

UNIVERSIDAD DON BOSCO



**MODELO BASICO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION
MOVIL VIA SATELITE APLICADO A LA AVIACION
COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACION
PREPARADO PARA LA
FACULTAD DE INGENIERIA
PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRONICA



POR

ROBERTO CARLOS ORELLANA PARADA
ROLANDO NICOLAS FRANCIA VALLADARES
FRANCIS LEDIF MÉNDEZ RODRIGUEZ

NOVIEMBRE - 96

SOYAPANGO

EL SALVADOR

CENTROAMERICA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

REVERENDO PEDRO GARCIA

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

ING. CARLOS GUTIERREZ

ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACION

ING. JULIO CESAR CABRERA

JURADO EXAMINADOR

ING. JULIO HERNANDEZ

ING. WILLIAN FLORES


UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRONICA

**JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACION
MODELO BASICO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION MOVIL VIA SATELITE
APLICADO A LA AVIACION COMERCIAL**


**ING. JULIO HERNANDEZ
JURADO**


**ING. WILLIAN FLORES
JURADO**


**ING JULIO CESAR CABRERA
ASESOR**

AGRADECIMIENTOS

EL MAS SINCERO AGRADECIMIENTO A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE COLABORARON DE UNA OTRA FORMA EN LA ELABORACION DEL PRESENTE DOCUMENTO.

ESPECIALMENTE A:

ING. FLORES BLANDON, ING. HERNANDEZ POR SU ESMERADO TRABAJO EN LA LABOR DE EVALUACION AL APORTAR IDEAS OBJETIVAS PARA QUE EL DOCUMENTO Y DESENVOLVIMIENTO DEL GRUPO LLEGARA A FELIZ TERMINO.

ING. CABRERA, POR SU DESINTERESADO APOYO Y ACERTADAS SUGERENCIAS AL TRABAJO DE ASESORIA QUE AYUDO A PRESENTAR LO MAS DEPURADO POSIBLE EL DOCUMENTO ESCRITO Y LAS INTERVENCIONES ORALES EN LAS RESPECTIVAS EVALUACIONES.

ING. J.C.CASTRO, POR SU AYUDA EN APORTACION DE IDEAS, INFORMACION Y APOYO LOGISTICO EN LA APLICACION DE LOS FORMATOS AL DOCUMENTO ESCRITO.

ING. ENGELHARDT, POR SU APOYO INDISCUTIBLE Y APORTACION DE RECURSOS SUMAMENTE UTILES PARA EL DOCUMENTO ESCRITO.

ING. CARLOS PINEDA, POR SU COMPRESION Y AYUDA DURANTE EL PROCESO DE EVALUACION.

PHD MIGUEL CALLE, POR SU COLABORACION EN LA RECOPIACION DE LA INFORMACION TEORICA EN LA UNIVERSIDAD DE DELAWARE

ING. JORGE PINEDA, POR EL APOYO DE SOFTWARE Y APOORTE DE IDEAS PARA LA FORMULACION DE LOS MODELOS.

ING. MOKAN, POR SUS ESMERADAS CLASES EN LA UTILIZACION DE VISUAL BASIC.

ING. MIRIAN NOVOA, POR EL APOYO DE SOFTWARE Y SOPORTE DE IDEAS PARA LA GENERACION DE LA PRESENTACION ANIMADA EN ACTION 25.

ING. ZAMBRANA POR APORTACION DE ALTERNATIVAS DE SOTWARE A UTILIZAR PARA LA ELABORACION DEL MODELO.

ING. ADOLFO AYALA, POR EL PRESTAMO DE INFORMACION NECESARIA PARA LAS BANDAS DE FRECUENCIAS.

A TODOS NUESTROS COMPAÑEROS: JUAN CARLOS RIVAS, ANTONIO JOSE ZURA PERAZA, VICTOR CUCHILLA

Y DE UNA MANERA SUMAMENTE ESPECIAL NUESTROS AGRADECIMIENTOS AL ING. ARMANDO DIAZ POR HACER POSIBLE EL CONTACTAR PERSONAL ESPECIALIZADO EN SISTEMAS SATELITALES EN EL EXTRANJERO.

DEDICATORIA (de ROBERTO ORELLANA)

A Dios, por su ayuda en todo el proceso de aprendizaje, desde la preparatoria hasta este día.

A mis padres, ANGEI. ORELLANA DUARTE y ROSA MIRIAN DE ORELLANA quienes me brindaron sus acertados consejos y me apoyaron en todo momento especialmente cuando más lo necesitaba.

A mis hermanas, ALMA CAROLINA y MIRIAN AMERICA por su paciencia en todos los años de mi preparación.

Y a todos mis familiares que de una u otra forma colaboraron para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA (de FRANCIS LEDIF MENDEZ)

A Dios todopoderoso, que me dio fortaleza para no desfallecer en los momentos mas difíciles y sacar adelante mis estudios.

A mis padres, MARIA MILAGRO DE MENDEZ Y FRANCISCO ALFONSO MENDEZ ; que me apoyaron y estuvieron a mi lado en todo momento a lo largo de mi vida.

A mis hermanos, CAROLINA ELIZABETH, TANIA LIZETH Y BORIS IVAN que me brindaron su apoyo y comprensión.

A mis amigos , MARCO, NAPO, OMAR, OSWALDO, JUAN CARLOS Y CESAR por su colaboración y apoyo desinteresado.

A mi jefe, CARLOS PINEDA, y compañeros de trabajo por su ayuda logística.

DEDICATORIA (de ROLANDO FRANCIA)

A Dios todopoderoso y a la Virgen Maria, que me dieron fuerza y valor para seguir adelante mis estudios.

A mis padres, MANUEL DE JESUS FRANCIA Y CORINA VALLADARES DE FRANCIA ; que con todo el esfuerzo me han saca adelante , me apoyaron y estuvieron a mi lado en todo momento .

A mi Esposa y Hijita, CLAUDIA DE FRANCIA Y CARMEN ELENA FRANCIA ; que me han tenido paciencia y me han dado el apoyo en todo momento para seguir adelante.

A mi hermano, MANUEL FRANCIA ; que siempre me ha incentivado a seguir adelante.

A mis amigos , especialmente a JUAN CARLOS CASTRO por su colaboración y apoyo desinteresado.

ÍNDICE

Planteamiento del problema	i
Objetivos	ii
INTRODUCCION	I
CAPITULO 1 DESCRIPCION TEORICA DEL SISTEMA SATCOM	
Introducción	1
1.1 Arquitectura del sistema SATCOM	1
1.2 Teoría funcional del sistema	5
1.3 Arquitectura de las capas del sistema	9
1.4 Procesador del sistema	11
1.5 Modulo del canal	12
1.6 Definición del producto	13
1.7 Unidad de Datos Satelital	13
1.8 Unidad de RF	15
1.9 Amplificador de Alta Potencia	15
1.10 Interface de antena	16
1.10.1 Antecedentes	16
1.10.2 Interface Conductora de cabina	17
1.11 Servicios de fax en la cabina	17
1.12 Segmentos espaciales	18
Conclusiones	18

CAPITULO 2 SISTEMAS MOVILES POR SATELITE

	Introducción	19
2.1	Sistema móvil por Satélite	19
2.2	Recursos de un sistema de telecomunicación móvil por satélite	26
2.2.1	Orbita	26
2.2.2	Cobertura	27
2.2.3	Conectividad	27
2.2.4	Acceso Múltiple	27
2.2.5	Ancho de Banda	28
2.2.6	Potencia	29
	Conclusiones	31

CAPITULO 3 SATELITES

	Introducción	32
3.2	Transponder	35
3.2.1	Enlace Intersatelital	37
3.3	Telemetría, Rastreo y Comandos	38
3.3.1	Rastreo y recorrido de señal	40
3.3.2	Recorrido de la señal	41
3.3.3	Torques externos	41
3.3.4	Control de altitud	41
3.4	Consideraciones relativas a la separación orbital para el servicio móvil por satélite	42
3.4.1	Factores que influyen en la compartición orbital	42
3.4.2	Características de ganancia de la antena	43
3.4.3	Exactitud de la puntería de la antena	44
3.4.4	Separación necesaria entre satélites del servicio móvil general por satélite	44

3.5	Órbitas	46
3.5.1	Tipos principales de órbitas	46
3.5.2	Órbita Geostacionaria	47
3.5.3	Órbita Geosincrona	48
3.5.4	Órbita Molniya	49
3.5.5	Órbita Baja	50
3.5.6	Órbita Circular	51
3.5.7	Otras órbitas	53
3.6	Geometría de satélites y estación terrena	54
3.7	Azimuth y Elevación	55
3.9	Oscilaciones este, oeste y radial	57
3.9.1	Excentricidad de la órbita	58
3.9.2	Retrasos de enlaces satelitales	59
	Conclusiones	62

CAPITULO 4 BANDAS DE FRECUENCIA Y CANALES DE COM.

	Introducción	63
4.1	Banda de frecuencia	63
4.1.1	Ambiente de radio frecuencia y sus implicaciones	63
4.1.2	Sistema satelital movil Presente y futuros	66
4.1.3	Diseño y características de sistemas de antena satelital de comunicacion multibanda	68
4.1.4	Vista a los sistemas de antena	69
4.2.1	Formatos de los canales RF en SATCOM	70
	Conclusiones	71

CAPITULO 5 ESTACION TERRENA Y ESTACION MÓVIL

Introducción	72
5.1 Estación terrena	72
5.2 Clasificación de las estaciones terrenas	73
5.3 Especificaciones básicas de una estación terrena	74
5.3.1 Sensibilidad y temperatura	75
5.3.2 Temperatura de ruido equivalente	75
5.3.3 Temperatura de ruido de la antena	76
5.3.4 Temperatura de ruido equivalente del receptor	77
5.3.5 Características de la antena	77
5.3.6 Amplificador de salida	79
5.4 Descripción de una estación terrena convencional	79
5.4.1 Antena	83
5.4.2 Subsistemas de comunicaciones	85
5.4.2.1 Etapa de transmisión	85
5.4.2.2 Etapa de recepción	86
5.4.2.3 Conexión con la red terrenal	87
5.5 Estación Móvil	88
5.5.1 Unidad de Datos Satelitales	89
5.5.2 Amplificador de Alta Potencia	89
5.5.3 Unidad de Radio Frecuencia	90
5.5.4 Antena de Baja Ganancia	90
5.5.5 Amplificador de Bajo Ruido	90
5.5.6 Antena de Alta Ganancia	91
Conclusiones	91

CAPITULO 6 RADIOENLACES

Introducción	93
6.1 Radioenlaces	93
6.2 Parámetros a considerar en los enlaces de radiocomunicaciones por satélite	96
6.2.1 Potencia de Transmisión	98
6.2.2 Ganancia de Antena	98
6.2.3 Potencia Isotropica radiada efectiva	100
6.2.4 Nivel de iluminación	101
6.2.5 Perdidas en el espacio libre	102
6.2.6 Temperatura de ruido	105
6.2.7 Figura de MERIT g/t para el sistema receptor	106
6.2.8 Razón del ruido térmico a la portadora	107
6.2.9 Densidad de Portadora a ruido	107
6.2.10 Razón de Portadora a Ruido	108
6.3 Cálculos básicos para diseños de enlaces	109
6.3.1 Enlace ascendente	109
6.3.2 Enlace descendente	118
6.4 Balances de los enlaces satelitales	112
6.5 Calidad de los enlaces satelitales	115
Conclusiones	117

CAPITULO 7 TECNICAS DE COMUNICACION

	Introducción	119	
7.1	Técnicas de Conmutación	119	
7.2	Técnicas de Modulación	122	
7.2.1	Modulación por Desplazamiento de frecuencia (MDF)	122	
7.2.2	Transmisor MDF	122	
7.2.3	Consideraciones de ancho de banda MDF	123	
7.2.4	Receptor MDF	124	
7.2.5	Modulación por desplazamiento de fase (BPSK)	125	
7.2.5.1	Transmisor BPSK	125	
7.2.5.2	Consideraciones de ancho de banda para BPSK	128	
7.2.5.3	Receptor BPSK	130	
7.2.6	Codificador M-ary	132	
7.2.7	QPSK	132	
7.2.7.1	Transmisor QPSK	133	
7.2.8	Consideraciones de ancho de banda de QPSK	134	
7.2.8.1	Receptor QPSK	136	
7.3	Técnicas de Múltiple Acceso	139	
7.3.1	Acceso Múltiple por División en Frecuencia	139	
7.3.2	Acceso Múltiple por división en el Tiempo	141	
7.3.2.1	Tecnología AMDT	145	
7.3.3	Comparación AMDF y AMDT	148	
7.3.4	Acceso Múltiple Por División de Código	149	
7.3.5	Acceso Múltiple por Ensanchamiento del Espectro	152	
7.3.6	Acceso Múltiple con Direcciones de Impulso	153	
7.3.7	Asignacion de canales	153	

7.4	Problemas en Transmisión	155
7.4.1	Interferencias de Intermodulación	155
7.4.2	Perdidas de Propagación	156
7.4.2.1	Desvanecimiento por difracción	157
7.4.2.2	Desvanecimiento por trayectos multiples	157
7.4.2.3	Efecto del desvanecimiento multitrayecto en radioenlaces digitales	158
7.4.2.4	Efecto sobre la interferencia entre símbolos	159
7.4.2.5	Efecto de la recuperación de la potencia	159
7.4.2.6	Efectos de recuperación de la temporizacion	160
7.4.2.7	Atenuación debida a gases, vapores y lluvia	160
7.4.3	Interferencias en radioenlaces digitales	161
7.4.3.1	Internas	163
7.4.3.1.1	Interferencia entre símbolos	163
7.4.3.1.2	Compensación de la interferencia entre símbolos	164
7.4.3.2	Externas	167
7.4.3.3	Control de las interferencias	168
	Conclusiones	169

CAPITULO 8 SERVICIOS

	Introducción	171
8.1	Servicios	171
8.2	Servicios soportados	172
	8.2.1 Servicios Fijos	173
8.2.2	Servicios de Radiodifusión	173
	8.2.3 Servicios móviles por satélite	173
	8.2.3.1 Servicios en el océano	174
	8.2.3.2 Servicios en la tierra	174
	8.2.3.3 Servicios en el aire	175
8.3	Información técnica de los servicios móviles por satélite	176
8.4	Categorías de servicios según INMARSAT	178
	8.4.1 INMARSAT A	179
	8.4.2 INMARSAT AERONAUTICO	179
	8.4.3 INMARSAT M y B	180
	8.4.4 INMARSAT C	180
	Conclusiones	181

CAPITULO 9 SIMULACION

	Introducción	183
9.1	Sistemas y modelos	184
9.2	Que tipos de sistemas pueden ser modelados	184
9.3	Implementando y evaluando decisiones	185
9.4	Simulación vrs. otras alternativas	185
9.5	Razones para usar simulación	186
9.6	Pasos a seguir en el estudio de la simulación	187
	9.6.1 Planteamiento del problema y objetivos	187
	9.6.2 Análisis del sistema	187
	9.6.3 Análisis de la distribución de entrada	187
	9.6.4 Construcción del modelo	188
	9.6.5 Diseño y codificación del programa de simulación	189
	9.6.6 Verificación del programa de simulación	189
	9.6.7 Análisis de los datos de salida	189
	9.6.8 Validez del modelo	190
	9.6.9 Experimento del sistema	190
	9.6.10 Elaborando rutinas de producción	190
	9.6.11 Análisis estadístico de los datos	191
	9.6.12 Implementacion	191
	9.6.13 Documentación final	191
9.7	Metodología de modelado	191
	9.7.1 Modelado de sistemas	192
	9.7.1.1 Sistemas continuos, discretos y sistemas combinados	193
	9.7.2 Modelado de sistemas de eventos discretos	194
	9.7.3 Programa de simulación	196
	9.7.3.1 Propósitos generales, librerías de lenguaje y simulación	196

9.7.3.2	Lenguajes del programa de simulación	197
9.7.3.3	Programas de sistemas de simulación interactiva	197
9.7.3.4	Sistema de modelado visual interactivo	198
9.7.4	Verificación del programa de simulación	198
9.7.5	Metodología de análisis	199
9.7.6	Análisis de los datos de entrada	199
9.7.7	Generación de variables aleatorias	200
9.7.8	Análisis de datos de salida	200
9.7.9	Validación	201
9.7.10	Implementacion	202
9.8	Modelo básico de un sistema de comunicación móvil por satélite empleado en la aviación aérea comercial	202
9.9	Formulacion del modelo	203
	Tabla 9.1(VARIABLES mat. del modelo.Ordenadas por corr.)	204
	Tabla 9.2(VARIABLES mat. del modelo. Ordenadas por cat)	207
	Ecuaciones	211
	Arbol de proporcionalidad de las variables matematicas	215
	Diagrama de bloques del sistema a modelar	216
	Tabla 9.3(Eventos princ. Del modelo con sus variables)	217
9.10	Flujograma del programa matemático	218
	Conclusiones	226

CAPITULO 10	LOG ON, LOG OFF, HANDOVER	227
Introducción		227
10.1	Procesos de log-on/log-off de la aeronave a la estación terrena	228
10.2.	Procesos de Handover	236
10.3.	Modelos presentados	241
10.4	Algoritmos	
	Procesos de handover y log-on (fig 4)	243
	Proceso de estación terrena para solicitud de Log on (fig 6)	253
	Proceso de reasignación de canal de datos para la estación terrena (fig 6.1)	256
	Arribo de llamada telefónica a la estación terrena (fig 14)	259
	Proceso físico de señalización de una llamada arribando a la estación móvil (fig 15)	265
	Flujograma del programa animado SIMUL8 (FIG 16)	270
10.5	Diagramas de estado	
	Proceso de Log on	273
	Proceso de Log off y handover	274
	Secuencia de llamada aire-tierra y tierra-aire	275
	Secuencia de tx de datos tierra-aire	276
	Secuencia de llamada móvil-satélite	276
	Secuencia de tx de datos aire-tierra	277
	Secuencia de llamada satélite-móvil	278
	G. O. S.	279

CONCLUSIONES GENERALES	281
Apendice A. Guia del usuario para la manipulación de datos en los modelos simulados en Simul 8	283
Apendice B. Instrucciones para el uso del programa P21	284
apendice C. Como instalar los discos	285
Bibliografía	286

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el nivel de conocimiento de los sistemas análogos y digitales, empleados en la comunicación vía satélite, está centralizado en el personal que labora en empresas que prestan tales servicios, algunas de las cuales, con mucho esfuerzo pretenden compartir sus experiencias en tales ramas, con algunas universidades, pero debido a la falta de bibliografía de estas técnicas en sistemas funcionales, muchas veces el catedrático se ve limitado a exponer todo como una caja negra, quedando generalmente lagunas en los aprendices.

Así mismo, las personas que conocen los sistemas de comunicación móvil por satélite, tanto a nivel ingenieril como técnico, han tenido que viajar al extranjero, para ser capacitados y certificados para operar en ese campo.

Por lo anterior y sumados a que la navegación aérea comercial salvadoreña está en crecimiento, será necesario para aquellos técnicos o ingenieros en electrónica, que desean aplicar a empresas que prestan tales servicios, tener las bases necesarias, específicamente en ese campo quienes hoy en día se ven limitados y a veces actuando como aventureros, por carecer de documentación accesible que les oriente, o por tener barrera de idioma. lo que también experimenta el personal técnico-operativo que labora en el campo de las comunicaciones satelitales, pues la mayoría de libros que se tienen que solicitar al extranjero son en alemán o en inglés, lenguaje también utilizado en los cursos de entrenamiento, por los instructores que los imparten ya sea localmente o fuera de nuestro país.

Es por estas razones, que para lograr comprender los sistemas de esta naturaleza, nuestro trabajo explica lo complejo de una forma sencilla a través del modelo matemático que se ha diseñado, los usuarios puedan dimensionar los requerimientos para el establecimiento de radioenlaces satelitales y calcular así, con una referencia teórica acertada los parámetros que intervienen en las comunicaciones móviles por satélite.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Otorgar al foro académico salvadoreño en electrónica, un documento formal en el que encontrarán detalladamente descritas las principales etapas que conforman un sistema de comunicación móvil aéreo por satélite.

OBJETIVO ESPECIFICO

Desarrollar un modelo matemático básico del establecimiento de radioenlaces satelitales en la navegación aérea comercial, dirigido a personas con conocimientos mínimos de telecomunicaciones, para que comprendan las características, funcionamiento e interacción de los principales parámetros que intervienen en el dimensionamiento de sistemas de tal naturaleza, a través de los resultados generados por el modelo matemático.

INTRODUCCION

El uso de satélites orbitales es una parte integral de los sistemas de comunicación de hoy en día. Cada nueva generación de satélites ha sido más sofisticada tecnológicamente que sus predecesores y cada una ha tenido un impacto significativo en el desarrollo de sistemas de comunicación militares, domésticos e internacionales.

Para los ingenieros en comunicación, los satélites han significado, un tipo especial de enlace, al que se debe tratar con su propio diseño de formatos, análisis de procedimientos y características de funcionamiento. En una oración, un sistema de comunicación por satélite es simplemente una unión de los sistemas básicos de comunicación con subsistemas de interfaces complicados.

Las comunicaciones de largo alcance, vía microondas fueron iniciadas en la décadas de los '20. Con el acelerado desarrollo de esta tecnología, estos sistemas rápidamente se convirtieron en una parte importante de los sistemas de comunicación terrestres y aéreos. Sin embargo, estos sistemas fueron en su mayoría, restringidos a comunicaciones punto a punto, lo que significaba que dos estaciones terrenas localizadas de forma tal que el horizonte las distanciaba, no podían comunicarse directamente entre sí y el uso de la troposfera y de la ionosfera para generar el fenómeno de la reflexión de las ondas electromagnéticas se volvía cada vez más complicado para mantener un sistema de comunicación continuo.

En la década de los '50 se propuso el concepto de usar vehículos espaciales que sirvieran de "switchero", para las ondas electromagnéticas y así mantener un sistemas de comunicación estable. La primera versión de esta idea apareció en 1956 con el satélite ECHO. A finales de los '50 se propuso un nuevo concepto el que volvió a los satélites, vehículos activos en el sistema de comunicación (satélites con capacidad de amplificación

de señales). Los satélites Score y Telstar comprobaron este concepto, por lo que con las nuevas tecnologías, se mejoraron los diseños de este tipo de vehículos espaciales localizados en la órbita geoestacionaria, creándose para ello, instituciones que regularan los procedimientos de expansión de sistemas de comunicación por satélite.

Simultáneamente con el establecimiento de INTELSAT, la Organización Marítima Internacional (IMO), ahora conocida como Organización Marítima intergubernamental de consultoría, convocó una asamblea para decidir los principios del uso de satélites y mejorar las comunicaciones marítimas. Esto originó la creación de INMARSAT en 1976, institución que tomó más fuerza el 16 de julio de 1979, cuando se inicio el primer servicio de comunicación móvil por satélite.

INMARSAT, (International MARitime telecommunication SATellite organization) oficialmente empezó a operar en febrero de 1982, inicialmente usando tres satélites de Comsat General y luego dos más de European Space.

En 1985, INMARSAT fue asignada para que cubriera el servicio aeronáutico y en 1989 para que cubriera los servicios móviles terrestres. Así que INMARSAT, es la única organización que provee servicios de comunicación móviles por satélite en todos los modos de transporte por aire, tierra y océano. Debido al incremento del tráfico, INMARSAT, lanzo una nueva segunda generación de satélites, el primero de los cuales fue lanzado en febrero de 1990.

La fase de expansión de la explotación comercial en el mundo occidental, se inicia con la creación en agosto de 1964 del consorcio INTELSAT, para el establecimiento de un sistema comercial mundial de telecomunicaciones por satélite, financiado mediante cuotas de inversión basadas por el porcentaje de utilización del sistema, que cuantifican la participación de los diversos países. INTELSAT delegó a la compañía COMSAT la gestión del diseño, desarrollo de la construcción de satélites, la coordinación de su seguimiento por la NASA y otras funciones auxiliares.

Los países miembros tienen acceso al segmento espacial desde sus estaciones terrenas, que están clasificadas en determinadas categorías, conforme a las normas de la Organización.

La planificación del sistema, se basa en el concepto de satélite estacionario y sincrónico, en órbita ecuatorial y se ha ido desarrollando mediante las etapas de satélites INTELSAT I a VI, sobre los océanos Atlántico, Pacífico e Indico.

INTELSAT II (1967), proporcionaba cobertura hemisférica, su capacidad era similar al INTELSAT I, pero permitía el acceso múltiple de estaciones terrenas dentro de la zona de cobertura.

INTELSAT III (1960-70), fue una serie de ocho satélites con notables avances. Su capacidad era de 1500 circuitos, 4 canales de TV o combinaciones de estos. Permitía el acceso múltiple y la posibilidad de cursar simultáneamente tráficos variados: telefonía, telegrafía, televisión, datos, facsímil, etc.

INTELSAT IV (1971-1977), serie de satélites dividida en dos grupos:

IV, con 4000 circuitos y 2 canales de TV, con un ancho de banda próximo a 500 MHz, dos antenas de transmisión de haz global y otras dos de haz puntual o restringido, orientables. Posibilidad de acceso múltiple y transmisiones simultáneas.

IV-a, capacidad de 6000 circuitos y 2 canales de TV, con un ancho de banda de 750 MHz. Acceso múltiple y transmisiones simultáneas.

INTELSAT V, con una capacidad de 12000 circuitos y 2 canales de TV. Con capacidad de reutilización de frecuencias y doble polarización.

Hoy en día se encuentran operando la etapas INTELSAT VI y VII.

Uno de los principales objetivos de la UPT (Universal Personal Telecommunication) es proveer la capacidad de servicios de comunicación personalizado, de forma que cualquier usuario, ubicado en cualquier contexto de UPT pueda ser accesado desde diferentes redes y desde distintos terminales. Este usuario puede ser fijo o móvil, considerándose para este último los términos de acceso inalámbrico y terminal móvil.

En el campo específico de los servicios móviles, la ITU (International Telecommunication Union) ha especificado los requerimientos para los sistemas de comunicación móviles, tanto terrestres, marítimos como aéreos en las distintas generaciones de tecnología que han existido, encontrándose trabajando al presente con los servicios móviles de tercera generación, los que están proyectados empiecen su servicio a finales de la presente década.

La primera generación de servicios móviles se caracteriza por utilizar técnicas analógicas, como por ejemplo: Sistema Telefónico Móvil Americano (AMPS), Japonés (JMPS) y Nórdico (NMT). En cuanto a los Sistemas Móviles por Satélite (MSS), se han caracterizado por la tremenda área de servicio que pueden controlar.

Telepunto, pagin, redes celulares, redes de comunicación personal, sistemas multihaces por satélite, todos son ejemplos de la presente generación de sistema de comunicación, la segunda, donde cada uno de los servicios son acomodados en tecnologías diseñadas y optimizadas para escenarios específicos.

Para la tercera generación, tanto la ITU-R (sector de radiocomunicación de la ITU, formalmente CCIR), como la ETSI (Instituto de Standares para Telecomunicaciones Europeo), están trabajando en un concepto universal para comunicaciones móviles que

sea capaz de satisfacer todas las necesidades de las comunicaciones en todos los escenarios.

La tabla I resume los servicios móviles por satélite durante la primera generación, conocida en el área comercial como INMARSAT (International Maritime telecommunication Satellite organization) BANDA-L (operando en el rango de frecuencias 1.5 -1.6 Ghz). Los principales usuarios de esta red son marítimos (categoría "A") los que son atendidos por satélites ubicados en la órbita Geoestacionaria.

La Tabla II, resume los estándares más diversificados en la actual segunda generación de sistemas móviles de comunicación por satélite.

Hoy en día, para servicios marítimos y aeronáuticos la órbita Geoestacionaria parece ser la que posee las mejores características para las tecnologías de sistemas de comunicación móviles, presentes y futuras; otras configuraciones de órbitas (baja/media órbita) están siendo consideradas como constelaciones alternativas para redes personales y misiones específicas.

El problema del control y asignación de radio frecuencias para aplicaciones móviles se empezó a estudiar con preocupación desde febrero de 1992, en la Conferencia de Administración Mundial de Radio, sostenida en Malaga, España y se continuó en Génova (1993), quedando puntos por discutir para la reunión mundial de 1995. Una de las decisiones más relevantes que se tomaron en febrero del '92 fue la colocación y delimitación de las bandas L (1610-1625.5 MHz) y S (2483.5-2500 MHz). Más sin embargo existieron muchos principios técnicos que discutir acerca de la cantidad de espectro que podía ser utilizado para algunas aplicaciones en particular, por lo que la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) creó tres grupos de control para que cada uno se encargara de estudiar y recomendar mecanismos que mejoraran la utilización del espectro existente, investigar la interferencia con otros servicios

autorizados y determinar medidas de interconexiones entre satélites. También se estudiaron las técnicas de asignación de canales de comunicación, considerándose la estrategia de asignación de canales fijos (FCA), y la estrategia dinámica (DCA).

TABLA 1 PRIMERA GENERACION DE SERVICIOS MOVILES POR SATELITE

ORGANIZACION	INICIO SERVICIO	SATELITE	SERVICIOS	VELOCIDAD BIT/SEC	APLICACION
INMARSAT	A(1982)	MARECS	VOZ,TELEX, FAX,DATOS	ANALOGO FM	EMBARCACIONES
INMARSAT	B(1993)	MARECS	VOZ,TELEX, FAX, DATOS	16K VOZ	EMBARCACIONES
INMARSAT	C(1991)	MARECS	ALMACEN, SEGUIMIENTO TELEX, DATOS	600	AVIONES PEQUEÑOS, MOVILES TERRESTRES
INMARSAT	M (1992/1993)	MARECS	VOZ, FAX DATOS	6.4 K VOZ 2.4 K	PEQUEÑOS BARCOS
INMARSAT	AERONAUTICAL 1992	MARECS	VOZ, FAX DATOS	300 9.6K	AVIONES COMERCIALES Y PRIVADOS
QUALCOMM	OMNITRACS 1989	GSTAR	MENSAJES DUPLEX (USA)	5-15K (ADEL) 55-165 (ATR)	MOVILES TERRESTES
QUALCOMM	EUTELTRACS 1991	EUTELSAT	MENSAJES DUPLEX (EURO)	5-15K (ADEL) 55-165 (ATR)	MOVILES TERRESTES
NASDA	ETS-V 1987	ETSV	EXPERIMENTO SISTEMAS	EN MOVILES	JAPON Y FIJOS

TABLA II SEGUNDA GENERACION DE SERVICIOS MOVILES POR SATELITE

ORGANIZACION	INICIO SERVICIO	SATELITE	SERVICIOS	VELOCIDAD BIT/SEC	APLICACION
INMARSAT	MINI -M 1996	INMARSAT III	VOZ, DATOS FAX, TELEX	2.4K	TERMINALES PORTABLES LAP-TOP
OPTUS COMMS.	MOBILESAT 1994	OPTUS-B	VOZ, FAX, DATOS, PAQ. (AUSTRALIA)	6.4 K(VOZ) 2.4 K(DATOS)	AREAS RURALES EN AUSTRALIA
AMSC/TMI	MSAT 1994	MSAT	RTP, VOZ, DATOS, PAQ & CIRCUITO.(USA)	1.2 K 5 K 9.6 K	MOVILES TERRESTRES EMBARCACIONES AERONAVES
ESA	PRODAT-II MSBN	EMS (ITALSAT) LLM (ARTEMIS)	ALMACEN (EUROPA) VOX,FAX, DATOS (EUROPA)	1.5K 2.4K 6.4 K	600 TERMINALES PORTABLES
DoCoMo NTT	NSTAR 1995	NSTAR	SISTEMA	DOMESTICO	PARA JAPON
MPT	ETS-VI 1993	ETS-VI	EXPERIMENTO	PARA	JAPON
MPT	COMETS 1997-1999	COMETS	EXPERIMENTO EN JAPON	PARA	SIST. MOVILES

En general, un sistema por satélite puede proveer una capacidad mucho mayor con respecto a las redes terrestres, puesto que son colocados en zonas donde el área de cobertura ofrece una capacidad que a un costo muy grande podría a duras penas ser alcanzado por una red terrestre. Un sistema por satélite debe cumplir con ciertos requerimientos, los que pueden ser observados en la Figura 1.

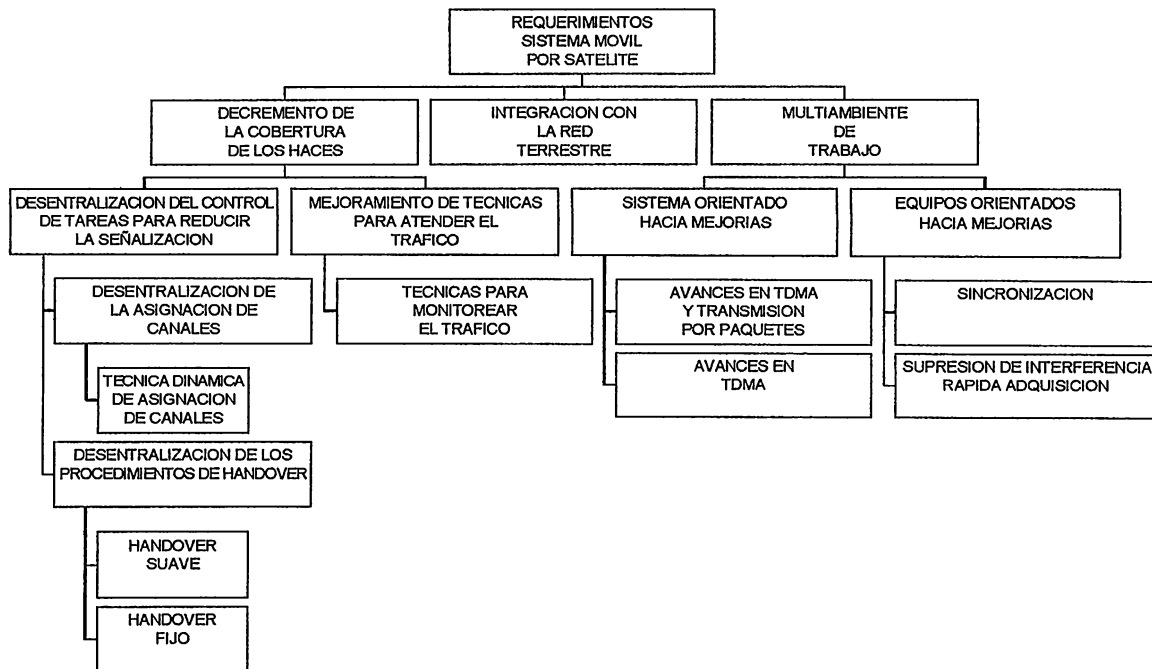
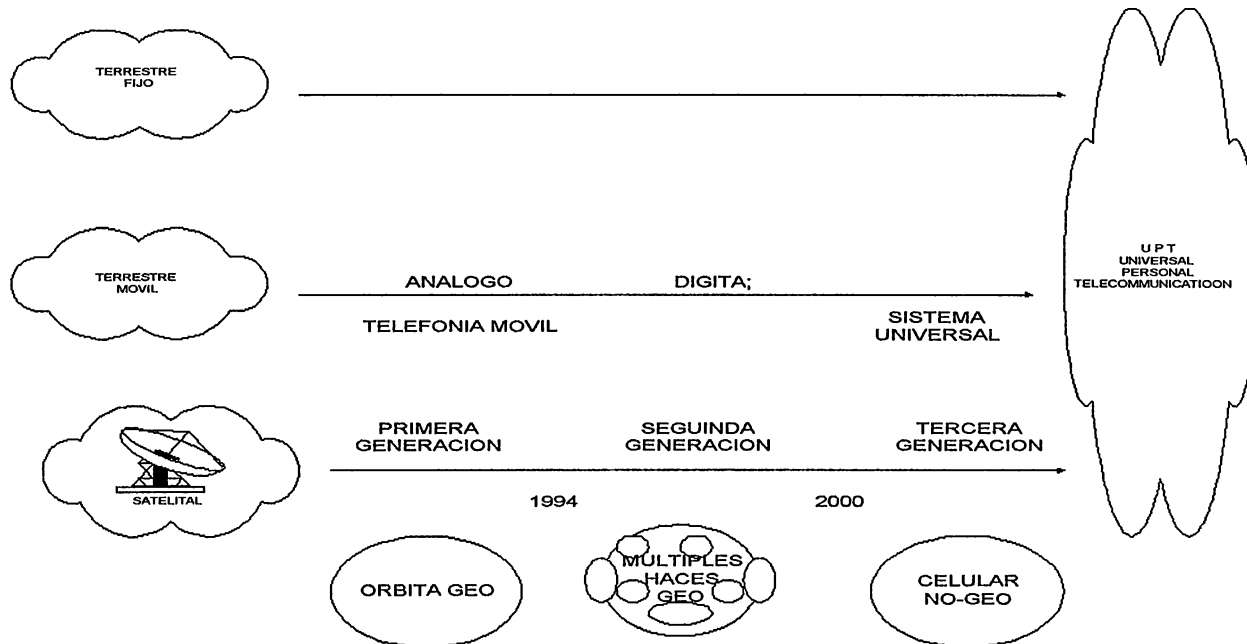


FIGURA 1 *Requerimientos de un sistema móvil por satélite*

En la Figura 2, se visualiza la evolución de los sistemas de comunicación fijos, móviles terrestres y satelitales.

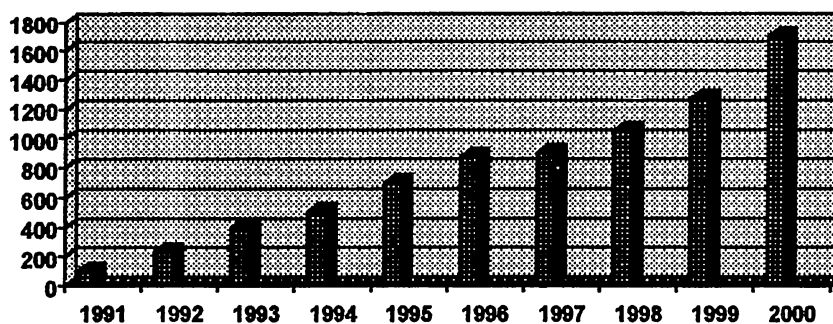
FIGURA 2 *Evolución de los sistema de comunicación móviles*



Con la teoría que se ha descrito hasta ahora, podemos ubicarnos en qué momento tecnológico nos encontramos y bajo que parámetros se estudiará la teoría fundamental de un sistema móvil aeronáutico por satélite, la que se tomará como base principal para la creación de modelos básicos que describen la interrelación de los principales parámetros involucrados en sistemas de tal naturaleza.

Se tomará como referencia un sistema ya existente, utilizado por aeronaves transatlánticas, llamado SATCOM, de donde se partirá para describir cualitativamente dichos modelos, a través de simuladores creados como parte del proyecto, y así comprender el efecto significativo que poseen las variables que se involucran en sistemas móviles por satélite.

Este sistema SATCOM, se ha venido comportando y se seguirá comportando acorde la gráfica 1:



Comportamiento del sistema SATCOM

Gráfica 1

En la gráfica se denotan las instalaciones que se han obtenido y se obtendrán del hardware del sistema que servirá como referencia para nuestro trabajo de graduación.

Por lo anterior y fundamentados en los objetivos de nuestro proyecto, se aclara que todos los capítulos que se contemplarán en el presente escrito, contendrán la información necesaria para comprender los parámetros y variables que intervienen en el establecimiento, mantenimiento y terminación de la comunicación móvil por satélite, los

que serán aplicados a un modelo animado que presentará en forma inter-activa cada uno de estos elementos básicos.

El modelo que se desarrollará, parte del hecho que, típicamente el modelado de sistemas es un diagrama de bloques que describe la interconexión de varios subsistemas que componen un sistema completo, donde cada bloque funcional es descrito por operaciones (matemáticas o empíricas comprobables) de procesamiento de señal que definen las relaciones entre las variables de entrada y salida del sistema, considerando que la precisión del modelo del sistema depende del análisis matemático y el nivel de simulación computarizada que se utilice, debiendo tener en cuenta que el resultado de un análisis matemático es el cálculo y el de una simulación en una variable aleatoria, que nos permite identificar el comportamiento de los parámetros más importantes.

El modelo se caracterizará por tener cierto grado de animación, (tomando como referencia un escenario que simule la región centroamericana) para demostrar el efecto que el movimiento relativo de la aeronave presenta en la calidad de la comunicación, así como el resultado de todos los algoritmos que se llevan a cabo para el traslado de una llamada en proceso de un satélite a otro, lo que será demostrado con ecuaciones matemáticas, que controlarán un modelo matemático algebraico a nivel de bloques, donde se introducirán ciertas variables de entrada y se observará el resultado que se genera en el proceso de comunicación.

Se pretende con los modelos a desarrollar que se establezcan los diferentes servicios usados (sólo voz y datos para el sistema SATCOM) en la navegación aérea

comercial, para comprender las características desde el establecimiento, siguiendo por el mantenimiento, hasta la terminación de los mismos, como también conocer los parámetros que influyen en estos servicios.

El documento escrito de este trabajo de graduación se encuentra distribuido de la siguiente manera:

El capítulo uno empieza con la definición de la arquitectura y la teoría funcional del mismo, donde se ha definido las variables y equipos principales de este sistema, como referencia para el resto de los capítulos del documento escrito.

Para que el lector adquiriera un criterio de evaluación y conocimiento más amplio de los sistemas móviles aéreos por satélite, se destinaron algunos capítulos para el estudio de variables que intervienen en estos sistemas, las que quedaron a nivel de conocimiento general y enfocándose en los mismos, a las variables que intervienen en el modelo matemático que se diseñó, en las que se profundizó según lo requerido. En el capítulo dos, se estudiaron los diferentes tipos sistemas móviles por satélite que cubre INMARSAT, y se destaca el que será nuestro campo de estudio, tomando como teoría funcional los recursos de tales sistemas. Estos recursos se estudiarán con más detalle en los subsiguientes capítulos. El capítulo tres se delimita al estudio básico de los satélites y órbitas, donde el lector se familiarizará con términos técnicos que en el modelo matemático, se vuelven comunes, como por ejemplo: transpondedor, ganancias de antenas, ubicación en el espacio, separación entre satélites, órbitas, excentricidad, inclinación, elevación, acimut, etc. y al mismo tiempo se estudia la teoría básica de los mismos, para que el estudiante, conozca la razón del por qué de esas variables, creando así una idea analítica de las mismas. El capítulo cuatro se orienta al estudio de las bandas de frecuencias utilizadas por los sistemas móviles y se destacan las empleadas en el modelo matemático. En el capítulo cinco se estudia la teoría básica de las estaciones terrenas, considerándose la clasificación, especificaciones, descripción de la

operación de los subsistemas principales de las mismas y al mismo tiempo se estudiarán las principales unidades que conforman a la estación móvil.

En el capítulo seis, se encuentra la teoría principal que ha ayudado al diseño del modelo matemático, el lector además de conocer el significado teórico de cada una de las variables de los radioenlaces, también conocerá el significado matemático de los mismos a nivel de ecuaciones en este capítulo y de resultados concretos en el modelo. En este capítulo el lector no encontrará una sección destinada al establecimiento de radioenlaces fijo y otra para los móviles, solamente se destaca el involucramiento del efecto doppler, el que no afecta de forma considerable al sistema. Para el establecimiento de estos radioenlaces, es necesario que exista un transporte codificado, entre el transmisor y el receptor. Las variables de este transporte, afectan grandemente a la calidad del sistema, por lo que se dedica todo el capítulo siete al estudio de las técnicas de Conmutación, Modulación y Múltiple acceso, destacándose las que en nuestro campo de operación se utilizan. El capítulo ocho, se estudiarán las categorías de servicios soportados por INMARSAT y se define la teoría técnica necesaria para el establecimiento de los mismos.

