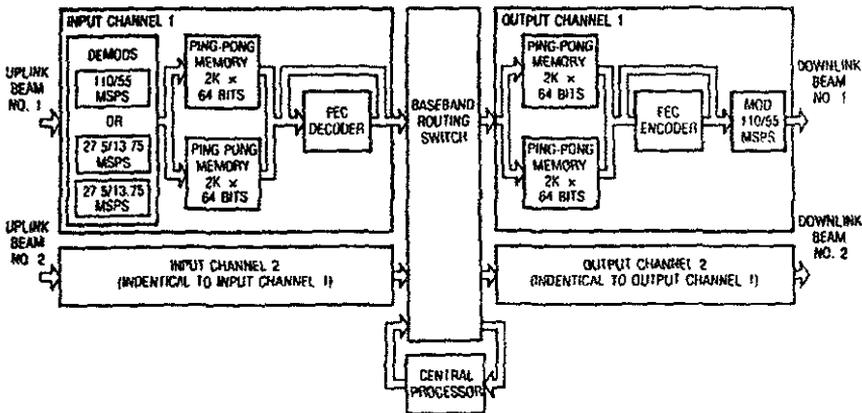


Fig. IV.12 Diagrama de Bloques del Procesador Banda Base SCP

En la planta de distribución central, la caja que llega (señal de arranque recibida) es abierta para recobrar el conjunto de paquetes individuales. Esto corresponde al enlace de subida que será demodulado para recuperar los circuitos telefónicos individuales a 64 kbps, que se encuentran almacenados en la memoria. Los paquetes recuperados son ordenados, reagrupados de acuerdo a su destino final, los paquetes en sus nuevas cajas son cargados en transportadores con encabezado para sus diferentes direcciones. Hablando de modo más técnico, las señales a 64 kbps demoduladas y ordenadas son multiplexadas con base en su destino final y moduladas en enlaces de bajada para ser entonces transmitidos vía diferentes haces no continuos hacia las diversas localidades.

Antes de ver la ventaja de este tipo de conmutación. Se describirá primero una técnica alternativa de conmutación que también se emplea en el satélite en la banda Ka.

IV.8.5.2 Conmutación Con Matriz De FI

La matriz de conmutación de FI (Frecuencia Intermedia) de la nave es usada en conjunto con una técnica llamada Satellite Switched TDMA (SS / TDMA). En contraste con la primera técnica, SS/TDMA los paquetes (llamadas) que originalmente llegan a una estación terrena son ordenados por la ubicación del destino en grupos de diversas cajas. Entonces, cada caja en un intervalo de tiempo, es ruteada hacia una planta central de distribución (satélite). Una vez más en lenguaje técnico, las señales que llegan al satélite son ordenadas fuera del mismo y multiplexadas en diversos grupos dependiendo de su destino mediante enlaces múltiples de subida (Ver Fig. IV.15).

Una vez que las cajas llegan al satélite no se abrirán ni tampoco se almacenarán en un lugar determinado. Entonces, las cajas serán ruteadas a su destino final en el preciso momento en que llegan.

Para entender este punto, imaginemos que las cajas llegan de un origen dado y a cada una de ellas le corresponde un cinturón de transportación de la planta central, cada uno de ellos dedicado a llevar los paquetes con encabezado hacia localidades específicas. Desafortunadamente, en un instante dado, sólo un cinturón de transportación puede ser movido para mandar el paquete. Los demás cinturones de transportación son detenidos y no pueden cargar paquetes. Por lo tanto, es necesario que un paquete direccionado llegue a su destino final en el cinturón de transportación accesado para que otro cinturón pueda ser ocupado.

La Figura IV.13 muestra una matriz de conmutación simplificada la cual puede interconectar cuatro regiones. Como se muestra, las señales de llegada en algún puerto de entrada pueden ser ruteadas hacia sólo una de las cuatro regiones un algún tiempo dado (en una sola ruta un switch es cerrado y los otros abiertos). El estado de la matriz de conmutación cambiará, normalmente algunos tiempos en un milisegundo, para permitir interconexión sistemática de todas las entradas hacia todas las salidas. De cualquier forma, debe existir una coordinación precisa entre la ráfaga de enlace de subida y el estado de la matriz de conmutación.

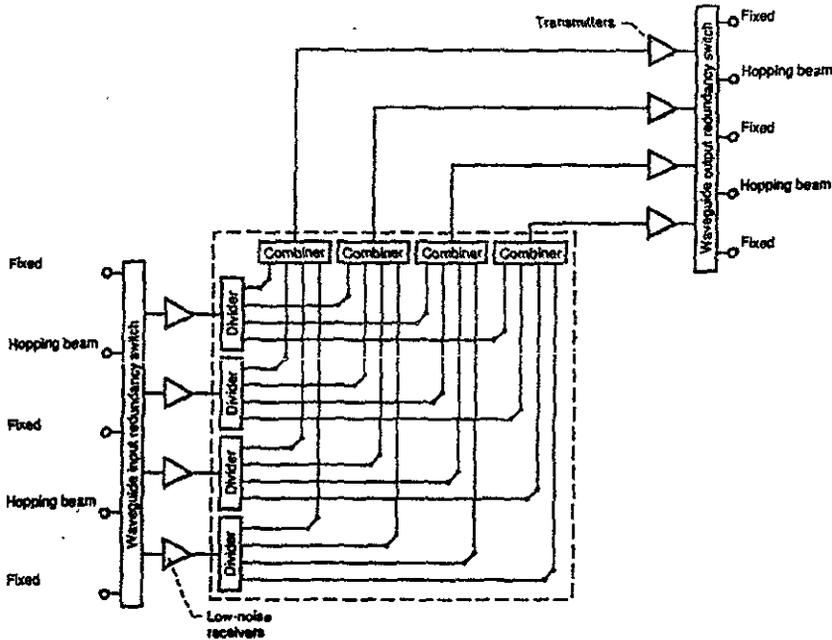


Fig. IV.13 Diagrama de Bloques de la Matriz de FI

IV.8.5.3 Comparación Entre Sistemas

Existen algunas diferencias importantes entre los dos métodos descritos anteriormente los cuales afectan la habilidad de cada método para diferentes aplicaciones.

A continuación se indican dos grandes diferencias:

- Consideremos primero la técnica OSBS / TDMA. Desde que la caja llega a la planta central es abierta y el contenido es reempaquetado en nuevas cajas, la caja original marca el inicio del viaje, esto es de la estación terrena hacia el satélite. La apertura y reempaquetamiento de las cajas corresponde a la regeneración de la señal a bordo, esto es la demodulación y la modulación de la señal. Esto garantiza que los efectos del ruido en el enlace de subida serán desacoplados del ruido del enlace de bajada, resultando una ganancia de 3 dB en la relación señal a ruido, la cual en turno mejora el proceso de detección de la señal.