Hasta el capítulo ocho se termina de estudiar los recursos de los sistemas móviles aéreos por satélite los que ayudan a conformar el modelado de los mismo. La teoría de simulación y modelado de sistemas se estudiará en el capítulo nueve, donde el lector luego de estudiar los fundamentos de esta teoría, encontrará la formulación del modelo matemático que conforma la medula espinal de nuestro trabajo de graduación. En la formulación se detallan cada una de las variables que intervienen en el modelo y se definen las ecuaciones a utilizar para el análisis de los resultados en el modelo matemático que ha sido diseñado con Visual Basic versión Profesional. La misma nomenclatura en la definición de los nombres de cada una de las variables, de entrada, de proceso interno y de salida, que se sigue en el capítulo nueve se encuentra en el programa editado en Visual Basic, el que por motivos didácticos se ha dejado a nivel de

archivo de texto en discos para el lector conozca, siguiendo los algoritmos que se encuentran en este capítulo, la lógica de funcionamiento del mismo.

Se finaliza con el capítulo diez, donde se estudian los procesos de Acceso (Log on), terminación (Log Off) y Handover. En la teoría el lector se familiarizará con la señalización necesaria para el establecimiento de los servicios. Luego se definen las conclusiones generales y tres apéndices donde se definen los pasos a seguir para trabajar con el programa matemático, simulación básica y la identificación de los discos que se encuentran junto con el documento.

CAPITULO 1

DESCRIPCION TEORICA DEL SISTEMA SATCOM

INTRODUCCION: Un sistema de comunicaciones SATCOM esta formado por la estación terrena, la estación aéreo móvil o en otras palabras, el aeroplano y el satélite, unido a esto se encuentra las técnicas de comunicación utilizadas y los niveles (capas) a los cuales trabaja dicho sistema

OBJETIVO: Dar a conocer de forma teórica lo que es un sistema SATCOM, los niveles de comunicación que utiliza y de las partes que consta, para lograr la comunicación de un usuario en el aeroplano a un usuario en la tierra.

1.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA SATCOM

Un sistema de comunicaciones por satélite provee al usuario con una comunicación de datos y voz por un largo periodo de tiempo, consiguiéndose además con esto proveer acceso a satélites y a una red global de estaciones en tierra que pueden servir a un largo número de usuarios y de aplicaciones.

Estas aplicaciones incluyen la transmisión de datos (así como ACARS, reportes automáticos de estados de la aeronave, tiempos de salida, tiempos de llegada o tiempo de retardo de vuelo) y comunicación de voz (comunicación en la cabina, así como telefonía para los pasajeros). Los usuarios dentro de este sistema son aerolíneas, aeropuertos, control de tráfico aéreo y telecomunicaciones El siguiente diagrama es una ilustración del sistema.

El sistema de comunicación por satélite SATCOM (Satélite communications system) consiste de una red de satélites, una red de estaciones terrenas (ET) y una estación

aéreo móvil (EAM). El satélite y la red ET están definidos por el sistema por satélite marítimo internacional INMARSAT (International Marítima Satélite). Las estaciones terrenas están entrelazadas siempre para intercambiar información dentro del sistema y para proveer la información al usuario final (por ejemplo una aerolínea o una red de telecomunicaciones)

La red de satélites es transparente para los usuarios. El satélite básicamente lo que hace es convertir la frecuencia del sistema de comunicación aéreo por satélite a la frecuencia (6 a 4 GHZ) de la red de estaciones terrenas. Los satélites de comunicación son localizados en órbitas geosincronas lo que lo hace parecer estacionario en el cielo cuando es visto desde la tierra. Por tal motivo las antenas pueden ser fijadas o apuntadas una sola vez y siempre seguirán la posición del satélite. Un satélite puede ser considerado como un gran repetidor en el cielo, porque este recibe una señal en la frecuencia de banda designada y automáticamente transmite la señal recibida en una frecuencia de salida designada

La estación terrena provee sistemas de sincronización y coordinación a través de las transmisiones tierra-aire. Estas transmisiones tierra aire son conocidas como mensajes de salida. Los retornos de mensajes de el aeroplano son referidos como mensajes de entrada. La red de estaciones terrenas también permite al aeroplano comunicarse con cualquier otro usuario de la red terrena.

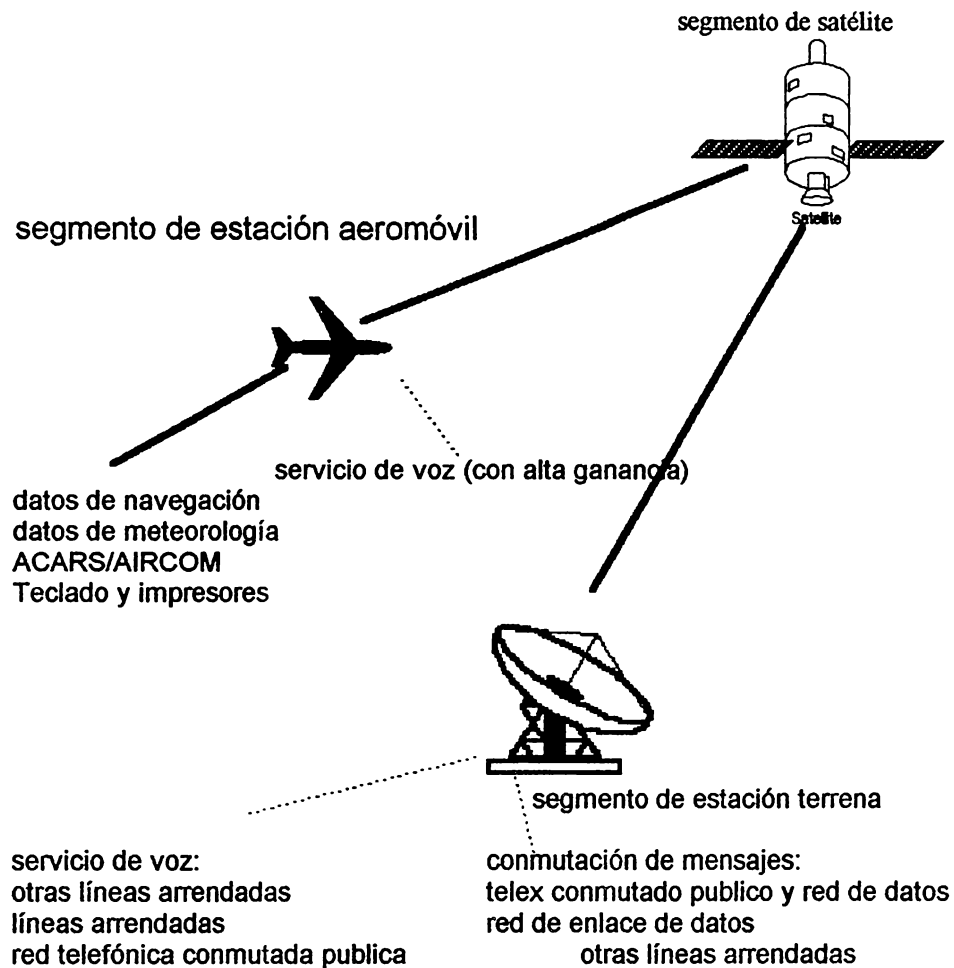


FIG. 1.1 Componentes del sistema SATCOM

El sistema de comunicación aéreo por satélite o estación aérea móvil (EAM) están formados por : una unidad de datos satelital, una unidad de radio frecuencia, un amplificador de alta potencia, una antena de ganancia baja, y una o dos antenas de ganancia alta.

La EAM cuando es energizada, escanea frecuencias seleccionadas en el rango de 1530 a 1559 MHZ. Este es el rango de frecuencia de la banda L, donde la transmisión del satélite será recibida. La EAM localiza la transmisión del satélite y lo encierra. La transmisión del satélite tal como es detectado por el receptor EAM, podría ser desplazada

en frecuencia por el efecto DOPLER debido al movimiento de el aeroplano, sea que este se este acercando o alejando de la posición del satélite.

La EAM entonces selecciona un satélite y una estación terrena (basado en la tabla de preferencia del usuario) y se registra en la red de estaciones terrestres seleccionadas. La información de registro es compartida con la red así, cualquier estación terrestre puede localizar el EAM.

Una vez registrado en el sistema, las comunicaciones entre la EAM y cualquier usuario puede empezar. Como un ejemplo, un mensaje ACARS reporta el tiempo de arribo. El sistema ACARS abordo en el aeroplano manda mensajes a la unidad de datos satelital. La unidad de datos satelital formatea el mensaje para transmitir en una frecuencia en el rango de 1626.5 a 1660.5 Mhz. La EAM transmite frecuencias para compensar el desplazamiento de la frecuencia por el efecto dopler del aeroplano y el satélite. De la perspectiva del satélite, no ocurre el efecto dopler. Esta frecuencia automática de compensación (AFC) reduce los errores de frecuencia de las señales de comunicación tierra-aeroplano y aeroplano-tierra

Las palabras de transmisión es recibida por el satélite y trasladado a una señal de banda C y transmitida a la estación terrena. El satélite no ejecuta cualquier manipulación o descodificación de datos, solo traslada la frecuencia de la señal recibida a frecuencia de señal transmitida.

La estación terrena recibe el mensaje en banda C de el satélite y descodifica el dato, entonces reconstruye las tramas de bits para producir el mensaje original; el mensaje es mandado entonces al usuario en cuestión.

1.2 TEORÍA FUNCIONAL DEL SISTEMA

En las siguientes líneas trataran de como los mensajes y la información son intercambiados entre las EAM y las estaciones terrenas (ET).

La operación de la EAM empieza con la recepción de la señal transmitida (tierra-aeroplano) de la ET . Esta señal tierra-aeroplano es transmitida en un canal de RF llamado canal P. Existen cuatro tipos de canales RF definidos para usar con el EAM. La siguiente tabla (TABLA 1.1) provee de una breve descripción de cada canal.

CANAL	DESCRIPCIÓN
CANAL P	Canal de Múltiplex por división en el tiempo MDT, usado en mensajes tierra-aeroplano para señales portadoras y datos de usuario
CANAL R	Canal de acceso aleatorio (slotted aloha) usados en mensajes aeroplano-tierra para llevar señal y datos de usuario, la señalización es generalmente confinada para iniciación de transacción y señales de solicitud
CANAL C	Canal de modo circuito usados para ambos mensajes: tierra-aeroplano y aeroplano-tierra. El canal C puede ser usado para voz, datos o ambos. El uso del canal es usado asignando y liberando señales en el inicio y final de cada transacción. Cuando es usado por voz, el canal C puede llevar también datos multiplexados para control y comunicación como es requerida.
CANAL T	Canal de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT), usado para mensajes tierra-aeroplano y aeroplano-tierra. El canal T puede ser usado para voz o datos. El tiempo de localización es variable y definida en una transición base por la ET.

Tabla 1.1 Canales RF de la aviación SATCOM

Las características de el rango de datos y el espacio del canal RF se observan en la tabla 1.2

CANAL	VELOCIDAD DEL CANAL Kb/seg.	ESPACIO DEL CANAL KHz	DIRECCIÓN
C	21	17.5	UNA O AMBAS
P, R, T, C	10.5	7.5	UNA O AMBAS
C	6.0	5.0	UNA O AMBAS
P, R, T	4.8	5.0	UNA O AMBAS
P, R, T	2.4	5.0	UNA O AMBAS
P	1.2	5.0	UNA O AMBAS
R, T	1.2	2.5	UNA O AMBAS
P	0.6	5.0	UNA O AMBAS
R, T	0.6	2.5	UNA O AMBAS

Tabla 1.2 RANGO DE DATOS Y CANAL RF

El espacio del canal ha sido seleccionado para reducir la interferencia del canal adyacente y para mejorar la sintonización de canal al considerar el efecto dopler.

Todos los canales usan uno de dos formas de modulación digital, dependiendo en el rango de transferencia del canal RF. El rango bajo (0.6, 1.2 y 2.4 Kb/seg.) usa desplazamiento de fase aeronáutico binario (ABPSK, aeronautical binary phase-shift keying) y el rango alto (4.8, 6.0, 10.5y 21 Kb/seg.) desplazamiento de fase en cuadratura aeronáutica (AQPSK, aeronáutica quadrature phase-shift keying).

Para entender el sistema de operación en mayor detalle es necesario entender la arquitectura del sistema. La arquitectura del sistema es definida en capas. Estas capas son las capa físicas, las capa de enlace y las capa de red.

El modelo de arquitectura (interconexión de sistema abierto, OSI, open system interconnection) fue desarrollado por la organización internacional de normalización (OSI)

para permitir a los miembros de una red, comunicarse con éxito. El modelo es una trama de trabajo que describe las normas a seguir de la red. Sin embargo, los miembros de la red no puede usar todos el mismo lenguaje. En regla para todos los miembros, para comunicarse con éxito, el establecimiento de convenciones de como la información es comunicada, cuando es comunicada, y que es lo que se comunica, debe ser usada por todos los miembros.

Este establecimiento de convenciones es conocida como un protocolo. Para simplificar el problema de comunicación, el problema fue dividido en un número de capas mas manejables de comunicación. Cada capa ejecuta un establecimiento de funciones requeridas para comunicarse con otro sistema. Cada capa recae en la capa próxima inferior para ejecutar mas funciones primitivas y para esconder los detalles de esas funciones. Cada capa provee servicio a la próxima capa arriba de ella , y cada capa tiene un set de protocolos. Sin embargo una capa no es sabedora de el formato y protocolos usados por las otras capas.

Cada comunicación dentro del sistema representa una serie de funciones las cuales deben ser arregladas en orden lógico. El modelo OSI describe siete capas, pero solo tres capas son requeridas para la comunicación SATCOM. Puesto que la unidad de manejo ACARS es todavía formateada con protocolo OSI, las unidades UDS y URF necesitan solo intercambiar o adicionar prefijos y sufijos como requisitos para transferir datos.

En la tabla 1.3 se define el modelo OSI

TERMINO	DESCRIPCIÓN
INFORMACIÓN DE CONTROL DE PROTOCOLO (ICP)	EL N-IPC Es intercambiado entre el par de miembros de redes iguales para coordinar la operación de juntura
DATOS DE USUARIO (DU)	El N-usuario podría también ser transferido entre miembros de redes iguales como requisito En la capa N-1 los datos de usuario llegan a la unidad de servicios de datos N-1 incluyendo el N-IPC
UNIDAD DE PROTOCOLO DE DATOS (UPD)	El N-UPD es una combinación del N-IPC y el N-DU ó N-UPD. EL N-UPD es toda la información que es transferida entre miembros de redes iguales como una unidad.
INTERFACES DE CONTROL DE INFORMACIÓN (ICI)	El N-IIC es la unidad entera de información transferida a través del punto de acceso de servicio
UNIDAD DE SERVICIOS DE DATOS (USD)	El N-USD es la parte del N-UDI cuya identificación es preservada entre los finales de la conexión
N-CAPA (N)	N es una fijación para cualquier nombre de capa (así como enlace , red, etc.) o por la inicial (e.g, N-USD que significa USDT en capa de transporte

Tabla 1.3 DEFINICIÓN DE MODELO OSI

La capa física comprende características eléctricas, mecánicas, funcionales y de procedimiento requeridas para el establecimiento, mantenimiento y desactivación de la conexión física entre los componentes de las capas de datos de el sistema.

La capa de enlace comprende el manejo de las funciones de la capa física, la cual incluye la identificación de un destino en particular de la fuente, la delimitación y sincronización de el bit de trama, error de detección y recuperación, segmentación de datos, reensamble y reinicialización de el enlace de datos.

La capa de red provee el mensaje formateado requerido para la transferencia de datos entre los elementos del sistema.

En términos simples., se considera la capa física como la conexión alambrada entre los elementos de el sistema, la capa de enlace es el controlador de la operación del alambrado, y la capa de red es la transacción del control entre los elementos del sistema, de modo que el mensaje sea compatible con todos los elementos del sistema.

Esta arquitectura de capa es diseñada para proveer flexibilidad al sistema e interconectividad de sistemas. Básicamente se hace esto para particionar las funciones de comunicación en capas verticales, donde cada capa ejecuta un subgrupo relacionado de funciones requeridas para comunicarse con otros sistemas de datos.

1.3 ARQUITECTURA DE LAS CAPAS DEL SISTEMA

La siguiente figura 1.2 muestra la arquitectura del sistema de capas

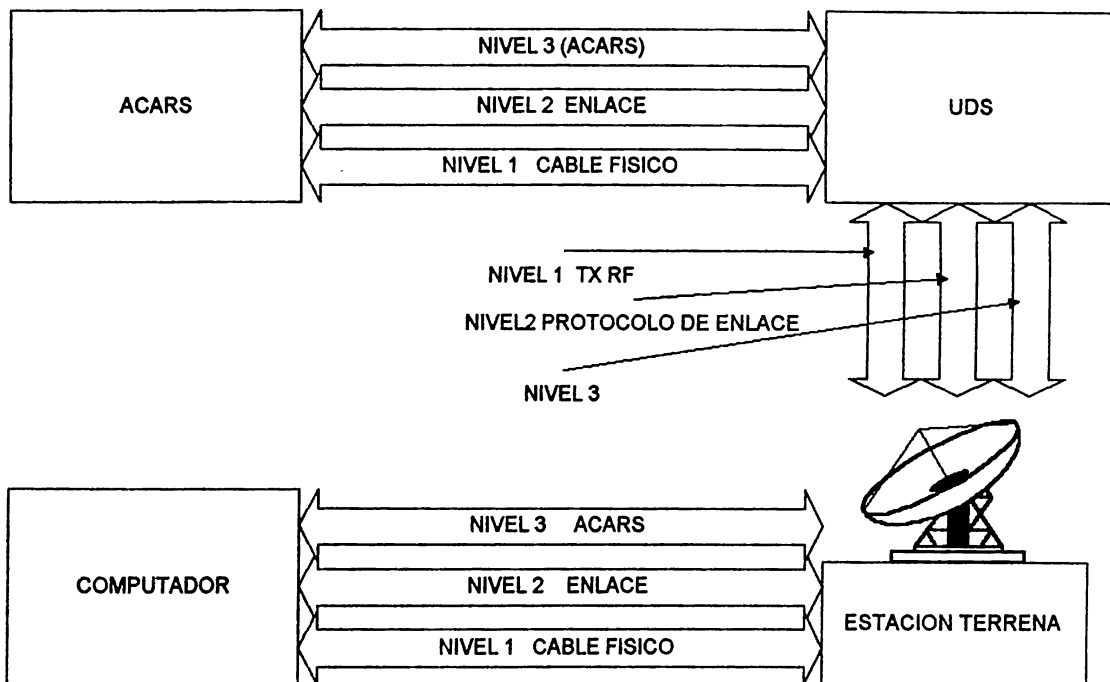


fig. 1.2 Arquitectura del sistema de capas usado por SATCOM

La función de la capa física es permitir que un usuario mande una corriente de bit de datos en la red. La capa física no le interesa el significado de el bit y como los bit están agrupados, la capa física no corrige cualquier problema de transmisión, así como bit basuras, o otros errores de transmisión. La recuperación de errores de transmisión es manejado por la capa de enlace.

El protocolo de la capa de enlace detecta y corrige los errores de transmisión así como también coordina los rangos en los cuales los datos son transmitidos. El dato es mandado en tramas, y la red que maneja el paquete esta referido como una red conmutada de paquetes. La capa de enlace particiona el chorro de bit de la capa física en tramas, cada trama consiste de una cabecera y cola de trama y el paquete de datos a ser transmitidos. Los paquetes son localizados en las tramas así el paquete transmitido puede ser reconocido por el receptor. Para el receptor decir cuando una trama finaliza y cuando empieza la otra, es teniendo bits de inicio de trama y de fin de trama. En el caso de SATCOM la muestra de bit de la única palabra es usada para denotar el inicio de la

trama. El inicio de el dato es identificado por el marcador de la trama que provee una referencia de tiempo como también identifica muchos bytes de datos que han sido transmitidos. La cabecera de la trama también contiene bit de chequeo e información para detectar errores de transmisión.

La capa de red recibe el paquete transmitido, La capa de red domina la rutas de los mensajes a nivel de red. La ruta de la capa de red es independiente de la fuente de destino . Un conjunto de paquetes en una dirección se llaman datagramas.

1.4 PROCESADOR DEL SISTEMA

El procesador del sistema es responsable de manejar todos los protocolos de la comunicación de los datos del paquete con la ET. Este recibe unidades de señal del canal P del procesador demulador digital de señal. El procesador del sistema también genera todos las unidades de señales para ser enviadas en el canal R y en el canal T. Como parte de el proceso de protocolo de capas, el sistema procesador determina las frecuencias transmitidas y recibidas y asigna tiempos de transmisión (números de cobertura) de unidades de señales transmitidas. El procesador del sistema maneja datos en modo paquete entre la capa de enlace del satélite y la aeronave en movimiento (ACARS).

El procesador del sistema también ejecuta funciones de lazo abierto. El procesador del sistema usa altitud, longitud, inclinación y entrada de información opcional de altitud a través de los buses 429 de características ARINC para calcular, azimuth y palabras de datos en elevación. El azimuth y la palabra de datos en elevación son mandados a la unidad direccionamiento de haz (UDH)

El procesador del sistema determina si un sistema de una antena de ganancia alta (AGA) y/o una antena de baja ganancia (ABG) están presentes en la configuración SATCOM

1.5 MODULO DE CANAL

La unidad de datos satelital USD-906 puede contener de uno a seis módulos de canal . El hardware y el software en todos los módulos de canal son idénticos. Cualquier modulo no usado (si estos son menores de 6 módulos) deben contener y cargar módulos terminales para proveer terminación de señales RF.

Cada modulo de canal es capaz de operar en dos modos : 1) modo de datos en paquete y 2) modo circuito. Modo de paquete es el modo usado para manejar la separación de canal P, canal R y canal T El procesador del sistema determina el rango de bit y el número de canales transmitidos y recibidos. El modulo del canal determina el método de modulación (ABPSK o AQPSK) y la frecuencia. El modulo de canal también ejecuta la corrección de errores hacia adelante y la relación de interleave de el dato recibido.

Cuando mandamos datos en modo paquete, el código es inactivo, el modulador acepta unidades de señales formateadas de el procesador del sistema. El modulador ejecuta el scrambling , código de error hacia adelante y funciones de interleave . El modulador convierte la corriente de datos resultante señales Y e Q análogas en base de banda: El modulador recibe un canal de SATCOM asignado y un rango de bit del procesador del sistema, y determina la frecuencia de transmisión correspondiente y el sistema de modulación (ABPSK o AQPSK) El modulador manda la información de frecuencia a el sintetizador transmisor (A7A4). El sintetizador transmisor genera la transmisión IF (P/O A7A1) modula la portadora con las señales Y e Q y entonces suma las dos señales juntas para producir la salida de RF.

El demodulador (A7A3) ejecuta la tarea a la inversa. El demodulador recibe un canal SATCOM asignado y un rango de bit de el procesador del sistema. El demodulador determina la frecuencia correspondiente y el sistema de modulación. El demodulador manda la información de frecuencia para el sintetizador receptor el cual generara la portadora receptora. El demodulador controla la ganancia recibida IF vía circuito AGC. La fuente IF traslada la señal recibida a banda base y separa los componentes Y e Q.

El demodulador adquiere la señal y extrae la corriente de bit digital, se ejecuta la Corrección de error y funciones de reordenamiento para recobrar la señal. El demodulador entonces manda los Sus a el procesador del sistema cuando este esta operando en el modo de datos en paquete. En modo circuito, el demodulador manda sub bandas a el procesador del sistema y los datos en modo circuito a el CODEC.

1.6 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

En el capítulo uno se tratara más en detalle cada unidad del sistema SATCOM cuando se estudie la unidad móvil.

El sistema de comunicación satelital SAT-906 es un sistema de comunicación transceptor multicanal como una de estación aérea móvil (EAM) elemento de el sistema de comunicaciones satelital INMARSAT. La función de este equipo es la recepción y el procesamiento de señales recibidas vía satélite operando en la banda L (1530-1660.5 Mhz) El sistema provee capacidad de voz y datos para ambos, pasajeros y tripulación. Una porción del sistema consiste de la unidad de datos satelital (SDU) , un amplificador de alta potencia, el sistema requiere de un componente de antena y una unidad de direccionamiento del haz y una o mas unidades de control (o equivalente).

1.7 UNIDAD DE DATOS SATELITAL

La unidad de datos satelital (UDS) es la interface entre el sistema del avión y la estación terrena. Contiene todos las funciones de procesamiento de datos, así como

también el módem y el sintetizador del sintonizador del canal para los canales y los CODECs para los canales de voz. La interfaces de la URF es por medio de dos cables coaxiales que llevan señal de amplia banda en VHF. Hay también comunicaciones vía ARINC 429, con el URF y el AAP para propósitos de control. El servicio de cabina es conectado a el UDS a través de la UC en el bus digital CEPT-E1. Las entradas adicionales incluyen receptores ARINC 429 y entradas de voz análogas. El SDU contiene las siguientes funciones:

CEPT-E1 circuito de interface telefónico

ARINC 429 procesador de interface

CODEC'S (comprensión/descompresión de datos CEPT E1)

Modulador/demodulador

Interleaver/de-interleaver

scrambler/descrambler convolucional

sintetizador de sintonizador /IF

Circuito de conexión dopler

Circuito de control de potencia

fuentes de energía

El principal objetivo de el SATCOM SDU-906 es proveer servicio de comunicación y datos en conmutación de paquetes entre el aeroplano y la ET sobre el sistema satelital aeronáutico móvil. la UDS soporta este objetivo llevando comunicación en canales P, R, y T y capas satelitales sobre canales C de alta velocidad.

Las facciones del USD-906, una arquitectura de un canal modular el cual permite un sistema en aumento de uno a seis canales. Un canal esta siempre presente en el sistema. Los cinco remanentes pueden ser utilizados como canales de voz o datos y adicionarlos uno a la vez. Los módulos del canal son configurables, llevando máxima flexibilidad del sistema como cambio en la comunicación de aerolíneas se necesiten.

1.8 UNIDAD RF (URF)

La URF convierte el ancho de banda FI el UDS a banda L por entrega del AAP. Esto acepta una señal amplificada de banda L de el diplexor y reducirlo a la IF VHF de la UDS. La URF también contiene frecuencia de alta estabilidad reverenciado por el sistema.

La unidad del sistema opera en modo full duplex, recibiendo señales de 1530 a 1559 Mhz del diplexor, y provee un excitador que transmite la salida de banda L de 1621.5 a 1660.5 Mhz en un AAP.

Un bloque receptor mezclador convierte la señal recibida en banda L a el rango IF, similarmente, la transmisión IF es convertida a banda L. Los osciladores locales, receptores y transmisores son derivados de la referencia de alta estabilidad (RAE). El RAE es aplicado al UDS a través de cable coaxial Rx FI

1.9 AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA-901)

El AAP 901 es un amplificador lineal de alta potencia capaz de una salida de 60 watts RMS. Esto es diseñado de acuerdo a los requerimientos de forma, ajuste y funciones de requerimientos especificados en ARINC 741 y el INMARSAT SDM.

El AAP consiste de un modulo amplificador de alta potencia, una fuente de energía y una tableta controladora.

El modulo AAP consiste en un preamplificador, un amplificador de potencia y una tableta electrónica integral, estos componentes son ensamblados en el conjunto el cual incorpora un sumidero de calor integral.

La ganancia del amplificador es controlable por la vía de un bus 429 en un rango de 26 dB en pasos de 1 dB. Este rango es para acomodar la variación en la instalación y variaciones de ganancia de antena. El amplificador tiene una protección térmica automática para protegerlo de pérdidas de aire frío.

1.10 INTERFACE DE ANTENA

1.10.1 ANTECEDENTES

Las antenas de mas altas ganancias (AGA) son manejadas electrónicamente. Cada elemento en el arreglo es alimentado por un desplazador de fase el cual es controlado por la unidad conductora del haz (UCH)

Los cálculos de direccionamiento de antena son ejecutados en el UDS 906 usando datos de posición y altitud de el sistema de referencia inercial del avión (SRI) Los datos del direccionamiento de antena son mandados a la UCH en un bus ARINC 429 . Ambos tipos de arreglos (montaje superior y montaje lateral) tienen al menos una ganancia de 12 decibeles de la inclinación a cinco grados. La operación a cinco grados por encima del horizonte es requisito de todas las antenas con acceso aprobado INMARSAT. La operación debajo de los cinco grados es independiente sobre las características específicas de la antena, postura del aeroplano y la posición relativa del satélite.

Las antenas de baja ganancia (APG) son fijas las cuales no pueden ser dirigidas y no requieren de una unidad conductora de haz. Contienen elementos no activos y son menos costosos que las antenas de ganancia alta. Un APG es exigida para tener una ganancia de 0 dB a una inclinación de cinco grados. Este tipo de antena es usado para operación de datos y no guarda los requerimientos INMARSAT para operación de voz.

1.10.2 INTERFACE CONDUCTORA DE CABINA

El éxito de SATCOM en el mercado depende de la calidad del servicio del aeroplano a la tierra basado en el procesador de información, la fabricación aviónica de calidad es solo un elemento crítico. Los fabricantes utilizan una fuerte relación de trabajo con los proveedores de equipos de cabina para evitar dificultades asociadas con la integración y usabilidad del pasajero.

1.12 SERVICIOS DE FAX EN LA CABINA

La capacidad de fax permite a los pasajeros comunicarse económicamente de la cabina prescindiendo las diferentes zonas de tiempo internacional. Las estaciones ET son corrientemente capaz de procesar datos en fax a 4.8 Kbs o groseramente hablando una pagina por minuto. El equipo de cabina convierte la señal análoga a señal digital compatible con el CEPT E1 normalizado y transmite este dato al UDS 906 vía el bus de interface CEPT E1 .

1.13 SEGMENTOS ESPACIALES

El sistema SATCOM aeronáutico INMARSAT en noviembre de 1991 es comprimido en tres segmentos . Estos son satélites orbitales o segmento espacial, la estación terrena (ET) y la estación aérea móvil (EAM) o aviónica SATCOM. El sistema estandarizado ha sido ejecutado en cooperación con ICAO , la aerolínea RTCA y la comunidad de aviación.

Por dos generaciones los satélites INMARSAT forman parte del segmento espacial . Cada uno de estos tiene una efectiva potencia isotropica radiada (EIRP) de 8 Kw . Sus locaciones son por encima del ecuador en órbita geocéntrica en longitudes de

Región Este del Océano Atlántico	15.5 grados W
Región Oeste del Océano Atlántico	54.0 grados W
Región Océano Pacífico	178 grados E
Región Océano Índico	64.5 grados E

La cobertura se extiende aproximadamente a 85 grados latitud norte y sur y 80 grados longitud oeste y este de la posición del satélite.

La tercera generación de satélites puede formar rayos concentrados en regiones particulares de la tierra, como el borde del pacífico o el norte del Atlántico. La cobertura del rayo incrementa la señal del satélite capaz de concentrar potencia a un específico lugar o región. La total banda L EIRP de cada satélite es de 63kW. Esto provee aproximadamente 10 veces la capacidad de la antigua generación de satélites.

CONCLUSIONES: El sistema SATCOM es un sistema utilizado por la mayoría de los aviones y esta basado en la transmisión de datos a través o usando como ruta un satélite , este ofrece la facilidad de poder abarcar mayores áreas y zonas difíciles que las estaciones terrestres comunes no pueden cubrir.

CAPITULO 2

SISTEMAS MOVILES POR SATELITE

INTRODUCCION En la siguiente parte de estudio, se mencionarán los principales modos de aplicación de los satélites en sistemas de comunicación de datos y voz, se describirá cada uno de los elementos que conforman la estructura básica de un sistema de comunicación móvil por satélite y se estudiarán los principales recursos que debe poseer un sistema de tal naturaleza.

OBJETIVO conocer los lineamientos necesarios para el establecimiento de la radioenlaces entre estaciones móviles o fijas a través de repetidores activos o pasivos situados en una órbita alrededor de la tierra delimitándose a una estructura básica y recursos necesarios

2.1 SISTEMA MOVIL POR SATELITE

Un sistema de comunicación por satélite puede tomar diferentes formas. La figura 2.1 resume los tipos básicos.

El sistema I, muestra un enlace ascendente entre una estación terrena y el satélite y un enlace descendente entre el mismo y tierra. Las portadoras moduladas en forma de ondas electromagnéticas son propagadas hacia el satélite, que las recibe, amplifica (según generación) y retransmite a la estación terrena indicada.

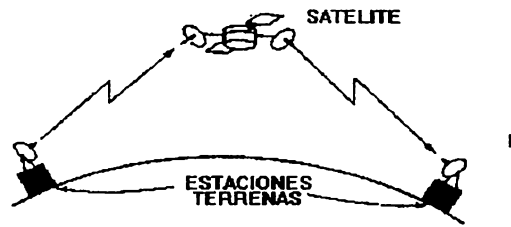


Figura 2.1a. Sistema I. Sistema de comunicación fija por satélite

El sistema II, muestra un enlace entre dos satélites antes del enlace descendente. Tales sistemas permiten comunicaciones entre estaciones que no son visibles por el mismo satélite.

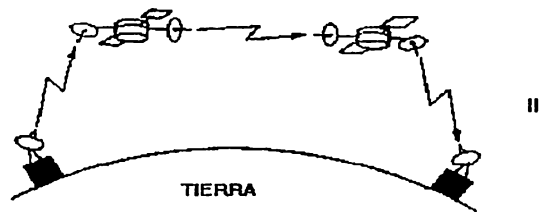


Fig. 2.1a. Sistema II. Sistema con enlace entre dos satélites

El sistema III, es el que se estudiará y del que se generarán modelos básicos como parte de nuestro trabajo.

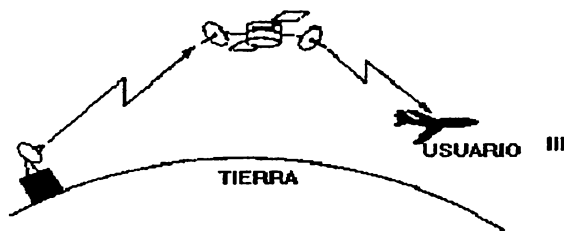


Figura 2.1c. Sistema III. Sistema de comunicación aeronáutica móvil por satélite.

Los satélites de hoy en día, son también usados para navegación, localización de posiciones, observación de terrenos, monitoreo del clima, etc. y son parte integral de una red de distribución de tal naturaleza.

Las siguientes figuras muestran los usos más comunes en los que se emplean los satélites.

La figura 2.2.a, muestra un sistema de navegación, en el que las señales de múltiples satélites pueden ser recibidas simultáneamente por un receptor móvil o estacionario y procesada instantáneamente para determinar su posición y velocidad. (Esta es la forma básica del sistema global de posicionamiento GPS).

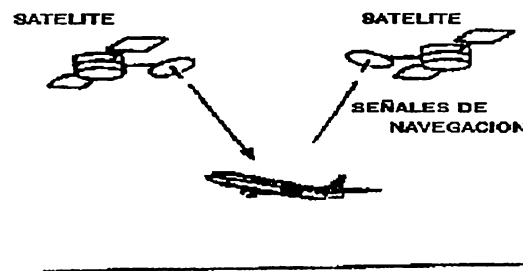


FIGURA 2.2.a. Sistema de navegación por satélite.

La figura 2.2.b, muestra un satélite como un vehículo capaz de observar el clima, el terreno o la agricultura, a través de cámaras o monitores, información que es transmitida a estaciones terrenas.

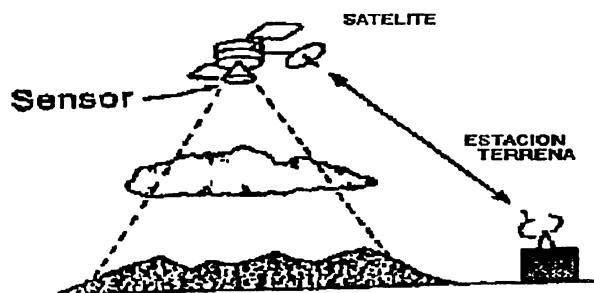


FIGURA 2.2.b. Sistema de monitoreo por satélite

La figura 2.2.c muestra un satélite como una interconexión primaria entre una vasta red de estaciones móviles (entre las cuales se encuentra nuestro trabajo), donde se transmiten datos, voz o comandos.

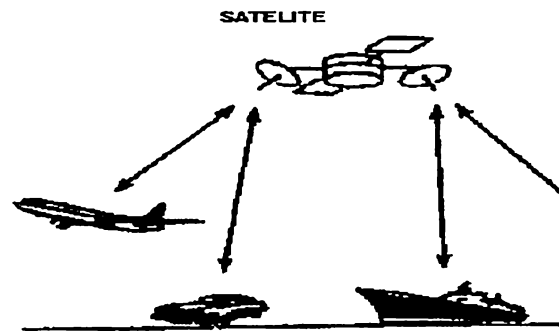


FIGURA 2.2.c *Sistema de comunicación móvil por satélite*

La figura 2.2.d muestra un satélite para aplicaciones científicas.

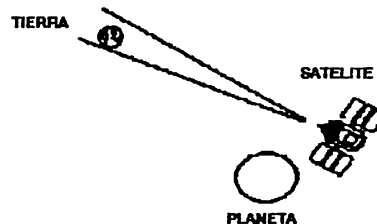


FIGURA 2.2.d *Sistema para aplicaciones científicas*

Como hemos observado en las figuras anteriores, las telecomunicaciones por satélite tienen por objeto el establecimiento de radioenlaces entre estaciones fijas o móviles a través de repetidores activos o pasivos situados en una órbita al rededor de la tierra.

Se encuentran dentro del concepto de servicio de telecomunicación por satélite definido en el reglamento de telecomunicaciones de UIT y que es una modalidad del más amplio servicio espacial. Por ejemplo, pertenecen al servicio espacial los enlaces

espacio/tierra propios de las emisiones espaciales (vehículos de exploración, sondas, etc.) , los cuales, sin embargo no corresponden al servicio de telecomunicación por satélite.

Como ejemplo de éste podemos citar:

- Enlaces entre puntos fijo (estaciones terrenas) para transmisión de telefonía y televisión.(Servicio fijo por satélite).

- Enlaces en uno o más puntos fijos y puntos móviles, como es el caso de las radiocomunicaciones marítimas y aéreas por satélite (siendo éste último, el caso de estudio de nuestro trabajo)

- Enlaces entre uno o más puntos fijos y terminales dispersos en la modalidad de difusión. (Servicio de radiodifusión por satélite).

En la figura 2.3 se representa la estructura básica de un sistema de telecomunicación por satélite que, como podrá apreciarse, guarda una estrecha analogía con un sistema de radioenlace terrenal con un receptor, aunque existen importantes diferencias debidas a la inaccesibilidad del repetidor y las derivadas de la distancia y limitación de la potencia a bordo del satélite, con sus repercusiones en la gran sensibilidad y reducido factor de ruido que se requieren en el receptor de estación terrena.



Fig. 2.3 Estructura básica de un sistema de comunicación aeronáutica móvil por satélite.

Son elementos fundamentales del sistema:

- La estación terrena transmisora que recibe la señal en banda base a transmitir. Esta será normalmente una señal múltiplex (MDF o MDT) de telefonía o datos. Esta señal modula una portadora en FI, la cual se translada luego a la frecuencia de portadora RF, que tras la amplificación necesaria, se trasmite hacia el satélite. En transmisión, se requieren normalmente potencias elevadas, asociadas a la utilización de la antena de gran directividad. La portadora o portadoras transmitidas pueden estar activadas continuamente o a petición, cuando exista información a transmitir.

-El enlace ascendente (Tierra-espacio) y descendente (espacio-tierra). Es característica de ambos la propagación en condiciones de espacio libre, a la que está asociada una atenuación proporcional a la frecuencia y al cuadrado de la distancia. Como debido a la limitación de potencia del satélite, el enlace descendente es el más desfavorable, se asignan a éste las frecuencias más bajas del grupo atribuido al servicio de telecomunicación por satélite. En el enlaces ascendente también se considera el transmisor de la aeronave y el receptor del satélite. En el enlaces descendente se considera el transmisor del mismo y el receptor de avión.

-El satélite que es una estación repetidora que amplifica y retransmite la señal recibida, estableciendo conexiones entre las estaciones terrenas y las estaciones móviles de acuerdo a su zona de cobertura. Pueden distinguirse en el satélite las secciones de recepción, conversión, conmutación y transmisión.

En la sección de recepción, son elementos fundamentales para la sensibilidad del satélite la antena y el amplificador de bajo factor de ruido. Como las frecuencias de recepción y transmisión del satélite son distintas, debe efectuarse en éste una conversión de frecuencia, seguida de una amplificación de la señal.

Se denomina transpondedor el conjunto convertidor de frecuencia-amplificador.

La sección de conmutación establece el encaminamiento de la señal y asignación de transpondedores.

La unidad de transmisión o paso final es un amplificador no lineal de potencia. Las señales de salida de diferentes portadoras se radian por una antena, cuyo diagrama de radiación depende de la cobertura requerida.

- Estación móvil, que vuelve particular al sistema por satélite, pues introduce nuevas variables que de no tratarse afectarían la calidad del sistema: el movimiento relativo de la estación, obliga a que se consideren el efecto Doppler y la entrega de llamadas en proceso entre satélite, estaciones terrenas y regiones protegidas por un mismo satélite, así como mejorar las técnicas de asignación de canales de comunicación y el nivel de recepción y transmisión de las antenas de abordaje, pues el sistema de seguimiento del satélite se vuelve un tanto complejo.

- Estación terrena receptora, que debe disponer de una antena muy directiva (que es la misma utilizada para la transmisión) y un sistema de RF de muy bajo factor de ruido, que comprende:

- amplificación de la señal
- conversión a FI
- seguimiento

Después de la etapa de FI se separan los mensajes no destinados a esta estación, demodulándose los correspondientes a ella que se acondicionan para su encaminamiento, a través de circuitos terrenales, hacia los centros de conmutación.

El tramo comprendido entre la fuente y el transmisor y entre el receptor y el usuario constituye el sector terrenal del enlace.

El tramo transmisor-enlace ascendente-satélite-enlace descendente, forma el llamado segmento espacial.

Son características importantes del segmento espacial:

- Modalidad de propagación en espacio libre.
- Requerimiento de márgenes reducidos de desvanecimiento (para compensar pérdidas por absorción atmosférica y/o lluvia) en contraposición con los elevados márgenes necesarios en radioenlaces terrenales para contrarrestar el desvanecimiento multitrayecto.
- Notable valor del retardo de propagación y su influencia en los ecos que implica dotar a los terminales de canceladores de eco para mejorar la inteligibilidad.

2.2 RECURSOS DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACION MOVIL POR SATELITE

Los recursos del sistema son aquellos elementos geométricos y radioeléctricos con que puede contar tal sistema para la prestación del servicio que de él se espera. Podemos distinguir los siguientes:

2.2.1 ORBITA

La elección de la órbita es un asunto de capital importancia que condiciona una buena parte del diseño técnico-operativo del sistema. Para telecomunicaciones se usa casi exclusivamente la órbita geoestacionaria. Como dentro de ésta hay arcos orbitales más importantes en razón de terreno visible desde ellos, y de la cobertura que puede obtenerse, se registra una alta densidad de satélites en ciertas zonas, lo que origina situaciones de interferencias mutuas, por lo que el problema de coordinación entre satélites adquiere gran relieve en la actualidad.

2.2.2 COBERTURA

Fijada la órbita geoestacionaria, la cobertura de superficie terrestre desde el satélite depende fundamentalmente del tipo y anchura del haz de la antena.

Existen fundamentalmente tres tipos de antenas:

- de haz global, cuya cobertura es un tercio de la superficie terrestre aproximadamente.

- de haz puntual o restringido. Con anchuras de haz del orden de 1 grado, la cobertura es de unos 800 Km².