- La segunda diferencia entre estos dos métodos se refiere al número de enlaces de subida requeridos para transmitir un volumen de tráfico dado hacia el satélite. Empleando la analogía descrita anteriormente, consideremos un periodo de tiempo corto, por decir un milisegundo (el cual corresponde a una trama TDMA). En la estación OSBS/TDMA, todos los paquetes que llegan durante este periodo van dentro de una caja, sin importar el destino de los mismos y llegan en conjunto a la planta central. Sin embargo, durante el mismo intervalo de tiempo, las estaciones SS/TDMA deben agrupar los paquetes llegados dependiendo de su destino y transporte en diferentes grupos de cajas. Entonces, aunque el número de paquetes que se encuentran en la caja es relativamente grande, representará un problema en el empaquetamiento y carga de múltiples cajas, siendo esta segunda técnica relativamente ineficiente.

Este punto puede ser visto con mayor claridad con la ayuda de las figuras IV.14 y 15, las cuales muestran un área de servicio cubierta por ambas tecnologías de conmutación de haces. La figura IV.14 muestra la estructura de la estación terrena OSBS/TDMA. El tráfico de información hacia el satélite es ubicado en un sólo enlace formado por varios haces de información, el cual incluye un preámbulo. Sin embargo como se muestra en la figura IV.15, para una estación terrena SS/TDMA, se transmiten múltiples enlaces de subida, cada uno con su propio preámbulo, con el fin de cargar el tráfico proveniente de la antena Tx. El encabezado y el tiempo de guarda entre cada burst resultan ineficientes aunque la cantidad de información que se transmite es muy alta, esto es por que cada burst contiene más información.

Por esta razón, SS/TDMA es normalmente más efectiva en costos para un sistema en los cuales existen pocas estaciones terrenas proporcionando una gran distribución de tráfico de líneas. Inversamente OSBM/TDMA es mejor para sistemas donde cientos de estaciones terrenas de tipo VSAT son empleadas, cada una de ellas ubicadas en diferentes localidades.

El sistema de satélite de comunicación propuesto en esta investigación usará esta tecnología avanzada reciente que permitirá mayor eficiencia en el uso de la órbita y rehuso del espectro, permitiendo nuevas formas de integración de servicios de usuario como voz, vídeo y datos a un mejor costo efectivo.

Este proyecto es pionero en la innovación de servicios a menor costo que serán la base para muchos de los nuevos sistemas comerciales futuros, ya que conducirá una gran variedad de servicios integrados y proyectos de multimedia.

En contraste, éste sistema geoestacionario con haces en la banda Ka usará terminales con apertura de 66 cm (VSAT), empleando 1W, transmitiendo a 30 GHz. Este tamaño de terminal es más barata para producir e instalar. Adicionalmente la capacidad de éste sistema en banda Ka puede soportar más de un millón de terminales VSAT permitiendo el logro de mayor producción eficiente.. Esta terminal VSAT proporciona servicios digitales integrados duplex a 384 Kbps (Ver Fig. IV.16).

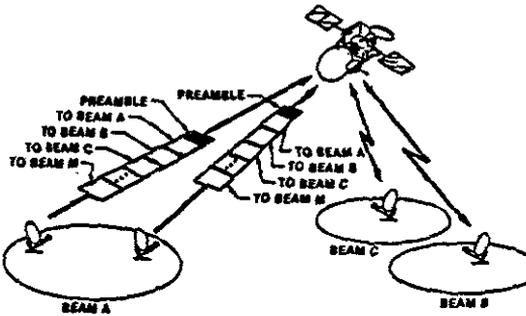
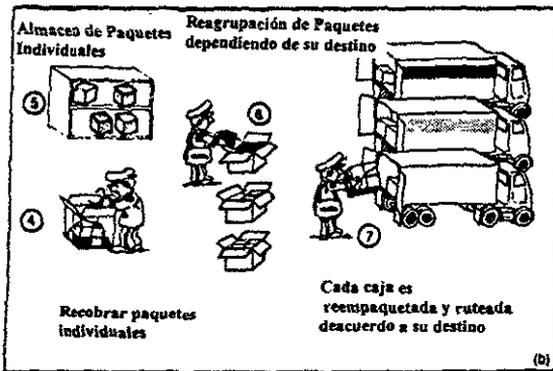
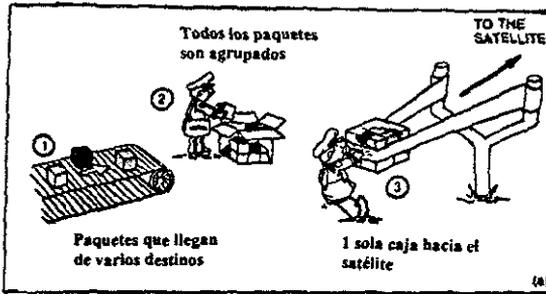


Fig. IV.14 Técnica de Conmutación OSBS/TDMA

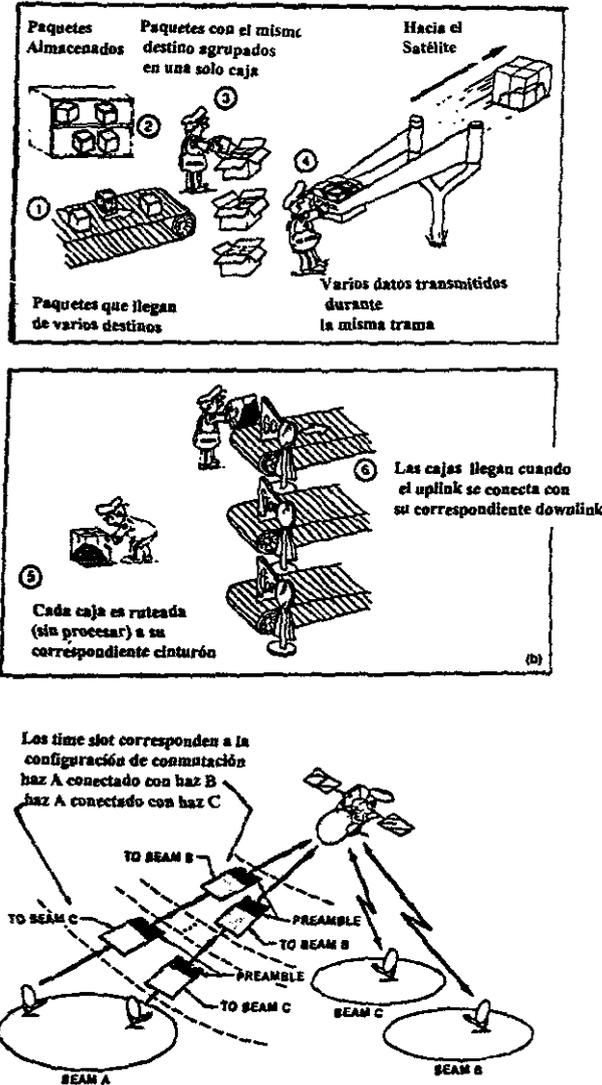


Fig. IV.15 Técnica de Conmutación SS/TDMA

Resumen de Características del Subsistema de Comunicaciones:

FRECUENCIA	25 canales en la banda Ka
ANCHO DE BANDA	108 MHz por canal, 2.7 GHz total
POTENCIA RF	50 Watts / Canal
REDUNDANCIA	1 Canal en espera (4 por 3 de redundancia)
POSIBLES COBERTURAS	<ul style="list-style-type: none"> • La región R1 cubre sectores de México, Guadalajara y Monterrey, mediante haces fijos. • La región R2 cubre mediante haces móviles las principales ciudades de América Latina y ciudades importantes de Estados Unidos como: Chicago, Washington, San Francisco, Miami, Dallas, Houston, San Antonio y parte de Canadá. • También tiene cobertura completa a Latinoamérica vía haces dirigidos.
ANTENA RECEPTORA	disco de 2.2 m. y directores del m.
ANTENA TRANSMISORA	disco de 3.3 m. y directores de 1 m.
EIRP	<ul style="list-style-type: none"> • Haces aislados: 60 dBW • Sectores contiguos: 59 dBW. • Haces Dirigidos: 53 dBW
FIG. DE RUIDO EN EL RX.	3.4 dB (Posición final HEMT)
CONMUTACIÓN A BORDO	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de conmutación 3X3 programable de alta velocidad que proporciona tres entradas y tres salidas de canales con velocidad de ráfaga alta (HBR: High Burst Rate) y ancho de banda de 900 MHz. • Procesadores banda base que proporcionan demodulación, almacenamiento y remodulación de datos a velocidad de ráfaga baja (LBR: Low Burst Rate). • Dos torrentes de datos TDMA/DAMA a 110 Mbps asignados en incrementos de 64 Kbits.
GUIA DE DESVANECIMIENTO (BEACONS)	Señales radiadas del satélites que permiten medición de desvanecimiento en enlaces de subida a 30 GHz. y de bajada de 20 GHz..
COMPENSACIÓN DESVANECIMIENTO HBR	<ul style="list-style-type: none"> • El control de potencia es indicado mediante el monitoreo de la señal de desvanecimiento. Con 18 dB para Margen en enlaces de subida y 8 dB para enlaces de bajada.
COMPENSACIÓN DESVANECIMIENTO LBR	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante combinación de código convolucional, reducción de velocidad de datos y margen de transmisión. 15 dB en margen de enlaces de subida y 6 dB en enlaces de bajada.

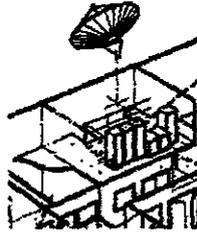


Fig. IV.16 Ejemplo de Terminal del Sistema

Estos dos factores facilitan la construcción de satélites con capacidad de comunicación muy grande y eficiente. La corriente geoestacionaria de satélites en la banda C y Ku proporcionan anchos de banda con relación al peso menores a 2 MHz/kg. el propósito de los satélites FSS con conmutación dinámica a bordo es proyectar un número equivalente de comunicaciones eficiente de 1.7 a 4.9 MHz /Kg. El sistema de haces eficientes representan una ventaja significativa en costos para proporcionar servicios por demanda.

Las ventajas de costo y eficiencia logradas por el empleo de satélites con haces en la banda Ka son significantes por la demanda de servicios integrados. El costo de servicios en el empleo de estos satélites esta proyectada a ser menor o igual a los costos de sistemas terrestres en nuestros días.

IV.7 RESUMEN DE ESPECIFICACIONES DE SUBSISTEMAS**Resumen de Especificaciones del Subsistema de Telemetría, Comando y Rango:**

FRECUENCIA DE COMANDO	Banda Ka; banda C Orbits de Transferencia y Reserva.
VELOCIDAD DE COMANDO	100 pps FSK para funciones de bus y 5000 pps para carga útil.
CAPACIDAD DE COMANDO	379 Bajas Velocidades Discretas con 3 Bajas Datos Seriales; 256 Altas Velocidades Discretas; 3 Datos Seriales.
FRECUENCIA DE TELEMETRÍA	Banda Ka; Banda C Orbits de Transferencia y Reserva .
FORMATO DE TELEMETRÍA	8 bits / palabra; 256 palabras / Trama menor; 25 menores tramas / tramas mayores; 1024 bps.
CAPACIDAD DE TELEMETRÍA	312 palabras binivel; 364 palabras Analógicas; 6 palabras seriales;
FRECUENCIA DE RANGO	Banda Ka; Banda C órbita de Transferencia y Reserva.
TONOS DE RANGO	4, de 35.4 Hz a 27.777 kHz.

Resumen de Características del Subsistema de Propulsión:

DISEÑO	Sistema Hidráulico con empuje redundante y cuatro tanques.
PROPULSIÓN	150 lbs (LAM)
EMPUJE (Propulsión Eléctrica)	16 de 22 N
ESTACIÓN DE GUARDA	+ - 0.05°

Resumen de Características del Subsistema de Potencia Eléctrica:

SALIDA DEL ARREGLO SOLAR	3370 Watts (14 años)
SISTEMA DE BATERÍA	2 baterías NiH de 19 AH (celdas) cada una.
BUS DE POTENCIA	35.5(+0.5) Volts con arreglos completos de iluminación.

Resumen de Características del Subsistema Estructural y Térmico:

ESTRUCTURA	Longitud: 80'; Ancho: 84'; Profundidad: 75"
ARREGLO SOLAR	con unión, 46.9' punta a punta
MONTAJE DE ANTENA	Altura: 116° sobre el panel de antena; ancho: 29.9' desplegado.
CONTROL TERMICO:	Control de Temperatura Pasivo: manta y OSR; Control de Temperatura Activo: Controladores y Calentadores en estado Solido.

Resumen de Características del Subsistema de Control de Orientación:

CONTROL DE ÓRBITA DE TRANSFERENCIA	Control de Naturaleza Autónomo durante el giro.
CONTROL EN ÓRBITA:	3 ejes estabilizados vía sensores de Tierra y Sol y mecanismos de momentos. Autotrayectoria de referencia. Usados durante periodos de comunicaciones experimentales.
POSICIÓN EXACTA	0.025 Pitch y Roll, 0.15° Yaw usando Autotrayectoria. 0.1° Pitch y Roll, 0.25° Yaw usando sensores de Tierra.
CONTROL DE POSICIONAMIENTO OFFSET	+ - 6° Pitch, + - 2° Roll.

Resumen de Características del Subsistema de Comunicaciones:

FRECUENCIA	25 canales en la banda Ka
ANCHO DE BANDA	108 MHz por canal, 2.7 GHz total
POTENCIA RF	50 Watts / Canal
REDUNDANCIA	1 Canal en espera (4 por 3 de redundancia)
POSIBLES COBERTURAS	<ul style="list-style-type: none"> • La región R1 cubre sectores de México, Guadalajara y Monterrey, mediante haces fijos. • La región R2 cubre mediante haces móviles las principales ciudades de América Latina y ciudades importantes de Estados Unidos como: Chicago, Washington, San Francisco, Miami, Dallas, Houston, San Antonio y parte de Canadá. • También tiene cobertura completa a

	Latinoamérica vía haces dirigidos.
ANTENA RECEPTORA	disco de 2.2 m. y directores de 1 m.
ANTENA TRANSMISORA	disco de 3.3 m. y directores de 1 m.
EIRP	<ul style="list-style-type: none"> • Haces aislados: 60 dBW • Sectores contiguos: 59 dBW. • Haces Dirigidos: 53 dBW
FIG. DE RUIDO EN EL RX.	3.4 dB (Posición final HEMT)
CONMUTACIÓN A BORDO	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de conmutación 3X3 programable de alta velocidad que proporciona tres entradas y tres salidas de canales con velocidad de ráfaga alta (HBR: High Burst Rate) y ancho de banda de 900 MHz. • Procesadores banda base que proporcionan demodulación, almacenamiento y remodulación de datos a velocidad de ráfaga baja (LBR: Low Burst Rate). • Dos torrentes de datos TDMA/DAMA a 110 Mbps asignados en incrementos de 64 Kbits.
GUIA DE DESVANECIMIENTO (BEACONS)	Señales radiadas del satélites que permiten medición de desvanecimiento en enlaces de subida a 30 GHz. y de bajada de 20 GHz..
COMPENSACIÓN DESVANECIMIENTO HBR	<ul style="list-style-type: none"> • El control de potencia es indicado mediante el monitoreo de la señal de desvanecimiento. Con 18 dB para Margen en enlaces de subida y 8 dB para enlaces de bajada.
COMPENSACIÓN DESVANECIMIENTO LBR	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante combinación de código convolucional, reducción de velocidad de datos y margen de transmisión. 15 dB en margen de enlaces de subida y 6 dB en enlaces de bajada.

V. CÁLCULOS DE ENLACE EN BANDA Ka

En este capítulo se calculará la calidad de la recepción del enlace de subida y de bajada en banda Ka considerando para este caso una transmisión de vídeo digital y las siguientes características del medio definidas a continuación:

V.1 ENLACE DE SUBIDA

Elementos Considerados:

Estación Transmisora: México D.F.	Latitud (La): 19.24° Norte	Long (Lo): 99.01° Oeste
Satélite	En banda Ka	
Órbita	113.0° Oeste	
Frecuencia de Tx.	30 GHz	$\lambda = 0.01$ m.
Antena Tx.	Cassegrain	
	Orientación:	Azimut 217.09°
	Elevación:	62.34
	Diámetro (D):	13 m.
	Eficiencia (η):	0.55
	Angulo de media Potencia (θ -3dB):	0.538°
Potencia de Tx	Perdida por Alimentadores:	1dB
	Back Off de Salida:	0dB
Densidad de Flujo de Saturación (ϕ):	-90.73 dBW/m ²	
Atenuación por Gases a 62.34° (Latm.):	0.06 dB	
Atenuación por apuntamiento (Lapunt):	0.3 dB	
Atenuación por Lluvia (Lluy):	24.85 dB(Confiabilidad de 99.5%)	
Modulación:	QPSK	
Velocidad de Tx.(R):	84.375 Mbps	
Ancho de Banda:	108 MHz	
G/T Satélite:	6.05 dB/K	
Constante de Boltzman (K):	-228.06 dB	
Polarización:	Vertical	
Factor de Roll Off:	0.35	

CÁLCULO DE ENLACE DE SUBIDA:

- **Longitud de Onda de Subida:**

$$\lambda = C / f = 3 \times 10^8 \text{ m} / 30 \times 10^9 \text{ m} = \underline{0.01 \text{ m}}$$

- **Ganancia de la Antena Cassegrain:**

$$G_t = \eta * [\pi * D / \lambda]^2 = 0.55 * [\pi * 13 \text{ m} / 0.01 \text{ m}]^2 = 9173840.19552$$

$$G_t \text{ dB} = 10 * \log G_t = 10 * \log (9173840.19552) = \underline{69.6255 \text{ dB}}$$

- **Ángulo de Potencia Media:**

$$\theta_{-3\text{dB}} = 70 * \lambda / D = 70 * (0.01 \text{ m} / 13 \text{ m}) = \underline{0.538^\circ}$$

- **Pérdidas por Espacio Libre:**

$$\begin{aligned} [R / R_o]^2 &= 1 + 0.42 * (1 - \text{Cos}(L_a) * \text{Cos}(L)) \\ &= 1 + 0.42 * (1 - \text{Cos}(19.24^\circ) * \text{Cos}(113^\circ - 99.01^\circ)) \\ &= 1.035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_s &= [4 * \pi * R_o / \lambda]^2 * [R / R_o]^2 \\ &= [4 * \pi * 35,786,000 \text{ m} / 0.01 \text{ m}]^2 * 1.035 \\ &= 2.09353 \times 10^{21} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_s \text{ dB} &= 10 * \log L_s = 10 * \log (2.09353 \times 10^{21}) \\ &= \underline{213.207 \text{ dB}} \end{aligned}$$

- **Cálculo de [C / No] de Subida:**

Área Efectiva:

$$\begin{aligned} A_o \text{ dB} &= 10 * \log [\lambda^2 / (4 * \pi)] \\ &= 10 * \log [0.01^2 / (4 * \pi)] \\ &= \underline{-50.9921 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Relación [C / No]:

$$\begin{aligned} [C/No] &= \varphi_s + A_o + G/T - K \\ &= -90.73 - 50.99 + 6.05 + 228.06 \\ &= \underline{92.39 \text{ dB/Hz}} \end{aligned}$$

• **Calculo del PIRE:**

$$\text{PIRE} = \varphi_s + A_o + L_s + L_{atm} + L_{apun} + L_{lluvia}$$

Sin Lluvia:

$$\begin{aligned} \text{PIRE} &= -90.73 - 50.9921 + 213.207 + 0.06 + 0.03 \\ &= \underline{71.5749 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Con Lluvia:

$$\begin{aligned} \text{PIRE} &= -90.73 - 50.9921 + 213.207 + 0.06 + 0.03 + 24.85 \\ &= \underline{96.4249 \text{ dB}} \end{aligned}$$

• **Potencia de Tx:**

Sin Lluvia:

$$\begin{aligned} P_t &= \text{PIRE} - G_t + L_{lim} \\ &= 71.5749 - 69.6255 + 1 \\ &= \underline{2.9494 \text{ dBW}} \end{aligned}$$

Con Lluvia:

$$\begin{aligned} P_t &= \text{PIRE} - G_t + L_{lim} \\ &= 96.4249 - 69.6255 + 1 \\ &= \underline{27.7994 \text{ dBW}} \end{aligned}$$

Resumen de Resultados Obtenidos para Enlace de Subida:

Frecuencia de Tx.	30 GHz	$\lambda = 0.01$ m.
Antena Tx:	Ganancia (Gt):	69.6255 dB
	Angulo de media Potencia (θ -3dB):	0.538°
Pérdidas por Espacio Libre (Ls):	213.207dB	
C/No en el Satélite:	92.39 dB / Hz.	
PIRE de Tx.	Sin Lluvia	71.57 dB
	Con Lluvia	96.4249 dB.
Potencia de Tx.	Mínima (Cielo Despejado):	1.97W (2.9494 dBW)
	Máxima (Con Lluvia):	602.476W (27.7994 dBW)

V.2 ENLACE DE BAJADA

Elementos Considerados:

Estación Receptora: Monterrey N.L.	Latitud (La): 25.40° Norte	Long (Lo): 100.19° Oeste
Satélite	En banda Ka	
Orbita	113.0° Oeste	
Frecuencia de Tx.	20 GHz	$\lambda = 0.015$ m.
Antena Rx.	Antena Offset	
	Orientación:	Azimut 207.93°
	Elevación:	57.02
	Diámetro (D):	40 cm.
	Eficiencia (η):	0.65
Potencia de Rx.:	Back Off de Salida:	0dB
	PIRE de Rx:	60.0 dB
Atenuación por Gases a 62.34° (Latm.):	0.127 dB	
Atenuación por apuntamiento (Lapunt):	0.4 dB	
Atenuación por Lluvia (Llluv):	13.52 dB (confiabilidad de 99.5%)	
Modulación:	QPSK	
Velocidad de Tx.(R):	84.375 Mbps	
Ancho de Banda:	108 MHz	
G/T de Rx:	10 dB/K	
Constante de Boltzman (K):	-228.06 dB	
Polarización:	Horizontal	
Factor de Roll Off:	0.35	

CÁLCULO DE ENLACE DE BAJADA:

- **Longitud de Onda de Bajada:**

$$\lambda = c / f = 3 \times 10^8 \text{ m} / 20 \times 10^9 \text{ m} = \underline{0.015 \text{ m.}}$$

- **Ganancia de la Antena Offset:**

$$G_r = \eta * [\pi * D / \lambda]^2 = 0.65 * [\pi * 0.4 \text{ m.} / 0.015 \text{ m.}]^2 = 4561.97$$

$$G_r \text{ dB} = 10 * \log G_r = 10 * \log (13971.03868) = \underline{36.5915 \text{ dB}}$$

- **Ángulo de Potencia Media:**

$$\theta_{-3\text{dB}} = 70 * \lambda / D = 70 * (0.015 \text{ m.} / 0.4 \text{ m.}) = \underline{2.625^\circ}$$

- **Pérdidas por Espacio Libre:**

$$\begin{aligned} [R / R_o]^2 &= 1 + 0.42 * (1 - \text{Cos}(L_a) * \text{Cos}(L_o)) \\ &= 1 + 0.42 * (1 - \text{Cos}(25.4^\circ) * \text{Cos}(113^\circ - 100.19^\circ)) \\ &= \underline{1.05} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_b &= [4 * \pi * R_o / \lambda]^2 * [R / R_o]^2 \\ &= [4 * \pi * 35,786,000 \text{ m.} / 0.015 \text{ m.}]^2 * 1.05 \\ &= 8.5600049 \times 10^20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_s \text{ dB} &= 10 * \log L_s = 10 * \log (8.5600049 \times 10^20) \\ &= \underline{209.3247 \text{ dB.}} \end{aligned}$$

- **Cálculo de [C / No] de Bajada:**

Perdidas Totales de Bajada:

$$\begin{aligned} L_{\text{tot}} &= L_b + L_{\text{atm}} + L_{\text{apunt}} + L_{\text{lluvia}} \\ &= 209.3247 + 0.127 + 0.4 = \underline{209.8517 \text{ dB}} \text{ (Sin Lluvia)} \\ &= 209.3247 + 0.127 + 0.4 + 13.52 = \underline{223.3717 \text{ dB}} \text{ (Con Lluvia)} \end{aligned}$$

Relación [C / No]:

Sin Lluvia:

$$\begin{aligned} [C / No] &= \text{PIRE satellite} + G / T - K - L_{tot} \\ &= 60 + 10 + 228.06 - 209.8517 \\ &= \underline{88.2083 \text{ dB / Hz}} \end{aligned}$$

Con Lluvia:

$$\begin{aligned} [C / No] &= \text{PIRE satellite} + G / T - K - L_{tot} \\ &= 50.9 + 15 + 228.06 - 223.3717 \text{ dB} \\ &= \underline{79.69 \text{ dB / Hz}} \end{aligned}$$

• **Calculo de [C / No] Total:**

$$[C / No]^{-1} \text{ Tot} = [C / No]^{-1} \text{ sub} + [C / No]^{-1} \text{ baj}$$

Sin Lluvia:

$$\begin{aligned} [C / No]_T &= 10 * \log [1 / \{ 1 / \text{antilog} (9.239) + 1 / \text{antilog} (8.820) \}] \\ &= \underline{86.677 \text{ dB / Hz}} \end{aligned}$$

Con Lluvia:

$$\begin{aligned} [C / No]_T &= 10 * \log [1 / \{ 1 / \text{antilog} (9.239) + 1 / \text{antilog} (7.969) \}] \\ &= \underline{79.9328 \text{ dB / Hz}} \end{aligned}$$

- **Calculo de [Eb / No]:**

$$[Eb / No] = [C / No]t - 10 * \log R$$

Sin Lluvia:

$$\begin{aligned} [Eb / No] &= [86.67] - 10 * \log (84.375 \text{ Mbps}) \\ &= \underline{7.407 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Con Lluvia:

$$\begin{aligned} [Eb / No] &= [79.9328] - 10 * \log (84.375 \text{ Mbps}) \\ &= \underline{0.6706621 \text{ dB}} \end{aligned}$$

Resumen de Resultados Obtenidos para Enlace de Bajada:

Frecuencia de Tx.	20 GHz	$\lambda = 0.015 \text{ m.}$
Antena Rx:	Ganancia (Gr):	36.5915 dB
	Angulo de media Potencia (θ -3dB):	2.625°
Pérdidas por Espacio Libre (Lb):	209.3247 dB	
C/No. del Rx:	Sin Lluvia:	88.208 dB/Hz
	Con Lluvia:	79.69 dB / Hz
C/No. Total:	Sin Lluvia:	86.677 dB / Hz
	Con Lluvia:	79.9321 dB / Hz
Eb/No	Sin Lluvia	7.707 dB
	Con Lluvia	0.1458 dB

Empleando un código convolucional con su relación Eb/No recomendada (para una recepción CLE: Cuasi Libre de Errores), podemos obtener el Margen en dB de los valores Eb/No obtenidos en el cálculo de enlace en banda Ka.

Los valores recomendados de Eb/No corresponden a una tasa de bit de error de entre $10e-10$ y $10e-11$ que se traduce en menos de un error sin corregir por hora

Código Convolutacional	Eb/No en dB.				
	Requerido	Obtenido Sin Lluvia	Margen sin Lluvia	Obtenido Con Lluvia	Margen con Lluvia
1/2	4.5	7.707	3.207	0.1458	-4.35*
2/3	5.0	7.707	2.707	0.1458	-4.85*
3/4	5.5	7.707	2.207	0.1458	-5.35*

* Para los valores obtenidos de margen de atenuación con lluvia en banda Ka, se considero un confiabilidad del 99.5%.

VI. CONCLUSIONES

En el presente capítulo a manera de conclusión, se proporcionará la razón principal del porque es necesario implementar en México un sistema de satélites inteligentes en banda Ka con cobertura en Latinoamérica, el porque el sistema satelital propuesto en este trabajo puede ser un modelo a seguir, para el reemplazo de los satélites Solidaridad en la próxima década, y además se mostrarán las ventajas tecnológicas en banda Ka que México debe considerar si pretende competir en el futuro con una cultura satelital sólida.