- para coberturas intermedias (un país, archipiélagos, etc.), se utilizan haces perfilados.

La elección de haces se efectúa en función tipo del sistema y volumen de tráfico.

2.2.3. CONECTIVIDAD

Es la característica que permite efectuar enlaces vía satélite entre estaciones terrenas, en función de la capacidad del satélite y de las técnicas de acceso múltiple.

2.2.4. ACCESO MULTIPLE

Es la característica en virtud de la cual pueden establecerse enlaces simultáneos entre diversas estaciones terrenas y estaciones móviles, lo cual supone una compartición del satélite, y en consecuencia su explotación mediante algún tipo de multiplexaje de señales.

Las técnicas de acceso múltiple más utilizadas son:

FDMA (AMDF Acceso Múltiple por Distribución de Frecuencia). Se transmiten simultáneamente portadoras diferentes con diversas capacidades de canales.

TDMA (AMDT Acceso Múltiple por Distribución en el Tiempo). Cada estación terrena transmite su tráfico en el segmento temporal que tiene asignado. En todo momento la portadora en el satélite es única.

DDMA (AMAD Acceso Múltiple por Asignación de Demanda). Se asignan canales disponibles en una reserva común del satélite bajo petición y mientras dura la comunicación. Suelen ser asignaciones del tipo SCPC(un sólo canal por portadora)

CDMA (AMDC Acceso Múltiple por distribución de Código). Que es el candidato para los sistemas móviles de tercera generación.

Las tres primeras técnicas se utilizan comercialmente, existiendo otras que se emplean en aplicaciones especiales restringidas (investigación, comunicaciones militares).

2.2.5. ANCHO DE BANDA

La porción de espectro asignada a las telecomunicaciones por satélite es limitada y como la demanda mantiene un crecimiento sostenido, es necesario utilizar este recurso con la mayor eficacia posible. Para ello se siguen las siguientes directrices:

- Utilización de bandas de frecuencias más elevadas que las atribuidas en un principio de 6/4 Ghz. Así se ha pasado a la banda 14/11 Ghz, lo que plantea problemas específicos de propagación (por ejemplo mayor influencia de la atenuación por lluvia) y requiere el desarrollo de nuevas tecnologías.

- Reutilización de frecuencias. Con esta técnica se obtiene más rendimiento del espectro a costa de una mayor complejidad técnica. Para reducir las interferencias mutuas hay que separar los haces que comparten frecuencias espaciándolos suficientemente o utilizando polarizaciones opuestas .

- Mejor aprovechamiento del ancho de banda, es decir aumento del número de canales de comunicación por Mhz de anchura, lo cual supone efectuar tratamiento de las señales y aplicar métodos de modulación eficaces. Constituye esta línea un problema abierto de activa investigación.

2.2.6 POTENCIA

La potencia disponible a bordo del satélite se especifica en términos de PIRE (EIRP Potencia Isotrópica Radiada Efectiva). Depende de la capacidad del satélite y cobertura asignada a los haces de la antena. Debe tener un valor de compromiso entre la cifra impuesta por la gran distancia satélite-tierra y las limitaciones de energía disponible a bordo. Las nuevas tecnologías de paneles solares y amplificadores de potencia de microondas con tubos de ondas progresivas permiten conseguir niveles suficientes de potencia por lo que actualmente la limitaciones vienen impuestas por las posibles interferencias que el satélite pueda ocasionar sobre sistemas de radioenlaces terrenales que compartan las mismas bandas de frecuencia por lo que se ha limitado la densidad de flujo de potencia que el satélite puede poner sobre la superficie terrestre.

Como se mencionó en el recurso de la estación móvil, el movimiento de la misma puede introducir cambios espectrales de frecuencia, lo que causa degradación en el sistema. Este fenómeno es combatido estableciendo modelos de asignación de canales y compensación automática de frecuencias, pues el enlace descendente es recibido por la estación móvil en tres formas básicas: (1) la componente directa, (2) ,la componente reflejada y (3) la componente difusa. La componente directa generalmente representa a la componente más fuerte y esta compuesta por una portadora modulada proveniente del

satélite y la inserción de un posible cambio de frecuencia debido al efecto Doppler, este cambio de frecuencia es determinado por:

$$f_d = (v/c)f \cos \tau \quad (2.1)$$

donde f es la frecuencia de la portadora transmitida, v es la velocidad del vehículo, c es la velocidad de la luz y τ es el ángulo de elevación con el que se recibe la componente directa.

Más en seguida, se estudian con más detalle los parámetros que se han mencionado en esta sección, cuando se describa el sistema que se utilizará como referencia para el diseño de modelos básicos que nos permitan comprender mejor sistemas de comunicación de tal naturaleza. Este sistema es conocido como SATCOM, el que se constituye principalmente de una red de satélites geoestacionarios, una estación terrena y una estación móvil.

2.2.7. CONCLUSIONES

Los sistema de comunicación por satélite, presentan una topología muy similar en todas las aplicaciones para los que se destinen, más sin embargo, cada uno en lo particular, debe cumplir con los requerimientos propios de los recursos con los que cuenta, para lograr un desempeño satisfactorio.

Las aplicaciones de comunicaciones por satélite, generalmente se dividen en fijas y móviles, siendo la diferencia primordial entre ellas, el movimiento relativo, lo que implica mejorar las técnicas de asignación de canales, sintonización de frecuencias y el sistema de seguimiento de la antena del móvil al satélite.

Los principales elementos de una sistema de comunicación móvil por satélite son: la estación terrena, los enlaces ascendentes (tierra a satélite y aeronave a satélite), enlaces descendente (satélite a tierra y satélite a aeronave), y la estación móvil.

Los recursos con los que debe contar un sistema de tal naturaleza son: una órbita, una zona de cobertura destinada, cumplir con los requerimientos de conectividad, acceso múltiple, ancho de banda, potencia y efecto Doppler.

CAPITULO 3

SATÉLITES

INTRODUCCIÓN: En el presente capítulo se estudiarán todas las órbitas más importantes que existen y se describirán los parámetros más importantes que influyen en el desarrollo de las mismas, así mismo se estudiará la estructura básica de un satélite.

OBJETIVO: De acuerdo al modelo a utilizar se estudiarán las órbitas más utilizadas para comunicación por satélite, en especial se centrará el tema en la órbita geostacionaria que es la órbita utilizada por satélites que dan cobertura a la red móvil.

Se estudiará en forma general la estructura básica interna de un satélite su funcionamiento, así como también los subsistemas en que está compuesto para dar en forma general nociones básicas de un sistema de comunicación por satélite.

Esencialmente, un satélite es un repetidor el cual manda información a largas distancias. Los servicios del satélite no se ven afectados por la localización del punto que estos conectan, o por la distancia entre ellos. Los servicios del satélite tienen la capacidad de rebasar desiertos, océanos, y junglas en sí todas las barreras geográficas, en varios modos de difusiones conexiones punto-punto, y conecta terminales móviles, barcos, carros, y aviones., Hay muchas razones de porque usar satélites entre las cuales se mencionan:

- La comunicación a larga distancia es muy económica: El costo de transmitir información por medio de satélite es esencialmente independiente de la distancia. Es lo mismo comunicar dos puntos a 5000 Km. como a 100 Km.
- Capacidad de diseminar información: Los Satélites pueden ser usados para diseminar información, retransmitir señales de una estación terrena transmisora a

múltiples estaciones terrenas receptoras dentro de un área de cobertura. Los satélites pueden recibir señales de múltiples estaciones transmisoras para ser retransmitidas a una estación central.

- Capacidad de ancho de banda: Los satélites repetidores son usualmente dispositivos de ancho de banda grande que pueden transmitir grandes cantidades de información.
- Amplia cobertura: Técnicamente, el satélite puede servir cualquier estación dentro del punto de cobertura de la antena. Como se ilustra en la figura 3.1, el 42 % de la superficie de la tierra esta dentro de la cobertura de un satélite geostacionario.

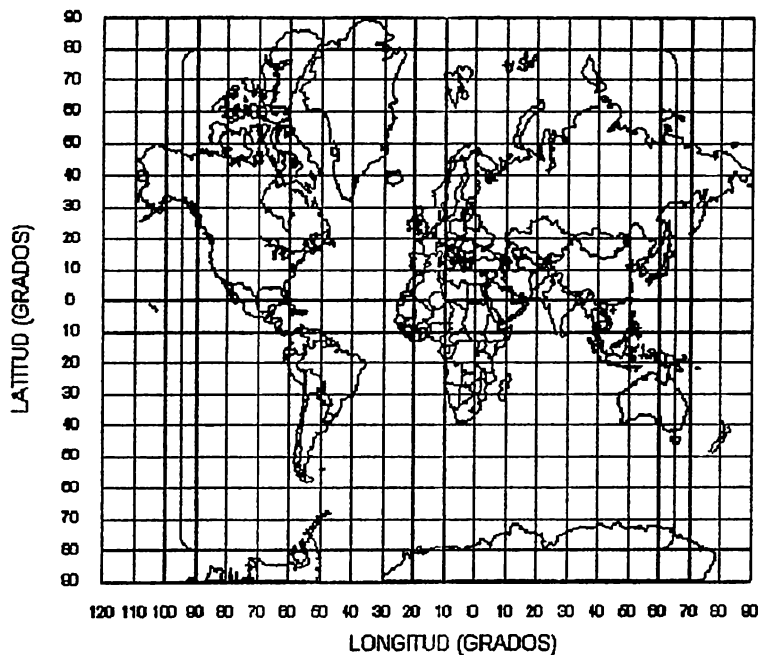


Fig.3.1. Cobertura de una satélite en órbita geostacionaria.

- No tiene barreras naturales: Satélites rebasan barreras naturales tales como : montañas, ciudades, desiertos, océanos.

- Nuevos mercados: El cobertura “va a cualquier parte” Los servicios que provee el satélite ha tomado investigación de nuevos mercado, expansión de enlaces de reutilización de comunicación etc.
- Nuevos servicios: Se ha incrementado notoriamente lo nuevos servicios que puede proveer los satélites, resultando en un nuevo concepto en comunicación. INMARSAT es un ejemplo de nuevos servicios por satélite, este provee servicios confiables de voz, datos, y vídeo de baja velocidad a usuarios móviles tales como barcos y aviones .

Los equipos en el satélite reciben la señal de la estación terrena la amplifican y la retransmiten a una o mas estaciones terrenas. El equipo de comunicación en el satélite incluye un número de transponedor que amplifican la señal y la trasladan a ciertas bandas de frecuencias. La señal de potencia recibida en el satélite de una estación terrena es muy débil ya que la potencia se pierde en el camino hacia el satélite. Es por esto que el satélite debe amplificar la señal recibida y después transmitirla en un nivel de potencia mas alto hacia la tierra., de nuevo, la mayor parte de la potencia es perdida en el camino hacia la estación terrena. La estación terrena debe recibir esta señal débil, amplificarla y obtener una señal lo suficientemente clara para que el receptor reconstruya el mensaje original.

Un ejemplo de pérdidas de potencia en una transmisión a través de un satélite de comunicación y una estación terrena es mostrado en la figura 3.2 . La estación terrena transmite 1000 W pero solamente $10 \cdot 10^{-9}$ es recibido por el satélite. El satélite amplifica esta señal a mas de 10 W pero la estación terrena recibe solamente $10 \cdot 10^{-11}$ W

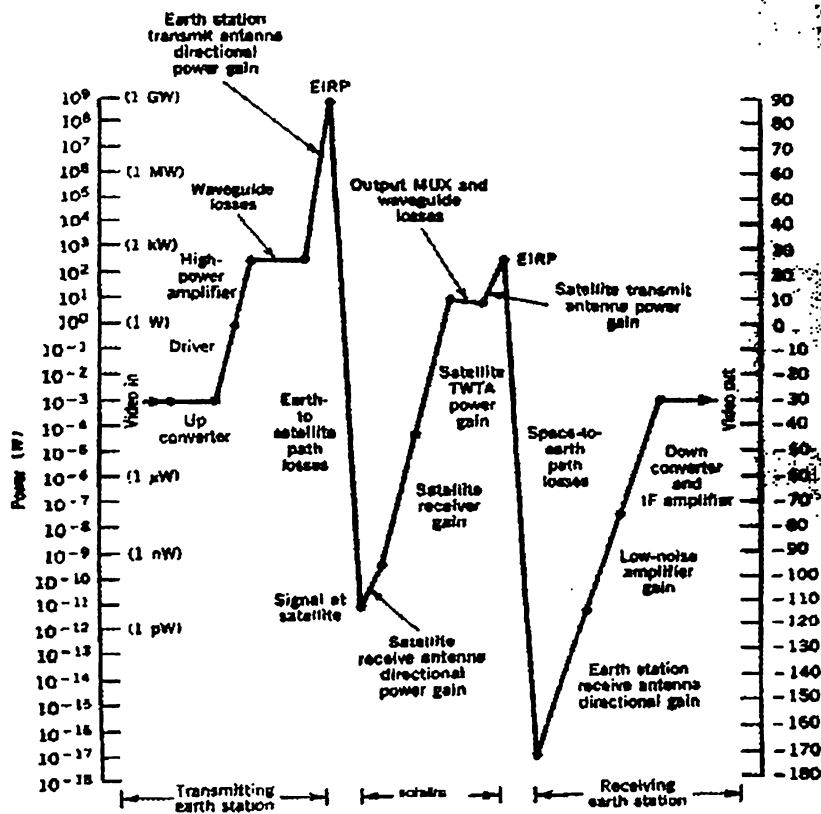


Fig.3.2. Perdidas en potencia de transmisión y recepción en un proceso de comunicación vía satélite.

3.2 TRANSPONDER

Un transponder típico de un satélite consiste de un dispositivo limitador de banda (DLB), una entrada al amplificador de bajo ruido (ABR), un trasladador de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel, y un filtro pasa banda a la salida. Fig. 3.3 muestra un diagrama simplificado de bloques de un transponder del satélite. Este transponder es un repetidor de RF a RF. Otra configuración de transponder son FI y repetidores pasabanda similares a los usados en repetidores microondas. En la figura la entrada DLB

limita el ruido total aplicado a el ABR. Un dispositivo común usado como ABR es un diodo túnel.

La salida de el ABR es alimentado a un trasladador de frecuencia (un desplazamiento del oscilador y un DLB) el cual convierte la banda ancha de frecuencia de enlace hacia arriba a la frecuencia de banda baja de enlace hacia abajo. El amplificador de potencia de bajo nivel, el cual es comúnmente un tubo de onda viajera, amplifica la señal RF para transmisión a través de el enlace hacia abajo al receptor de la estación terrena.

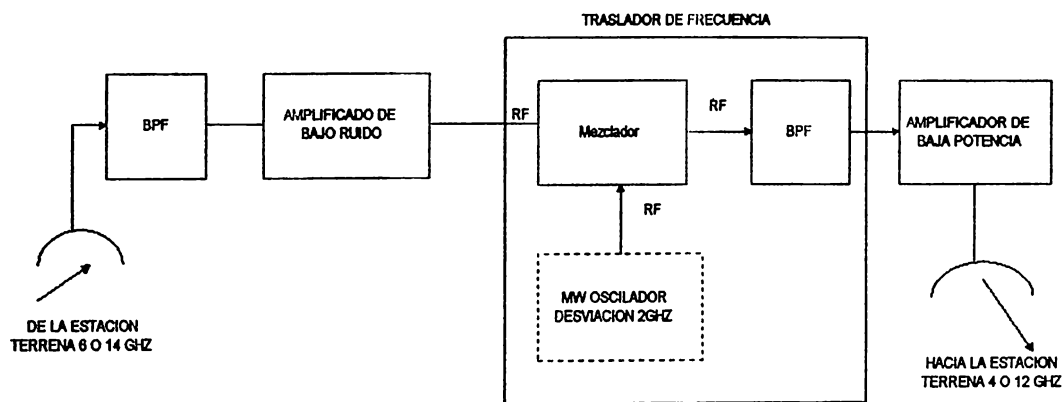


Fig.3.3 Transponder del satélite.

3.2.1 ENLACE INTERSATELITAL

Ocasionalmente hay algunas aplicaciones donde es necesario comunicarse entre satélites. Esto se hace usando un enlace de intersatelital, la figura 3.4 muestra un diagrama de este enlace. Una desventaja al usar este enlace es que el transmisor y el receptor son satélites lo que limita la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad del receptor se ve limitada.

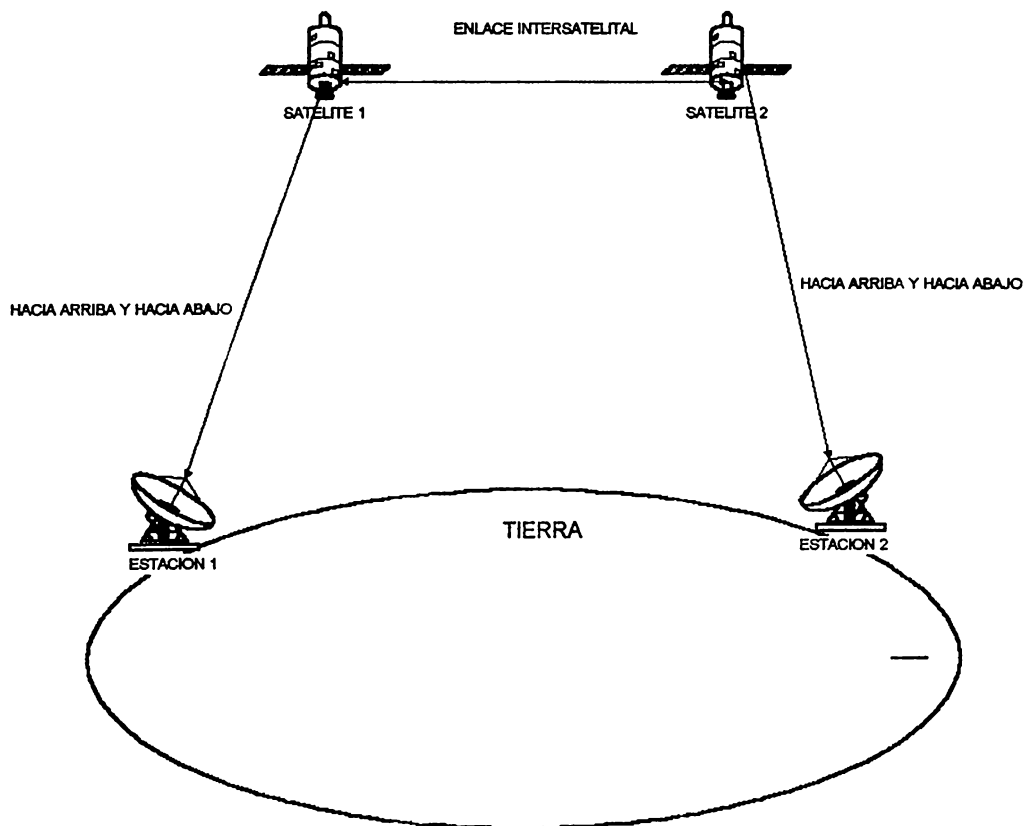


Fig.3.4 Enlace intersatelital

3.3 TELEMETRÍA, RASTREO Y COMANDOS

Telemetría rastreo y comandos proveen el significado de monitorear y controlar la operación de los satélites, estas tres funciones son integradas en un subsistema sencillo y son separadas de la telecomunicación principal.

Telemetría establece un sistema en el cual medidas hechas a una distancia son transmitidas a un observador. Rastreo es aquella que observa y colecta los datos para plotear el camino de un objeto y comandos son aquellos que mantienen el control y lo establecen.

La figura 3.5 es un diagrama funcional de las tres condiciones del subsistema, un comando se origina en control central del satélite, y es enviado vía líneas terrenas a una estación terrena y es después transmitido a el satélite. El receptor del comando en el satélite recibe la señal, la demodula y la procesa. Después que el comando es descodificado una señal de verificación será pasada a la telemetría y retornada a la unidad central de comando del satélite.

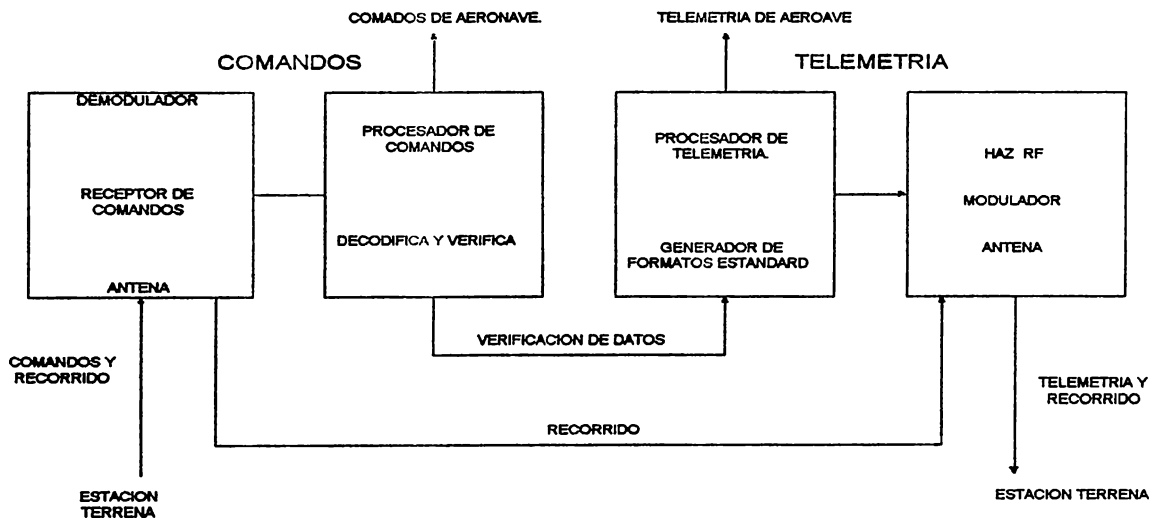


Fig.3.5 Diagrama funcional de un sistema de TT & C

El sistema de telemetría colecta, formatea y transmite datos. Los datos digitales indican la condición de ON-OFF o la posición de varios switches. La función del rastreo determina la posición del satélite y se usa para predecir una órbita futura y apunta los datos hacia la estación terrena y produce datos para el subsistema de comandos del satélite para mantener los propulsores para mantener la posición. Comandos controlan el equipo a bordo del satélite modos de operación, posición y orientación.

Los ángulos de rastreo miden el azimuth y el ángulo de elevación de la estación terrena. El recorrido es encontrado determinando el intervalo de tiempo de una señal en viajar desde una estación terrena hacia el satélite y retorno de esta a la estación terrena.

Comandos controlan al equipo a bordo del satélite, modos de operación, posición y orientación. Comandos discretos usan señales que son pulsos fijos para poder cambiar el estatus del equipo, tal como cambiar dispositivos de ON a OFF. Señales análogas son usadas para generar pulsos de longitud variable para poder cambiar el estado del equipo a ON en un intervalo de tiempo específico. La figura 3.6 muestra la descripción en bloques.

El objetivo principal de la telemetría en el satélite es de proveer información para uso operacional, análisis de mal funcionamiento, y predicción de la ejecución de la aeronave. En rutina telemetría verifica comandos y estado del equipo y alerta al personal de una ocurrencia inusual. En caso de falla o anomalía, telemetría determina la causa, evento y la manera de aliviar o contrarrestar el problema que ha producido la falla.

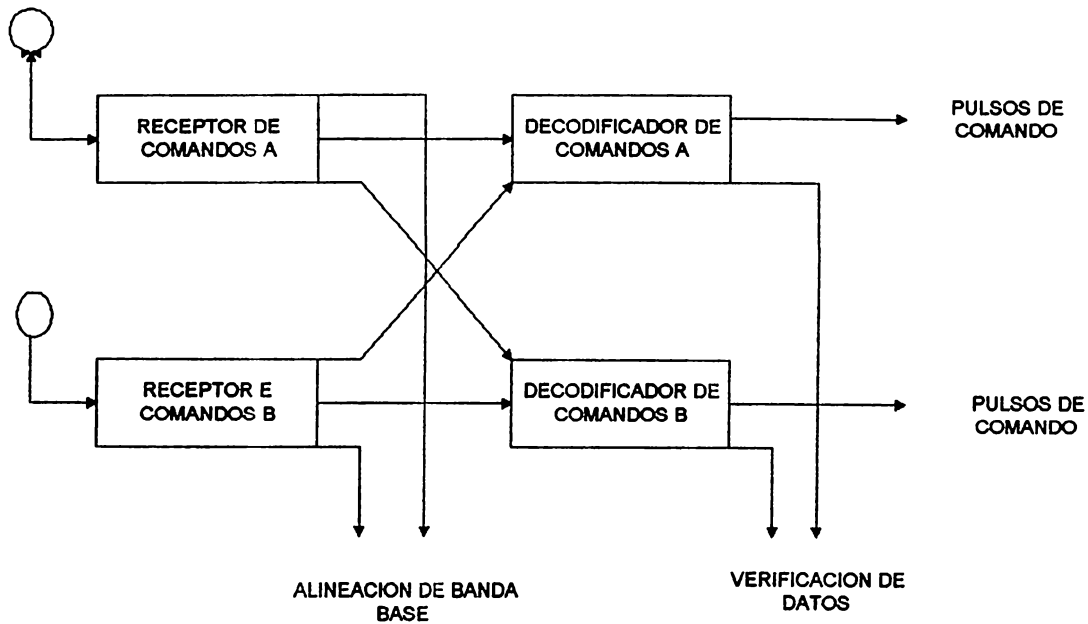


Fig.3.6 Bloque típico de un sistema de comandos

3.3.1 RASTREO Y RECORRIDO DE SEÑAL

Hay dos métodos rutinarios para encontrar la posición de un satélite. Las coordenadas angulares a una satélite pueden medirse desde una estación terrena (ángulo de rastreo), o la distancia a un satélite puede medirse determinando cuanto toma a una señal partir de la tierra, arribar al satélite, y regresar (recorrido). Algunas veces ambos métodos son usados. Otros métodos son posibles pero no son rutinarios usados por operarios de se sistemas de comunicación por satélite.

El ángulo de rastreo ,y los demás ángulos de un satélite son medidos a intervalos de tiempo determinados por telemetría, rastreo y recorrido. La elevación es el ángulo desde el horizonte a el satélite, el azimuth es el ángulo de la geografía norte a la proyección de el satélite en la dirección del plano del horizontal medido en forma de giro de agujas del reloj. Técnicamente la medida simple será monitorear la señal del satélite, apuntar la antena para máxima intensidad y tomar la lectura del azimuth y elevación.

3.3.2 RECORRIDO DE LA SEÑAL

Un método de medir el recorrido de la señal es transmitir una señal simple de frecuencia y medir la fase de la señal retornada. Una alta frecuencia se necesita para precisión, pero frecuencias bajas se usan para resolver ambigüedades, de tal manera que diferentes señales son usadas. Otro método es transmitir pulsos aleatorios digitales y medir la correlación de la señal transmitida y señal de regreso.

3.3.3 TORQUES EXTERNOS

Los torques externos, ya sea torque de disturbación o aquellos usados para control, afectan la altitud del satélite. El torque disturbador más grande en satélites geostacionarios es usualmente la presión del sol. Otra fuente de error es el desalineamiento de los propulsores que mantienen la estación en norte sur. Los torques magnéticos y el gradiente de gravedad han sido usados para control de altitud. Torques disturbantes también pueden ser producidos por micrometeoros pero afortunadamente estos son usualmente insignificantes.

3.3.4 CONTROL DE ALTITUD

Las antenas en un satélite requieren un sistema de control de altitud que las mantendrán siempre apuntando hacia la tierra. La figura 3.7 es un ejemplo del sistema de control de altitud. El principal objetivo es mantener dirigidas las antenas hacia un punto de referencia dentro de una pisada de satélite, verificando torques externos y disturbios producidos, activando los dispositivos necesarios para mantener apuntado siempre el punto de referencia.

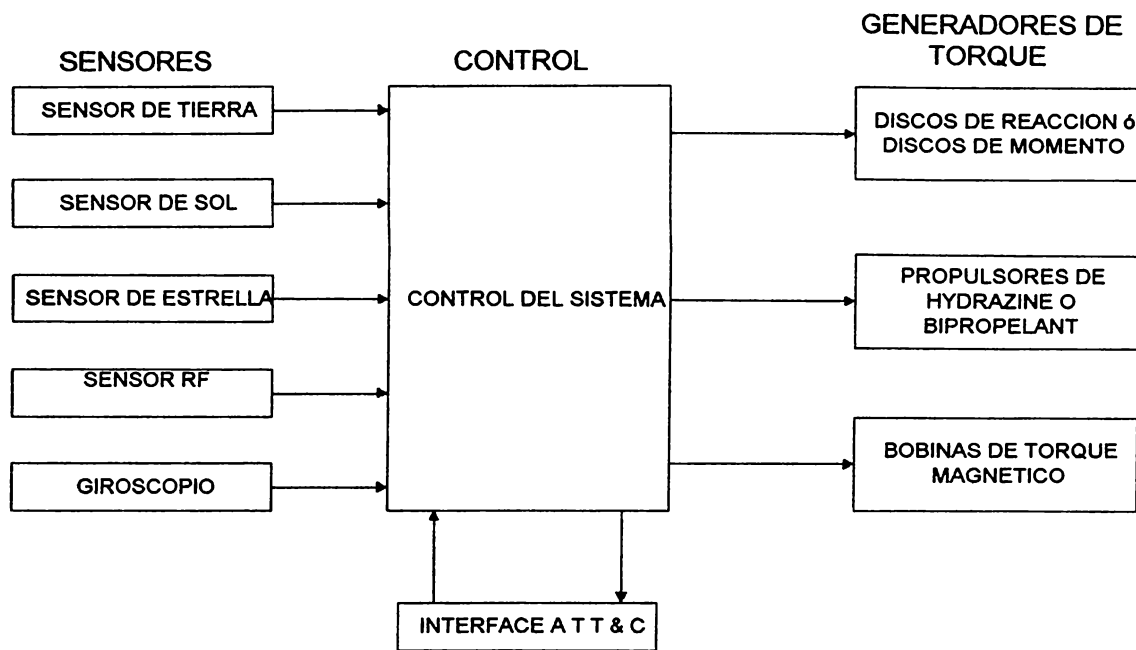


Fig. 3.7 Diagrama de bloques de control de altitud.

3.4 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA SEPARACIÓN ORBITAL PARA EL SERVICIO MÓVIL POR SATÉLITE

La interferencia entre sistemas por satélite adyacentes depende de las dimensiones de la antena de la estación terrena, de los sistemas de modulación y de otras características de estos servicios, mas bien de la ubicación y movimiento de las estaciones terrenas. El tamaño físico el peso y la energía primaria son limitaciones intrínsecas puestas a la estación terrena destinadas a funcionar en el servicio móvil por satélite. La separación se determina parametricamente en función de la interferencia admisible, el diámetro de la antena de la estación móvil y del tipo de modulación.

3.4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPARTICION ORBITAL.

Los factores más importantes en el problema de la compartición de la órbita entre los servicio móvil por satélite y fijo por satélite son:

- Niveles de interferencia admisibles.
- Características de ganancia de la estación terrena.
- Precisión de puntería de la antena de la estación terrena.
- Heterogeneidad del sistema por satélite.

3.4.2 CARACTERÍSTICA DE GANANCIA DE LA ANTENA

Los equipos que funcionan en el servicio móvil por satélite utilizan una gran variedad de diámetros. Cabe esperar que el tamaño de la antena se determinará de acuerdo a la aplicación del sistema. Hay factores que limitan el tamaño de la antena. En las bandas compartidas con los servicios terrenales, los niveles de densidad de flujo de potencia limitarán por lo general el tamaño mínimo de la antena y la velocidad de transmisión de datos. En las bandas no compartidas con servicio terrenales la del enlace descendente solo esta sujeta a las limitaciones impuestas por el estado de la técnica en lo que respeta al diseño de los transmisores de satélite, y puede preverse que el servicio móvil por satélite requerirá antenas extremadamente pequeñas y una potencia de transmisor correspondientes a ella.

Debe controlarse el nivel de energía en los lóbulos laterales de la antena a fin de utilizar eficazmente la órbita de los satélites geostacionarios. Estos niveles pueden controlarse mediante un diseño cuidadoso de la antena y la selección de funciones de iluminación adecuadas. Sin embargo la supresión de los lóbulos laterales se logra generalmente a expensas de la reducción de ganancia del haz principal y un ensanchamiento de los haces. En este caso la combinación de la angular del haz y de exactitud de puntería será el factor restrictivo.

3.4.3 EXACTITUD DE LA PUNTERÍA DE LA ANTENA

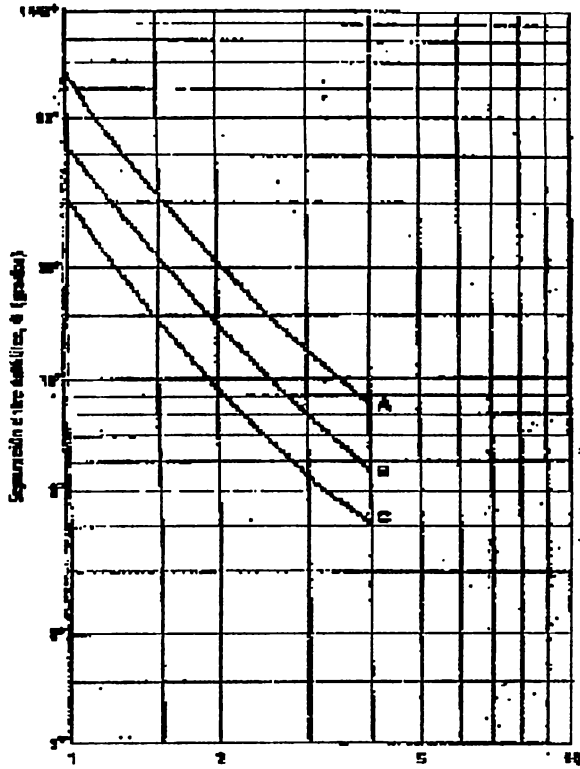
A medida que disminuye el diámetro de la antena se ensancha el haz, lo que hace cada vez más difícil apuntar el haz exactamente hacia el satélite deseado. Este hecho sumado a la posición actual sobre la posición de los satélites, limita el tamaño mínimo de las antenas. Por consiguiente el tamaño mínimo de la antena es función de la separación orbital entre satélites y de la precisión de puntería de la antena de la estación terrena.

3.4.4 SEPARACIÓN NECESARIA ENTRE SATÉLITES DEL SERVICIO MÓVIL GENERAL POR SATÉLITE.

Para los efectos de análisis se considera que el servicio fijo por satélite en las bandas de 7 y 8 GHz tiene estaciones terrenas con antenas de diámetros mayores de 4 mts; 4 mts es un diámetro equivalente a 100λ , por debajo de este valor se estima la estación terrena pequeña. Se supone que los diámetros de las antenas de estación del servicio móvil por satélite en las frecuencias de 8 y 7 GHz son de 4 mts o menos.

Las características de un servicio móvil por satélite se eligen de modo que correspondan a una separación de 10 grados entre satélites del servicio móvil. Para antenas de 2 mts y modulación MDF-MF del sistema móvil se requiere una separación entre satélites de unos 13.5 grados para una asignación de interferencia de AT/T_c del 8% en el sistema fijo. Con antenas de estación terrena móvil de 1.5 mts y una modulación DPT de 4 niveles con codificación, se requerirá una separación de 16 grados.

La figura 8 muestra el efecto del tipo de modulación necesaria en la separación de los satélites basada en la interferencia del servicio móvil por satélite.



Diámetro de la antena (mts)

A: FSK

B: BPSK

C: QPSK

Fig. 3.8 Efecto del tipo de modulación en la separación de satélites.

3.5 ÓRBITAS

3.5.1 TIPOS PRINCIPALES DE ÓRBITAS

- Geostacionaria
- Geosincronica.
- Molniya.
- Órbita baja..

La tabla siguiente muestra los parámetros típicos de las órbitas de satélites usados en comunicación.

Tabla 3. 5.1.

PARÁMETROS TÍPICOS						
TIPO DE ÓRBITA	APOGEO (A) km.	PERIGEIO (B) KM.	excentricidad.	PERIODO	INCLINACIÓN (D),°	DOPPLER SHIFT.
GEOSTACIONARIA	35,786	35,786	ESENCIALMENTE 0	1 DIA	0-0 °	BAJO
GEOSINCRONA	35,786	35,786	CERCA DE 0	1DIA	0-90 °	BAJO
MOLNIYA	39,400	1000	ALTO	½ DIA	62.9 °	ALTO
BAJA	VARIOS	VARIOS	DE 0 A ALTO	100 MIN	0-90 °	MAS ALTO

El desplazamiento Dopler es proporcional a la razón de cambio de la distancia entre el satélite y la estación terrena.

3.5.2 ÓRBITA GEOSTACIONARIA

Un satélite en órbita geostacionaria es llamado Geo este es sincronizado con la rotación de la tierra y rota en la misma dirección . Esta órbita es cerca del plano ecuatorial de la tierra lo que significa que la inclinación es bien cercana a cero. En aplicaciones comerciales la órbita del satélite es virtualmente circular. esto significa que la excentricidad de la órbita es cero, lo que significa que el punto de Apogeo y el punto perigeo están casi a la misma altura. En la practica ninguna órbita cumple con están condiciones.

Teóricamente una órbita geostacionaria es una órbita en la cual el satélite no se mueve con respecto a la tierra. Disturbios debidos al sol y la luna, y la no simetría de la tierra perturban los parámetros de la órbita. Estos movimientos tienen un efecto en el rango de la órbita los cuales cambian el retardo en tiempo y frecuencia (efecto doppler). El movimiento aparente del sol también afecta la comunicación y operación del satélite., la propulsión abordo se usa para contrarrestar esta fuerza natural.

Una órbita es considerada geostacionaria si el satélite mantiene su longitud asignada dentro de pocos grados y su inclinación es de menos de un grado.

Los haces del satélite a la tierra y los de la estación terrena están en movimiento, pero por el tipo de órbita, permanecen fijos uno con respecto a otro, ya que el movimiento con respecto a la tierra es a la misma velocidad, no cambia, esto significa que los errores de tiempo en AMDT debido al efecto doppler es pequeño, lo cual es una ventaja de GEO.

La capacidad del vehículo de lanzamiento se incrementa para poner en órbita un satélite en órbita geostacionaria, esta es mayor que otras órbitas .La mayoría de combustible se utiliza para mantener la inclinación cerca de cero, esto es para mantener la órbita cerca del plano ecuatorial.

3.5.3 ÓRBITA GEOSINCRONA

El periodo de la órbita geosincrona es igual a el tiempo para una revolución completa alrededor de la tierra, la cual es de 23 Hr y 4.1 Seg .El satélite debe estar en una órbita pograde ,esta es hacia el este, en la misma dirección que la rotación de la tierra. Los requerimientos necesarios para órbita geosincronica son periodo y dirección de rotación, la órbita debe inclinarse a cualquier ángulo del plano ecuatorial.

Una vista de órbita geosincronica se muestra en la fig. 3.9. El limite de la órbita es arbitraria pero se ilustra el basto espacio disponible para estos satélites. El radio del centro de la tierra es 42,164 Km., y la longitud de la órbita es de 264,654 Km. El limite de la inclinación de 10 grados corresponde a una altura de anillo de +-7352 Km. El volumen total de el anillo es de 10^{11} Kms³, un décimo del volumen de la tierra. La órbita geostacionaria es típicamente limitada a una inclinación de acerca de 0.1 grados. Sin embargo este anillo tiene solamente 1/1000 del volumen de la tierra. Demasiados satélites en órbita geostacionaria produce interferencia RF entre satélites vecinos.

Una ventaja es que estos satélites se mantienen disponibles a todas las estaciones terrenas dentro de una pisada de satélite 100 % del tiempo. Otra ventaja es que el satélite permanece estacionario con respecto a una estación terrena. Consecuentemente no se necesitan equipo caro de rastreo en una estación terrena. No hay necesidad de conmutar de un satélite a otro ya que su órbita esta en lo alto. Consecuentemente no hay cortes de transmisión debido a los tiempos de conmutación. La altitud de la órbita geosincrona puede cubrir mucha mas área de la tierra que la órbita baja. El efecto del desplazamiento dopler es despreciable.

Desventaja es que la gran altura de la órbita introduce demasiado retardo de tiempo de propagación. Un retardo de tiempo de comunicación entre dos estaciones terrenas a través de un satélite geostacionario toma de 500 a 600 ms. Satélites en órbita

geosincronica requieren mucha potencia en su transmisor y receptores muy sensitivos debido a la larga distancia..

Fig.3.9. Muestra los limites nominales para una órbita geosincronica.

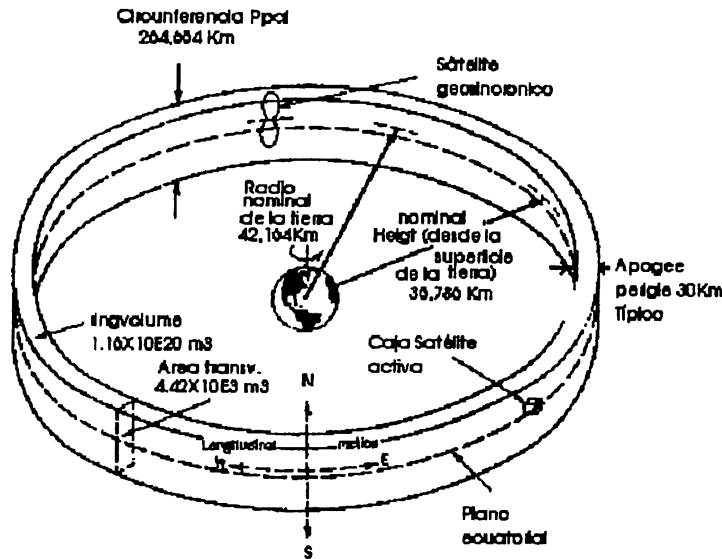


Fig. 3.9 Limites de órbita geosincronica.

3.5.4 ÓRBITA MOLNIYA

Introducida por la unión soviética estableció la serie Molniya usando 65 grados de inclinación de órbita. Esta órbita es elíptica típicamente con perigeo de 1000 Kms. Y un apogeo de 39400 Kms. Esto corresponde a una excentricidad de 0.7.

El punto alto de la órbita apogeo es la latitud mas al norte. La combinación especial de inclinación , perigeo y apogeo son también escogidas de manera que el periodo de la

órbita es la mitad del día real. Esto significa que todos los otros apogeos estarán a la misma longitud,. Para poder cubrir el sistema Molniya se requieren 3 o 4 satélites , si se tiene un sistema de 3 satélites cada satélite es usado 8 horas al día y con cuatro satélites cada uno se usara 6 horas al día. La estación terrena tendrá que usar antenas de rastreo . Una estación con una sola antena tendrá problemas cuando suceda el cambio de un satélite a otro.

El Molniya tiene la ventaja de ángulos de alta elevación cubriendo el hemisferio norte, la cobertura es buena para áreas nortes polares donde la cobertura geostacionaria es pobre o no existe.

Las desventajas son que necesita múltiples satélites, su pobre cobertura del hemisferio sur y la necesidad de dos antenas con rastreo en cada estación terrena. La distancia desde el satélite hasta la estación esta continuamente cambiando, la potencia recibida y la frecuencia también varían (doppler y offset). Un horario es necesario para permitir comunicación a la estación terrena cambiar de satélite simultáneamente.

3.5.5 ÓRBITA BAJA

Es usada comúnmente en órbitas circulares con baja altitud para satélites de comunicación a altitudes de 500 a 2000 Km. Los ángulos de inclinación podrán variar de 30 hasta 90 grados (polares). Durante el lanzamiento estos deben alcanzar una altura de 300 a 400 Km. en altitud.