Con lo estudiado a lo largo del presente trabajo podemos afirmar lo siguiente:

- La fuerte competencia entre los diferentes sistemas satelitales latinoamericanos es consecuencia del creciente mercado y de la demanda de servicios disponibles, para satisfacer dicha demanda se han generado tecnologías satelitales con características que los vuelven más rentables y costeables. Por tal motivo los avances en tecnologías de combustibles, transpondedores, antenas, fotoceldas y estructuras en banda Ka han llegado a ser muy exitosos en nuestros días.
- La región de América Latina esta gobernada por diversos sistemas satelitales (Ver Fig. VI.1) donde México juega un papel importante en la prestación de servicios (como DTH, transmisión de vídeo, datos, multimedia etc.), debido a su excelente posición geográfica y a la gran demanda de servicios que la población requiere. Por tal motivo es recomendable que en el futuro México cuente con las cuatro posiciones orbitales (68°, 78°, 127° y 130°) ya solicitadas a la UIT y empiece a trabajar con tecnologías en banda Ka, si desea ganar mercado y posicionarse como el primer país latinoamericano que emplee transmisiones en banda ancha.
- Para México (debido a su cercanía con E.U) no es conveniente instalar más infraestructura tradicional –banda C y Ku -, si en un futuro cercano será una obligación emplear también servicios en banda ancha para satisfacer las necesidades y demandas en crecimiento. Por tal motivo, es recomendable considerar seriamente la inversión de sistemas satelitales en banda Ka en los próximos 5 años, de igual importancia es guiar los planes en esta dirección para garantizar un correcto seguimiento en el desarrollo de una cultura satelital basada en tecnologías de punta como lo son: las tecnologías en banda Ka .

- Los sistemas satelitales actuales (estudiados en el Cap. II) proporcionan diferentes capacidades. La tabla VI.1 muestra ésta capacidad referida al número de transpondedores, al PIRE y a los servicios por demanda que se proporciona. En esta Tabla se observa que todos los sistemas satelitales proporcionan en general servicios similares (Telefonía, Datos, DTH, etc.) en las ya casi saturadas banda de frecuencia C y Ku, como consecuencia de ello es importante empezar la implementación de servicios en banda Ka para cumplir con la creciente demanda latinoamericana, ya que en el año 2007 se espera el empleo de una gran número de transpondedores para esta región (Ver Tabla VI.2)
- Como conclusión de las tablas, es evidente que México será el país con un gran incremento en servicios por demanda, ya que actualmente se cuenta con 68 transpondedores disponibles con los sistemas Solidaridad y se espera para el año 2007 que se incremente a 98. Resulta obvio entonces, que ésta oportunidad será muy buena para los inversionistas privados que deseen involucrarse en la inversión de sistemas satelitales que empleen tecnologías en banda Ka e introduzcan nuevos rangos de servicios, donde se garantiza que su inversión será cuantiosamente bonificada.
- De la información proporcionada, es evidente que México ha sido el país más agresivo en América Latina en la toma de decisiones para usar satélites híbridos de alta potencia. (bandas C y Ku) no sólo con cobertura en América, sino también con cobertura a E. U. Como consecuencia de ello resulta fundamental impulsar el desarrollo tecnológico mediante sistemas satelitales en banda ancha, que garanticen la satisfacción de los servicios que actualmente se prestan y que aumentaran en el futuro. Además se proporcionarán servicios interactivos, vídeo en demanda, compras en casa y transferencias de grandes cantidades de datos empleando la banda Ka. Esto se llevará a cabo mediante pequeñas antenas a muy bajo costo que garantizarán la calidad digital de las señales, la posibilidad de regeneración de las señales a bordo del satélite, y el uso óptimo de la potencia a través de los haces no continuos.
- Con todo lo mencionado anteriormente, considero que la propuesta de un sistema de satélites en banda Ka para la región de Latinoamérica que se proporciona a lo largo de este trabajo cubre las necesidades básicas anteriormente mencionadas. Obviamente, muchos de los servicios proporcionados por el sistema en banda Ka propuesto serán similares a los servicios ya existentes, ofrecidos en banda C y Ku, como : telemedicina, tele-educación, universidades e investigación, centros de red, finanzas y transferencias de comercio, pero con la ventaja y beneficio de emplear capacidades de anchos de banda muy grandes, y la posibilidad de agregar calidad digital de vídeo y altas tasas de transmisión de datos.

CAPACIDAD SATELITAL DISPONIBLE EN AMÉRICA LATINA

SISTEMA	NÚMERO DE TRANSPON- DEDORES	BANDA	POTENCIA (DBW)	SERVICIOS
MORELOS*	12X36 MHz	C	36	Telefonía, Transmisión de datos y vídeo.
	6X72 MHz	C	39	
	4X108 MHz	Ku	44	
SOLIDARIDAD	24X36 MHz	C	37	Telefonía, datos, vídeo y DTH.
	12X72 MHz	C	40	
	32X54 MHz	Ku	48	
NAHUELSAT	18X54 MHz	Ku	41 - 48	Telefonía, datos, DTH y vídeo.
BRASILSAT	54X36 MHz	C	36 - 39	Telefonía, datos, DTH y vídeo.
	2X33 MHz	C		
	2X60 MHz	X		
HISPASAT	2X36 MHz	Ku	42 - 48	Telefonía, datos, DTH y vídeo.
PANAMSAT	12X54 MHz	C	27 - 41	Telefonía, datos, DTH y vídeo.
	24X36 MHz	C		
	6X72 MHz	C	40 - 54	
	20X54 MHz	Ku		
	48X36 MHz	Ku		
	16X27 MHz	Ku		
12X24 MHz	Ku			
INTELSAT	130X36 MHz	C	40 - 41	Telefonía, datos, DTH y vídeo.
	50X36 MHz	Ku	51 - 54	
TOTAL**	312	C		
	241	Ku		
	553	X		

* Morelos 2 reemplazado por el SATMEX 5 con 24 x 36 transpondedores en banda C y 24 x 54 en banda Ku.

** Transpondedores equivalentes de 36 MHz .

TABLA VI.1 Capacidad Satelital Disponible En América Latina

PRONOSTICO ESTIMADO PARA DEMANDA DE TRANSPONEDORES EN AMÉRICA LATINA

PAIS	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
MÉXICO	60	68	74	81	83	87	89	93	96	98
BRASIL	44	50	50	52	52	54	56	58	60	62
ARGENTINA	34	42	44	46	48	50	52	54	56	58
CHILE	14	18	22	26	28	30	32	36	40	44
VENEZUELA	14	18	22	26	28	30	32	36	40	44
COLOMBIA	14	18	22	26	28	30	32	36	40	44
PERU	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
OTROS	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
TOTAL	218	259	286	316	333	354	373	400	426	451

TABLA VI.2 Demanda de Transpondedores a Futuro

- Adicionalmente la expansión de servicios de Internet y la posibilidad de introducir telefonía a bajo costo en áreas rurales son sólo dos de muchas aplicaciones de la nueva tecnología en banda Ka empleada.

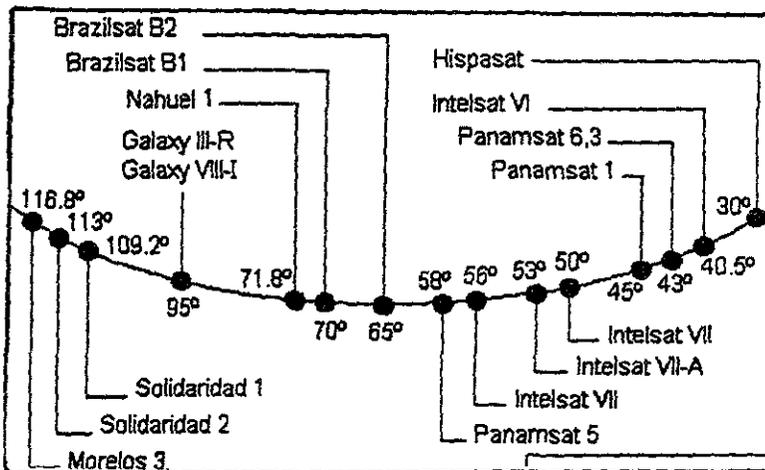


Fig. VI.1 Posiciones Orbitales de Satélites usados en América Latina

VI.1 VENTAJAS DEL SISTEMA SATÉLITAL EN BANDA KA

Considero importante mencionar las ventajas que ofrece el sistema satelital desarrollado en esta tesis (banda Ka), además de comparar dichas ventajas con los sistemas tradicionales existentes (banda C y Ku).

- **Antenas de Comunicación**

Las antenas son la parte fundamental del subsistema de Comunicación. El diseño de las antenas empleadas en este proyecto poseen alta ganancia, reducen los lóbulos laterales permitiendo menor interferencia entre satélites y de esta forma la distancia entre ellos se reduce, utiliza polarización cruzada ofreciendo mayor capacidad de manejo de información empleando las mismas frecuencias. Estas antenas corresponden a reflectores parabólicos con diámetro reducido y de muy poco peso que ofrecen comunicación tierra-espacio.

- **Haces Concentrados (No continuos)**

El sistema satelital en banda Ka propuesto al igual que otros sistemas satelitales, emplea haces no continuos que reducen el área de cobertura momentáneamente y que concentran de la potencia del satélite en puntos específicos, permitiendo una mejor recepción y reducción del tamaño de: estaciones terrenas, antenas, potencia etc.

- **Regeneración de Señal a Bordo**

Este sistema de satélites “inteligente” propuesto realiza la recepción, amplificación y demodulación de la señal, además de la conmutación en banda base y la modulación de la señal final, amplificándola y dirigiéndola a las estaciones terrenas destino solamente.

El procesador digital a bordo del satélite evita redundancia o pérdida de información, garantizando la comunicación segura y eficaz entre estaciones terrenas.

- **Rehusos de Frecuencias**

El sistema de antenas empleado aplica rehusos de frecuencias mediante una variación de polarización de la señal (horizontal o vertical), para aumentar el BW del satélite y de esta forma incrementar el factor de rehusos de hasta 9 a 12, comparado con el factor de rehusos de 2 a 3 en los sistemas convencionales.

- **Amplificadores TWTA**

Los amplificadores TWTA (empleados en el diseño en banda Ka) ofrecen una eficiencia de entre 50 y 60 % en comparación con los SSPA (empleados en sistemas tradicionales) de 25 - 30 % .

- **Banda de Frecuencia Ka**

El sistema ofrece mecanismos de Transmisión y Recepción en banda Ka a 30 GHz de subida y 20 GHz de bajada. Este satélite pretende conectarse a la red de terminales VSAT probando nuevas tecnologías de transmisión de datos, videoconferencias, televisión de negocios, telefonía rural, educación a distancia, HDTV, etc.

- **Energía y Combustible**

Las celdas Solares están construidas de Arsenuro de Galio que sustituyen a las celdas de Silicio actualmente empleadas en sistemas tradicionales.

Las Baterías utilizadas son de una aleación de Níquel Hidrogeno que proporcionan un mayor número de ciclos de carga / descarga, si las comparamos con las baterías de Níquel Cadmio empleadas actualmente.

El combustible proporciona mayor empuje ya que esta fabricado con Hidracina (Bipropelente). Los impulsores eléctricos emplean el mismo material además de Helio y Xenon.

- **Control de Orientación**

El control de orientación desde tierra es automático empleando para ello procesadores a bordo y matriz de FI.

- **Método de Acceso TDMA**

El sistema satelital en banda Ka emplea el sistema de acceso múltiple TDMA y variaciones que se describen a continuación:

- **OSBS / TDMA (Conmutación a Bordo en Banda Base)**

Este método permite al satélite recoger todos los paquetes de información provenientes de cada una de sus estaciones terrenas, estos paquetes que poseen diferentes destinos son almacenados en el mismo satélite y separados por grupos, para ser enviados mediante un haz concentrado no continuo a la estación terrena destino.

- **SS / TDMA (Matriz de Conmutación de FI)**

En este método la agrupación por destino se hace desde la estación terrena para después mandarse al satélite. El satélite hace un recorrido por las diferentes estaciones de cobertura entregando a cada una de ellas los paquetes que le corresponden y recoger los grupos de paquetes que tenga en ese momento.

- Con todo lo mencionado anteriormente, considero necesario pensar e impulsar la creación de una nueva generación de satélites mexicanos que emplee las tecnologías en banda Ka estudiadas, si se desea competir en el creciente mercado de servicios de telecomunicaciones. El sistema satelital propuesto ofrece múltiples ventajas cumpliendo con las expectativas demandadas de comunicación instantánea a cualquier hora y en cualquier parte del mundo.
- La figura VI.2 muestra una posible cobertura total en América Latina empleando haces móviles o fijos no continuos, o una combinación de ambos tipos, en acuerdo a lo preestablecido en la matriz de trafico del sistema en banda Ka propuesto.
- En el caso de América Latina, pienso que es deseable integrar algunas redes de satélites existentes en nuestros días hacia una red continental, con el fin de incrementar la liga entre comercio y cultura, optimando y reduciendo costos, y tomando ventajas con tecnologías de alta potencia y de anchos de banda muy grandes. Por supuesto, esto no excluye la posibilidad de participación de otros sistemas regionales usando la banda Ka u otras bandas de frecuencias de acuerdo a los diversos intereses, y la necesidad de diversos acuerdos intergubernamentales. El sistema en banda Ka propuesto a lo largo de esta tesis consiste de un satélite inteligente regenerativo (estudiado a detalle en el capitulo IV) que puede satisfacer exitosamente las demandas de trafico para el año 2010, con la introducción de servicios de multimedia para la comunidad en América Latina.