La ventaja principal es que el satélite esta mas cerca de la estación terrena que otras órbitas, el decrecimiento de retardo de tiempo se reduce debido a su distancia. Aquí se pueden usar satélites simples y pequeños

El retardo de una conexión de dos caminos a través de un satélite es reducida de un significativo 0.5 S. A 0.02 S.

La desventaja de órbita baja es que el periodo de la órbita nos es mas que de unas horas, el satélite esta siempre en movimiento. Antenas omnidireccionales se requieren para poder usar este servicio y muchos satélites se requieren para poder dar continuidad al servicio. Cuando un satélite desaparece en el horizonte otro se necesita. La cobertura de la tierra es mas limitada a altitudes bajas.

En órbita baja, el espacio entre satélites, puede ser aleatorio o en fase. En posición aleatorio no se necesita esfuerzo de control del satélite. En satélites en fase el sistema es sincronizado de tal manera que un satélite esta siempre disponible, este sistema puede diseñarse para proveer 100 % de cobertura de la tierra, o para economía un numero reducido de satélites pueden proveer un 100 % de cobertura a diferentes latitudes.

3.5.6 ÓRBITA CIRCULAR

Los fundamentos de esta órbita fueron formulados por Isaac Newton. La aceleración de un satélite es igual a la relación de la fuerza a su masa. La fuerza gravitacional en un satélite es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de el centro de la tierra. La aceleración debido a una gravedad puede escribirse como ecuación 3.5:

$$a = \mu / r^2 \text{ (Km/s}^2\text{)}$$

Ec. 3.5

Donde r es la distancia del centro de la tierra, y la constante $\mu = 398,605 \text{ Kms}^2 / \text{s}^2$ Y es igual al producto de la constante gravitacional G y la masa de la tierra M .

En una órbita circular, la fuerza centrífuga aparente es igual a V^2/r . Uniendo las dos fórmulas de aceleración puede mostrarse que la velocidad V de la órbita circular es:

$$V = (\mu / r)^{1/2} \text{ Km/S} \quad \text{Ec. 3.5.1}$$

Tanto como el radio incrementa la velocidad decrecerá.

Para satélites en órbita baja será de 7.7 Km./seg. En la órbita geostacionaria la velocidad del satélite es de 3 Km/S.

La tabla de continuación muestran para metros de órbita circular. tabla 3.3

PARÁMETROS DE ÓRBITA CIRCULAR					
CANTIDAD	r y μ	r y v	v y μ	AL RADIO DE EN	ÓRBITA
				TIERRA	GEOSTACIONARIA
radio	-----	-----	$r = \mu/v^2$	6378.140	42164.570
velocidad	$v = \sqrt{\mu/r}$	-----	-----	7.905364	3.074689
velocidad angular	$n = \sqrt{\mu/r^3}$	$n = v/r$	$n = v^3/\mu$	0.00123944	72.92115*10E-6
periodo de órbita	$P = 2\pi r / v$	$P = 2\pi r^3/\mu$	$P = 2\pi \mu/v^3$	5069.347	86164.091
aceleración	$g = \mu/r^2$	$g = v^2/r$	$g = vE4/\mu9.7$	9.78828 e-3	0.2242099 E-3

Tabla 3.3 Parámetros de órbita circular.

3.5.7 OTRAS ÓRBITAS

-Órbita baja pequeña: Transmite (148-150.05 Mhz) en la dirección tierra-aire y (137-138 Mhz) en la dirección espacio-tierra. Su distancia es aproximadamente 1000 km desde la tierra.

-Órbita baja grande: transmite (1610-1626 Mhz) en la dirección (tierra-espacio) y (2483-2500 Mhz) en la dirección espacio-tierra.

-Órbita polar: Transmite (16616-1626 Mhz) y recibe a las mismas frecuencias , esta órbita tiene una distancia de 780-1020 Kms. Para enlaces intersatelitales la frecuencia de transmisión y recepción es de 23 Ghz.

-Órbita media: esta situada a 10,370 Km. Su transmisión es vía Banda -L y banda-s.

-Órbita inclinada: Tiene una cobertura total, esta situada a 1400 Kms, su transmisión se efectúa a través de banda -L y banda-s.

Sus frecuencias de enlace son:

6.5 Ghz y 5.2 Ghz para enlaces hacia arriba y enlaces hacia abajo.

-Órbita elíptica inclinada.

-Órbita elíptica alta:

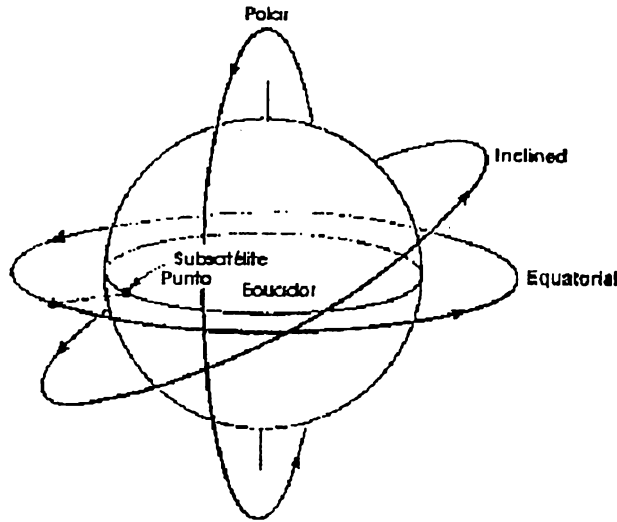


Fig.3.10 Órbitas

3.6 GEOMETRÍA DE SATÉLITE Y ESTACIÓN TERRENA

Los dos puntos indicando la geometría básica de la posición del satélite y estación terrena forman un triángulo con el centro de la tierra. Los dos lados del triángulo son lo que casi siempre se dan Estas son las distancias de la estación al centro de la tierra $R_e(6378.14)$ Km. y la distancia del satélite $r (42,164.57)$ Km. para órbita geostacionaria, las otras 4 cantidades, un lado y tres ángulos se dan en la figura.3.11

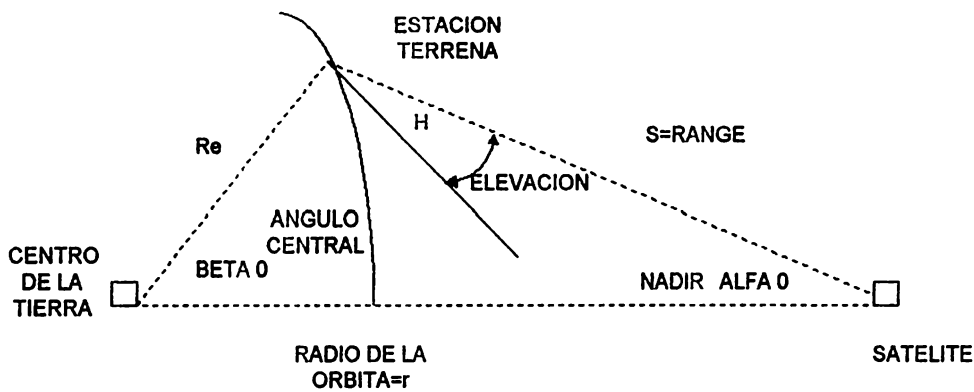


Fig.3.11 relaciones geométricas.

3.7 AZIMUTH Y ELEVACIÓN

La elevación h es el ángulo entre un satélite y en plano del horizonte de un observador. El azimuth es la dirección del satélite medida en el plano horizontal desde el norte geográfico en la dirección de las agujas del reloj (ver fig. 3.12) .Estas dos operaciones son de interés para la estación terrena y para apuntar una antena hacia un satélite. Siempre una estación conoce su localización (latitud y longitud) y la localización del satélite son necesarias para calcular el azimuth y elevación , La diferencia de longitud es $\Delta\lambda$ es :

$$\Delta\lambda = \lambda (E) \text{ sat} - \lambda (E) \text{ sta.} \quad \text{En grados.} \quad \text{Ec. 3.5.2}$$

Esto es, longitud este del satélite menos longitud este de la estación terrena . El azimuth a cualquier satélite o estrella puede ser encontrado del triángulo esférico mostrado en la fig. 3.13

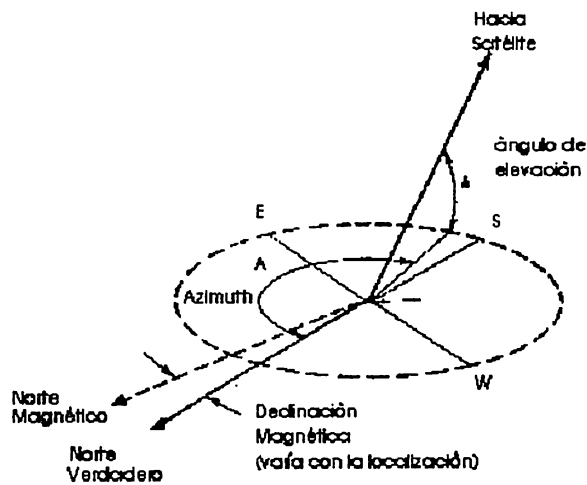


Fig 3.12 Azimuth y Elevación

Este triángulo es similar a la estación terrena , el polo norte y el punto del subsatelite (el punto directamente abajo del satélite)El azimuth es :

$$\tan A = \frac{\sin \Delta\lambda}{\cos \phi \tan \delta - \sin \phi \cos \Delta\lambda} \quad \text{Ec.3.5.3}$$

Ecuación anterior donde ϕ es la latitud de la estación y δ es la latitud del satélite.

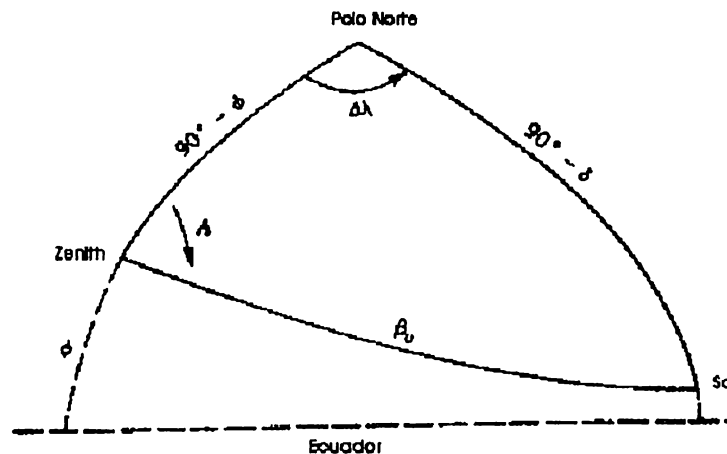


Fig.13.13 Triángulo esférico que muestra el Azimuth A y el ángulo central β y la latitud de la estación terrena ϕ .

La órbita puede ser ecuatorial, polar o inclinada. EL punto subsatelital es la proyección vertical instantánea a la superficie terrestre del punto del satélite en órbita El punto subsatelital mapea la órbita del satélite a lo largo de la tierra. La órbita ecuatorial rodea la tierra con punto saetilla a través del ecuador. Órbitas polares tiene un punto saetilla que pasa a través de los polos.

Una órbita puede ser elíptica o circular, para órbita circular el satélite debe alcanzar una velocidad de :

$$v_s = \left(\frac{g_0}{r_e + h} \right)^{1/2}$$

Ec.3.5.4

Donde r_e es el radio de la tierra , h es la altitud de la órbita y g_0 es el coeficiente gravitacional.

Satélites situados en órbita sincrónica pueden localizarse por su posición efectiva estacionaria relativa a la tierra.

La posición orbital para satélites operando a la misma frecuencia han sido designados con espacios de 2 grados.

Una desventaja de satélites geostacionarios es que el punto sobre la tierra mas allá de 80 grados de latitud no son visibles. De otra manera los satélites geostacionarios requieren simples estaciones terrenas sin rastreo o handover. La órbita inclinada provee mayor visibilidad a la parte alta norte y latitud.

3.9 OSCILACIONES ESTE OESTE Y RADIAL

Teóricamente una órbita geostacionaria es circular . En la practica es usualmente un poco elíptica. Esta produce una variación en su velocidad a través de la órbita (ley de KEPLER). Esta velocidad de variación es vista como una oscilación este oeste.

La fuerza externa mas significativa que cambia la forma de la órbita es la presión de la radiación solar La presión debida a la radiación electromagnética es S_c/c . La aceleración aproximada debida a la radiación es;

$$a = S_c A / m c$$

Ec.3.5.5

Donde S_c es el flujo solar, A es la área de sección transversal la masa del satélite, y c la velocidad de la luz. La presión de la radiación solar es la principal fuerza externa que afecta la circularidad de la órbita. En dawn, tiempo local del satélite, la fuerza es opositora a la velocidad del satélite, de manera que esto hace lento al satélite. El efecto principal de esta fuerza es vista 12 horas mas tarde cuando la altitud del satélite ha decrecido. El efecto depende de la razón del área del satélite y su masa.

Muchos satélites de comunicación tienen muchos arreglos solares. Esto incrementa el área y por lo tanto el efecto de la presión de la radiación solar.

La oscilación radial puede ser calculada de la excentricidad de la órbita. La excentricidad es igual a ;

$$e = (r_a - r_p) / (r_a + r_p) \quad \text{Ec.3.5.6}$$

Donde r_a es la distancia máxima de el satélite al centro de la tierra (apogeo), y r_p la distancia mínima (perigeo). La distancia al centro de la tierra pueden escribirse como:

$$r = r_g + e * r_g \text{ (Km)}. \quad \text{Ec.3.5.7}$$

Donde r_g es el radio de la órbita promedio. Para satélites geostacionarios el radio promedio es $r_g = 42,164$ Km.

3.9.1 EXCENTRICIDAD DE LA ÓRBITA

Un satélite en una órbita excéntrica tiene una variación de radio $\pm m e r_g$ donde (e) es la excentricidad, (r_g) es el radio de la órbita la distancia a la tierra varia en la misma cantidad de manera que el rango de variación es $\Delta S = \pm e r_g$ (km).

Para una excentricidad de 0.001 el rango cíclico es acerca de ± 42 Km, y el rango cíclico de ± 0.003 Km/s. Este rango produce un desplazamiento en la frecuencia doppler.

La excentricidad de la órbita es el único parámetro directamente relacionado al movimiento hacia delante lejos de la tierra. Para una estación terrena en o cerca del punto subsatélite, la excentricidad es el único parámetro que afecta el rango. La figura 3.14 muestra el efecto de excentricidad de la órbita, y figura 3.15 muestra el efecto de inclinación.

Fig 3.14 y 3.15. Efecto de la excentricidad de la órbita y efecto de inclinación de la órbita.

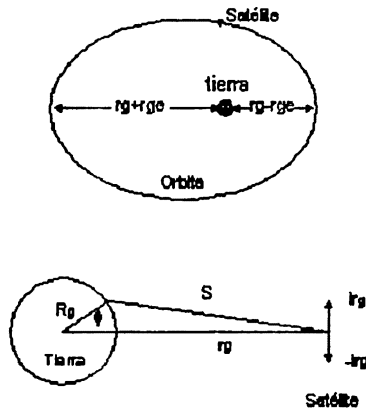


Fig.3.14 y 3.15

3.9.2 RETRASOS DE ENLACES SATELITALES

Una radio señal viaja a través del espacio a una velocidad de la luz. Esto significa que hay un tiempo de retraso entre la señal mandada y la señal recibida. El tiempo de retraso para señales entre satélite y una estación terrena es de $t=s/c$ Seg. Donde S es la distancia en kilómetros y c es la velocidad de la luz.

El rango a un satélite geostacionario puede variar de 35,786 - 41,679 Km.

El primero corresponde a una estación terrena en el punto del subsatélite, el segundo es el rango máximo cuando la estación terrena ve el satélite a una elevación de ϕ . El tiempo de retraso entre el satélite y la estación terrena es de 0.1193 a 0.1384 seg.

Retrasos de tiempo pueden ser un problema pero esto depende de los equipos y caminos del circuito. Dispositivos supresores de eco se usan para disminuir este efecto. Algunos posibles caminos de circuito son mostrados en la figura 3.16

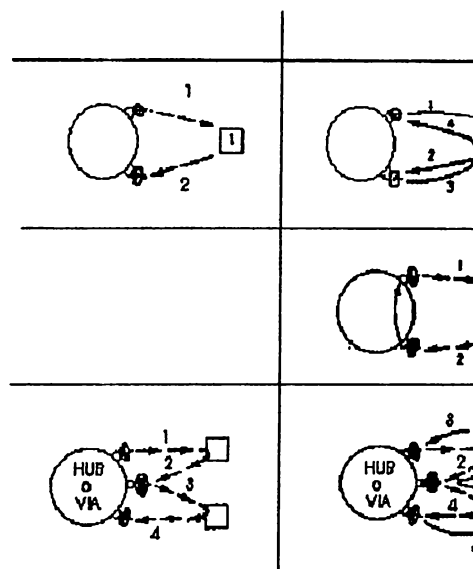


Fig.3.20 Retrasos encontrados en comunicación satelital.

Retrasos encontrados en servicios por satélite, En el primer cuadro se trata de un salto único, con dos unidades de retraso(80,000 km) con 267 ms., en el segundo cuadro otro salto único con 4 unidades de retraso de (160,000 km) con 533 ms. En el tercer cuadro se trata de un medio salto con dos unidades de retraso mas un retraso terrestre con un total de retraso de 300 ms. en el cuarto cuadro un salto doble con 4 unidades de retraso con un total de 533 ms .y el ultimo un doble salto con 8 unidades de retraso con un tiempo total de 1 segundo.

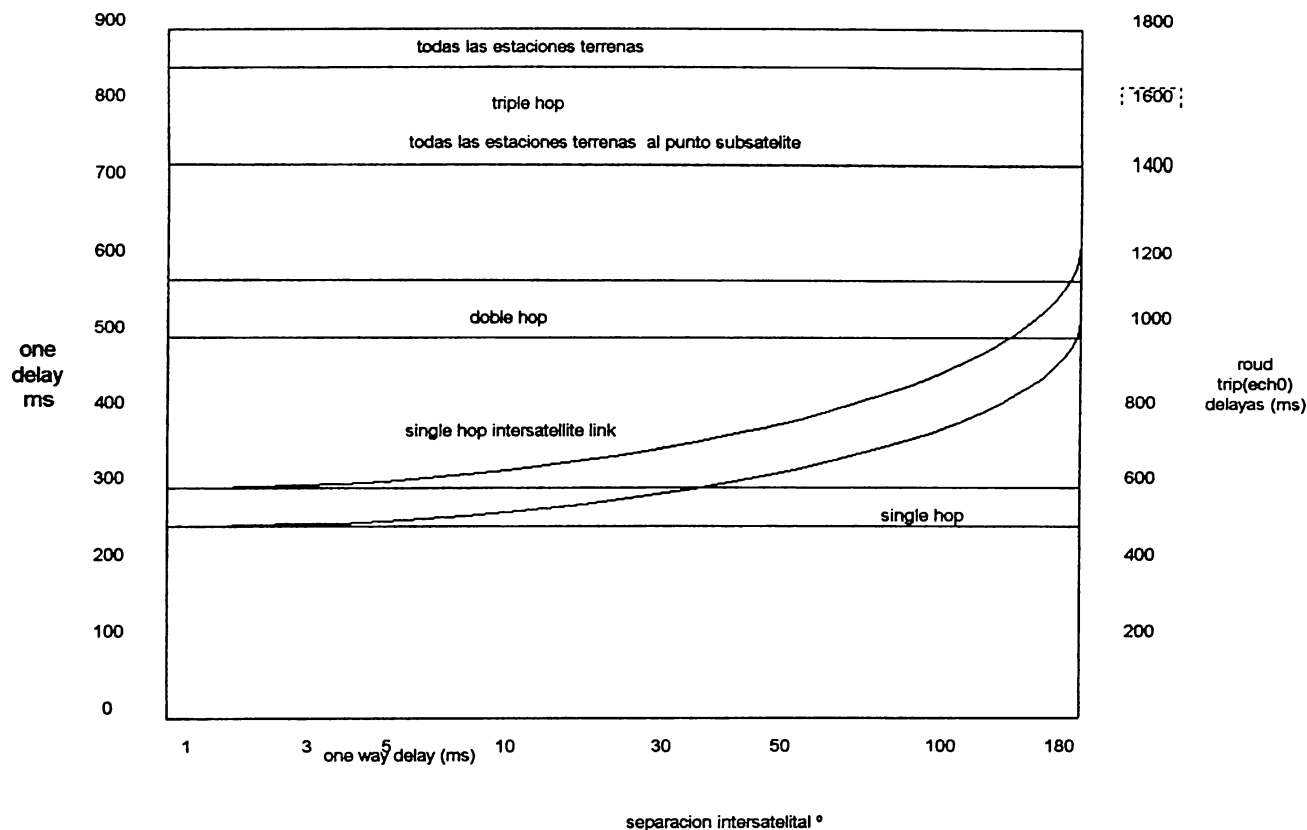


Fig.3.17. Tiempo de retraso intersatelital

El tiempo de retraso para enlace intersatelital debe ser adicionado al enlace hacia arriba y al enlace hacia abajo. El retraso en un salto único mas un enlace intersatelital se muestra en la figura 3.17 como una función de la longitud de separación entre dos satélites.

Para una separación pequeña de menos de 10 grados el efecto es pequeño ,pero tanto la separación incrementa el retraso se convierte en doble HOP.

Circuitos terrestres entre la estación terrena y el origen y puntos destinos adicionan mas retrasos. Una formula de estos retrasos es:

$$T_{terr}=12+(0.004*distancia \text{ en Kms}).$$

Esta formula aproximada es aprobada por la (CCITT). El rango típico para Tierra es de 10 a 50 ms. El coeficiente de 0.004 es equivalente a una velocidad de 250,00 Kmt/s .Esto es menos que la velocidad de la luz.

El retraso de tiempo es también importante para comunicación digital. Algunos sistemas de datos requieren que la terminal que envía guardar el dato hasta que la terminal receptora reciba libre de errores. Un método de preferencia usa corrección de errores hacia adelante codificación y protocolos de tolerancia de retraso. En algunas aplicaciones tales como TDMA el cambio en el retraso es mas importante que el tiempo total

CONCLUSIONES

-De acuerdo a las órbitas estudiadas la órbita con mas ventajas es la órbita geostacionaria debido a su flexibilidad y amplia cobertura y a su movimiento que parece estático con respecto a la tierra.

-De acuerdo a las funciones básicas del satélite el subsistemas mas importante de este es el subsistema de telemetria, tracking y comandos ya que este subsistema controla las funciones básicas del satélite dando lugar a que los demás subsistemas entren en acción para mantener la órbita.

CAPITULO 4

BANDAS DE FRECUENCIA Y CANALES DE COMUNICACION

INTRODUCCION: Muchos sistemas operan en situaciones donde el canal no es adecuadamente descrito por un simple modelo de ruido gaussiano, hay que tomar en cuenta aspectos como: banda limite, interferencia canal-contiguo, multiruta, no linealidades y un cumulo mas de otros efectos de gradientes que deben ser considerados. En este capitulo hablaremos de las bandas de frecuencia y canales de comunicación.

OBJETIVO: conocer los rangos de frecuencia utilizados para la comunicación vía satélite, los diferentes canales con que se trabaja en una comunicación satelital.

4.1 BANDAS DE FRECUENCIA

4.1.1 AMBIENTE DE RADIO FRECUENCIA Y SUS IMPLICACIONES

Cuando estudiamos cualquier sistema de radio, es instructivo empezar por considerar la ecuación de enlace. Esto es particularmente cierto para sistemas de satélites móviles porque la combinación de potencia eléctrica en el satélite y la terminal móvil (y relativamente pequeñas antenas en los terminales móviles) resulta en una situación en donde la potencia transmitida es un recurso critico, en cual podría minimizar sujeto a los requerimientos de proveer una alta relación de señal a ruido suficiente para soportar el grado de servicio deseado.. La ecuación simplificada de enlace es la siguiente

$$10\log(C/NO) = P_t + G_t - L_p + G_r - T_r - K - L_{dB} - Hz \quad \text{EC 4.1}$$

donde

C/N_0 = la relación de la potencia de la señal a la densidad de potencia espectral de ruido después de haber sido recibida y amplificada (Hz)

P_t = Entrega de potencia RF a la antena transmisora (dBW)

G_t = ganancia de la antena transmisora relativa a la radiación isotropica (dBi)

L_p = Perdida de ruta en espacio libre (dB)

G_r = Ganancia de la antena receptora (dBi)

T_r = Temperatura de ruido compuesto de el sistema receptor (dBK)

k = Constante Boltzmanns expresada en decibeles (-228.6 dBE/K-Hz)

L = Compuesto de perdidas en propagación (dB)

Las actuales bandas de frecuencias que estaban localizadas para comunicación móvil por satélite en la conferencia mundial de administración de radio (WARC) son mostradas en la

Tabla 4.1.1

BANDA DE FRECUENCIA DE BAJO ENLACE (MHz)	BANDA DE FRECUENCIA DE ALTO ENLACE (MHz)	TIPOS DE SERVICIO LOCALIZADOS
1530-1533	1631.5-1634.5	Servicio satelital de móviles marítimos y servicio satelital de móviles terrestres
1533 -1544	1634.5 - 1645.5	Servicio satelital de móviles marítimos (primario) servicio satelital de móviles terrestres, solo datos (secundario)
1544 - 1555	1645.5 - 1646.5	Servicios de emergencia y angustia
1545 - 1555	1646.5 - 1656.5	Servicio satelital de móviles aeronáuticos (seguridad y regularidad de vuelo), y correspondencia publica aeronáutica, servicios de seguridad alta prioridad
1555 - 1559	1656.5 - 1660.5	Servicio satelital de móviles terrestres, terminales marinas y aéreas, usado en conjunción con este servicio, podría también ser soportado.

Tabla 4.1.1 Bandas de frecuencia para servicios de satélites

Los dos recursos mas críticos en el uso eficiente de los satélites son el espectro de frecuencia y la potencia, y estos pueden ser alcanzados si el sistema de antena del satélite cubre el aérea apropiada de la superficie de la tierra con múltiples haces colocadas en un gran haz

El siguiente ejemplo muestra un sistema de 16 haces, la forma y en tamaño igual en los haces no siempre se mantienen constante. Se nota en este ejemplo que cada subbanda de frecuencia es usada cuatro veces

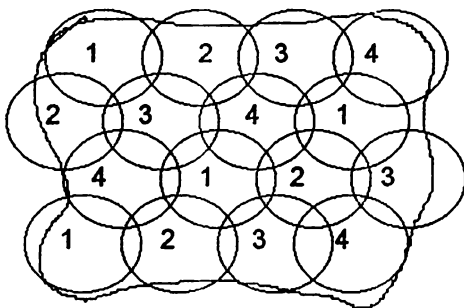


fig. 4.1.1 Reutilización de frecuencia con satélite multi haz

Es claro que para hacer un enlace con el satélite, la señal de radio viaja una gran distancia , de hecho para señales en las bandas de frecuencia satelitales móviles las perdidas de rutas son de casi 190 dB , una señal enviada de una terminal móvil a la estación terrena vía satélite toma entre 0.24 y 0.26 seg. Dependiendo de la localización de la terminal y la estación, este retardo es perceptible durante una comunicación telefónica.

En adición a una enorme pérdida de ruta en el espacio libre, la señal satelital móvil esta sujeto a un numero determinado de otros efectos . La amplitud y la fase de la forma de onda Rf puede ser perturbada por una variedad de fenómenos, incluyendo propagación de multi ruta, sombreo (bloqueo de la ruta lineal entre el satélite y la terminal

móvil), difracción, vibración de la antena, interrupción del haz de la antena (para antenas conducidas eléctricamente).

4.1.2 SISTEMAS SATELITAL MÓVIL PRESENTE Y FUTUROS

Los sistemas descritos pueden clasificarse en tres categorías: primero, los sistemas que ofrecen ambos servicios de voz y de datos, usando las bandas de frecuencia dadas en la tabla 4.1, segundo, sistemas que ofrecen solo servicios de datos de paquetes almacenados y enviados, usando las bandas de frecuencia de la tabla 4.1. , tercero, sistemas que ofrecen servicios de datos en paquetes y enviados en otras bandas de frecuencia que no sean las de la tabla 4.1.2

Un sumario de algunos de los atributos para sistemas satelitales móviles, que ofrecen servicios de voz y datos, pueden ser vistos en la tabla 4.1.2

SISTEMA SATELITAL MÓVIL	CIA/ ORGANIZACIÓN	CATEGORÍAS DE SERVICIO	REGIÓN CUBIERTA	TIPOS DE TERMINAL PRIMARIO	FECHA DE INICIO DE SERVICIO COMERCIAL
INMARSAT-A	INMARSAT	telefonía móvil datos en interrupción de circuitos datos almacenados y enviados	GLOBA L	Barcos marinos portables grandes	1976
INMARSAT aeronáuticos	INMARSAT	telefonía móvil datos en interrupción de circuitos datos en paquetes interactivo datos almacenados y enviados	Global	aeroplanos	1990
INMARSAT M	INMARSAT	telefonía móvil datos en interrupción de circuitos	Global	Barcos marinos Móviles terrestres	1993
INMARSAT B	INMARSAT	telefonía móvil, datos en interrupción de circuitos datos almacenados y enviados	Global	Barcos marinos portables grandes	1993

MOBILESAT	AUSSAT Pty Ltd	telefonía móvil datos en interrupción de circuitos datos almacenados y enviados	Australia	todos los móviles	1993
MSAT	Corporación satelital móvil americana Telesat mobile inc. (Canada)	telefonía móvil datos en interrupción de circuitos datos en paquetes interactivo datos almacenados y enviados radio móvil	Norte América	todos los móviles	1994

fig 4.1.2 atributos de sistemas satelitales

Los primeros cuatro en la tabla 4.1.2 son ofrecidos por INMARSAT, estos sistemas operan utilizando dos satélites MARECS arrendados de la agencia del espacio europeo, tres satélites Intelsat, cada uno apto con un subsistema de comunicación marítima

Algunas de las características técnicas de transmisión de la voz son descritas en la tabla 4.1.3. Note que todo los sistemas en esta categoría usan múltiple acceso por división de frecuencia

SISTEMA SATELITAL MÓVIL	RANGO DE CODIFICACIÓN DE VOZ (kBps)	PROTECCIÓN DE ERROR CON RANGO DE DATOS (kBp)	ESQUEMA DE MODULACIÓN	ANCHO DE BANDA DEL CANAL RF DE VOZ (kHz)
Inmarsat A	no aplicable	No aplicable	Modulación de frecuencia	50
Aeronáutica Inmarsat	9.6	19.2	QPSK EN offset	17.5
Inmarsat M	4.2	6.4	QPSK en offset	10
Inmarsat B1	16	21.33	QPSK en offset	20
MOBILESAT	4.2	6.4	TT/4 QPSK	7.5
MSAT	4.2	6.4	TT/4 QPSK QPSK en offset	7.5

tabla 4.1.3 Características técnicas de transmisión de voz

El sistema aeronáutico INMARSAT es único, es el sistema satelital móvil que ha sido diseñado de una manera consistente con principios de interconexión de sistemas abiertos (OSI). Aunque la adhesión para estos principios en un ambiente satelital móvil posee algunos problemas de interés, La adherencia fue esencial debido al largo número de aplicaciones procesadas, residentes en aviones comerciales. Muchos de estos procesos requieren comunicación con servicios de base terrestre, con radio enlaces siendo provistas por el mejor número de servicios tales como: satélites, voz en VHF y enlace de datos o posiblemente modos de radar de vigilancia, Las lecciones aprendidas con diseños de sistemas aeronáuticos podrían proveer ayuda invaluable en el futuro cuando las comunicaciones requieran de otros móviles aprovechando el mismo nivel de sofisticación como hoy lo es para el avión comercial.

4.1.3 DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE ANTENA SATELITAL DE COMUNICACIÓN MULTIBANDA

La tendencia mas reciente en comunicaciones satelital es introducir bandas de multifrecuencia y multihaz para incrementar la capacidad de comunicación y mas satélites multimisión económicos, Se sabe que los satélites de comunicación japoneses han utilizado bandas de multifrecuencia puesto que ellos fueron los primeros en lanzarse. El ETS-VI (Engineering test satélite VI) usara cuatro bandas de frecuencia : O (43/38 Ghz), Ka (30/20 Ghz), C (6/4 Ghz), y S (2.5/2.6 Ghz). Satélites altamente integrados semejantes a ETS-VI requieren antenas sofisticadas que confían en varias tecnologías para frecuencias y formas de polarización, el trazo propio y el acomodo de las antenas y los lightening de los componentes de antena.

En sistemas de antena para sistemas de comunicación multibanda se utilizan cuatro bandas de frecuencia Ka, Ku (14/12 GHZ), C and S. Configuraciones de seis haces han sido creados, tres son multihaz (8 haces en la banda de los 30 Ghz, tres haces en la banda de los 20 Ghz, y cuatro haces en la banda S) y los otros tres son en configuración de condición de haz.

4.1.4 VISTA A LOS SISTEMAS DE ANTENA

Los sistemas de antena se caracterizan entre otras cosas por el número de haces y por las bandas utilizadas, La tabla 4.1.4 muestra las bandas de frecuencia asumidas

Banda de frecuencia Ghz	Ka			Ku	L	C	S
	30	20	30/20	4/12	2/1	6/4	2.6/2.5
configuración de haz	Multi	Multi	shaped	Shaped	Shaped	Shaped	multi
numero de haces	8	3	1	1	1	1	5
diámetro de apertura	2.5	2.5	1.4	2.0		3.5	3.5

tabla 4.1.4 bandas de frecuencia asumidas

El espectro total de frecuencia utilizado por los satelites es el siguiente

BANDA DE FRECUENCIA	RANGO (GHZ)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 - 18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
Milimétrica	40 -300

Para tener idea donde se encuentra la banda de frecuencia con la que se trabaja en comunicacion satelital, a continuacion se muestra el espectro de frecuencia electromagnético

FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA	DESINACION
3 HZ - 30 KHZ	10 A LA 8 - 10 A LA 4	MUY BAJA FRECUENCIA (VLF)
30 - 300 KHZ	10 A LA 4 - 10 A LA 3	BAJA FRECUENCIA (LF)
300 KHZ - 3 MHZ	10 A LA 3 - 10 A LA 2	FRECUENCIA MEDIA (MF)
3 - 30 MHZ	10 A LA 2 - 10	ALTA FRECUENCIA (HF)
30 MHZ - 300 MHZ	10 - 1	MUY ALTA FRECUENCIA (VHF)
300MHZ - 3 GHZ	1 - 10 A LA -1	ULTRA ALTA FRECUENCIA (UHF)
3 - 30 GHZ	10 A LA -1 - 10 A LA -2	SUPER ALTA FRECUENCIA (SHF)
30 - 300 GHZ (EHF)	10 A LA -2 - 10 A LA -3	EXTREMA ALTA FRECUENCIA

TABLA 4.2 CANALES DE COMUNICACION

4.2.1 FORMATO DE LOS CANALES RF EN SATCOM

Los canales de comunicación se definen en la siguiente fig.

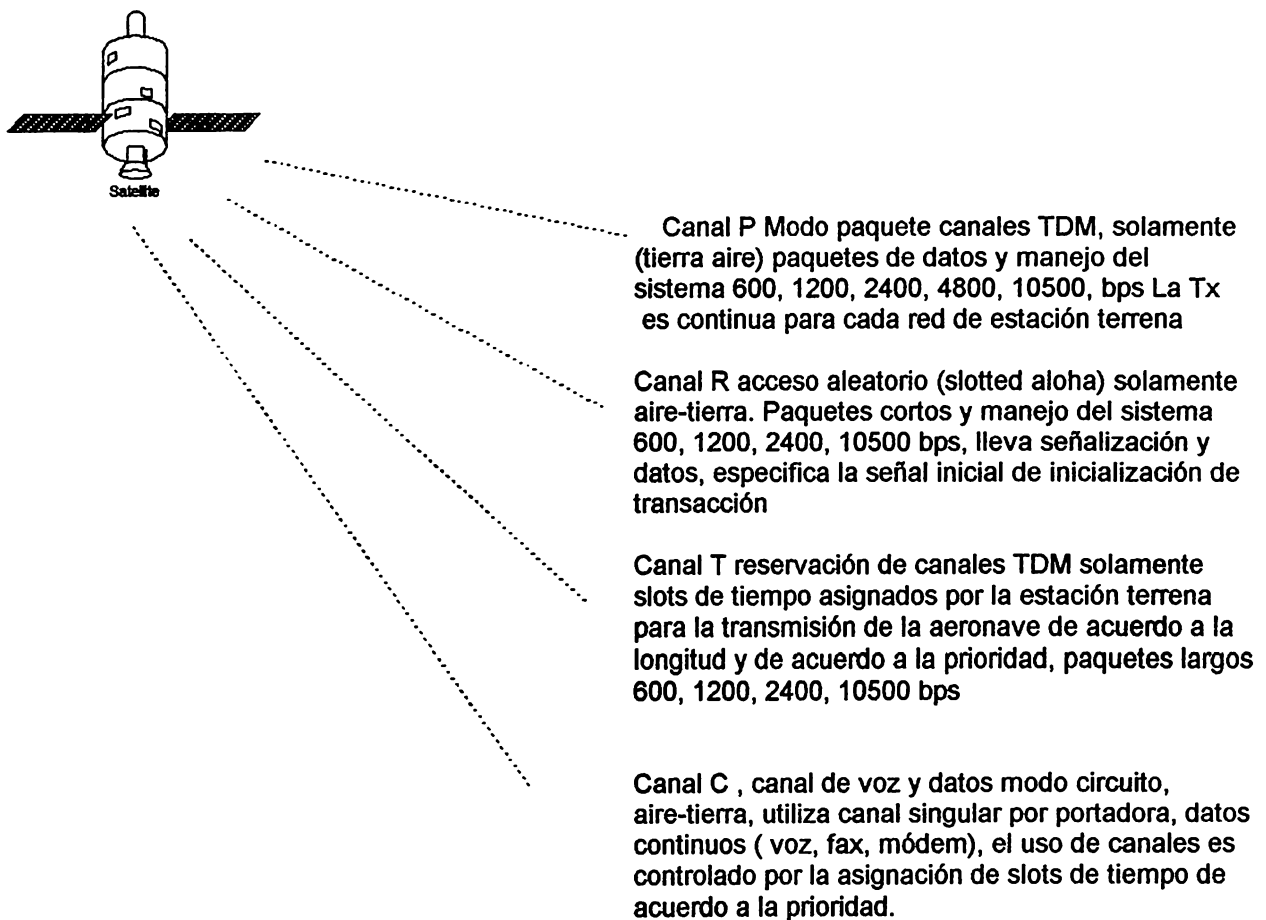


FIG 4.2.2 Formato de canales RF en SATCOM

CANAL	DESCRIPCIÓN
CANAL P	Canal de Múltiplex por división en el tiempo MDT, usado en mensajes tierra-aeroplano para señales portadoras y datos de usuario
CANAL R	Canal de acceso aleatorio (slotted aloha) usados en mensajes aeroplano-tierra para llevar señal y datos de usuario, la señalización es generalmente confinada para iniciación de transacción y señales de solicitud
CANAL C	Canal de modo circuito usados para ambos mensajes: tierra-aeroplano y aeroplano-tierra. El canal C puede ser usado para voz, datos o ambos. El uso del canal es usado asignando y liberando señales en el inicio y final de cada transacción. Cuando es usado por voz, el canal C puede llevar también datos multiplexados para control y comunicación como es requerida.
CANAL T	Canal de acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT), usado para mensajes tierra-aeroplano y aeroplano-tierra. El canal T puede ser usado para voz o datos. El tiempo de localización es variable y definida en una transición base por la ET.

Tabla 4.1.5 Canales RF de la usados en SATCOM

CONCLUSIÓN: La bandas de frecuencia para la transmisión de datos y voz aplicada a la aviación tiene valores ya fijos, los diferentes tipos de canales utilizados en la transmisión vía satélite se pueden mencionar canales P, R T y C cada uno con su característica especial, puede ser utilizados para transmisión de voz y datos o para iniciaciones de comunicaciones.

CAPITULO 5

ESTACION TERRENA Y ESTACION MOVIL

INTRODUCCION : Se estudiará en esta sección, los aspectos básicos, factores determinantes del diseño, clasificación, especificaciones, características y el subsistema de comunicaciones de una estación terrena convencional. También se estudiarán los principales componentes que utiliza una aeronave, para poder establecer las comunicaciones a través del satélite con otras aeronaves y/o estaciones terrenas que la conectarán con la red terrestre de comunicación.

OBJETIVO: Con la información descrita a continuación, se pretende describir funcionalmente una estación terrena convencional, donde se estudia el procesamiento de las señales desde el tratamiento a nivel de red -tierra hasta el tratamiento para transmitirla al satélite. También se describirá de una forma muy breve, cada una de las unidades a bordo de la aeronave, que participa en el establecimiento, supervisión y terminación de una comunicación, datos o voz

5.1 ESTACION TERRENA

La estación terrena constituye los dos extremos del enlace de telecomunicaciones por satélite. Los aspectos básicos relacionados con una estación son:

- Localización: fija, móvil, aislada en el campo o emplazamiento urbano.
- Obra civil
- Suministro de energía eléctrica y servicios
- Equipo de comunicaciones: transmisión y/o recepción
- Mantenimiento y operación.

Se tratará en esta sección con estaciones terrenas con arreglo al siguiente esquema: enfoque del problema desde el punto de vista de comunicaciones, descripción de una estación convencional y consideraciones de los nuevos tipos de estaciones.

Son factores determinantes del diseño de la estación:

- El tráfico
- El enlace descendente
- La localización

El tráfico tiene dos variables. La primera es la clase y calidad requerida. La segunda es la cantidad de tráfico a cursar.

El enlace descendente es el más crítico. En consecuencia el receptor de la estación terrena debe ser capaz de detectar señales muy débiles acompañadas de ruido de fondo. Esta característica se cuantifica en el parámetro denominado "factor de calidad" que se define como la relación G/T (Ganancia de antena/Temperatura de ruido de receptor completo, referida a la entrada del primer amplificador).

La localización es importante en cuanto a establecer limitaciones de ciertos recursos, energía eléctrica, volumen, peso, personal, factores de interferencia, sistemas de seguimiento y atenuaciones atmosféricas.

5.2. CLASIFICACION DE LAS ESTACIONES TERRENAS

Las características y calidad del funcionamiento de las estaciones terrenas del sistema INMARSAT, se atienen a las especificaciones de este organismo, lo que garantiza el cumplimiento de las recomendaciones del CCIR, asegurándose así que la estación terrena no degrada la calidad global del servicio, cuando se conectan con los sistemas de comunicación terrenales por cable o radio para la prolongación de los

circuitos hasta los centros de conmutación. INMARSAT clasifica las estaciones terrenas en categorías en función de su capacidad y sensibilidad, que depende primeramente del tipo de antena. Se han establecido los tres tipos siguientes:

NORMA A

La antena es una paraboloide de 30 m. de diámetro, totalmente orientable en acimut y elevación lo que permite seguir un satélite situado a 35700 Km de altura, con una precisión de 0.02 grados. Ofrece una completa versatilidad para transmitir y recibir todo tipo de comunicaciones y es adecuada para todos los usuarios, salvo los más pequeños.

NORMA B

Se ha establecido para atender las necesidades de poco tráfico y evitar la fuerte inversión que requiere la antena de la norma A. La norma B corresponde a una antena parabólica de 10 m de diámetro, con orientabilidad limitada. Se transmite mediante esta antena el sistema SPADE y puede usarse también para datos y televisión.

NORMA C

Se a previsto para la banda 14/11 Ghz.