Fig. VI.2 Posible cobertura en banda Ka para América Latina

GLOSARIO

ACS : Subsistema de Control de Orientación
ACTS: Advanced Communications Technology Satellite
ASWA: Actuador Ajustable de Ala Solar
BER: Bit Error Rate
Bps: Bits por Segundo
BW: Ancho de Banda
CDU: Unidad Decodificadora de Comando
CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor
CNT: Comisión Nacional de Telecomunicaciones
COFETEL: Comisión Federal de Telecomunicaciones
DAMA: Demand Assigned Multiple Access
dB: Decibel
DBS: Direct Broadcast Satellite
DCU: Unidad de Control Digital
DTH: Direct to Home Television
E/T: Estación Terrena
EPS: Subsistema De Potencia Eléctrica
EUA: Estados Unidos de América
FCC: Federal Communications Commissions
FDM: Frequency Division Multiplexing
FDMA: Frequency Division Multiple Access
FEC: Forward Error Correction
FET: Field Effect Transistor
FI: Frecuencia Intermedia
FM: Frecuencia Modulada
FSK: Frequency Shift Keying
FSS: Servicio de Satélite Fijo
Gbps: Gigabits por Segundo
GEO: Geosynchronous Earth Orbit
GHz: Gigahertz
HCI: Indicadores de Cruce de Horizonte
HDR: High Data Rate
INTELSAT: Internacional Telecommunications Satellite Organization
IRU: Unidades de Referencia Inercial
ISDN: Integrated Services Digital Network

ITU: International Telecommunication Union
Ka: Banda Ka
Kbps: Kilo bits por segundo
L: Banda L
LEO: Low Earth Orbit
Mbps: Mega bits por segundo
MOSAIC: Motorola Oxide Self-Aligned Implanted Circuit
ms: milisegundo
MSM: Matriz de Conmutación de Microondas
MSPS: Mega Símbolos por segundo
MSS: Servicio Móvil vía Satélite
MT: Torque Magnético
MWP: Plataforma de la Rueda de Momento
NASA: National Aeronautics & Space Administration
ns: Nanosegundos
OSBS/TDMA: Onboard Stored Baseband Switched TDMA
PCM: Modulación por Codificación de Pulsos
PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
PSK: Phase Shift Keying
QPSK: Quaternary Phase Shift Keying
RF: Radiofrecuencia
RTI: Interrupción en Tiempo Real
Rx: Receptor
S/N: Relación Señal/Ruido
SCP: Procesador de Control del Satélite
SCT: Subsistema de Control Térmico
SNMP: Simple Network Management Protocol
SONET: Synchronous Optical Network
SS / TDMA: Satellite Switched TDMA
SSPA: Amplificador de Potencia de Estado Sólido
STCyR: Subsistema de Telemetría, Comando y Rango
TDM: Time Division Multiplexing
TDMA: Time Division Multiple Access
TWTA : Amplificadores de Tubo de Onda Viajera
Tx: Transmisor
UHF: Ultra High Frequency
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
USAT: Ultra Small Aperture Terminal
VSAT: Very Small Aperture Terminal

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- Collín Robert E, *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, 1985.
- Roddy Dennis, *Satellite Communications*, McGraw-Hill, 1995.
- Tirró Sebastian, *Satellite Communications Systems Desing*, Plenum Publishing Corporation, 1993.
- Maral G. and Bousquet M. , *Satellite Communications Systems*, Techniques and Technology. Editorial Wiley, 1993.
- Maral G. and Bousquet M. , *Satellite Communications System*. Editorial Wiley, 1998.
- Martin James, *Communications Satellite Systems*, Editorial Prentice Hall, Primera Edición 1993.

PUBLICACIONES:

- “*Sistema de Satélites Morelos*”, Manual Técnico 5ª. Edición, Telecomm, Telecomunicaciones de México
- “*Sistema de Satélites Solidaridad*”, Manual Técnico 6ª. Edición, Telecomm, Telecomunicaciones de México
- “*SBTS Sistema Brasileño de Telecomunicaciones vía Satélite*”, Corporación Brasilsat, Editorial BRASILSAT.
- “*Nahuelsat, Sistema Satelital Regional para las Américas*”, Editorial NAHUELSAT S.A., 1997
- “*Primer Sistema Español de Comunicaciones por Satélite*”, Corporación Hispasat, Editorial HISPASAT.
- “*Intelsat System - Coverage Maps*”, Corporación Intelsat, Editorial INTELSAT.

- “Panamsat, Global Satellite System”, Corporación Panamsat, Editorial PANAMSAT.
- “Sistemas Satélitales de Comunicaciones Personales”, Publicación de ERICSSON.
- “Los Satélites en Latinoamérica”, de Yolanda Aldaco, Editorial Revista Red.
- “Panorama Tecnológico de los Satélites de Comunicación en el Mundo”, de M.C. Salvador Landeros A. y Dr. Rodolfo Neri V., Publicación UNAM.
- “Panorama General de los Sistemas de Satélites de Telecomunicaciones”, de M.C. Salvador Landeros A. , Publicación UNAM.
- “Trends on Satellite Communications in Latin America and the Potential for Ka Band Multimedia Services”, de M.C. Salvador Landeros A. and Dr. Rodolfo Neri V., Editorial UNAM.
- “ACTS, Advanced Communications Technology Satellite”, GE ASTRO SPACE, de General Electric (GE).
- “Ka Band Explosion: The ACTS Legacy”, Lewis Research Center, NASA Publishing, 1997.
- “ACTS, Onboard Switching” de Dr. Michael Naderi de la NASA.
- “Calculo de los márgenes de atenuación por lluvia para un futuro satélite mexicano en banda Ka” por S. Landeros Ayala, R. Neri Vela e I. Nuñez Aceves. F.I. UNAM.

DIRECCIONES DE INTERNET :

NASA:

- <http://www.nasa.gov>
- <http://spacelink.msfc.nasa.gov>
- <http://acts.lerc.nasa.gov>
- <http://kronos.lerc.nasa.gov/acts/acsts.html>

- <http://sulu.lerc.nasa.gov/dglover/acsts.html>
- <http://sulu.lerc.nasa.gov/dglover/>

- <http://sulu.lerc.nasa.gov/dglover/relay.html>
- <http://www.boeing.com>
- <http://sulu.lerc.nasa.gov/dglover/cts.html>

ARIANESPACE:

- <http://www.cannes.aerospatiale.fr>
- <http://www.arianespace.com>
- <http://www.geocities.com/go-ariane/>

CORPORACIONES SATÉLITALES:

- <http://www.telecommex.com>
- <http://www.nahuel.com>
- <http://hcisat.com>
- <http://hcisat.com/new/>
- <http://hcisat.com/new/press/brasilA1.html>
- <http://www.panamsat.com>
- <http://www.intelsat.int>
- <http://www.Hispasat.com>

BUSCADORES:

- <http://yahoo.com>
- <http://yahoo.com/science/space/satellites>

OTROS:

- <http://www.spacecom.af.mil/usspace/dscs.html>
- <http://www.francetelecom.fr>
- <http://www.globalstar.com>
- <http://www.hcisat.com>
- <http://www.inmarsat.com>
- <http://www.inmarsat.org>
- <http://www.satnews.com>
- <http://www.iridium.com>
- <http://www.itu.ch>
- <http://www.orbital.com>
- <http://www.satengineer.com>