La sensibilidad de este tipo de normas se visualiza en el siguiente cuadro:

	F(GHz)	G/T (dB/K)
NORMA A	4 -6	40.7
NORMA B	4 -6	31.7
NORMA C	11- 14	39 FA
EST. MOVIL	4 -6	25.7

5.3. ESPECIFICACIONES BASICAS DE UNA ESTACION TERRENA

5.3.1. SENSIBILIDAD Y TEMPERATURA

En aplicaciones de telecomunicación por satélite, se expresa este parámetro en términos del " factor de calidad".

Las especificaciones INMARSAT para este factor y la ganancia de antena a 4 Ghz, son respectivamente:

$$G/T = 40.7 \text{ dB} \qquad G = 57 \text{ dB}$$

Combinándolas, se tiene $T = 42.6 \text{ K}$ lo que requeriría un amplificador de entrada con un maser de 7 K . Sin embargo se ha encontrado que es más económico utilizar un amplificador paramétrico (20 K) y una antena de ganancia igual o superior a 60 dB factible con una paraboloide de 30 m de diámetro a 4ghz .

5.3.2 TEMPERATURA DE RUIDO EQUIVALENTE

La temperatura de ruido equivalente T , comprende todas las contribuciones de ruido del conjunto del sistema receptor. En los sistemas terrenales al ser la temperatura de ruido claramente predominante, no se suelen incluir en el conjunto total las demás contribuciones. En el caso del receptor de estación terrena ya se ha mencionado que su temperatura puede ser de 20 K por lo que son importantes las contribuciones de los restantes elementos del sistema receptor, lo que justifica su análisis y evaluación.

Los componentes de ruido que contribuyen a la temperatura final equivalente T pueden clasificarse así:

- Ruido de la antena, para una ángulo de elevación de 5 grados (caso más desfavorable). Incluye los ruidos atmosféricos, cósmicos y el ruido del suelo, captado por desbordamiento de la antena.

- Ruido de los componentes pasivos, comprendidos en el trayecto de la señal hasta el primer componente activo.
- Ruido de fuga desde el amplificador de potencia hasta el transmisor
- Contribuciones de las etapas amplificadoras relativas al punto de referencia (entrada del amplificador RF del receptor).

5.3.3. TEMPERATURA DE RUIDO DE LA ANTENA

Para estudiar la temperatura equivalente de ruido de la antena, utilizaremos el circuito equivalente de la figura 5.1, en la que se observan las diferentes fuentes de ruido:

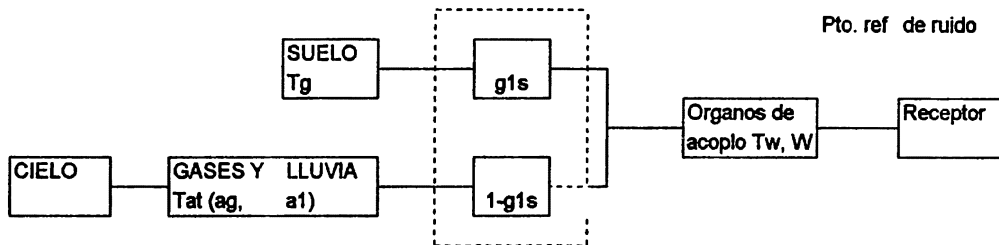


Fig. 5.1 Circuito equivalente de la temperatura de ruido de la antena

- Radiación cósmica de fondo, a la temperatura de ruido del cielo T_s . Esta fuente resulta afectada por un factor de ganancia de antena. $(1-g_{1s})$
- Terreno circundante a la antena, con una temperatura efectiva de ruido del suelo T_g . Fuente afectada por un factor de ganancia de lóbulos laterales de la antena. (g_{1s})
- Gases atmosféricos y lluvia, en cuanto atenuadores, con una temperatura efectiva T_{at} y atenuaciones respectivas $(a_g$ y a_l)

-Organos pasivos (no radiantes) de acoplo de la antena de receptor con una temperatura física y una atenuación.

5.3.4. TEMPERATURA DE RUIDO EQUIVALENTE DEL RECEPTOR

En la figura 5.2, se representa el esquema de bloques del paso de entrada del receptor:

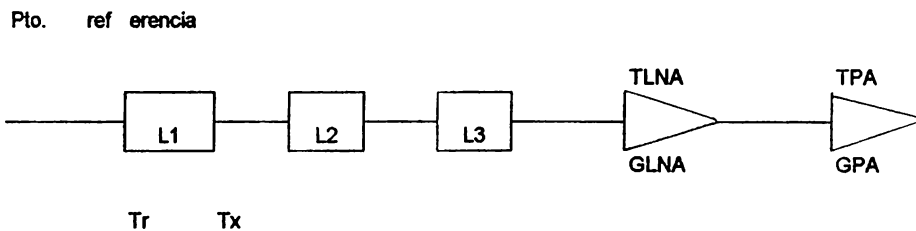


Fig. 5.2. Circuito equivalente de la temperatura de ruido del receptor.

Consta de una línea de acoplo de pérdida $L1$ (dB), un acoplador direccional de pérdidas $L2$ (dB), un conmutador de guía-onda de pérdida $L3$ (dB), un amplificador de bajo ruido, con una ganancia G_{LNA} y una temperatura equivalente de ruido T_{LNA} , y un amplificador de potencia, con una ganancia y temperatura de ruido G_{PA} y T_{PA} , respectivamente.

5.3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA

Además de la ganancia, revisten importancia el control de los lóbulos laterales y polarización.

Los lóbulos laterales de radiación tienen gran importancia en los problemas de interferencias.

Como ejemplo, se facilitan los límites establecidos por el CCIR para los diagramas de radiación de antenas:

$G = 32$ a 25 (Log p) dBi: 1 grado $\leq p \leq 48$ grados

$G = 0$ - 10 dB : $p > 48$ grados.

G es la ganancia de la envolvente del lóbulo lateral en la dirección de la órbita geoestacionaria; p es el ángulo entre la dirección del eje del haz principal y la dirección a considerar.

En la práctica, la limitación de los lóbulos laterales con una dimensión de 400λ a 600λ , en una antena de estación terrena que es del tipo Cassegrain, está con el control de:

- Distribución de la energía en la apertura y la difracción que se origine en consecuencia.

- Bloqueo de la apertura.

- Sobre-iluminación del subreflector.

La discriminación de la polarización es otra característica que influye en desacoplo entre la señal transmitida y la recibida ya que ambas utilizan la misma antena.

En las propiedades directivas de la antena, tiene gran influencia las exactitudes del perfil de su superficie con respecto a la figura geométrica teórica.

El sistema de la antena incluye los servos de seguimiento encargados de efectuar pequeñas correcciones de puntería , generalmente en forma automática a partir de la información obtenida de las balizas del satélite.

5.3.6. AMPLIFICADOR DE SALIDA.

Cuando se utiliza el amplificador de potencia de la estación terrena simultáneamente por varias portadoras, se originan productos de intermodulación, que al ser amplificadas por la antena, producen una densidad de flujo que degrada a las señales en enlace ascendente. En consecuencia, el amplificador utilizado simultáneamente por varias portadoras no puede trabajar a saturación, sino en algún punto de la región más lineal, aun cuando esto suponga una pérdida de rendimiento.

Se establece entonces un “backoff” o reducción de potencia respecto a saturación, en función de número de portadoras.

5.4. DESCRIPCION DE UNA ESTACION TERRENA CONVENCIONAL

En la figura 5.3, se representa un diagrama de bloques de la estación terrena suficientemente general. Para mayor sencillez, lo simplificaremos más, como se indica en la figura 5.4 y este será el que utilizaremos en la descripción que sigue. También esquemas como el de la figura 5.5 y fig. 5.6 son empleados para describir cualitativamente una estación terrena convencional. La figura 5.7 muestra la estructura física de la misma.

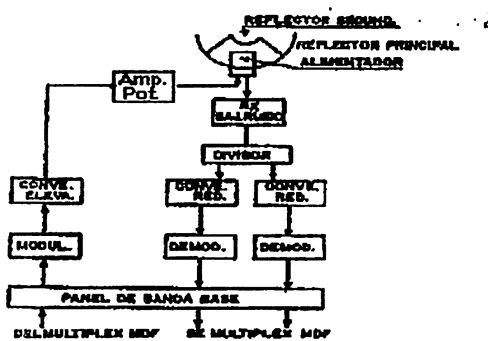


Fig. 5.4 Diagrama a bloques de una estación terrena.

La figura 5.4 comprende los siguientes elementos fundamentales:

- Antena de gran ganancia
- Amplificador de bajo nivel de ruido
- Transmisor de potencia
- Equipo de tratamiento de banda base
- Convertidores de frecuencia.

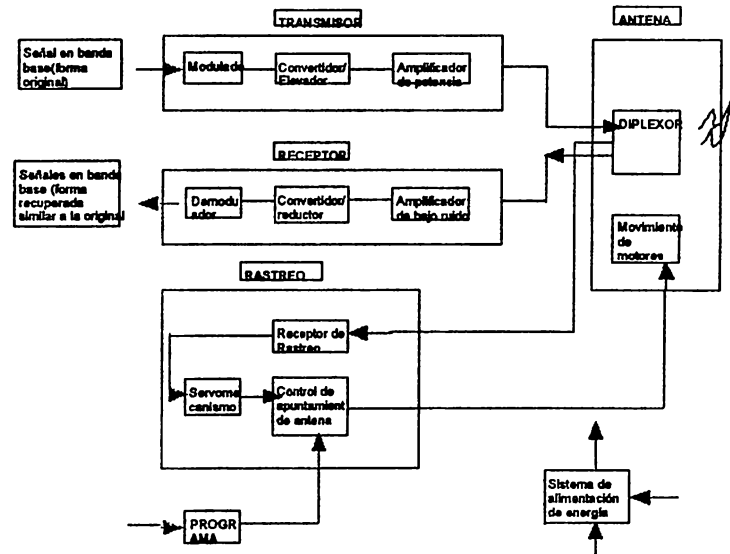


Fig. 5.5

Diagrama a bloques de una estación terrena

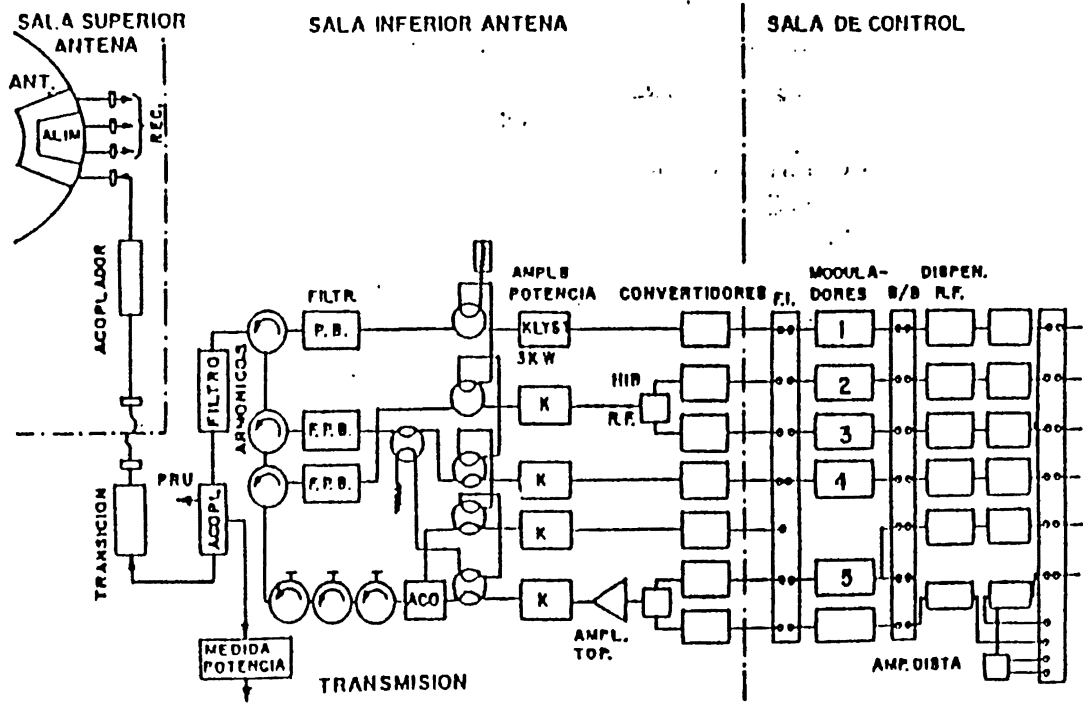
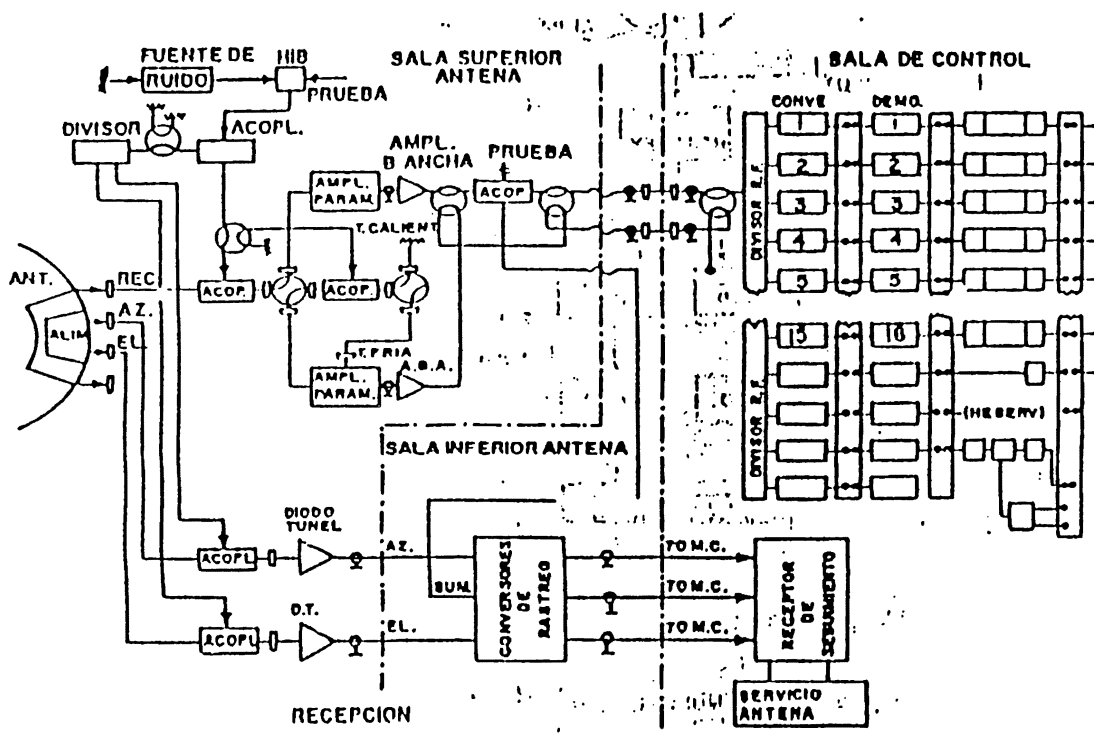


Figura 5.3

Diagrama a bloques detallado de una estación terrena convencional

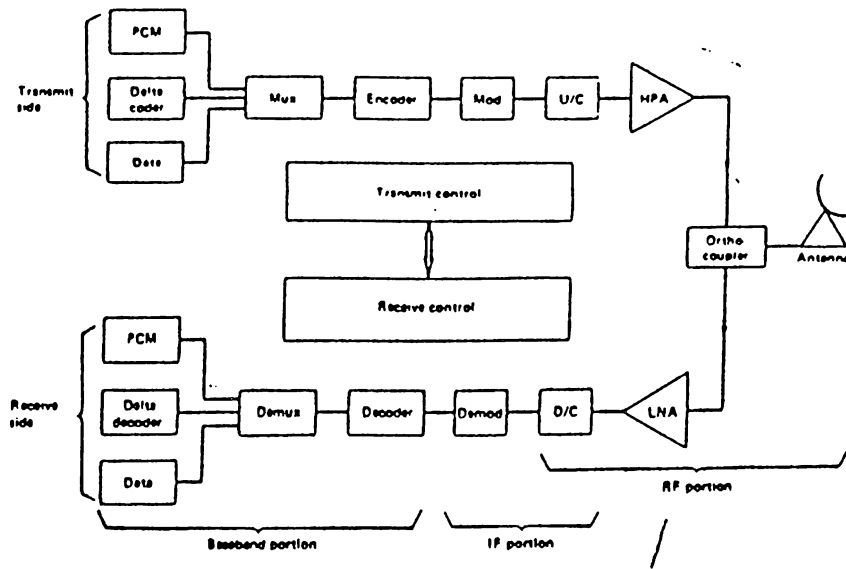
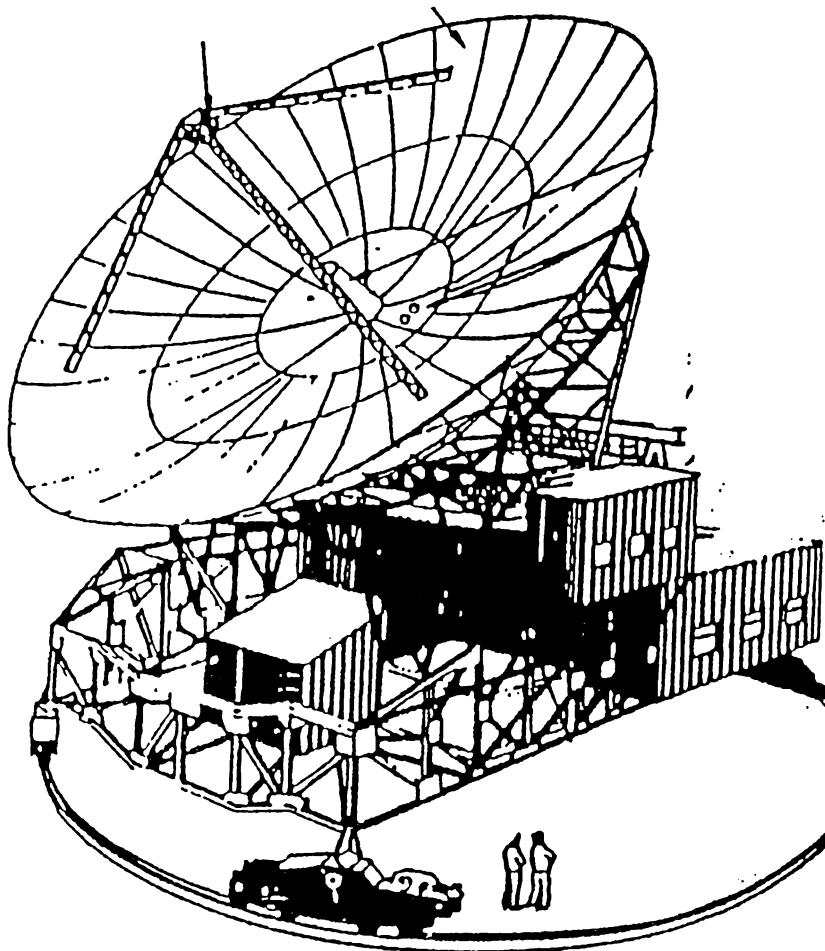


Figura 5.6 Diagrama de una estación terrena.



Se tratará en primer lugar el sistema de antena y a continuación seguiremos el paso de la señal a través de la estación.

5.4.1 ANTENA

Las antenas se caracterizan por su gran ganancia y su necesidad del seguimiento de los satélites. Los diseños se basan todos en grandes reflectores (paraboloides) existiendo tres alternativas para la excitación, como se visualiza en la figura 5.8.

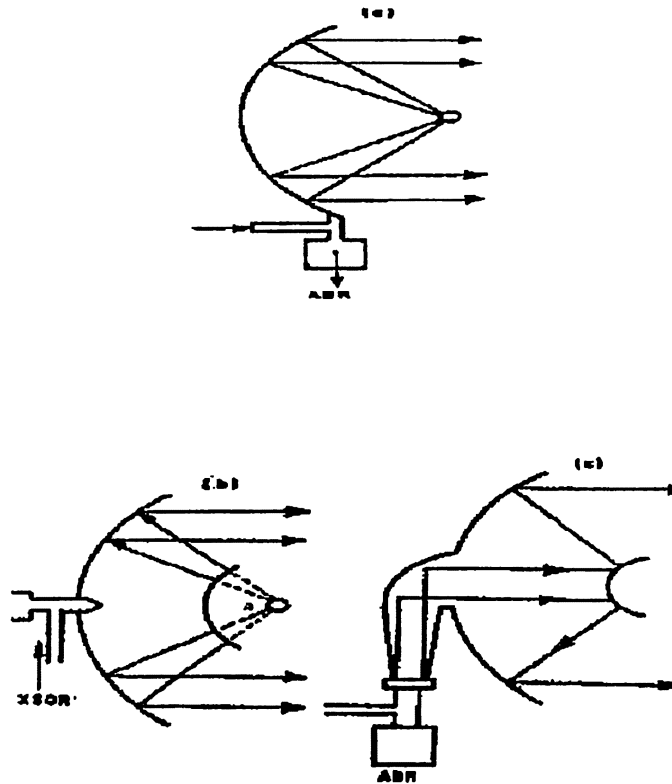


Fig. 5.7 Alternativas de excitación de las antenas parabólicas

- Las primeras antenas tenían los alimentadores frente al reflector. El mayor inconveniente de esta solución está en las pérdidas que se originan en las guía-ondas. (Fig. 5.8 a)

- Tipo Cossegrain, en la que el excitador se encuentra en la abertura del reflector principal. La señal radiada incide en un reflector secundario (hiperboloide) colocado enfrente de éste que colima la energía hacia él. (Fig. 5.8 b)

- Tipo Cossagrain modificado en el que se elimina prácticamente el recorrido de guía-onda. Utiliza un segundo sub-reflector, que recorre la energía a la salida del duplexor y la envía hacia el primer subreflector.

(Fig. 5.8 c)

Las dimensiones del reflector pueden variar desde 600λ que comprende a una ganancia de 62 dB (en función de la eficacia de la antena) a 80λ que corresponde a 46 dB para una eficacia del 60%.

El seguimiento del satélite implica la movilidad de la antena en las dos coordenadas de elevación y acimut. Una movilidad completa, exige movimiento del reflector principal; una movilidad limitada puede conseguirse con el desplazamiento del alimentador o del reflector secundario.

El sistema de seguimiento de la antena tiene cuatro modalidades:

- Manual

- Autoseguimiento o mono-impulso, en el que la señal procedente de la baliza del satélite se descompone en cuatro términos (desplazamiento en las dos coordenadas) y se busca un cero del vector recompuesto de manera automática.

- Programa de seguimiento, en el que la señal de error viene dada por un programa previamente almacenado.

- Seguimiento escalonado, en el que al sistema se le introduce como objetivo el valor máximo nominal de la señal, a partir del valor real recibido se inicia un sistema de búsqueda.

5.4.2. SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

5.4.2.1. ETAPA DE TRANSMISION

Con referencia a la figura 5.4. La señal de telefonía multicanal accede a la estación mediante un sistema terminal por cable o radio y se encamina a través de un panel de distribución. Se le añade una onda de dispersión en el extremo inferior de la banda base y se somete a precentuación. Tras este tratamiento pasa a modular una portadora de 70 Mhz en FI. Existen facilidades en FI para pruebas en bucle del sistema receptor o del modulador.

La señal modulada FI pasa a un convertidor-elevador de frecuencia que traslada a la porción asignada a las bandas de acuerdo al servicio móvil.

La señal se amplifica en el amplificador de potencia de RF y pasa al alimentador de antena. Para el tratamiento de la señal se plantea el problema del compromiso entre la amplificación de gran potencia y la anchura de banda necesaria. Pueden adoptarse dos sistemas de amplificación de RF:

- El Klystron como amplificador de potencia de banda estrecha (70 Mhz sintonizable).

- EL TOP (Tubo de Ondas Progresivas) como amplificador de potencia base. Es utilizado con multiportadoras aunque en este caso introduce productos de intermodulación, por lo que no puede funcionar en saturación.

Dos temas son importante en la sección de transmisión :

- Si los tubos tienen una potencia RF de salida superior a los 1500 W, requieren refrigeración por agua, lo que complica el sistema y supone un mayor mantenimiento.

- Debe cuidarse el diseño del circuito entre los distintos tubos y la entrada de la antena, para conseguir una flexibilidad máxima de operación, con unas pérdidas mínimas.

5.4.2.2. ETAPA DE RECEPCION

En recepción la señal captada por la antena se encamina mediante un alimentador de bajas pérdidas al primer amplificador de recepción. El sistema utiliza polarización circular (en un sentido para el trayecto ascendente y el opuesto para el trayecto descendente) y consta de un guía-ondas circular y un duplexor para separar las señales que en transmisión pueden llegar a 10KW, de las recibidas con un nivel de 1 pW.

El paso de entrada de banda ancha y bajo nivel de ruido, amplifica la totalidad de la banda con una ganancia de 20 a 40 dB. Este amplificador esta situado lo más próximo posible al alimentador. Seguidamente se amplifica la señal en un dispositivo con TOP (tubo de ondas progresivas), llevándose a través de un guía-ondas divisor de potencia cada una de cuyas salidas se lleva a los convertidores, constituyéndose las diferentes cadenas de recepción.

Existen receptores de prueba y redundantes para el caso de fallo de una equipo en línea. Hay que tener presente que el divisor introduce una atenuación de 3, 6 ó 9 dB, si tienen 2-4-8 salidas, respectivamente, más su propia pérdida de inserción.

La salida de cada convertidor es una señal FI de 70 Mhz y suele procesarse en dos etapas. En la primera la señal pasa de la banda de 4GHz a una primera FI de 270 Mhz. En la segunda se obtiene una segunda FI definitiva de 70 Mhz. Esta señal se aplica al demodulador de frecuencia o fase.

Como ya es conocido, los moduladores MF convencionales presentan un efecto de umbral en las proximidades de $C/N = 10$ dB. Debido a los niveles reducidos y a la gran atenuación en el enlace descendente, las estaciones terrenas trabajan cerca del umbral en períodos en que la atenuación aumente, o incluso la C/N de recepción puede estar por debajo del umbral. Esto supondría la pérdida de la señal por lo que generalmente se emplean dispositivos demoduladores con extensión de umbral, como son FMFB

(realimentación de frecuencia), PLL (bucle con enganche de fase) o seguimiento dinámico.

La señal de banda base extraída del demodulador se reacondiciona en la red de desacentuación y se extrae la señal auxiliar de dispersión, llevándose a los dispositivos de distribución y conmutación.

5.4.2.3. CONEXION CON LA RED TERRENAL

Las estaciones terrenas se conectan a la red telefónica de larga distancia a través de un centro de conmutación internacional a cuatro hilos. El enlace entre ambos se efectúa mediante un sistema de banda ancha, coaxial o radioenlace.

El tráfico saliente de un país desde el centro de conmutación a la estación terrena mediante un sistema MDF. En este se pasa a banda base y se envía al demodulador del transmisor. Tras demodular cada portadora, deben mezclarse las señales para construir una banda base única que se encamina a través del circuito terrenal al centro de conmutación internacional. Esto se efectúa mediante el equipo de tratamiento múltiple que se representa esquemáticamente en la figura 5.9.

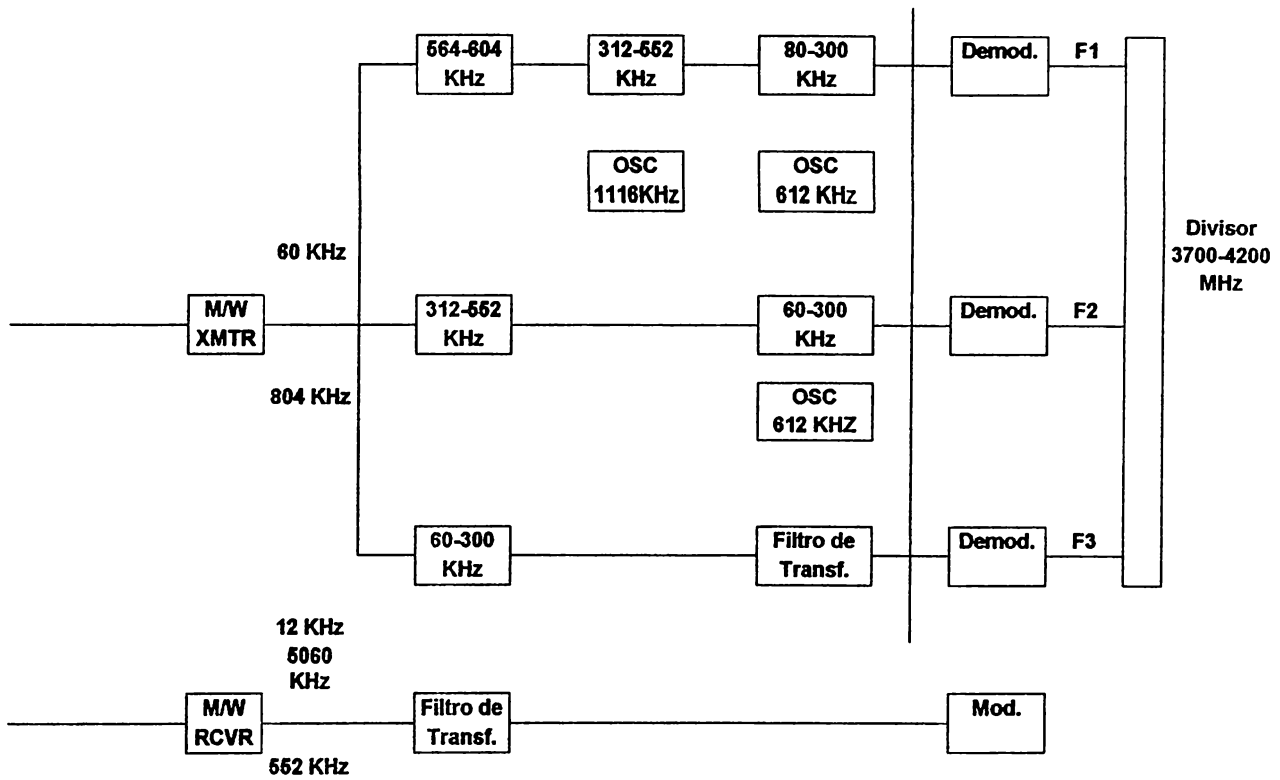


Fig. 5.9 Diagrama a bloques para la conexión con la red terrestre

5.6. ESTACION MOVIL

La función del equipo abordo de la estación móvil es la recepción y procesamiento de las señales recibidas vía satélite, operando en la banda L (1530 - 1660.5 Mhz).

Inicialmente el sistema detecta si está recibiendo datos de baja velocidad, luego busca la recepción de voz y datos de elevada velocidad, permitiendo que se reciban todas las comunicaciones aeronáutica externas al móvil.

La figura 5.9 ilustra el equipo que se requiere para la operación antes descrita, de donde observamos los siguientes elementos:



FIGURA 5.10 Partes principales de una estación móvil aeronáutica.

5.6.1 UNIDAD DE DATOS SATELITALES

Esta unidad actúa como un “interface”, entre todos los sistemas de comunicación, navegación e instrumentación en la aeronave.

También sirve de interface para la unidad de radio frecuencia RFU, el amplificador de alta potencia HPA, el amplificador de bajo ruido LNA y el sistema de antenas.

5.6.2. AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA

Este amplificador provee un nivel de potencia adecuado para la señal RF.

5.6.3. UNIDAD DE RADIO FRECUENCIA

Convierte la FI de la unidad de datos satelitales a la banda L, que se aplica al amplificador de alta potencia. También recibe una señal de banda L, proveniente del amplificador de bajo ruido, convirtiéndola en una señal FI, adecuada para la unidad de datos satelitales.

5.6.4. ANTENA DE BAJA GANANCIA

Una antena (opcional) de baja ganancia puede ser usada para proveer comunicaciones de datos a baja velocidad. La siguiente figura ilustra el funcionamiento de esta unidad.

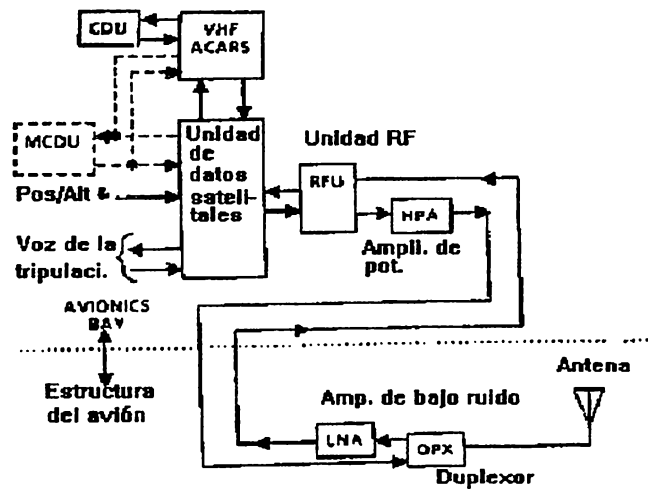


FIGURA 5.11 Sistema opcional para una antena de baja ganancia

5.6.5. AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO

Este amplifica las señales de muy baja potencia que se reciben en la banda L, compensando también las pérdidas por trayectoria directa.

5.6.6. ANTENA DE ALTA GANANCIA

La comunicación de datos a elevadas velocidades, requiere de una antena de este tipo, otorgando una ganancia de 12dBi, con capacidad de operar con transmisiones “full-duplex”.

Un caso típico de operación es cuando la unidad móvil es activada para establecer cualquier comunicación vía satélite con la red terrestre, detecta si esta recibiendo información en la banda L. Al localizar la transmisión, se sintoniza en la frecuencia apropiada, considerando que probablemente exista un cambio de frecuencia por el efecto Doppler, debido al movimiento relativo de la aeronave con respecto al satélite. Luego se identifica con la red de estaciones terrestres, de forma que cualquier estación terrestre pueda localizarlo. Cuando ya se ha conectado a la red terrestre, la unidad de datos satelitales formatea el mensaje a ser transmitido, descodificando los datos para ser transmitidos en la banda L. Esta señal es recibida por el satélite y la convierte a la banda C, para transmitirla a tierra. La estación terrena recibe la transmisión y la descodifica para reconstruir el mensaje original, el que se transmite al usuario final.

5.7 CONCLUSIONES

La estación terrena constituye los dos extremos del enlace de comunicación por satélite, por lo que debe cumplir con los requerimientos que se le exijan, de acuerdo a su localización y diseño, donde el factor más importante es el tráfico a controlar, para lo que se destinaron las diferentes normas de estaciones terrenas, para que de acuerdo al servicio, tráfico y niveles de potencia se utilizaran a conveniencia.

Uno de los factores con los que más se debe batallar en la estación terrena es el ruido, originado por todas las fuentes que se puedan descubrir, por lo tanto la

antena, como el aparato receptor deben poseer un nivel de temperatura de ruido equivalente aceptable, debiéndose para ello, tener consideraciones especiales en las características de la antena, el amplificador de salida, el transmisor de alta potencia y los convertidores de frecuencias.

La principal función del equipo abordo de la aeronave es operar todas las señales en banda L, pues son las que recibe directamente del satélite, ya que no posee comunicación directa con una estación terrena para las aplicaciones que trata nuestro tema de estudio, comunicación móvil por satélite en la aviación aérea comercial.

El equipo abordo de la aeronave, que interviene en la comunicación satelital, debe ser equipada con sistemas automáticos de compensación y sintonización de frecuencias para combatir el cambio de frecuencia que se da en las portadoras de recepción, debido al movimiento relativo de la misma, lo que se ve reflejado en el efecto Doppler, el que debe ser considerado tanto para los sistemas de baja ganancia (para bajas velocidades de transmisión) y sistemas de alta ganancia (altas velocidades de transmisión)

CAPITULO 6

RADIOENLACES

INTRODUCCION El funcionamiento de los sistemas de comunicación por satélite, es medido principalmente por la calidad de los enlaces involucrados. Muchos factores influyen en estos enlaces, cada uno de los cuales se comporta como una variable de entrada al sistema y puede afectar grandemente en la radiotransmisión. Cada uno de estos factores es descrito en la presente sección.

OBJETIVO En la presente sección se describirán y estudiarán en un nivel matemático bastante básico, cada uno de los parámetros que se deben considerar en los enlaces satelitales, así como un bosquejo de los cálculos que deben efectuarse para el diseño de sistemas de esta naturaleza. Se estudiarán también conceptos de balances y calidad en los enlaces satelitales.

6.1. RADIOENLACES

El objeto de un radioenlace es constituir un soporte o portador radioeléctrico que proporcione una anchura de banda determinada para la transmisión de información con continuidad y calidad superiores a unos mínimos especificados.

Los sistemas de radioenlaces por microondas, son similares a los de transmisión múltiple por línea o cable, salvo en que el portador no es metálico, sino radioeléctrico.

Los radioenlaces pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios como:

a) Tipo de señal moduladora:

Radioenlaces digitales y analógicos.

b) Capacidad:

Radioenlaces de baja capacidad: hasta 60 canales

Radioenlaces de media capacidad: hasta 300 canales

Radioenlaces de alta capacidad: más de 300 canales

c) Tipos de terminales:

Terminales fijos: Para el servicio fijo

Terminales móviles: Para el servicio móvil

En el modelo que se desarrollará sobre la comunicación móvil vía satélite, el enlace que se utiliza es el digital, lo que se debe a las siguientes razones:

a) Homogeneidad:

Los radioenlaces digitales permiten transmitir señales de datos y voz digitalizada y constituyen un medio bien adaptado para ser compatible con la red de servicios integrados (ISDN), pudiendo coexistir sin interfaces complejos con las centrales de conmutación digital.

d) Calidad:

Los radioenlaces digitales ofrecen una excelente calidad que es además muy estable, pudiéndose beneficiar de la regeneración digital. Presentan una alta inmunidad frente a interferencias lo que los vuelve muy aptos para trabajar en ambientes donde el espectro electromagnético está muy congestionado.

e) Fiabilidad:

La fiabilidad y estabilidad intrínsecas a todo equipo digital se aprovechan también en los radioenlaces digitales, habiéndose conseguido ya equipos seguros y con elevada disponibilidad. Esto ha posibilitado la utilización de banda de frecuencias altas del espectro (por encima de 10Ghz) lo que ha permitido el despliegue de redes autónomas de radio digital tanto terrenales como por satélite.

Una característica muy particular de los radioenlaces digitales es que su anchura de banda es muy superior a la de un analógico. Esto es así por la alta redundancia de la señal múltiple MIC (PCM). Sin embargo tal anchura se ha reducido progresivamente con la introducción de sistemas de modulación de mayor eficacia espectral y técnicas de codificación más perfeccionadas, como por ejemplo la interpolación de la voz en radioenlaces digitales por satélite.

Entre las aplicaciones prácticas de los radioenlaces digitales, podemos destacar los siguientes:

- Redes dorsales de capacidad media-alta en bandas de 2-4-6-8 Ghz.
- Sistemas varios de capacidad media-baja en bandas de 8-11-13-15-18 Ghz.
- Sistemas rurales de baja capacidad.
- Redes de transporte de programas de radiodifusión y televisión.

Para lograr que en un sistema que el diseño de los radioenlaces cumpla las expectativas que se le exigen, se debe cumplir con un plan de frecuencias, en el que se asignan las frecuencias dentro de las bandas establecidas y de acuerdo a los planes normalizados por el CCIR, según la banda de trabajo y la capacidad del radioenlace. Un plan de frecuencias, establece así, para un banda determinada y capacidad específica, el número de radiocanales con sus frecuencias, la separación entre éstas y sus polarizaciones, todo ello con miras al mejor aprovechamiento del espectro y reducción de interferencias.

En los radioenlaces digitales, la anchura de banda se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$B_T = K.F.B.R \text{ (6.0)}$$

Donde: K: Es un factor de modulación, cuyo valor es 1 para los sistemas de doble banda lateral como son los PSK y multinivel y $K=0.6$ para los sistemas de banda residual.

F: Es el factor de especificación, que depende del método aplicado. En métodos de modulación eficaces, F se encuentra generalmente entre 1 y 2. Son posibles valores de F inferiores a 1, pero sólo a expensas a aumentar la interferencia entre símbolos.

B: Velocidad de la señal binaria antes del proceso de modulación.

R: Es el factor de anchura de banda. Expresa el cociente entre velocidad de símbolos (baudios) y la velocidad binaria (bit/s). En consecuencia $R= 1/\log_2 M$, siendo M el número de niveles, en modulación multinivel.

6.2 PARAMETROS A CONSIDERAR EN LOS ENLACES DE RADIOCOMUNICACION POR SATELITE

Los enlaces son considerados en los segmentos espaciales (satélite), terrenales (estación terrena) y móviles (aeronave). El enlace ascendente involucra la parte transmisora de la estación terrena y la parte receptora del satélite. El enlace descendente incluye al transmisor de satélite y al receptor de la estación terrena. En los sistemas móviles, en el enlace ascendente se considera también el transmisor de la aeronave y el receptor del satélite; en el enlace descendente se consideran el transmisor del satélite y el receptor de la aeronave.

Los niveles de potencia se visualizan en el figura 6.1 y 6.2

Los parámetros a considerar son mostrados en resumen en la siguiente tabla:

PARAMETRO	INICIAL	SATELITE	MOVIL	ST. TERRENA
POTENCIA W o dB	P	10-200	0 a 10	1 a 10,000
GANANCIA dBr	G	14 a 40	0 a 12	60
PIRE dBW	PIRE	20 a 60		0 a 90
NIVEL DE ILUMINACION dBW/M2	W	-162 a -52		
PERDIDAS dB	L		196	
TEMPERATURA DE RUIDO K	T	209		20 a 10,000
FACTOR DE CALIDAD dB/K	G/T	-20 a 10	25.7	-18 a 41
RAZON DEL RUIDO TERMICO A LA PORTADORA dBW/K	C/T			
DENSIDAD DE RUIDO A LA PORTADORA dBHZ	C/No			

TABLA 6.1

6.2.1 POTENCIA DE TRANSMISION

El arranque de una transmisión RF a través del espacio y el parámetro número uno en los enlaces es la potencia de transmisión. La potencia de transmisión es a menudo ajustada para obtener el funcionamiento adecuado del sistema. Para los satélites la potencia de transmisión es frecuentemente limitada a la alimentación de DC obtenida por las celdas solares. La mayoría de transpondedores de satélites operan en el rango de 10 a 200 W. Las estaciones terrenas en el rango de 1 a 10,000 W. Las estaciones móviles en el rango de 0 a 10W.

La potencia transmisora P es usualmente especificada en Watts (W), y/o en dBW. En términos de decibeles la potencia vienen determinada por : (los términos con el asterisco son valores absolutos)

$$P \text{ dBW} = 10 \log P^* \text{ [dBW]} \quad (6.1)$$

Donde P es el valor absoluto en W y P_{dBW} está en dBW. Existen algunas pérdidas entre la salida del transmisor y el acople a la antena. Si las pérdidas son significantes, la potencia de transmisión es medida en la entrada de la antena, debido a que las pérdidas en este punto pueden ser deducidas de la potencia original de transmisión.

6.2.2 GANANCIA DE ANTENA

La efectividad de una antena es medida por su ganancia, la que se determina por:

$$G = \frac{\text{potencia transmitida con la antena hacia el receptor}}{\text{potencia transmitida isotrópicamente}} \quad (6.2)$$

Esta cantidad es referida para una antena isotrópica ideal.

La ganancia de la antena es usualmente expresada en dBi. El subíndice i en dBi, indica que la cantidad es referida a una radiador isotrópico. Una ganancia podría referirse a un dipolo dBd, (pero esto no es considerado en comunicaciones por satélite). Cuando las unidades con combinadas en una ecuación, los dBi se consideran, para efectos de cálculo como si fueran dB. El subíndice i no es una unidad física, es usada solamente en términos referidos hacia variables isotrópicas.

La ganancia G de un receptor parabólico es :

$$G = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (6.3)$$

Donde A es el área física del receptor, η es la eficiencia de la antena (una fracción menor que 1), y λ es la longitud de onda. El valor típico de la eficiencia de la antena es de 0.4 a 0.8 y una aproximación común es de 0.55.

Para antenas circulares con un diámetro D, el área es igual a $\pi D^2/4$. La longitud de onda λ es igual a la velocidad de la luz c dividida por la frecuencia f. Por lo que la ganancia de la antena puede ser descrita como:

$$G^* = \eta(\pi D f/c)^2 \quad (6.4)$$

Para efectos de cálculos la ganancia de la antena es usualmente expresada en decibeles. Tomando el logaritmo de ambos lados de la ecuación 10.4 y multiplicando por 10, la ganancia de la antena puede ser escrita como:

$$G = 10 \text{ LOG } \{ \eta(\pi^2 D^2)/\lambda^2 \}$$

$$G = 20 \text{ Log } D + 20 \text{ Log } f + 10 \text{ Log } \eta + 20.4 \quad (6.5)$$

Donde D es el diámetro en metros y f es la frecuencia en Ghz. La eficiencia de la antena está expresada como un decimal, tal como 0.55. La constante 20.4 es igual a $20 \log (\pi/c)$.

La ganancia de la antena se incrementa linealmente con el área de la antena. También se incrementa para altas frecuencias (debido a pequeñas λ). Para una región determinada, una antena tendrá una ganancia más elevada en la banda K (14/11 GHz), que en la banca C (6/4 GHz).

La ganancia de la antena es definida como el pico del haz de la antena. Las antenas de los satélites pueden transmitir a muchos receptores, y la ganancia de la antena variará dependiendo de la localización del receptor.

Típicamente las antenas de las estaciones terrenas tienen ganancias de muy pocos decibeles, generalmente de 60 dBi, para antenas grandes usadas en comunicaciones internacionales. Las ganancias de los satélites no son tan grandes, generalmente varían entre 14 a 40 dBi.

6.2.3 POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA (PIRE)

El producto de la potencia transmisora por la ganancia de la antena es lo que se conoce como potencia isotrópica radiada efectiva:

$$\text{PIRE} = P * G * (W) \quad (6.6)$$

La ecuación 10.6, escrita en decibeles queda como:

$$\text{PIRE} = 10 \log P + G\text{dB} \quad (\text{dBW}) \quad (6.7)$$

La potencia P está en W , la ganancia G en dB y el producto de ambas se convierte en dBW .

Algunas veces, se involucra a las pérdidas por cables y filtros (l_f) en dB :

$$PIRE = 10 \log P + GdB - l_f \quad (6.8)$$

En la ecuación 6.7 el primer término de la derecha está en función logarítmica y el segundo no, esta inconsistencia se debe que la potencia normalmente esta dada en W y la ganancia en dB .

Como un ejemplo, supongamos que P es $50 W$ y G es $26 dB$. La potencia debe ser convertida a $17 dBW$, lo que puede ser sumado con $26 dB$. EL resultado es una $PIRE$ de $43 dBW$. Lo que es equivalente a $20,000 W$. Reescribiendo la ecuación 10.7, tenemos:

$$10 \log PIRE^* = 10 \log P + 10 \log G^* \quad (6.9)$$

La ecuación 6.9 generalmente no se usa.

El valor típico de la $PIRE$ para las estaciones terrenas es de 0 a $90dBw$ y para los satélites es de 20 a $60 dBw$.

6.2.4 NIVEL DE ILUMINACIÓN

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

Si el transmisor fuera isotrópico, esto es, que radía igual en todas direcciones, entonces la iluminación para un distancia S sería $P/4\pi S^2$. Con una ganancia de antena

G^* , el nivel de iluminación W en el receptor es incrementado por esta cantidad, observándose que:

$$W^* = PG^*/(4\pi S^2) \quad (W/m^2) \quad (6.10)$$

Donde S es la distancia del transmisor al receptor. La ecuación 10.10 puede ser escrita en decibeles:

$$W = PIRE - 20 \log S - 71.0 \quad (dBW/m^2) \quad (6.11)$$

Donde $PIRE$ esta en dBW , la distancia S entre el transmisor y el receptor en Km . La constante 71.0 es igual a $10 \log [4\pi (1000 \text{ m}/Km^2)]$.

Para satélites geoestacionarios el nivel de iluminación del mismo oscila entre -162 a $-52 \text{ dBW}/m^2$ y la iluminación de la tierra por el satélite oscila entre -142 a $-102 \text{ dBW}/m^2$.

6.2.5 PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE

Las pérdidas en espacio libre L es un concepto muy importante en los enlaces. Es una función de la distancia, pero usando la longitud de onda λ es expresada como un cantidad en dB . Las pérdidas en el espacio libre no son las únicas atribuidas a la distancia entre el transmisor y el receptor. Otras pérdidas como las atmosféricas y causadas por la lluvia son consideradas.

Multiplicando la ecuación 6.10 por el área efectiva ηA la potencia de la portadora recibida puede calcularse con:

$$C^* = (PIRE^* \eta A)/\lambda^2 \quad (6.12)$$

Donde PIRE es el producto de P x G, η es la eficiencia de la antena, A el área seccionada de la antena y S la distancia entre el transmisor y el receptor.

Como se estudió en la parte de la ganancia, el funcionamiento de la transmisión en la antena depende de esta característica y la recepción es proporcional a su área efectiva ηA . Sin embargo las antenas son dispositivos pasivos. Una antena puede ser usada ya sea para transmitir o para recibir.

Se notó que la ganancia estaba dada por :

$$G^* = 4\pi\eta A/\lambda^2 \quad (6.13)$$

Resolviendo la ecuación 6.13 para el área efectiva ηA y sustituyéndolo en la ecuación 6.12, tenemos:

$$C^* = \text{PIRE}^* [(\lambda^2)/(4\pi S)^2] G^* \quad (W) \quad (6.14)$$

La potencia de la portadora recibida es un producto de tres factores:

- La PIRE, determinada por la ganancia y potencia del transmisor.
- La ganancia de la antena receptora determinada por la recepción al final del enlace
- Los factores del enlace que son función de la longitud de onda λ y la distancia S.

El recíproco de la ecuación (10.14) es llamado pérdidas en el espacio libre:

$$L^* = \{(4\pi S)^2/\lambda^2\} \quad (6.15)$$

El término L es una cantidad grande adimensional.

La potencia de la portadora recibida puede ser escrita como $\text{PIRE}^* G^*/L^*$. En función logarítmica tenemos:

$$C = \text{PIRE} - L + G \text{ (dBW)} \quad (6.16)$$

Donde C y PIRE están en dBW, y las pérdidas y ganancias en dB y dBi respectivamente.

Las pérdidas por espacio libre definidas en la ecuación 6.15, es conveniente que se escriba en forma logarítmica, considerando que la longitud de onda λ es igual a la velocidad de la luz c dividida por la frecuencia f, por lo que usando unidades en decibles, tenemos:

$$L = 20 \log S + 20 \log f + 92.45 \text{ dB} \quad (6.17)$$

Donde la constante $10 \log (4\pi/c)^2 = 92.45 \text{ dB/KM}^2 \text{ Ghz}^2$

Un valor de 196 dB es positivo para los ingenieros en comunicación, considerándose también la tabla 6.1

ENLACE DESCENDENTE

ENLACE ASCENDENTE

FREC.(GHz)	L (dB)	FREC. (Ghz)	L (dB)
1.6	188	1.5	187
6	200	4	196
14	207	11	205
18	209	12	206
30	214	20	210

Tabla 10.1 Pérdidas en los enlaces

6.2.6 TEMPERATURA DE RUIDO

El valor absoluto de la potencia de portadora recibida es importante solamente cuando se compara con el ruido presente en el sistema. Cada uno de los enlaces involucrados en las comunicaciones satelitales añade ruido al sistema.

El ruido puede ser expresado en varias formas. En comunicaciones por satélite es a menudo expresado como temperatura de ruido equivalente T . Esta variable esta compuesta de varios factores, como ruido de antena y receptor.

La temperatura de ruido es a menudo referida a la temperatura del horizonte al que la antena es orientada.

La temperatura de ruido de la estación terrena está entre 30 K y 10,000 K.

Para las antenas receptoras de los satélites, la temperatura de ruido es alrededor de 209 K y puede ser calculado por:

$$T = T_r + [(1-l)/l]T_w + T_g/l + T_c/a = [(a-1)/a]T_h \quad K \quad (6.16)$$

Donde:

T_r = temperatura de ruido del receptor

l = factor de pérdidas por guía-onda

T_w = Temperatura de la guía-onda

T_c = Contribución de la temperatura de cielo.

a = factor de absorción por la lluvia

T_h = temperatura efectiva por la lluvia

También :

$$T_r = T_{br} + \sum (T_m)/(g_m - 1) \text{ K} \quad (6.17)$$

Donde:

T_{br} = temperatura del receptor de bajo ruido

T_m = Temperatura de ruido de las etapas del receptor

$g_m - 1$ = Ganancia antes de la m-ésima etapa del receptor.

6.2.7 FIGURA DE MERIT G/T PARA EL SISTEMA RECEPTOR.

Los dos parámetros importantes para el sistema receptor son la ganancia de la antena G y la temperatura de ruido T. La relación entre G y T es conocida como figura de merit, escrita como G/T. Las estaciones receptoras pueden ser mejoradas con una mayor ganancia de antena o con una temperatura de ruido más pequeña. (un mejor amplificador de bajo ruido).

La ganancia de la antena es generalmente dada en dBi y la temperatura de ruido T en K, por lo que las unidades de medida del G/T es dBi/K. Los valores numéricos de la ganancia en dBi y la temperatura en K no puede ser divididos. Uno esta en decibeles y el otro no. La temperatura de ruido puede ser convertida a dB y luego operada con dBi. Este cálculo puede ser expresado por:

$$G/T = G - 10 \text{ Log } T \text{ (dBi/K)} \quad (6.18)$$

A manera de ejemplo, supóngase que la ganancia es de 23 dBi y la temperatura de ruido es de 100 K. La T convertida en dB es igual a 20 dBK, lo que puede ser restado de la ganancia y se obtiene un resultado de $G/T = 3 \text{ dBi/K}$.

Los valores típicos de G/T para las estaciones terrenas son de -18 a 41 dBi/K y para los satélites oscila entre -20 a 10 dBi/K.

6.2.8 RAZÓN DEL RUIDO TÉRMICO A LA PORTADORA

Para calcular este parámetro C/T, se utiliza la siguiente ecuación :

$$C = \text{PIRE} - L + G/T \text{ (dBW)} \quad (6.19)$$

Para calcular el parámetro C/T, el término $10 \log T$ es restado de cada uno de los lados de la ecuación, el resultado puede ser escrito como:

$$C/T = \text{PIRE} - L + G/T \text{ (dBW/K)} \quad (6.20)$$

La ecuación 6.20 es la más importante y principal en los enlaces. La razón de escribir esta ecuación en esta forma es debido a que los términos C/T y G/T, expresado en notación de decibeles, tienen un significado muy importante para los ingenieros en comunicación. Nótese que la PIRE esta en función de la potencia transmisora y de la ganancia de la antena, L esta en función de la distancia y G/T es la figura de merit del receptor.

6.2.9 DENSIDAD DE PORTADORA A RUIDO

Todos los cuerpos a una temperatura generan una radiación electromagnética. Parte de esta radiación serán frecuencias en microondas y estarán presentes en el sistema receptor. La potencia del ruido N de esta radiación dentro de un ancho de banda B es:

$$N = kTB \text{ (W)} \quad (6.21)$$

Donde k es la constante de Boltzman :

$$k = -228.60 \text{ dBW/Hz.K} \quad (6.22)$$

Para una temperatura de 290 K y un ancho de banda de 50MHz, la potencia de ruido es 0.2 pW. Una antena que es dirigida hacia un horizonte con 290 K, recibirá 0.2 pW de potencia de ruido en un ancho de banda de 50 Mhz.

La densidad de ruido es la potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz y es uniforme en microondas. Esta densidad de ruido se expresa por:

$$N_0 = N/B = kT \text{ (W/Hz)} \quad (6.23)$$

Si la señal no ha sido demodulada, o el ancho de banda es desconocido, una medida del funcionamiento del sistema es la razón de la portadora C a la densidad de ruido kT:

$$C/N_0 = C/kT = C/T + 228.6 \text{ (dBHz)} \quad (6.24)$$

La constante 228.6 es el equivalente de multiplicar por 1/k.

6.2.10 RAZON DE PORTADORA A RUIDO

Un filtro en el receptor usualmente bloquea la mayoría de ruido y solamente el ancho de banda necesitado es dejado pasar; la razón del ruido a la portadora se define como:

$$C/N = C/kTB = C/kT - 10 \log B \text{ (dB)} \quad (6.25)$$

La mayoría de enlaces de comunicación satelital tienen una relación C/N de 10dB o más.

6.3. CALCULOS BASICOS PARA DISEÑO DE ENLACES

6.3.1. ENLACE ASCENDENTE

La información típica utilizada en la elaboración de cálculos para enlaces, inicia con alguna información de referencia, la cual es usada indirectamente. El nombre o localización de la estación terrena es listado, a menudo con longitud y altitud. Si es conocida, el valor exacto de la frecuencia debería ser listado, de lo contrario el ancho de banda es comúnmente usado. El diámetro de la antena transmisora puede ser usado para calcular la ganancia de la misma. El nombre del satélite o la familia de este se recomienda incluirla. Si el satélite tiene varios haces direccionales, se debe identificar el haz utilizado.

El formato generalizado se visualiza en la tabla 6.2:

Localización de la estación terrena			
Frecuencia de enlace ascendente	f:	_____	GHz
Diámetro de la antena transmisora		_____	m
Satélite:		_____	Haz
Parametro		Signo	Valor Unidades
Estación terrena			
	Potencia de la P* =	antena para W/portadora	_____ dBW
	Ganacia de la antena G		+ _____ dBi
	PIRE de la estación:		_____ dBW
Tierra a satélite			
	Pérdidas por espacio libre para S		- _____ dB
Satélite			
	G/T		+ _____ dBi/K
	C/T		_____ dBW/K
	1/K		+ _____ dB (W/HzK)^-1
	C/kT		_____ dBHz

Tabla 6.2 Bosquejo para el cálculo de enlaces ascendentes

Tres son las ecuaciones que se más se utilizan para el cálculo del enlace ascendente:

$$\text{PIRE} = 10 \log P + G \quad (\text{dBW}) \quad (6.26)$$

$$\text{C/T} = \text{PIRE} - L - \text{G/T} \quad (\text{dBW/K}) \quad (6.27)$$

$$\text{C/kT} = \text{C/T} + 228.6 \quad (\text{dBHz}) \quad (6.28)$$

Con las ecuaciones 6.26, 6.27 y 6.28 se calculan todos los datos de la tabla 6.2

6.3.2. ENLACE DESCENDENTE:

Los enlaces ascendente y descendente son calculados separadamente, cuando se trata con enlaces básicos. Las tres ecuaciones que se utilizan se listan a continuación:

$$C/T = \text{PIRE} - L + G/T \quad (\text{dBW/K}) \quad (6.29)$$

$$C/kT = C/T + 228.6 \quad (\text{dBHz}) \quad (6.30)$$

$$C/N = C/kT - 10 \log B \quad (\text{dB}) \quad (6.31)$$

La tabla 6.3 resume los parámetros utilizados en los cálculos de un enlace descendente:

Localización de la estación terrena			
Frecuencia de enlace descendente	f:	GHz	
Diámetro de la antena receptora		m	
Satélite:		Haz	
Parametro		Signo	Valor Unidades
Satélite	PIRE		_____ dBw
Satélite a tierra	Péerdidas por espacio	libre para S:	- _____ dB
Estación Terrena	G/T		+ _____ dBi/K
	C/T		+ _____ dBW/K
	1/K		+ _____ 228.6 dB(W/HzK) ⁻¹
	C/kT		_____ dBHz
	B*	Hz	- _____ dBHz
	C/N		_____ dB

Tabla 6.3. Bosquejos para cálculos de enlaces descendentes

6.4 BALANCES DE LOS ENLACES SATELITALES

Se necesitan balances de potencias en los enlaces para determinar las necesidades probables de potencia y las características físicas del sector espacial (satélite) y el sector terreno (estaciones terrenas y móviles). El diseño general de los sistemas futuros tendrá que basarse en gran medida en la experiencia adquirida durante la realización y la explotación de los sistemas aeronáuticos por satélite existentes y proyectados, por lo cual los sistemas INMARSAT constituirán una guía útil para la elección de los parámetros adecuados para los balances de potencia.

Los márgenes necesarios para conseguir los objetivos de calidad deseados en los enlaces por satélite dependen de numerosos factores que comprenden las características del satélite, las estaciones móviles y las estaciones terrenas, la situación meteorológica y los ángulos de elevación del satélite. Al diseñar el sistema se deben incluir márgenes para los enlaces en armonía con los siguientes factores:

- ángulo mínimo de elevación considerado para el servicio;
- degradación de calidad tolerable con ángulos de elevación inferiores al punto mínimo previsto en el diseño.

La elección de márgenes para los enlaces en relación con el ángulo de elevación y el diseño del sistema, influirá en el comportamiento de la totalidad del sistema. Un sistema diseñado para una calidad determinada durante cierto porcentaje de tiempo, con márgenes para las degradaciones que ocurren para ángulos de elevación pequeños, alcanzará esa calidad durante porcentajes de tiempo mucho mayores en el caso de las llamadas dirigidas a todas las aeronaves o provenientes de ellas dentro de la zona del servicio.

Los márgenes requeridos para compensar pérdidas por distancia de las pérdidas básicas del trayecto en el espacio libre, se pueden agrupar en la categorías de pérdidas de larga duración (fijas y aleatorias) y de corta duración.

Las pérdidas de larga duración son las que tienen tendencia a durar más de un minuto, cada vez que ocurren.

Las fijas de larga duración que ocurren con seguridad deberían incluirse en la pérdida del trayecto para todos los cálculos. El margen completo para esas pérdidas, en dB, es la suma de ellas.

Las pérdidas aleatorias de larga duración, que por lo general son independientes, se pueden determinar obteniendo la pérdida media y la varianza acumulativas, sumando las medias y varianzas individuales.

Las pérdidas de corta duración, son aquellas que tienden a durar, cada vez que ocurren, menos de un minuto. Como un período importante de desvanecimiento de corta duración puede ser raro e incierto o puede ocurrir a determinadas horas del día, al fijar los márgenes contra el desvanecimiento es preciso consultar estadísticas de desvanecimiento. Los márgenes acumulativos para estas pérdidas pueden depender grandemente del ángulo de elevación.

Las pérdidas de larga duración para las cuales se pueden necesitar márgenes en los enlaces son las debidas a la absorción atmosférica, exceso de atenuación, al radomo, acoplamiento de polarización, bloqueo por la estructura de la aeronave.

Las pérdidas de corta duración para las cuales se pueden necesitar márgenes en los enlaces son las debidas a fluctuaciones del nivel de potencia del transmisor de la estación móvil, a la puntería de la antena de la estación móvil, por el desvanecimiento atmosférico y por la propagación por trayecto múltiples.

Los balances de potencia se basan en la hipótesis de una C/No necesaria resultante de 53 dBHz para el balance de referencia de telefonía; esto supone un ángulo de elevación de 5 grados en las estaciones terrenas, de 10 grados en las estaciones móviles (sistema automático de compensación de frecuencia) y ningún desvanecimiento por trayectos múltiples en los enlaces aeronave-satélite.

Otro factor de los que afectan el balance de potencia del enlace es la carga relativa del transpondedor, pues la capacidad del satélite está concebida para satisfacer necesidades de tráfico con un grado de servicio determinado, en la hora más cargada el número de portadoras ocupadas será, como término medio, considerablemente menor

que el de plena carga. Debido a que las características típicas de amplificación no lineal de la mayoría de los amplificadores de satélite están próximas a la saturación, la PIRE por portadora aumenta en proporción casi directa a la disminución del número de portadoras a plena carga. En consecuencia la PIRE media por portadora durante la hora más cargada será superior a la PIRE plena carga en una pequeña gama del orden de 1dB.

6.5. CALIDAD DE LOS ENLACES SATELITALES

Por la peculiar naturaleza del sistema por satélite, para la atribución de la potencia total de ruido, hemos estudiado que puede dividirse el sistema en tres secciones:

- enlace ascendente
- enlace descendente
- repetidor en el satélite.

La mayor parte del ruido total especificado se asigna al enlace descendente, por ser el más crítico y porque es más económico conseguir un menor factor de ruido en el receptor de la estación terrena que en el del satélite.

Hemos estudiado que los parámetros básicos de los enlaces son las potencias y ganancias de transmisión y recepción, así como las pérdidas básicas de propagación. Elementos que deben balancearse en términos de relaciones portadora a densidad de ruido.

Como es sabido, la calidad se expresa en términos de la probabilidad de error, debiéndose asegurar que se cumplan los siguientes dos criterios:

- la relación C/N de recepción debe superar el valor umbral con un cierto margen. El nivel umbral depende del equipo y de las características de la señal recibida. Un valor típico de la C/N que proporciona un adecuado margen de umbral en estos sistemas es de 11.2 dB.

- La potencia de ruido en banda base ha de ser inferior a los 10 pW, siendo su correspondiente S/N igual a 50 dB y C/N de 10.8 dB.

Por consiguiente, el requisito dominante es el margen de umbral y la C/N mínima requerida es de 11.2 dB.

Un término importante en la calidad del enlace es la disponibilidad del mismo, es decir su aptitud para desempeñar la función para la que ha sido proyectado. El recíproco de la disponibilidad es el criterio de indisponibilidad, el que cuantifica la recomendación 557 del CCIR.

La calidad, en cuanto a probabilidad de error de bits, en ausencia de perturbaciones externas, depende del sistema de modulación utilizado. La elección de un determinado sistema depende de la capacidad de canales, eficacia espectral expresada en bits/seg por Hz de anchura de banda, resistencia al ruido y sencillez de utilización. Las teorías de Shannon y Kotelnitov, establecieron límites de eficacia de las modulaciones digitales, en cuanto a tasa de error y rendimiento espectral, en condiciones ideales de ruido gaussiano. En la práctica se ha demostrado que es la interferencia quien impone el límite real a la calidad de una comunicación por radioenlace digital.

En consecuencia, sobre la calidad del radioenlace digital influyen de modo importante:

a) La distorsión que sufre la señal como consecuencia del desvanecimiento selectivo y el retardo en condiciones de propagación multitrayecto que se traduce en interferencia entre símbolos.

- b) Interferencia cocanal por insuficiente discriminación de la señal transmitida con polarización cruzada.
- c) Interferencia cocanal con copolarización procedente de otras pizadas e interferencias de canal adyacente de otras pizadas o sistemas.

6.6. CONCLUSIONES

El parámetro número uno en los enlaces de transmisión a nivel satelital es la Potencia. La mayoría de los transpondedores operan en el rango de 10 a 200 W, las estaciones terrenas de 1 a 10,000 W y las estaciones móviles de 0 a 10 W..

La ganancia de las antenas de las estaciones terrenas generalmente es de 60 dBi y la de los satélites de 14 a 40 dBi.

La potencia isotrópica radiada efectiva para estaciones terrenas es de 0 a 90 dBW y para los satélites de 20 a 60 dBW.

El nivel de iluminación para satélites geoestacionarios oscila entre -162 a -52 dBW/m² y la iluminación de la tierra por el satélite entre -142 a -102 dBW/m².

Un valor de 196 dB en las pérdidas para los enlaces, es positivo para los ingenieros en comunicación.

La figura de Merit para las estaciones terrenas oscila entre -18 y 41dBi/K y para los satélites entre -20 a 10 dBi/K

La mayoría de los enlaces tienen una razón de portadora a ruido de 10 dB o más.

Se necesitan balances de potencias en los enlaces para determinar las necesidades probables de potencia y las características físicas del receptor espacial y el sector terrenal..

CAPITULO 7

TECNICAS DE COMUNICACION

INTRODUCCIÓN: En este capítulo se estudiarán las técnicas de conmutación y modulación básicas desarrolladas en el modelo de comunicación por satélite, así como las técnicas de acceso múltiple.

OBJETIVOS: Estudiar cómo se realiza la conmutación de una llamada desde que es establecida, la transferencia de información y la liberación de circuito, enfocadas hacia el modelo propuesto.

- Estudiar a nivel de bloques la modulación digital y sus principales características dentro de un proceso de comunicación.
- Conocer y decidir la técnica de acceso múltiple que se utilizará en el modelo
- conocer los diferentes problemas que se dan en la transmisión de la señal vía satélite

7.1 TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN

La tabla 7.1 es una comparación entre las diferentes técnicas de conmutación.

CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS	CONMUTACIÓN DE MENSAJES	CONMUTACIÓN DE PAQUETES
-Camino de transmisión dedicado	-Camino de transmisión no dedicado	-Camino de transmisión no dedicado
-Transmisión de datos continua.	-Transmisión de mensajes.	-Transmisión de paquetes
-Opera en tiempo real.	-Opera en tiempo no real.	-Opera cerca del tiempo real.
-Los mensajes no son guardados.	-Los mensajes son guardados	-Los mensajes son retenidos por corto tiempo.
-El camino es establecido para toda la duración del mensaje	-La ruta es establecida para cada mensaje	-La ruta es establecida para cada paquete.
-Retraso en el establecimiento de llamada	-Retraso en la transmisión del mensaje	-Retraso en la transmisión del paquete.
-Señal de ocupado si esta lleno el circuito.	-No hay señal de ocupado.	-No hay señal de ocupado.
-Podrá ocurrir bloqueo.	-No podrá ocurrir bloqueo.	-No podrá ocurrir bloqueo.
-El usuario es responsable de proteger que no se pierdan los mensajes	-La red es responsable por la pérdida de los mensajes.	-La red será responsable por cada paquete pero no por todo el mensaje.
-No hay conversión ni de velocidad ni de código.	-Hay conversión de código y velocidad	-Hay conversión de código y velocidad.
-Ancho de banda en la transmisión fijo.(capacidad de información fija).	-Uso de ancho de banda dinámico.	-Uso de ancho de banda dinámico.
-No hay bits de cabecera después del inicio del retraso de establecimiento.	-Bits de cabecera en cada mensaje.	-Bits de cabecera en cada paquete.

Tabla 7.1 comparación entre las técnicas de modulación

Tabla comparativa de los diferentes sucesos en las técnicas de conmutación

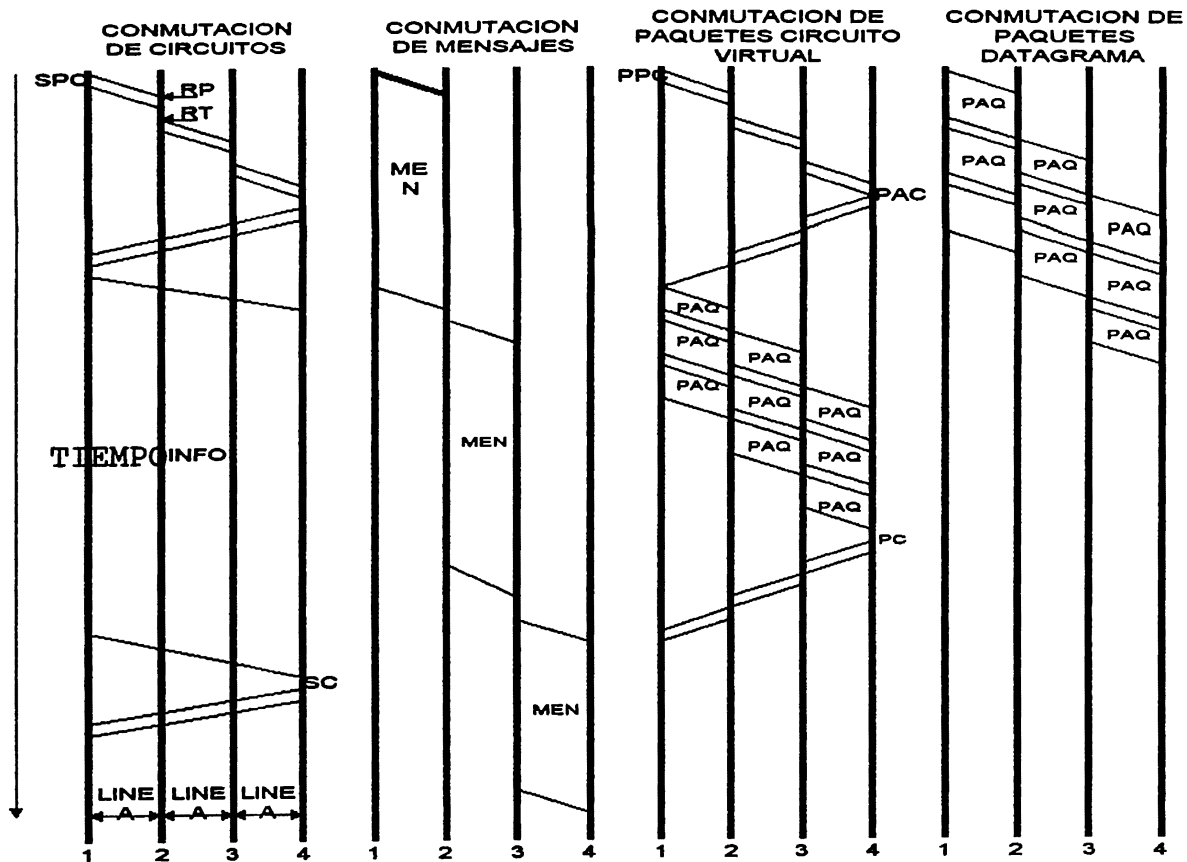


Fig. 7.1 Sucesión de eventos para las diversas técnicas de conmutación

Las abreviaturas empleadas son las siguientes:

RP:retardo de la propagación nodo-nodo.

RT:REtardo de tratamiento del nodo.

SPC: Señal de petición de comunicación.

SAC: Señal de aceptación de la comunicación.

SC: Señal de confirmación.

PPC Paquete de aceptación de comunicación.

PAC: Paquete de aceptación de comunicación.

PC:Paquete de confirmación.

INF: Información.

MEN: Mensaje.

PAQ: Paquete

7.2 TÉCNICAS DE MODULACION

7.2.1 Modulación por desplazamiento en Frecuencia (MDF)

(MDF) es relativamente simple, tiene una forma de modulación de baja capacidad. MDF es una envoltura constante de forma de ángulo de modulación similar a modulación de Frecuencia convencional excepto que la señal modulada es una corriente de pulsos binarios que varían entre dos niveles de voltaje discretos en vez de un cambio continuo de la forma de onda.

7.2.2 Transmisor MDF

Con MDF binario, el centro o Frecuencia portadora es desviada por el dato binario de entrada. Consecuentemente la salida de el modulador MDF es una función de paso en el dominio de la frecuencia. Tal como la señal de entrada cambia de un cero lógico a un lógico 1 y viceversa ,la salida MDF desvía entre dos frecuencias : Una marca o 1 lógico y un espacio o cero lógico. Con MDF hay un cambio en la salida de frecuencia cada vez que la condición lógica de la señal binaria de salida cambia. En modulación digital la razón de cambio en la entrada del modulador es llamada "razón de bit" y tiene las unidades de bits por segundo (bps). La razón de cambio a la salida de el modulador es llamado "razón de baudios" y es igual al recíproco del tiempo de la señal de salida del elemento. La figura 7.7 muestra un transmisor MDF.

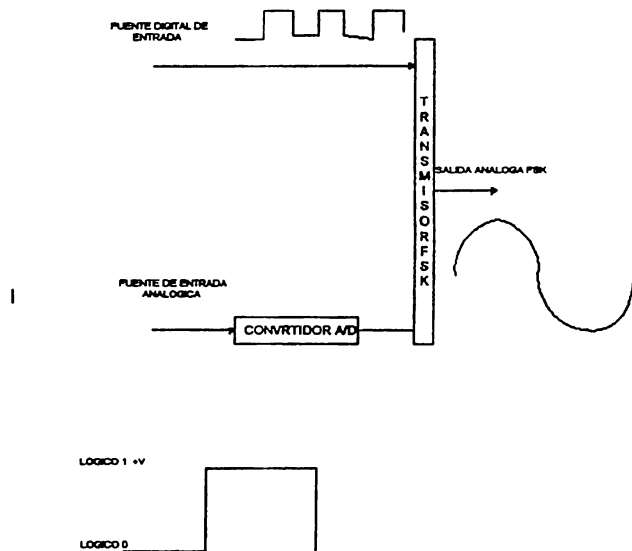


Figura 7.7 Transmisor binario MDF

7.2.3 CONSIDERACIONES DE ANCHO DE BANDA MDF

El ancho de banda es una de las principales consideraciones cuando se diseña un transmisor MDF. Un modulador MDF es un tipo de transmisor FM y es muy frecuente encontrar un oscilador de voltaje controlado (VCO). La frecuencia fundamental de una onda cuadrada es igual a la mitad de la razón de bit. Consecuentemente si solamente la frecuencia fundamental de la entrada es considerada, la mayor frecuencia de modulación al modulador MDF es igual a la mitad de la entrada de razón de bit.

El pico de frecuencia de desviación depende en la aptitud de la señal modulada. En una señal binaria digital todos los 1 lógicos tienen el mismo voltaje y todos los lógicos ceros tienen el mismo valor; consecuentemente la frecuencia de desviación es constante y siempre a su máximo valor F_a , es igual a la frecuencia fundamental de la entrada

binaria la cual en el peor de los casos(alterando 1 o cero) es igual a la mitad de la razón de bit para MDF.

El mínimo ancho de banda requerido para propagarse una señal es llamado ancho de banda mínimo de nyquist (F_a). Cuando se usa modulación y un espectro de salida doble es generado el ancho de banda mínimo llamado mínimo doble banda lateral de nyquist o el mínimo ancho de banda FI.

7.2.4 RECEPTOR MDF

El circuito mas común usado para demodulación MDF es phase-locked loop (PLL) el cual se muestra en la figura 7.8.Un (PLL)-MDF trabaja muy similar al PLL-FM demodulador.Cuando la entrada a el PLL varia entre la frecuencia de marca y espacio, el error de voltaje a la salida de comparador de fase sigue la variación de frecuencia. Generalmente la frecuencia natural de PLL es igual a la frecuencia central del modulador MDF.

MDF tiene un pobre ejecución de error, lo cual es rara vez usada para ejecuciones digitales de alto nivel.

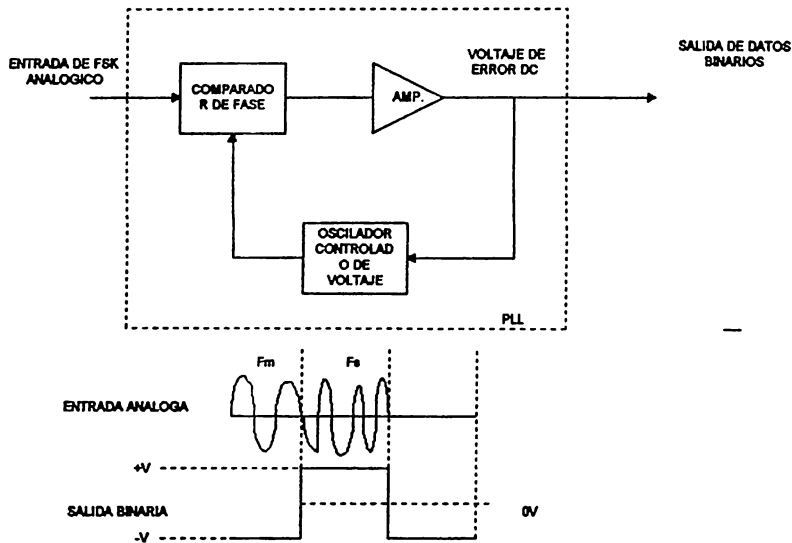


Figura. 7.8 Demodulador PLL-FSK.

7.2.5.1 MODULACION POR DESPLAZAMIENTO DE FASE

Con BPSK dos salidas de fase son posibles para una frecuencia portadora simple (Binario significa 2). Una salida de fase representa 1 lógico y el otro lógico 0. Tanto como la señal de entrada cambie, la fase de la salida portadora cambia entre dos ángulos que son 180 grados que esta fuera de fase. Otro nombre para BPSK es Phase reversal keying.

7.2.5.2 TRANSMISOR BPSK

La figura 3.9 muestra un diagrama de bloques simplificado de un modulador BPSK. El modulador balanceado actúa como un switch de fase reversa. Dependiendo de la condición lógica de la entrada digital, la portadora es transferida a la salida ya sea a 180 grados fuera de fase con la portadora referente.

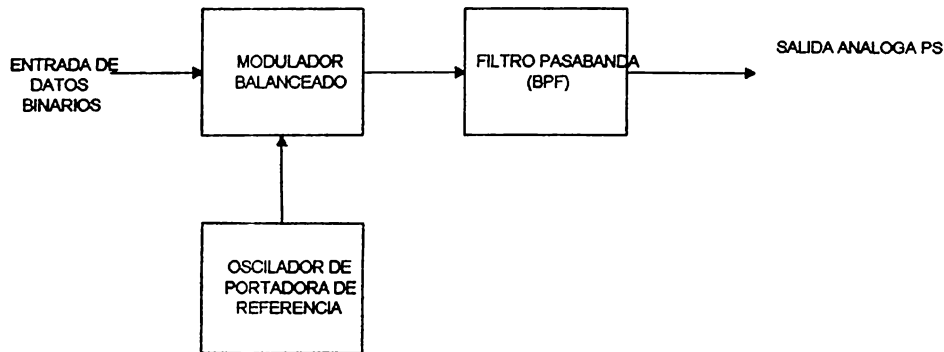
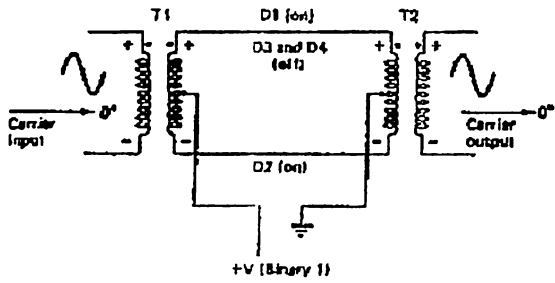
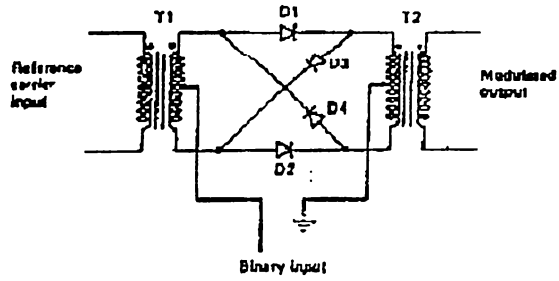


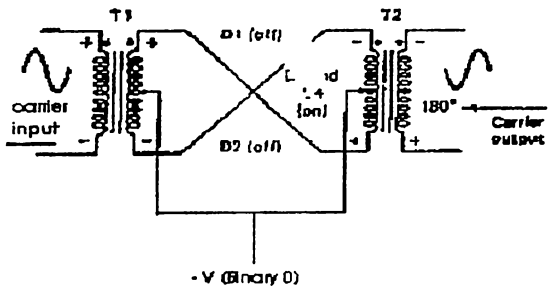
Figura 7.9 Modulador BPSK.

La figura 7.10 muestra el diagrama esquemático del modulador de anillo balanceado. Este tiene dos entradas, una portadora que está en fase con el oscilador de referencia y la entrada binaria digital. El modulador balanceado para operar propiamente, la entrada de voltaje debe ser mayor que el pico de voltaje de la portadora. Esto asegura que la entrada digital controla el estado on/off de los diodos D1-D4. Si la entrada binaria es un 1 lógico (Voltaje positivo), los diodos D1 y D2 se polarizan en directa y están en estado on. Como resultado D3 y D4 están polarizados en reversa Off. con las polaridades mostradas, la portadora de voltaje es desarrollada a través del transformador T2 en fase con la portadora de voltaje a través de T1. La señal de salida está en fase con el oscilador de referencia.

Si la entrada digital es un cero lógico (voltaje negativo) a través de los diodos D1 y D2 están polarizados en reversa y están en off mientras los diodos D3 y D4 están polarizados en directa. Como resultado el voltaje de portadora es desarrollado a través de T2 180 grados fuera de fase con el voltaje de portadora a través de T1. Consecuentemente la salida de la señal es 180 grados fuera de fase con el oscilador de referencia. La figura 7.11 muestra la tabla de verdad, diagrama de fasores, y el diagrama de constelación del modulador BPSK.



a) y b)



c)

Fig. 7.10 a) modulador de anillo balanceado, b) Entrada lógica 1, c) Entrada lógica 0

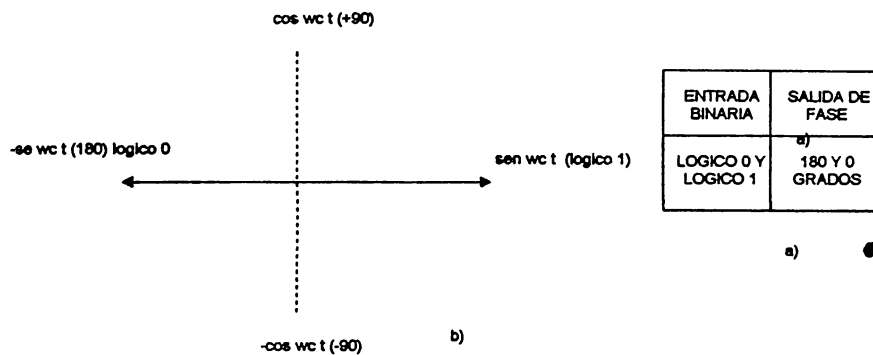


Figura 7.11 Modulador BPSK a) Tabla de verdad b) Diagrama de fasores

7.2.5.3 CONSIDERACIONES DE ANCHO DE BANDA PARA BPSK

En un modulador balanceado la salida de la señal es el producto de las dos señales de entrada. En un modulador BPSK la portadora de entrada es multiplicada por el dato binario. Si 1 V es asignado para un 1 lógico y -1 V es asignado para 0 lógico, la portadora de entrada ($\text{sen } wct$) es multiplicada ya sea por + o - 1. La señal de salida será $+1 \text{ sen } wct$ o $-1 \text{ sen } wct$ el primero representa una señal que en fase con el oscilador de referencia, la otra señal que es 180 grados fuera de fase con la referencia del oscilador. Cada vez que la condición de entrada lógica cambia, la salida de fase cambia. Para BPSK la razón de salida cambiante (Baud) es igual a la razón de entrada (bps), y la salida de ancho de banda ocurre cuando la entrada binaria de datos se están alternando 1/0 secuencialmente con la frecuencia fundamental (F_a) de un bit alternado de frecuencia que es igual a la mitad de la razón de bit ($F_b/2$) Matemáticamente, la salida de fase de un modulador BPSK es:

$$\theta = (\text{sen } wat) \times (\text{sen } wct)$$

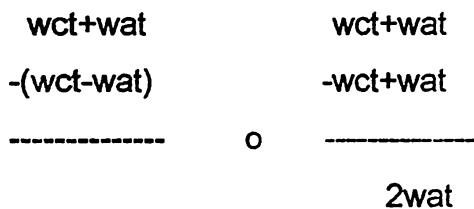
Ec.7.3

Donde el primer termino es la frecuencia fundamental de la señal binaria modulada.
 Y el segundo termino es la portadora..

o

$$\frac{1}{2} \cos(\omega_c t - \omega_b t) - \frac{1}{2} \cos(\omega_c t + \omega_b t) \quad \text{Ec.7.4}$$

Consecuentemente, el mínimo doblebanda lateral de Nyquist (F_a) es



ya que $\omega_b t = F_b/2$. $F_a = 2(F_b/2) = F_b$ Ec. 7.5

La figura 7.12 muestra la salida de fase versus la relación de tiempo para la forma de onda BPSK. Se puede ver que el espectro de salida de BPSK es simplemente doble banda lateral con portadora suprimida donde el lado y lado bajo de las frecuencias están separadas de la frecuencia portadora por un valor igual a la mitad de la razón de bit. El mínimo ancho de banda (F_a) requerido para pasar la peor señal de salida BPSK es igual a la entrada de la razón de bit.

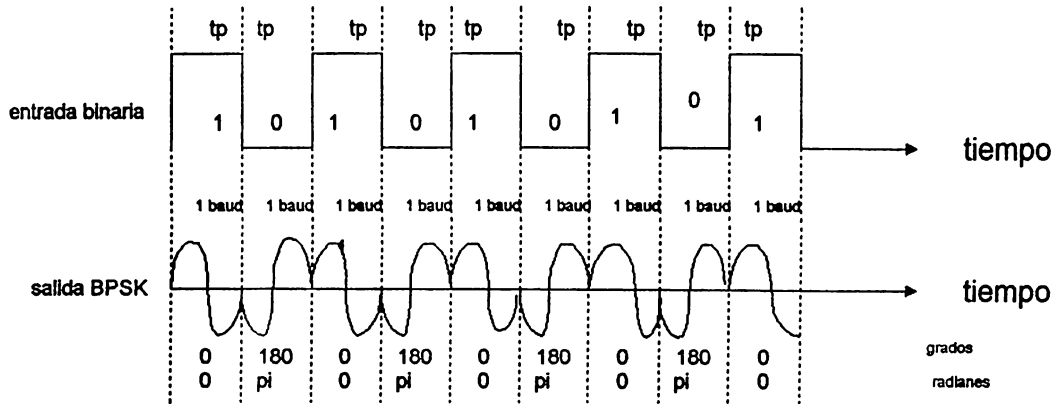


Figura 7.12 Relación de salida de fase versus tiempo para un modulador BPSK.

7.2.5.3 RECEPTOR BPSK

La figura 7.13 muestra un diagrama de bloques de un receptor BPSK. La entrada de señal deberá de ser $+\text{sen } wct$ o $-\text{sen}wct$. La recuperación coherente del circuito de la portadora detecta y genera una señal portadora que en ambas frecuencia y fase coherentes con la portadora original del receptor.

El modulador balanceado es un detector de productos, la salida es el producto de las dos entradas (La señal BPSK y la portadora recuperada).El Filtro paso bajo separa el dato binario recuperado del complejo espectro demodulado. Matemáticamente el proceso de demodulación es como sigue:

Para BPSK señal de entrada de $+\text{sen } wct$ (lógico 1),la salida del modulador balanceado es:

$$\text{Salida}=(\text{sen } wct)(\text{sen } wct)=\text{Sen}^2 \quad wct.$$

La señal filtrada:

$$\text{sen } wct^2 \quad wct = 1/2 (1 - \cos 2wct) = 1/2 - 1/2 \cos 2wct$$

$$\text{salida} = +1/2 \text{ V dc} = \text{lógico 1}$$

Se puede ver, que la salida del modulador balanceado contiene voltaje positivo (+1/2 V) y la onda coseno a 2 veces la frecuencia portadora (2wct). El filtro paso bajos tiene una frecuencia de corte menor que 2wct y esto bloquea la segunda armónica de la portadora y pasa solamente la componente positiva. Un voltaje positivo representa un 1 lógico demodulado.

Para una señal de entrada BPSK de $-\text{sen } wct$ (lógico 0), la salida del modulador balanceado es:

$$\text{salida} = (-\text{sen } wct)(\text{sen } wct) = -\text{sen}^2 wct$$

o la señal filtrada:

$$-\text{sen}^2 wct = -1/2 (1 - \cos 2wct) = -1/2 + 1/2 \cos 2wct$$

$$\text{salida} = -1/2 \text{ V dc} = \text{lógico 1.}$$

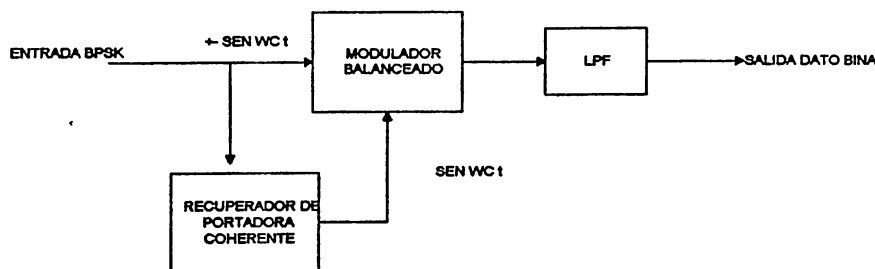


Figura 7.13 Receptor BPSK.

7.2.6 CODIFICADOR M-ary

M-ary es un termino derivado de la palabra binario M es simplemente un dígito que representa el numero de condiciones posibles. Las dos técnicas de modulación digital (FSK y BPSK) son sistemas binarios ;hay solo dos condiciones de salida posibles. Una representa u 1 lógico y la otra un 0 lógico; por lo tanto son sistema M-ary donde $M=2$. Con modulación digital ,muy frecuente es una ventaja de codificar niveles mas altos que binarios. Por ejemplo, un sistema PSK con 4 posibles salidas de fase es un sistema M-ary donde $M=4$. Si hubieran 8 salidas de fase , $M=8$ y así sucesivamente.

$$N = \log_2 M$$

Ec.7.6

;

Donde:

N= numero de bits.

M= numero de condiciones de salida posibles con n bits.

7.2.7 QUATERNARY PHASE SHIFT KEYING

QPSK es otra forma de modulación de ángulo , envolvente constante de modulación digital. QPSK una técnica M-ary de codificación donde $M=4$ (el numero 4 significa quaternario). Con QPSK 4 salidas de fase son posibles para una frecuencia de portadora simple. Debido a que la señal de entrada digital al modulador QPSK es de fase binaria (base 2) produce 4 diferentes condiciones de entrada esto tomas mas de un simple bit. Con dos bits tiene 4 posibles condiciones : 00 ,01, 10, 11. Para QPSK la entrada binaria de datos están combinadas en grupos de 2 bits llamadas dibits. Cada código de dibits genera una de las 4 posibles salidas de fase. Sin embargo por cada 2

bits dibits sincronizados en el modulador un cambio en la salida ocurre. La razón de cambio a la salida (baudios) es la mitad de la razón de salida de los bits.

7.2.7.1 Transmisor QPSK

Un diagrama de bloque es mostrado en la figura 7.14 dos bits o un dibit son sincronizados en el separador de bits. Después de que los dos bits han sido introducidos en forma serie son sacados simultáneamente en forma paralela. Un bit es direccionado al canal I y el otro al canal Q. El bit Y modula una portadora que esta en fase con el oscilador de referencia (el nombre I es por "Canal en fase") y Bit Q modula una portadora que esta a 90 grados fuera de fase o en cuadratura con la portadora de referencia (el nombre Q por "canal en cuadratura").

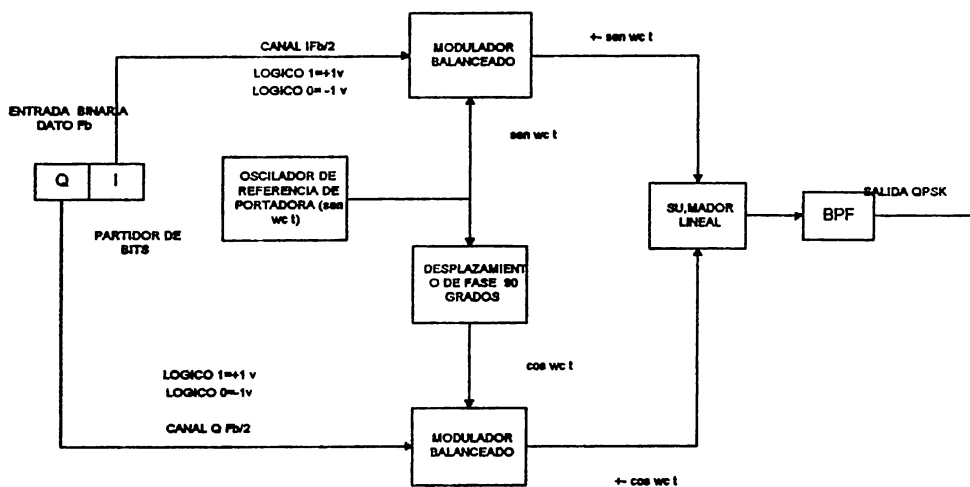


Figura 6.14 Modulador QPSK

Puede verse que una vez el bit ha sido partido en canales I y Q la operación es la misma como en el modulador BPSK. Esencialmente un modulador QPSK es dos moduladores BPSK combinados en paralelo. De nuevo para un 1 logico= $+1V$ y un cero logico= $-1V$, dos fases son posibles a la salida del balanceador modulado I ($+\text{sen } \omega c t$ y $-\text{sen } \omega c t$) y dos fases son posibles a la salida del modulador balanceado Q ($+\text{cos } \omega c t$ y $-\text{cos } \omega c t$).

cos wct). Cuando el sumador lineal combina las dos señales en cuadratura (90 grados fuera de fase) hay 4 fases resultantes : +sen wct+cos wct , +sen wct-cos wct, -sen wct + cos wct y -sen wct - cos wct.

En la figura 7.15 puede verse que con QPSK cada cuatro salidas de fasores tienen exactamente la misma amplitud. Entonces la información binaria debe ser codificada enteramente en la fase de la señal de salida. Esta es la característica mas importante de PSK que se distingue de QAM. También en la figura 7.15 Se puede ver que la separación angular entre dos fasores adyacentes en QPSK 90 grados.

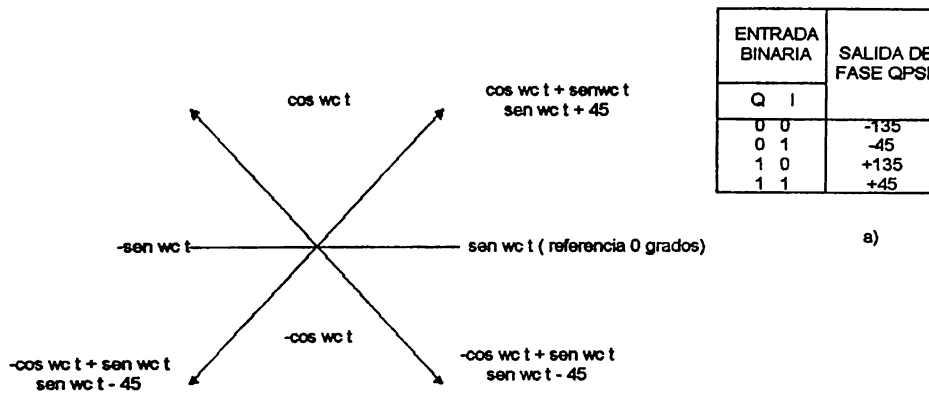


Figura 7.15 modulador QPSK, a) table de verdad, b) Diagrama de fasores.-

7.2.8 CONSIDERACIONES DE ANCHO DE BANDA DE QPSK

Con QPSK ya que la entrada de datos esta dividida en dos canales la razón de bit es igual a canales I o Q la mitad de los datos de entrada ($F_b/2$), Esencialmente el separador de bits alarga los bits I y Q dos veces su longitud de bits de entrada. La mayor frecuencia fundamental presente ala entrada del dato del modulador balanceado I y Q es igual a un cuarto de la razón de datos entrantes ($F_b/2 = F_b/4$). como resultado, la salida del modulador balanceado requiere un mínimo de doble banda lateral nyquist igual a la mitad

de la razón de bits llegando ($F_a=2$ veces $F_b/4=F_b/2$) Entonces con QPSK una compresión de ancho de banda se realiza.(El mínimo de ancho de banda es menos que la razón de bit llegando) También desde que la señal de salida de QPSK no cambia las unidades de fase 2 Bits (un dibit) ha sido sincronizado en el separador de bits el cambio rápido salida (bauds) es igual a la mitad de la entrada de razón de bits.

En la figura 7.16 puede verse que en el peor de los casos las condiciones de entrada al modulador balanceado Y o Q es una alternamente entre 1/0, el cual ocurre cuando la entrada del dato binario tiene una secuencia repetitiva de 1100. Un ciclo de transición rápida binaria(una secuencia 1/0) en los canales Y o Q toma el mismo tiempo que 4 entradas de bit de datos. La frecuencia fundamental mas alta a la entrada y la razón rápida de cambio a la salida del modulador balanceado es igual a un cuarto de la razón de entrada binaria de datos.

La salida del modulador balanceado puede ser expresado matemáticamente como:

$$\theta = (\sin \omega_a t)(\sin \omega_c t) \quad \text{Ec.7.7}$$

entonces:

$$\begin{aligned} \theta &= (\sin 2\pi(F_b t/4))(\sin 2\pi F_c t) \\ &= 1/2 \cos 2\pi (F_c - (F_b/4))t - 1/2 \cos 2\pi (F_c + (F_b/4))t \end{aligned}$$

La salida del espectro de frecuencia se extiende desde $F_c + F_b/4$ a $F_c - F_b/4$ y el ancho de banda mínimo es (fn):

$$(F_c + F_b/4) - (F_c - F_b/4) = (2 * F_b/4 = F_b/2). \quad \text{Ec.7.8}$$

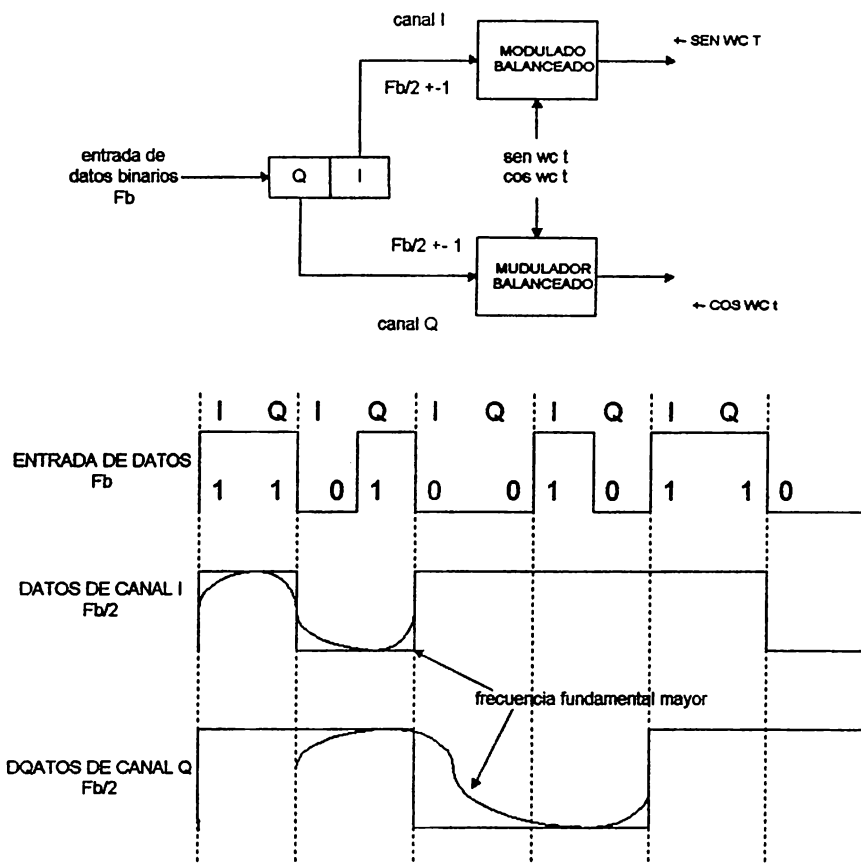


Figura 7.16 Consideraciones de ancho de banda del modulador QPSK.

7.2.8.1 RECEPTOR QPSK

El separador de bits direcciona la señal QPSK al detector de productos I y Q y el circuito de recuperación de portadora. El circuito de recuperación de portadora reproduce la señal de portadora del oscilador transmisor original. El recuperador de portadora debe ser coherente en frecuencia y fase con la portadores de transmisión. La señal QPSK es demodulada en el detector de productos I y Q .el cual genera los bits de datos originales

I y Q. Las salidas del detector de productos son alimentadas a el circuito de combinación de bits, donde son convertidos de canal de datos paralelos a una simple señal binaria de salida de corriente de datos.

Para ilustrar el proceso de demodulación ,las señal entrante será $-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t$. Matemáticamente el proceso de demodulación es como sigue.

La señal recibida QPSK $(-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t)$ es una de las entradas al detector de productos I. La otra entrada es la señal portadora recuperada $(\sin \omega_c t)$. La salida del detector de productos Y es :

$$I = (-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t) (\sin \omega_c t) \quad \text{Ec.7.9}$$

Donde:

-El primer termino es la señal de entrada QPSK y el segundo termino es la portadora.

$$= (-\sin \omega_c t)(\sin \omega_c t) + (\cos \omega_c t) (\sin \omega_c t)$$

$$= -\sin^2 \omega_c t + (\cos \omega_c t)(\sin \omega_c t) \quad \text{Ec.7.10}$$

$$= -1/2 (1 - \cos 2 \omega_c t) + 1/2 \sin (\omega_c t + \omega_c t) + 1/2 \sin (\omega_c t - \omega_c t)$$

$$Y = -1/2 + 1/2 \cos 2 \omega_c t + 1/2 \sin 2\omega_c t + 1/2 \sin 0$$

$$= -1/2 \text{ V de (lógico 0)}$$

La señal recibida QPSK $(-\sin \omega_c t + \cos \omega_c t)$ es una de las entradas al detector de productos Q. La otra entrada es la portadora recuperada desviada 90 grados en fase $(\cos \omega_c t)$. La entrada de detector de producto Q es :

$$Q = (-\sin wct + \cos wct) (\cos wct) \quad \text{Ec.7.11}$$

Donde el primer termino es la señal QPSK y el segundo la portadora

$$= \cos E - 2 wct - (\sin wct) (\cos wct)$$

$$= \frac{1}{2} (1 + \cos 2 wct) - \frac{1}{2} \sin (wct + wct) - \frac{1}{2} \sin (wct - wct)$$

La señal filtrada será

$$Q = \frac{1}{2} \cos 2 wct - \frac{1}{2} \sin 2 wct - \frac{1}{2} \sin 0 \quad \text{Ec.7.12}$$

$$= \frac{1}{2} V \text{ de (lógico 1).}$$

Los bits demodulados Y y Q corresponden al diagrama de constelación y la tabla de verdad del modulador QPSK..

7.3 TÉCNICAS DE MÚLTIPLE ACCESO

Las técnicas de multiple acceso que se ocuparan en el modelo son acceso multiple por division en frecuencia y el acceso multiple por division en el tiempo debido a que son las que ofrecen mejores ventajas con respecto a la otras tecnicas de multiple acceso

7.3.1 ACCESO MULTIPLE POR DIVISION EN FRECUENCIA

En esta modalidad se distribuye el espectro disponible entre las estaciones participantes en el acceso múltiple. Cada estación, en sentido de transmisión hacia el satélite, transmite una o mas portadoras multidesdino moduladas en frecuencia por señales telefónicas MDF o señales vídeo . como las portadoras son diferentes, están separados sus espectros por bandas de guarda, no hay interferencia mutua

La banda total disponible se divide para sus tratamiento en el satélite en segmentos de los que se ocupan órganos de proceso denominados transpondedores, que efectúan la traslación de frecuencias (banda de 6 a banda de 4) y su amplificación

La utilización de muchas portadoras por transpondedor mejora la colectividad y el acceso múltiple. Tiene sin embargo el inconveniente de que genera ruido de intermodulación en el amplificador del transpondedor lo que obliga a que este trabaje en condiciones de potencia desfavorable.

Desde el satélite se difunde toda la banda de 500 Mhz, así pues cada portadora se reirradia hacia sus múltiples destinos posibles pudiendo ser recibida por las estaciones participantes. Estas pueden ser de banda ancha (lo mas usual), en cuyo caso reciben los 500 Mhz y sintonizan las portadoras de la banda que contenga canales destinados a ellas. Extrayendo subsiguientemente estos canales en su equipo múltiple de recepción.

El AMDF se divide en:

-Multicanal por portadora (MCP), ó numerosos canales de usuario por portadora. Indica tráfico multiusuario en una onda portadora de canales de estación transmisora/receptora,

siguiendo los principios descritos de MDF. En instalaciones de gran capacidad el concepto se extiende incluso a multiplexaje de portadora de señales FDM, a la salida de los grupos formados. Cada portadora puede modularse en frecuencia (FM/AMDF) o en fase (PM/AMDF) en función de las señales sucesivas entrantes. En esta categoría se puede dar solución a condiciones de tráfico intenso que justifiquen instalar sistemas AMDF con modulación digital (TDM/AMDF). Esto es, combinando multiplexaje por división de tiempo, cuyas señales digitales sucesivas pueden producir modulación de frecuencia o de fase de una onda portadora, donde se siga el principio de las técnicas conocidas como FSK y PSK. En la fig. 7.17 se muestra el MCPP. La fig. 7.18 muestra diagrama de bloque de un canal singular por portadora

-Canal unico por portadora (CUPP), un solo canal de usuario por portadora. En algunos países se utiliza con modulación de frecuencias (FM), en tanto que en otros se han establecido métodos que efectúan modulación digital, como PSK y PCM

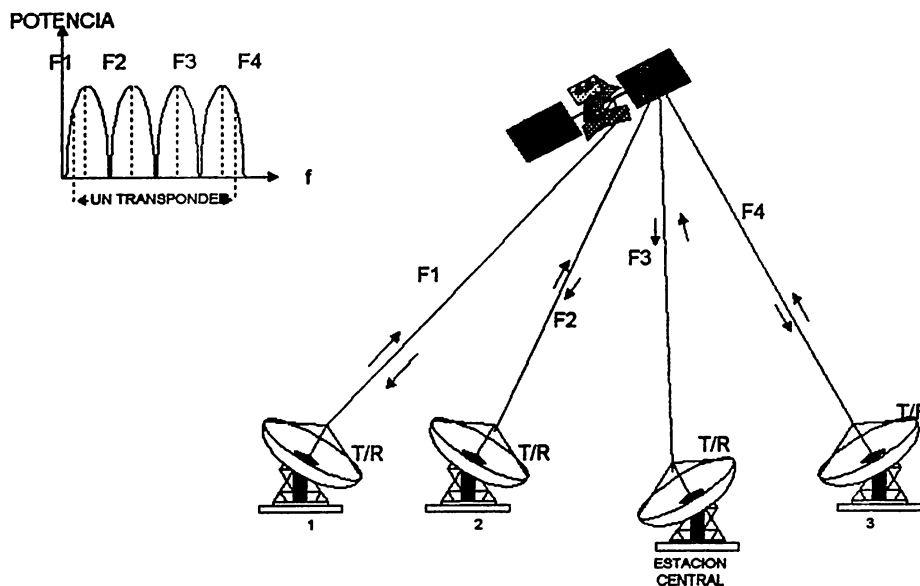


FIG 7.17 TRANSMISION (AMDF/CUPP) DE PUNTO A MULTIPUNTO EN AMBOS SENTIDOS

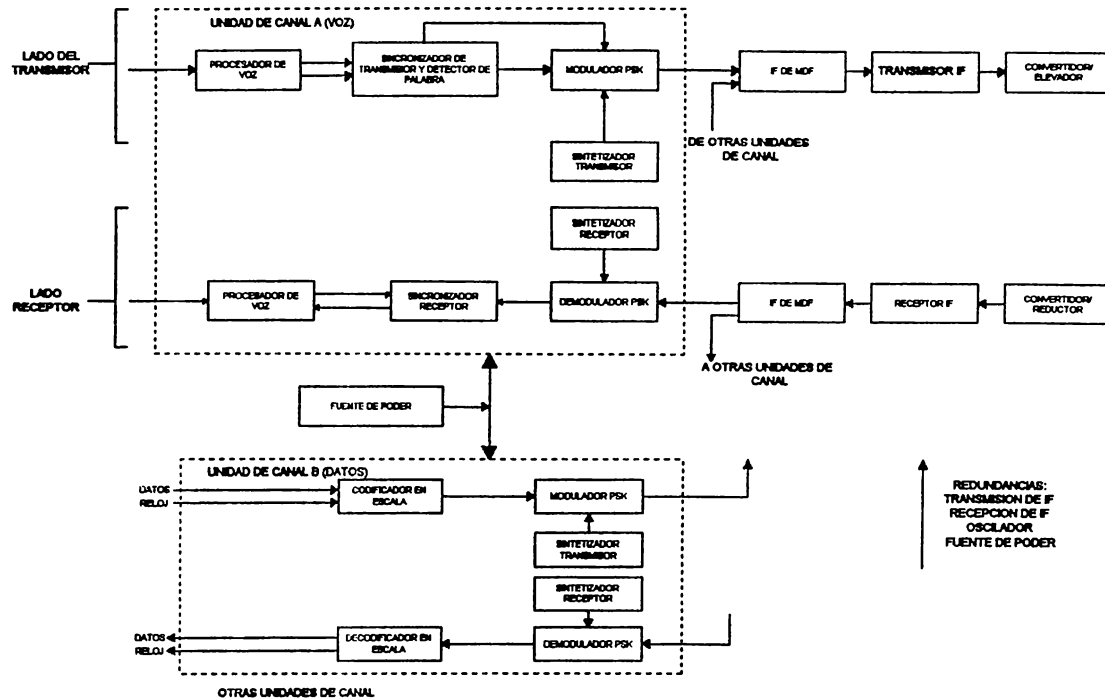


FIG 7.18 DIAGRAMA DE BLOQUE DE UN CUPP

Una estación arbitraria transmite tráfico (local o de tránsito) destinado a las estaciones A, B, C. Y D. La capacidad de carga será en general, variable . estos cuatro grupos de canales se incluyen en una portadora multidestino que se reirradiará por el satélite para su recepción por las estaciones A, B, C, y D.

En recepción, la estación O separa las portadoras procedentes de A, B, C, y D y extrae de las mismas las señales destinadas a ella en su equipo múltiplex.

7.3.2 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO (AMDT)

El AMDT es compartir un satélite repetidor por varias estaciones terrenas las cuales transmiten en lapsos de tiempo y espaciados para no sobrelapar cada uno en el

repetidor. El AMDT es la contraparte de MDT ampliamente usado en comunicaciones terrestres. La característica a distinguir es que AMDT debe llevar a cabo intercambios de un satélite remoto que esta en movimiento relativo a todas las estaciones de los usuarios.

En la técnica de AMDT el ancho de banda del transpondedor del satélite se comparte entre el número máximo de estaciones preestablecidas en una red de estaciones terrenas, en una forma análoga a como se comparte la CPU de una computadora de multiusuarios operando por compartimiento de tiempo.

En el MDT, multiplexaje por división en el tiempo se concede un subintervalo de tiempo a cada usuario y, en este caso, los multiples usuarios llenarán un intervalo asignado a una estación terminal terrena. El intervalo puede ser variable si el multiplexaje es irregular o estadístico; aceptando esta última opción como una técnica más complicada o sofisticada. En circunstancias normales, la mayoría de la aplicaciones de AMDT utilizan intervalos de duración fija, esto es, multiplexaje regular. Así, cada estación transmite o recibe una ráfaga (que puede estar formada por subráfagas de diferentes usuarios) de señal en su respectivo turno dentro de un conjunto de estaciones, y luego permanece en espera sin transmitir señales de usuario. De esta manera se evitan colisiones de las diferentes ráfagas; aunque también podrían argumentarse inactividad de canales, traducido a ineficacia del sistema.

Cuando todas las estaciones del conjunto o red de terminales han usado su corto intervalo de tiempo asignado, se dice que se ha completado un ciclo en la oportunidad que cada instalación de acceso tiene que transmitir, o recibir su ráfaga de energía electromagnética. A ese ciclo , teniendo en cuenta los cortos intervalos de tiempo muerto (o más bien de protección) que deben separar a cada ráfaga consecutiva para evitar traslapes, se le llama también : entrampado, armazón, cuadro o esqueleto del protocolo de señalizaciones. Como parte de ese ciclo sólo una estación terrena tiene acceso al repetidor en el satélite durante el intervalo correspondiente, continuando las restantes, una tras otra. En transmisión/recepción de su ráfaga de energía, respetando una secuencia ya prevista.

Algunas de las razones por la que se ocupa AMDT son : la alta capacidad, sistemas TDMA de ancho de banda llena, hay solo una portadora presente en el AMDT en cualquier instante de tiempo, así no hay necesidad de introducir backoff y la capacidad es muy alta. Comparado con AMDF la capacidad incrementada es la principal razón para la ejecución de AMDT. Para las repetidoras de INTELSAT IV operan con haces globales y estándar. Una estación terrestre (antena de 30m, $G/T = 41.7$ dB/K) en una red de 10 estaciones, FM/AMDF tiene capacidades típicas de 450 canales de voz de un camino mientras que PCM/PSK/AMDT provee 900 canales de voz.

Otra mejor razón para escoger AMDT es su flexibilidad. Flexibilidad no es solo una ventaja significativa para sistemas grandes, pero es frecuentemente la clave a la viabilidad de los sistemas en sistemas pequeños. La postura de accesos no uniformes no es problema en configuraciones de redes, asignaciones, resignaciones y demanda de asignaciones. Que todo el tráfico es digital, integrado, buffereado y multiplexado es la característica clave de AMDT.

La figura 7.19 ilustra un diagrama de bloques típico de equipos AMDT en una estación terrena. Las tecnologías AMDT son una constante evolución para muchas instituciones, así la terminología no es nada común, consistente y para nada estática, alternativamente pero no siempre los términos equivalentes son dados en paréntesis en los siguientes párrafos.

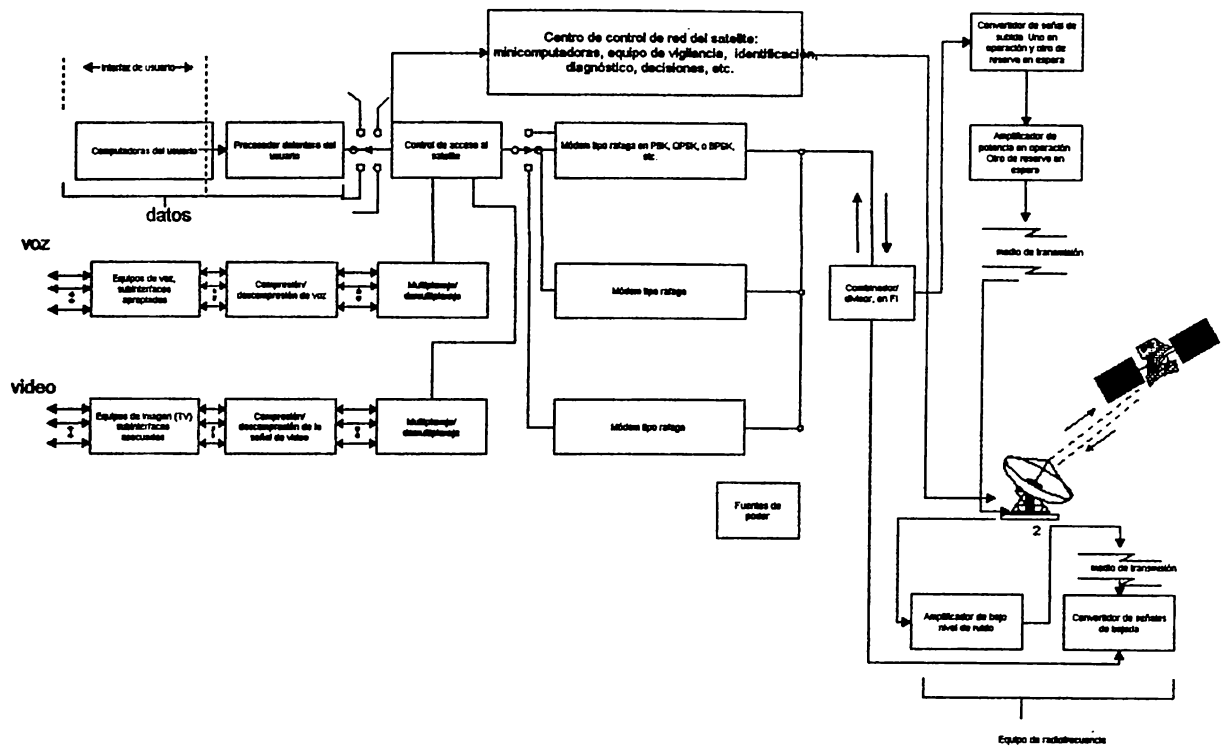


Fig. 7.19 FUNDAMENTOS DEL SISTEMA, EN ESTACION CENTRAL, PARA TX/RX DE SEÑALES MULTIPLEX MEDIANTE SATELITE Y LA TECNICA AMDT

En la porción de transmisión de el diagrama de bloque hay puertos {módulos de interface terrestre (TIMs), módulos de datos, tableros de grupos de interface, etc.}, para entrada de voces, datos, facsímiles, o servicios de vídeo. Para servicios análogos, ahí debe ser la conversión a forma digital, antes que el puerto o en el puerto mismo. La función de estos puertos es para proveer interfaces eléctricas, mecánicas y formateadas con los recursos de los servicios digitales. Los datos continuos, seriales, síncronos (algunas veces asincronos) son escritos en el buffer de comprensión asociado a la velocidad operativa diseñada de el puerto. A alta velocidad, el controlador transmite (multiplexor) lee fuera de los burst de datos, para formar un burst multiplexado; el buffer compresionado es llamado así porque ensambla los bit continuos de datos lentos para rápida salida de el modulador durante el burst para la estación. El controlador transmisor también tiene control de el modulo 2 , adición de un generador de secuencia (scrambler) usado en algunos sistemas. Note que un código de corrección de error hacia

atrás (CCA) puede ser insertado en la línea de alta velocidad o en cada uno de los puertos de datos como es requerido. Si una unidad singular es usada selectivamente en el burst, el controlador también tiene el control requerido. El controlador provee de tiempos de guarda. El burst compuesto es dado a el modulador burst, el cual transforma el corriente dato en una portadora modulada. El controlador dispara la señal para la transmisión. El interface para el resto de la estación terrestre es usualmente la misma frecuencia intermedia (FI) pero puede ser también una frecuencia de radio. (RF).

En la porción receptora el controlador receptor (demultiplexor) provee un periodo de disparo (ventana) durante el cual el demodulador procesa la señal recibida; la demodulación incluye recuperación de portadores, recuperación de símbolo del tiempo y recuperación y detección para recobrar símbolos de mensaje.

7.3.2.1 TECNOLOGÍA AMDT

Jerarquía de Tiempos

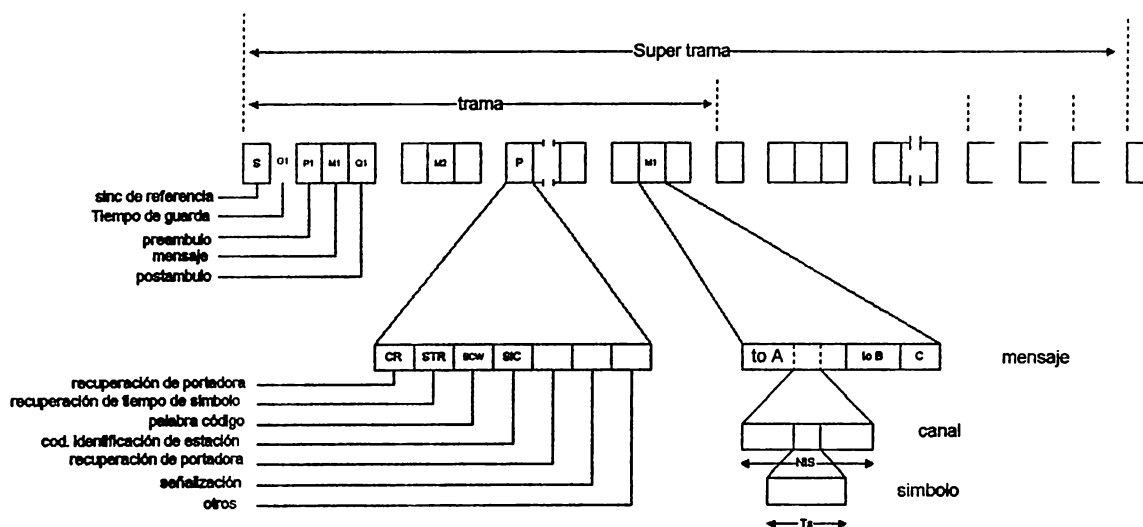


fig. 7.20 JERARQUIA DE TIEMPO DE UN AMDT

La figura 7.20 ilustra las características principales de una jerarquía de tiempo de un AMDT,

el cual es un ser ordenado de duraciones de tiempo o intervalos. Una supertrama es un número de tramas en secuencia organizadas para distribuir controles de sistema y de red o información de señalización. Hay otros nombres y extensiones adicionales de esta idea, niveles de supertrama, trama maestra, ciclos. Un tiempo de trama o simplemente una trama es el intervalo de tiempo sobre el cual el formato de la señal es establecida y entonces indefinidamente repetido. Una trama es subdividido en dos ranuras, y un tiempo de ráfaga consiste de un número integrado de ranuras. La literatura usa tramas, ráfagas, ranuras y terminología de símbolos un poco intercambiables. Una ráfaga es una señal de acceso que ocupa una ranura asignada en la trama. Porque da el tiempo imperfecto de la ráfaga, un tiempo de guarda es requerido entre ráfagas para asegurarse de que no ocurre sobreenlape. Típicamente una ráfaga consiste en un preámbulo, la porción de mensaje, el preámbulo es la porción inicial de una ráfaga y consiste de una parte de recuperación de portadora en sistemas de modulación coherentes, una parte de la recuperación de símbolos de tiempo (RST) (también llamado reloj o recuperación del tiempo de bit, RTB). Una palabra código de ráfaga (PCR) {frecuentemente llamado trabajo único (RTB)} para sincronización de ráfaga, un código de identificación de estación (SIC) y algunos símbolos caseros. El mensaje (información, tráfico) porción de una ráfaga contiene el dato deseado, el multiplexado de tiempo para todas los destinos de las ráfagas, el código canal y modulada en la portadora. En la misma aplicación, un postambulo es usado para descodificar la inicialización de la próximo ráfaga.

Procediendo hacia abajo la jerarquía en la fig. 7.20 una ráfaga ocupa un número de ranuras y es falseado de símbolos. Los cuales son seleccionados de el alfabeto, el cual es una colección de símbolos disponibles en el tipo de modulación. El rango de símbolo o rango de reloj de una ráfaga es el rango de trabajo de los módem y es el inverso de la duración de el símbolo (longitud de símbolo) T_s , por referencia conveniente, una palabra es un set estructurado de símbolos continuos. esto es importante darse cuenta que estos

términos jerárquicos están relacionados a módem y accesos ,sin embargo, también se necesitan conceptos que son invariables para diferentes sistemas.

Un bit es una medida o cuantificación del contenido de la transmisión. En comunicaciones digitales, tal medida absoluta de información es usualmente no posible ni deseable .

EFICIENCIA

Hay varios tipos de eficiencia los cuales son considerados en TDMA. **Eficiencia de trama (eff)** es la relación de la porción disponible por mensaje a el total de longitud de la trama. Equivalentemente , la medida la suma de todos los tiempos de guardapreambulo y postambulo en una forma normalizada. Esto es útil en comparaciones de formatos de tramas para diferentes esquemas de sincronización y modulación; esto es usado en selección de medidas de trama y buffer. Para una clase larga de sistemas tiene la forma general

$$\text{eff} = 1 - (S + (G1 + P1 + Q1)Ts)/F \quad \text{EC. 7.13}$$

DONDE

F = longitud de la trama microseg.

S= numero de símbolos en sincronización burst

G = tiempo de guarda, microseg.

P = numero de símbolos en preámbulo

Q = numero de símbolos en postambulo

Ts= longitud del símbolo, microseg.

$$= \log_2 A/R$$

A = numero de símbolos en el alfabeto

R = rango de transmisión, Mbps

n = numero de accesos

De hecho, cualquier otro ser de unidades consistentes puede ser usada. Para sistemas eficientes G, P y Q podrían ser pequeños; G es controlada por sincronización, P es predominantemente afectado por la demodulación y señalización necesaria , y Q es enteramente determinado por las consideraciones de código. Es también evidente que F podría ser tan largo como en la practica

Categorías de clases de sincronización AMDT

CATEGORÍA	CLASE
RED DE PAQUETE SATELITAL	acceso aleatorio + otros
LAZO ABIERTO	sincronismo sencillo método controlado de reloj referencia de la trama convencional sincronización de secuencia M
TIPOS HÍBRIDOS	rangos y extrapolación sincronización centralizada y rango selección de lazos cerrados y abierto.

CUADRO 7.2 CATEGORIAS DE CLASES DE SINCRONIZACION AMDT

7.3.3COMPARACIÓN AMDF Y AMDT

AMDF hace uso de una técnica bien conocida y experimentada, la modulación de frecuencia, siendo de fácil realización. No requiere temporización. Plantea problemas de generación de ruido de intermodulación en caso de funcionamiento de un transpondedor

con varias portadoras lo cual exige el control y la reducción del punto de trabajo de los amplificadores merma su eficacia. El AMDT permite disponer de toda la potencia del satélite para cada enlace, no requiere el control de la potencia y es flexible a la variabilidad del tráfico por ajuste dinámico de los intervalos de tiempo. Su formato digital lo hace compatible con el empleo de técnicas de codificación para control de errores y señales digitales en su origen. Sin embargo requiere efectuar conversiones A/D y D/A para las señales telefónicas lo que exige disponer de interfaces con los sistemas MDF. Necesita además una temporización estricta.

Las siguientes técnicas de múltiple acceso son mencionadas solo con el objeto de que se tenga idea de que existen otras pero no necesariamente se utilizan en el modelo.

7.3.4 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO

Los enlaces hacia arriba y los enlaces hacia abajo de los satélites por lo general usan acceso múltiple por división de códigos (AMDC) con secuencia directa de espectro extendido (DS/SS)

Encontramos una política de localización de código AMDC óptima minimizando un costo consistente de función de la suma cargada de los rangos de bloqueo del tráfico de voz y datos sujeto a requerimientos de ejecución (rango de bit de error o BER), de los tipos de tráfico. La prioridad relativa de la voz y datos puede ser ajustada vía un factor de carga. El factor de actividad de el tráfico de voz (periodos de plática y periodos de silencio) es tomado dentro de la cuenta para incrementar la eficiencia del ancho de banda.

En las redes de telecomunicación moderna, hay un interés grande en proveer un servicio de comunicación a todo el mundo a móviles y a otros usuarios vía redes de satélites .

La estación terrestre que intercambia información no siempre podría ser cubierta por los mismos satélites . Los dos caminos corrientemente usados para sobrecubrir este problema es ya sea reenrutar el trafico vía líneas de comunicación terrestres, o retransmitir información vía una estación terrestre intermedia .

El uso del CDMA como un esquema de acceso múltiple sobre el enlace hacia arriba y el enlace hacia abajo de los satélites tienen ciertas ventajas:

- Corrientemente 10 señales pueden ser transmitidas en el canal digital de alta capacidad.
- La calidad de la voz es superior (debido a que se combate en destañir y desvanecer interferencia en banda),
- Prevista de privacidad
- Compatibilidad con sistemas de comunicación personal
- Las señales AMDC son resistentes a la obstrucción
- AMDC tiene la habilidad de parar otras señales de banda, las cuales podrían permitirle multiplicar con otras señales de radio sin interferencia , además la degradación de la ejecución provistas por los sistemas AMDC habilita la adición de usuarios y la mitigación de errores en la operación de protocolos o en monitoreo de redes (feedback) sin el daño de un rompimiento de la operación del sistema

El AMDC es una técnica dedicada a aquellas aplicaciones en las cuales se tiene gran interés por maximizar la seguridad de las transmisiones. La seguridad es en el sentido de hacer muy difícil la posibilidad de sintonizar y detectar las transmisiones durante un tiempo mayor en un corto intervalo prefijado. Tal como muestra la figura 7.21 si todas las estaciones de recepción pueden sintonizar en todas las subbandas (de la banda asignada a la aplicación) en que se transite, la señal que durante el corto intervalo T_1 estaba siendo detectada en la portadora f_1 ha sido conmutada a otra portadora, para viajar en ella durante T_2 unidades de tiempo; luego cambiara a modular a otra portadora durante T_3 unidades de tiempo y así sucesivamente. Las señales restantes cambiaran de manera similar; cada una conmutando a distinta portadora. Para detectar en forma continua una señal la(s) estación(es) receptora(s) tendrían que estar cambiando de frecuencia de sintonía cada T_x unidades de tiempo, pero ¿ en qué sucesión pseudoaleatoria de portadoras? ¿ ese el es secreto! . La secuencia correcta de cambios la seguirá(n) sólo la(s) estación(es) receptora(s) que tenga(n) el dispositivo selector de datos que siga al código aplicado a las entradas de selección; código que será enviado desde la estación transmisora en los instantes apropiados.

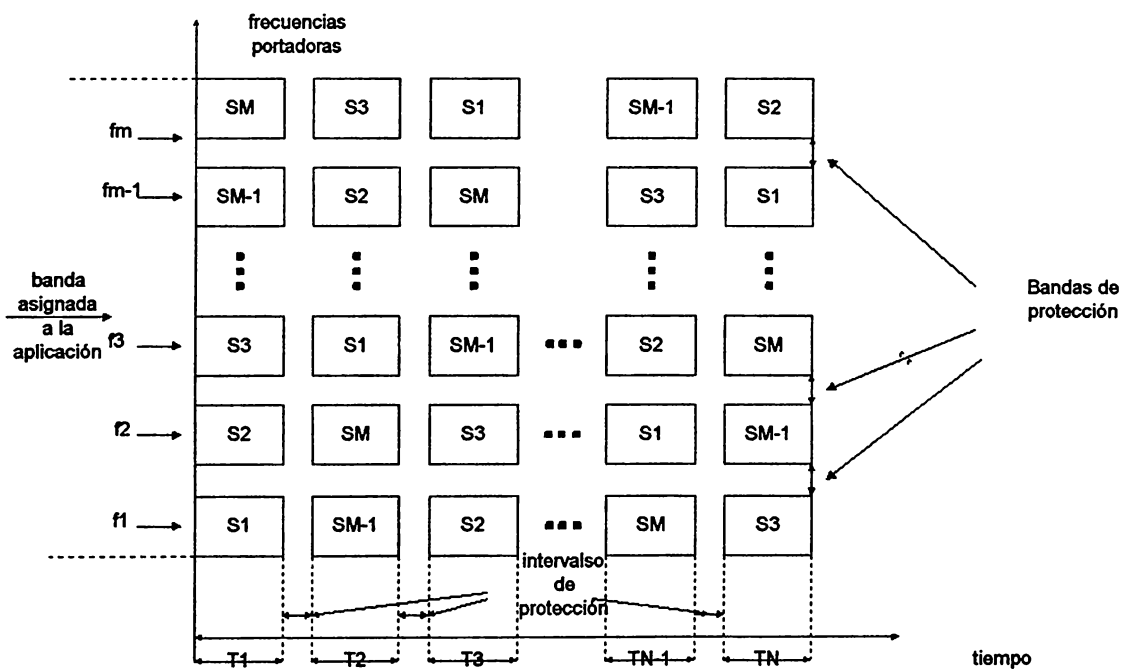


fig. 7.21 ILUSTRACION DEL CONCEPTO AMDC

Adviértase que esta es una técnica que combina AMDF con AMDT. Además, obsérvese que, aparentemente, hay unos intervalos de desperdicio, de tiempo muerto en el dominio del tiempo o de protección de bandas en el dominio de la frecuencia. Sin embargo, son de gran utilidad y precaución, porque permiten el desvanecimiento del fenómeno transitorio al conmutar de una frecuencia portadora a otra y porque, además, protegen el traslape de las señales en ambos dominios. En los intervalos temporales a las señales del código de selección y/o las señales de sincronización en la(s) terminal(es) receptora(s) las cuales pueden ser enviadas desde la computadora que es la que tiene el control centralizado

7.3.5 ACCESO MÚLTIPLE POR ENSANCHAMIENTO DEL ESPECTRO

Los sistemas AMEE emplean una señal determinista de tipo ruido para extender la señal de información de banda estrecha en una banda de frecuencia relativamente ancha. En el receptor se efectúa la operación inversa para reconstituir la señal original de información. El ensanchamiento de espectro se consigue mediante una serie de códigos complejos, y si una señal codificada llega a un receptor que tiene un código distinto. La señal no será reconstruida. Como las señales de código generadas en los sistemas AMEE tienen un carácter de pseudoruido, cualquier señal de código interferente sufrirá una atenuación proporcional a la relación entre la anchura de banda de espectro ensanchada y la anchura de banda de la señal de información. En los sistemas de ensanchamiento de espectro se necesita el sincronismo del generador de códigos del receptor con la señal de entrada.

Los sistemas AMEE se han usado en casos de satélites de potencia sumamente limitada. Parecen muy poco atractivos para las redes de comunicaciones del servicio público a causa de las pérdidas inherentes.

7.3.6 ACCESO MÚLTIPLE CON DIRECCIONES DE IMPULSO

El AMDI es una técnica utilizada para comunicaciones no coordinadas entre sistemas de ordenadores. Se puede considerar también como un sistema AMDT no coordinado. El usuario transmite una ráfaga de datos (uno o vario paquetes), con información de dirección completa, en un momento determinado únicamente por la necesidad de comunicación en el extremo de origen y tanto si hay como si no hay otros usuarios pretendiendo el acceso al repetidor. La capacidad máxima de transmisión de datos del sistema estará determinada por una probabilidad aceptable de colisión de ráfagas. Como es lógico, es poco el uso que se hace de la capacidad del repetidor. Esto esta compensado por la simplicidad del sistema.

Se puede conseguir un aumento de la utilización iniciando la transmisión de una ráfaga únicamente a intervalos de tiempos periódicos es decir, usando una estructura de trama, pero conservando el acceso aleatorio de la trama, esto aumenta la utilización.

7.3.7 ASIGNACIÓN DE CANALES

Junto con las tecnicas de multiple acceso va lo que es la asignacion de canales, parametro muy importante y que esta relacionado con el tipo de trafico en la zona

El objetivo importante en la ejecución de la nueva generación es mejorar la calidad del servicio aéreo móvil, con handovers casi invisibles al usuario móvil, (MS).

Las características de ejecución del sistema incluye la probabilidad de bloqueo del nuevo tráfico, la probabilidad de forzar la terminación de las llamadas en progreso, el retardo en el asignación de canales y el trafico total portador. Hay un relación entre la calidad de servicio y la implementación compleja del algoritmo de la localización de canales, el número de vistazos a la base de datos y la utilización del espectro. El objetivo de seleccionar una estrategia de asignación de canal , es para llevar a cabo un alto grado de utilización por una calidad de servicio dada con el mínimo numero posible de base de

datos consultados y un algoritmo lo mas simple posible empleado en la estación terrena (ET) y/o la estación aéreo móvil (EAM).

La estrategia de asignación de canales puede ser clasificada en :

fija,

flexible

dinámica

La tabla 7.3 provee un resumen de estas estrategias junto con el rol asumido por la estación terrena con cada uno de ellos .

ESTRATEGIA DE ASIGNACIÓN DE CANAL	FUNCIONALIDADES DE LA ESTACION TERRENA
Asignación fija	la comunicacion no es bloqueo solo si en el otro haz hay canales disponibles de un set predeterminado.
Préstamo Simple	si todos los canales permanentes del haz estan ocupados, un canal puede ser prestado de un haz cercano, previendo que ese canal no interfiera con la llamada existente
Asignación Híbrida	Asigna un set de canales fijo y prestables para cada celda en un radio optimo dependiendo en la carga de tráfico estimado Guarda el track de canales de libre servicio enllavado informa todas las estaciones base involucradas
Préstamo con canal ordenado	Ajusta la relación de canales fijos prestables de acuerdo a la carga de trafico de cada canal Asigna una probabilidad de ser usado ya sea por una llamada local o prestada Guarda el track de canales de libre servicio enllavado informa todos las estaciones base involucradas
Flexible programado	Asigna canales flexibles a tiempos programados de acuerdo a formas de estimación almacenadas guarda el track de libre servicio enllavado .
Flexible Predictivo	Asigna canales flexibles de acuerdo a el cambio de trafico Guarda el track de canales de libre servicio enllavado
Dinámico llamada por llamada	Asigna canales bajo solicitudes para evaluar la distancia de Reutilización de canal y la probabilidad de bloqueo de llamada futuras Guarda el track de canales de libre servicio enllavado

tabla 7.3 estrategia de asignación de canales

7.4 PROBLEMAS EN TRANSMISIÓN

7.4.1 INTERFERENCIAS DE INTERMODULACIÓN

El fenómeno de intermodulación puede producirse en el paso final de un transmisor que es siempre no lineal. Si el transmisor emite la frecuencia f_1 y recibe en su antena una f_2 procedente de otro transmisor, generara productos de intermodulación $mf_1 + nf_2$ de los cuales los de orden impar son especialmente peligrosos por caer en la misma banda. Si por ejemplo $f_1 = 160,125$ MHz hay un producto de tercer orden ($m = -1, n = 2$) que da 160,175 MHz, es decir, el canal siguiente, luego no podrían utilizarse los 3 canales contiguos.

A modo de ejemplo, en el cuadro 7.3, se dan canales libres de productos de intermodulación de tercer orden. Obsérvese que si hay 5 equipos es necesario reservar el espacio espectral correspondiente a 12 canales:

No DE CANALES LIBRES	No DE CANALES CONTIGUOS	CANALES LIBRES DE INTERMODULACIÓN
3	4	1, 2, 4
4	7	1, 2, 5, 7
5	12	1, 2, 5, 10, 12

CUADRO 7.3 Canales libres de productos de intermodulación

Pueden producirse también IM en el paso de entrada del receptor si este recibe las frecuencias f_1 y f_2 .

En estos casos se requiere el concurso de elementos auxiliares separadores y aisladores, como circuladores, filtros de cavidad, etc. Que, de forma análoga a como se emplean en los radioenlaces del servicio fijo permiten conectar varios equipos a una sola

antena. Además, en estas condiciones pueden utilizarse frecuencias contiguas, lo que permite una Reutilización mas racional de espectro.

Este tipo de interferencia solo se da en sistemas digitales por lo que no sera considerado en el modelo del sistema.

7.4.2 PERDIDAS DE PROPAGACIÓN

La perdida de propagación para un trayecto terrenal con visibilidad directa, es la suma de las componentes siguientes, no siempre simultáneas

atenuación de propagación en condiciones de espacio libre (componente básica siempre presente)

Desvanecimiento por difracción debido a obstrucción parcial o total del trayecto

Desvanecimiento debido a la propagación por trayectos múltiples, de enfoque y centelleo.

Atenuación debido a los gases atmosféricos

Atenuación causada por variación del ángulo de llegada/salida.

Atenuación ocasionada por precipitaciones

Atenuación debida a las tormentas de arena y polvo.

Cada una de estas componentes tiene sus propias características y peso en función de la frecuencia, longitud del trayecto, orografía del terreno y clima. A continuación se examinan resumidamente las contribuciones de mas importancia.

7.4.2.1 DESVANECIMIENTO POR DIFRACCIÓN

Se debe a la obstrucción parcial o total de trayecto de propagación en condiciones meteorológicas adversas, que ocasionan reducciones en el valor de k y una elevación aparente de las obstrucciones.

La profundidad del desvanecimiento depende del despejamiento y del tipo de terreno, variando desde un valor mínimo para obstáculo agudo (arista), hasta un máximo para terreno redondeado (esfera lisa).

7.4.2.2 DESVANECIMIENTO POR TRAYECTOS MÚLTIPLES

El desvanecimiento por trayectos múltiples se origina por interferencia entre el rayo directo y los rayos reflejados:

- a) En la superficie terrestre
- b) En capas atmosféricas

El mecanismo b), se debe esencialmente a la existencia de capas troposfericas o regiones en que el gradiente vertical del índice de refracción presenta una variación anormal. Especialmente importantes son los conductos asociados con la presencia de una capa en la que el índice de refracción modificado tiene un gradiente negativo.

Los trayectos múltiples debidos a la atmósfera tienen una influencia que aumenta lentamente con la frecuencia y muy rápidamente con la longitud del circuito. En el caso de reflexión en el suelo, pueden producirse desvanecimientos profundos de larga duración, sobre todo cuando al reflectividad del terreno en alta (terreno llano. Mares, etc.) de ahí la importancia de obstaculizar en lo posible el rayo reflejado.

Este tipo de desvanecimiento es el mas severo de los que se dan en condiciones de cielo despejado e el que determina generalmente las interrupciones de los radioenlaces.

El desvanecimiento de multitrayecto profundo, es selectivo en frecuencias, con un mínimo pronunciado en una frecuencia determinada. Como consecuencia la función de transferencia del medio de propagación no es plano por lo que aparece una distorsión de amplitud y fase en la señal transmitida. El efecto de tal distorsión sobre la recepción depende de la naturaleza del radioenlace pero en todos los casos aumenta rápidamente con la anchura de banda y por lo tanto con la capacidad del radiocanal afectado.

7.4.2.3 EFECTO DEL DESVANECIMIENTO MULTITRAYECTO EN RADIOENLACES DIGITALES

La distorsión ocasionada por el desvanecimiento multitrayecto provoca en los radioenlaces digitales tres tipos de efectos no deseados:

7.4.2.4 EFECTO SOBRE LA INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS

La interferencia entre símbolos aumenta como consecuencia de la dispersión de los impulsos. Esto ocasiona un aumento en la tasa de error superior a la que originaria una atenuación no selectiva de igual valor medio, por lo que contribuye a degradar la calidad del enlace. Como ejemplo típico puede citarse el siguiente tomado del CCIR. En un vano de radioenlace digital de 42.5 km, con desvanecimiento plano, se obtuvo una tasa de error de 10^{-3} para una profundidad de desvanecimiento de 41 decibeles (que se denomina margen de desvanecimiento plano) lo cual coincide bien con la curva

teórica de tasa de error. Sin embargo, en presencia de desvanecimientos selectivos, se alcanza esa tasa de error para profundidades de desvanecimiento de solo 19 dB. El fenómeno de dispersión puede despreciarse para velocidades de bits inferiores a unos 10 Mbits/s, es decir para radioenlaces de baja capacidad. A velocidades superiores a 20 Mbit/s, hay que tener muy en cuenta la distorsión.

El método convencional para calcular las interrupciones se basa en el concepto de los desvanecimientos planos y no puede por tanto utilizarse para los sistemas de radioenlaces digitales de alta velocidad. Un aumento en el margen de desvanecimiento plano . que en sistemas analógicos tendera a reducir el ruido térmico, no puede, en sistemas digitales, mejorar la calidad, si como consecuencia del desvanecimiento por trayectos múltiples, la amplitud del diagrama en ojo ha caído ya a cero. Por consiguiente, para lograr que los sistemas de radioenlaces digitales satisfagan las exigencias relativas a las interrupciones, no puede recurrirse a un aumento de la potencia del transmisor, sino que ha de hacerse uso de las técnicas de **diversidad y ecualización**.

La explotación simultánea de ambas técnicas, proporciona una mejora superior al producto de las mejoras que brinda cada una de por separado, lo que constituye un efecto sinérgico muy importante.

7.4.2.5 EFECTOS DE RECUPERACIÓN DE LA POTENCIA

En los sistemas que emplean la demodulación coherente, la reconstrucción de la portadora de referencia en el receptor es uno de los aspectos mas decisivos de la realización. En la practica nunca puede recuperarse exactamente la portadora y habrá siempre un error de fase de la portadora, cuyo efecto consiste en rotar la constelación de señales en relación con su posición optima para la demodulación. En ausencia de propagación por trayectos múltiples, ese efecto no es importante, pero las distorsiones de

la señal producidas por la propagación por trayectos múltiples pueden provocar una degradación. El efecto puede reducirse mediante **ecualización adaptativa**

7.4.2.6 EFECTOS DE RECUPERACIÓN DE LA TEMPORIZACION

La señal recibida debe muestrearse a la velocidad de símbolos se desea recuperar los símbolos individuales que se transmitieron.

La mayoría de los esquemas de recuperación de la temporización funcionan según el principio de maximizar la energía de la señal en el instante de muestreo. Esto equivale a muestrear en la cresta del impulso recibido para el caso de ausencia de interferencia entre símbolos.

En presencia de desvanecimiento selectivo y por ende de esta interferencia, tal punto puede no ser óptimo, procediéndose al muestreo en puntos donde el ojo no está en las mejores condiciones, lo cual afectará también a la tasa de bits erróneos.

7.4.2.7 ATENUACIÓN DEBIDA A GASES, VAPORES Y LLUVIA

La atenuación debido a los gases, debe tenerse en cuenta para frecuencias superiores a unos 10 GHz. Su valor, para un trayecto de longitud d (km) viene dado por :

$$L_a = Y_a \cdot d \quad \text{EC 7. 14}$$

donde Y_a es la atenuación específica en dB/km

La atenuación debida a la lluvia es casi despreciable por debajo de la frecuencia entre 8 y 20 GHz. Debido a las dimensiones limitadas de las zonas lluviosas, la atenuación no es proporcional a la longitud total del trayecto, sino a una longitud efectiva

deff que se calcula multiplicando la longitud por un factor de reducción r. Una estimación de r es:

$$\text{radio de reducción} = r = \frac{90}{90 + 4d} \quad \text{EC. 7.15}$$

La atenuación por lluvia excedida durante el 0.01% del tiempo viene dada por :

$$L_{0.01} = YR \cdot d \cdot r \quad \text{EC. 7.16}$$

donde YR es la atenuación específica que depende del índice de precipitación excedido el 0.01% del tiempo, de la frecuencia y la polarización de la onda.

La lluvia puede además provocar una reducción en la discriminación de polarización cruzada, lo cual se traduce en un aumento de la interferencia cocanal en sistemas que utilizan una frecuencia con doble polarización.

7.4.3 INTERFERENCIAS EN RADIOENLACES DIGITALES

En un sistema de radioenlace digital , las interferencias pueden ser externas e internas. Las primeras se deben a fuentes exteriores y las segundas son consecuencia del filtrado y distorsión. Las fuentes de interferencia son del tipo de nivel de cresta limitado, en el sentido de que la distribución estadística de la amplitud truncada, y en general presentan un nivel insuficiente (incluso consideradas globalmente) para introducir errores en los circuitos de decisión (es decir, las crestas de interferencia , a diferencia de las crestas de ruido, no cierran el diagrama de ojo.). En consecuencia, la interferencia como tal no suele producir errores, si bien aumenta la probabilidad de que el ruido térmico origine errores, debido al cierre parcial de la abertura del diagrama en ojo. Así pues, a grandes rasgos , las interferencias producen un desplazamiento a la derecha

de las curvas de calidad de la fig. 7.24 . esto implica que para la misma potencia de señal (w fijo) aumenta la probabilidad de error, o para una P_{eb} determinada, se requiera mas potencia de señal, o se reduzca el margen de desvanecimiento , es decir se traslada hacia la izquierda la zona BC de pendiente critica de la fig. 7.25.

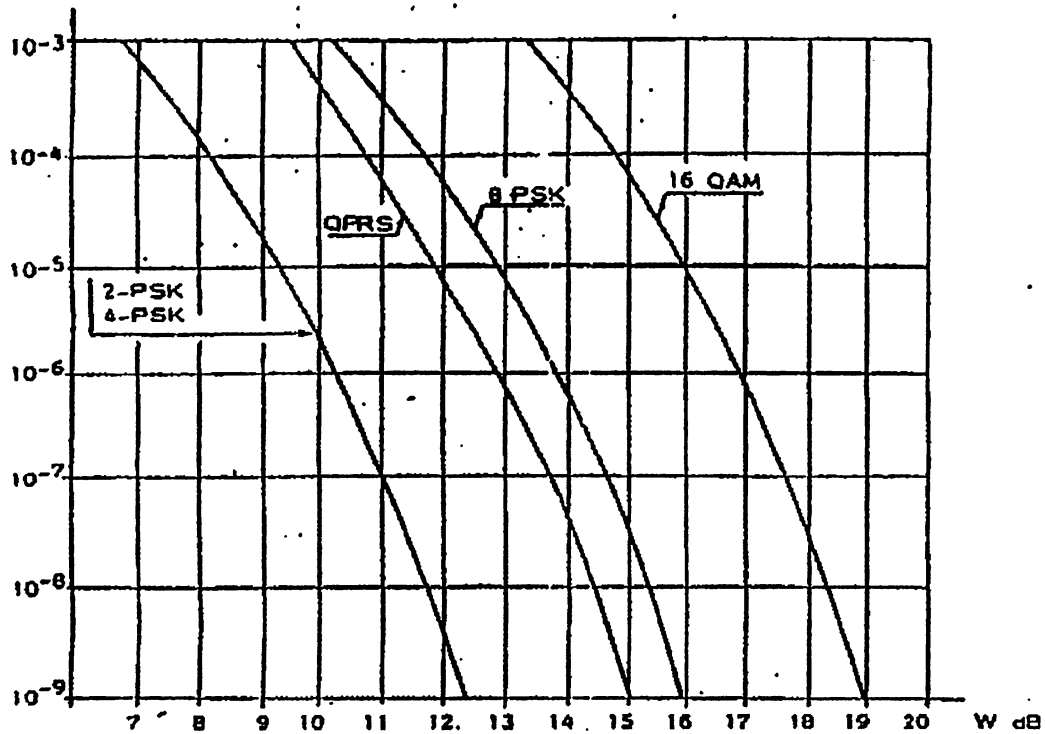


fig.7.24 CURVAS DE CALIDAD

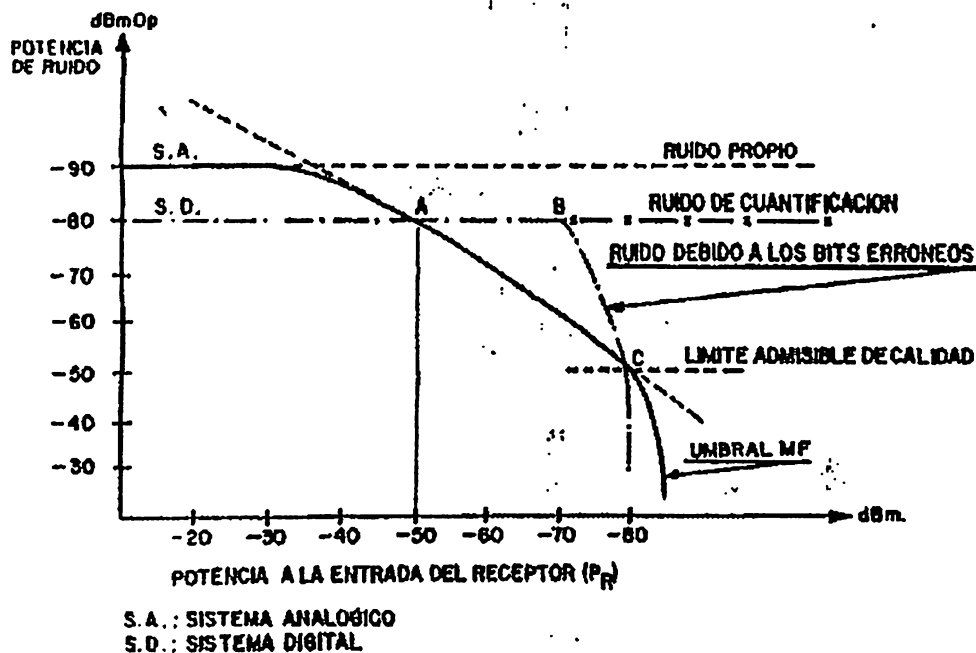


fig. 7.25 PENDIENTE CRITICA

7.4.3.1 INTERNAS

7.4.3.1.1 INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS

La interferencia entre símbolos se produce cuando en el momento del muestreo la señal es afectada por residuos de símbolos anteriores y siguientes. La interferencia entre símbolos se debe principalmente a la distorsión de la forma de onda ya sea por propagación multitrayecto (desvanecimiento selectivo) o por los filtros de limitación de banda del canal de transmisión. En un sistema de transmisión digital, la anchura de banda se limita deliberadamente al valor necesario para transmitir únicamente la información contenida en la señal. En general, esta anchura de banda es mucho menor que la requerida para transmitir la forma de onda de la señal, y, por consiguiente, es inevitable la distorsión de esta. Al proyectar un canal de transmisión, debe fijarse como objetivo la reducción al mínimo de la interferencia entre símbolos anteriormente señalada, dentro de las limitaciones impuestas por las consideraciones de la separación entre canales y la interferencia procedente de los canales adyacentes

7.4.3.1.2 COMPENSACIÓN DE LA INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS

Los efectos de la interferencia entre símbolos han conducido a investigar la posibilidad de incorporar cierta forma de ecualización del receptor en el canal radioeléctrico, controlada adaptativamente para seguir las variaciones de las características de transmisión, a medida que se alteran las condiciones de propagación. Las técnicas de ecualización empleadas pueden clasificarse en dos grupos, dependiendo de si su modo de funcionamiento se describe más naturalmente en el dominio de la frecuencia o en el dominio de el tiempo.

A) ECUALIZACIÓN EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

Este tipo de ecualizador comprende una o más redes lineales que están diseñadas para producir respuestas de amplitud y de retardo de grupo que compensen las degradaciones de transmisión que se considera que provocarían más probablemente una degradación de la calidad de funcionamiento del sistema durante periodos de desvanecimientos por propagación multitrayecto. Se han propuesto diversas estructuras, siguiendo los modelos alternativos del canal de propagación por trayectos de fase del canal.

B) ECUALIZACIÓN EN EL DOMINIO DE EL TIEMPO

Para los sistemas digitales, el procesamiento de la señal en el dominio del tiempo puede considerarse la técnica de ecualización más natural, puesto que trata de combatir directamente la interferencia entre símbolos. Se obtiene la información de control correlacionando la interferencia que aparece en el instante de decisión con los diversos símbolos adyacentes que la producen, y se utiliza para ajustar las redes de línea de

retardo con tomas a fin de proporcionar señales de corrección apropiadas. Este tipo de ecualizador tiene la capacidad de tratar simultánea e independientemente las distorsiones producidas por las desviaciones de amplitud y de retardo de grupo en el canal con desvanecimiento proporcionando así la compensación conveniente.

La fig. 7.26 representa el esquema de principio del igualador y la fig. 7.27, la mejora medida de la interferencia entre símbolos en un sistema de cuatro fases con elevada degradación debida a este tipo de interferencia . como puede verse, la mejora de la degradación de la relación portadora/ruido es superior a 2dB

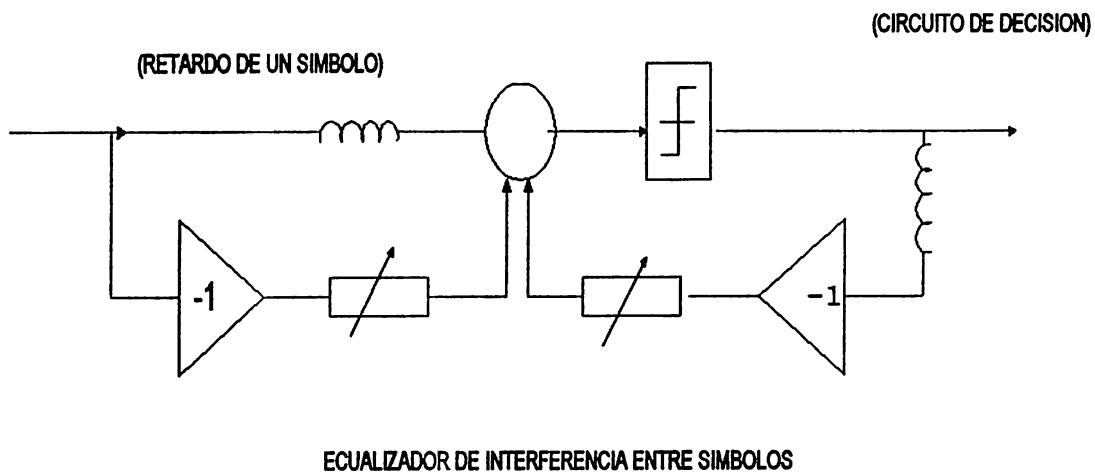


FIG 7.26 PRINCIPIO DEL IGUALADOR

PROPORCION DE ERRORES

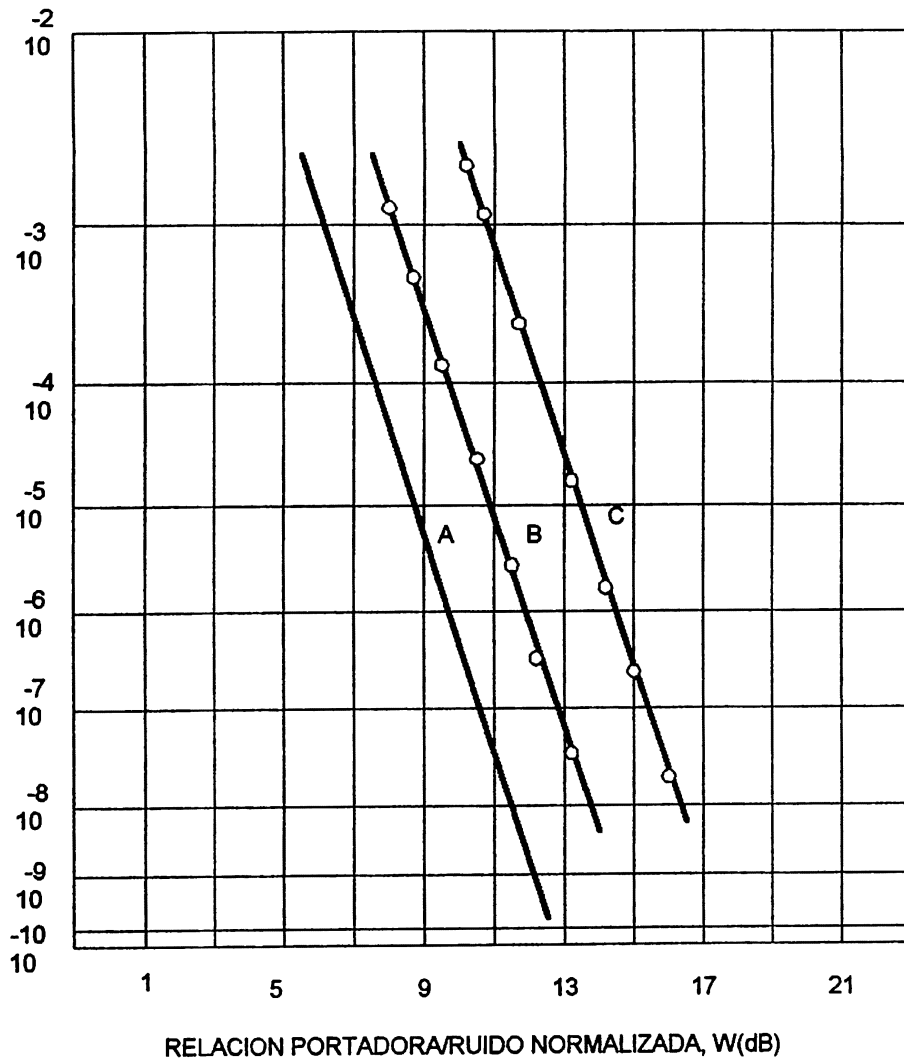


fig. 7.27 Proporción de errores de un repetidor experimental MDP de cuatro niveles a 400 Mbits en la banda de 20 GHz

- A: valor teórico sin limitación de banda
- B: medido con ecualizador
- C: medido sin ecualizador

En este caso, la interferencia procedente de los símbolos antes del instante de decisión actual es anulada por el ecualizador de realimentación de decisión, mientras que la compensación para la interferencia asociada con los símbolos subsiguientes (interferencia precursora) es proporcionada por la sección del ecualizador transversal lineal.

7.4.3.2 EXTERNAS

INTERFERENCIAS EXTERNAS

Puede calcularse la magnitud exacta de la degradación de la proporción de errores en presencia de interferencia, cuando se conoce la distribución estadística de la amplitud de la señal interferente recibida. El cálculo, aunque abordable, es muy laborioso. Un cálculo aproximado, aunque pesimista, se basa en considerar a la señal interferente como un ruido gaussiano que se suma en potencia con el ruido térmico se tendrá:

$$P_{eb} = \frac{1}{2} \operatorname{Erfc} \left(\frac{C}{N+I} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{Erfc} \left(\frac{1}{\frac{N}{C} + \frac{I}{C}} \right) \quad \text{EC 7.17}$$

Donde C/I es la relación portadora interferencia, a la entrada del receptor interferido. En la práctica, se suelen utilizar curvas obtenidas mediante mediciones o simulaciones por computadora que dan el incremento de W necesario para mantener la probabilidad de error P_{eb} dada en presencia de interferencia, en función de la relación portadora/interferencia

En la fig. 7.28, se representa un ejemplo de estas curvas para $r_{eb} = 10$ a la 6 y modulaciones de fase

$$Pe^{-6} = 10$$

INCREMENTO DE LA C/N

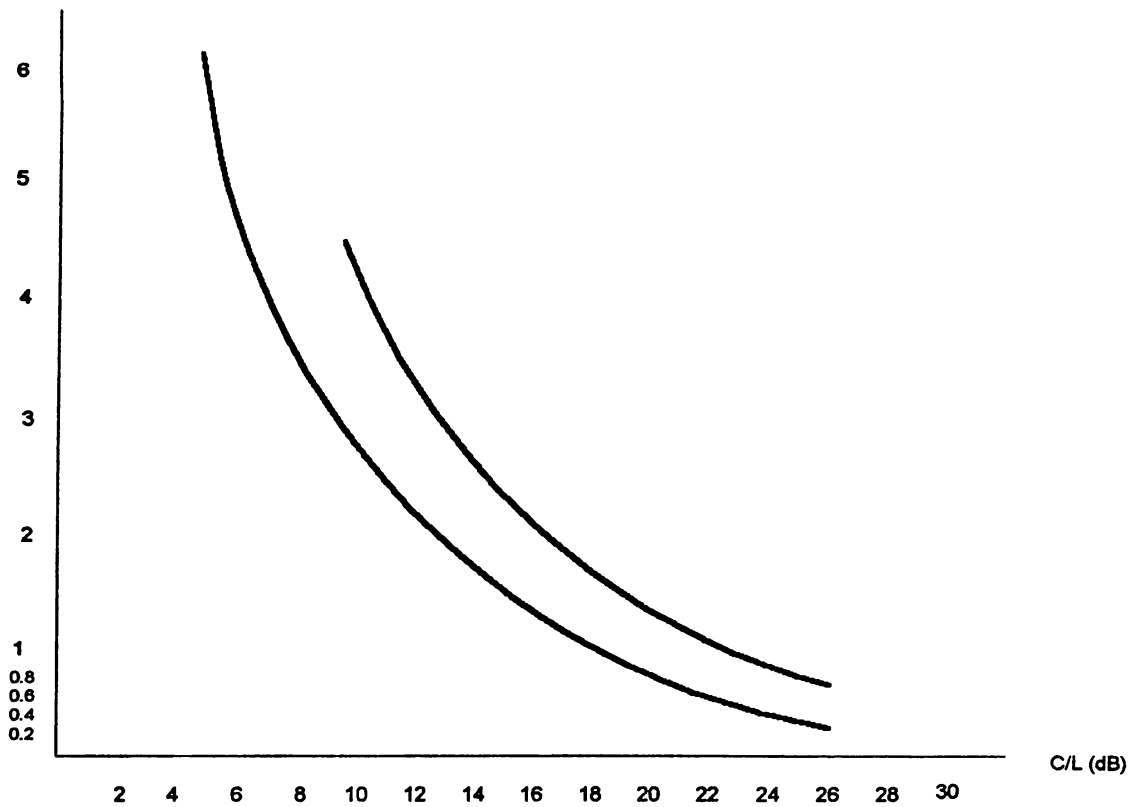


fig.7.28 CURVAS DE C/I vs C/N

Se observa que el incremento de la W es moderado para relaciones C/I tan pequeñas como 10 dB, lo cual pone en manifiesto la excelente robustez de los radioenlaces digitales frente a interferencias externas.

7.4.3.3 CONTROL DE LAS INTERFERENCIAS

Las interferencias en el mismo canal por sobrealcance dentro de un mismo sistema o entre redes diferentes, pueden reducirse eligiendo convenientemente el emplazamiento de las antenas y procurando que sus lóbulos laterales y posteriores de radiación sean

reducidos. Por ejemplo para mantener la interferencia en el mismo canal dentro de un nivel admisible, la discriminación mínima de los lóbulos anterior-posterior de la antena debe ser 65 dB en cada sentido. También pueden reducirse las interferencias mediante intercalación de las frecuencias en la sección afectada, lo que equivale a dosificar en el mismo sentido todas las portadoras en un valor igual a la mitad de la diferencia de frecuencia con el canal adyacente.

Para reducir la interferencia en canales adyacentes a valores admisibles hay que considerar varios factores como la separación espectral adecuada de estos canales, asegurar buena selectividad en RF y FI de los receptores y mejorarla por diferencia de polarización entre canales adyacentes.

Existen normas para reducir interferencias proveniente de sistemas exteriores como los del servicio fijo por satélite, radar, etc. Basadas en limitar la densidad de flujo de potencia producida por dichos sistemas.

CONCLUSIONES

Las técnicas de modulación son métodos de transformar la señal de voz o datos para que sea fácil de transportar de un lugar a otro con un riesgo menor de perder la señal, la que presenta mayor ventaja y la utilizada hoy en día es la técnica PSK ó QPSK .

Las técnicas de conmutación son las diferentes formas de como la señal de voz y datos viaja y conmuta a través de toda la red de telecomunicaciones siendo el mas adecuado para la comunicación avionica el modo datagrama

Las técnicas de múltiple acceso fue ideado para aprovechar al máximo el ancho de banda, ya que diferentes señales de diferentes estaciones terrenas viajan y son accesada en el transponder de diferentes formas: AMDF, AMDT, AMDC, el mas

utilizado es el acceso múltiple por división en el tiempo en donde el acceso de la señal de las estaciones terrenas se hace a través de intervalos de tiempo.

Se dan diferentes problemas que afectan la señal de datos o voz cuando esta viaja a través del espacio libre hacia el satélite, los cuales disminuyen en gran medida la potencia de dicha señal teniendo el satélite, que tener buenos receptores.

CAPITULO 8

SERVICIOS

8.1. SERVICIOS

INTRODUCCION El aniversario número treinta de la primera publicación de sistemas de comunicación por satélite fue celebrado en 1992. Muy pocos de los que observaron las primeras imágenes de televisión transmitidas por satélite de los Estados Unidos a Europa, pudieron haber predecido la extensión de esta tecnología. Hoy en día, las imágenes de cualquier parte del mundo pueden ser vistas en nuestros hogares y las llamadas telefónicas de un lado del mundo al otro, son escuchadas tan claras, como si estuvieran dentro de la misma ciudad..

Mucha de la tecnología usada en la comunicación por satélite esta basada en las investigaciones efectuadas por la NASA, con el programa ATS, (Aplicaciones de Tecnología Satélital). Uno de los más importantes resultados de este programa fue demostrar que el retraso sufrido en las comunicaciones por satélite ubicados en órbita geoestacionaria, no podría afectar seriamente las comunicaciones telefónicas bidireccionales.

A medida los servicios fijos por satélite fueron desarrollándose, existió la necesidad de crear un nuevo tipo de organización internacional que se encargara de las comunicaciones satelitales mundiales y al finalizar los acuerdos necesarios, en 1973 se estableció INTELSAT.

Simultáneamente con el establecimiento de INTELSAT, la Organización Marítima Internacional (IMO), ahora conocida como Organización Marítima intergubernamental de consultoría, convocó una asamblea para decidir los principios del uso de satélites y mejorar las comunicaciones marítimas. Esto originó la creación de INMARSAT en 1976, institución que

tomó más fuerza el 16 de julio de 1979, cuando se inició el primer servicio de comunicación móvil por satélite.

INMARSAT, oficialmente empezó a operar en febrero de 1982, inicialmente usando tres satélites de Comsat General y luego dos más de European Space. Debido al incremento del tráfico, INMARSAT, lanzó una segunda generación de satélites, el primero de los cuales fue lanzado a finales de 1990.

En 1985, INMARSAT fue asignada para que cubriera el servicio aeronáutico y en 1989 para que cubriera los servicios móviles terrestres. Así que INMARSAT, es la única organización que provee servicios de comunicación móviles por satélite en todos los modos de transporte por aire, tierra y océano.

OBJETIVO Conocer los servicios soportados en un sistema de comunicación por satélite definiendo las principales aplicaciones en los sistemas móviles con las herramientas de banda de frecuencia , atributos y características de transmisión de los diferentes servicios según las categorías de INMARSAT.. También definir los requerimientos mínimos de calidad necesaria establecidos por las recomendaciones del CCITT en cuantos a la transmisión de datos se refiere.

8.2. SERVICIOS SOPORTADOS

Los sistemas por satélite pueden proveer una gama de servicios interactivos y distribuidos, que acorde a la ITU (el sucesor del CCIR), son divididos en tres categorías:

8.2.1 SERVICIOS FIJOS

Para comunicaciones entre estaciones terrenas en posiciones fijas. Transmisiones de vídeo y sonido son incluidas, primeramente en aplicaciones punto a punto, siendo extendido este servicio (algunas veces) a aplicaciones de radiodifusión.

8.2.2. SERVICIOS DE RADIODIFUSION

Comprendido por la recepción directa de vídeo y sonido que es transmitido para un público general

8.2.3. SERVICIOS MOVILES POR SATELITE

Incluye comunicaciones entre estaciones terrenas móviles y fijas, o entre estaciones móviles.

Este es el servicio que se estudiará en esta sección, pues SATCOM pertenece a esta categoría. Los servicios son la comunicación de datos y voz hacia y desde el A/C. Las posibles aplicaciones de estos servicios incluye la comunicación para los pasajeros (correspondencia pública), operaciones de comunicación para la aerolínea y el control de tráfico.

Las categorías de servicios mencionadas, han sido designadas para los sistemas por satélite, geoestacionario y los futuros de órbita baja.

8.2.3.1 SERVICIOS EN EL OCEANO

El propósito primario de INMARSAT, es proveer asistencia en el mejoramiento de las comunicaciones en desastres y seguridad de las vidas... la eficiencia y el control de las naves. Extendiéndose también a servicios de correspondencia pública para los pasajeros.

El corazón de los servicios de comunicación marítimos por INMARSAT, es proveído por INMARSAT- A. Esta categoría, originalmente ofreció solamente los servicios básicos de transmisión de voz y telex, más sin embargo hoy en día han sido extendidos para proveer servicios de alta velocidad (54/64 Kb/s) y facsímil.(con el sucesor INMARSAT -B)

El 90% del tráfico marítimo es atendido por INMARSAT, siendo la mayoría comunicaciones por teléfono, por lo que la tecnología de sistemas multicanal ha sido instalada en muchas naves. La primera terminal de cuatro canales empezó a dar servicio en abril de 1988.

INMARSAT -C, con un costo inferior a tres veces el de INMARSAT -A, y sin los complicados mecanismos de control de antena, rápidamente se ha convertido en el favorito para naves pequeñas, permitiéndoles transmisiones a 600 b/s.

8.2.3.2 SERVICIOS EN LA TIERRA

El desarrollo de terminales para INMARSAT -C, a bajo costo y pequeño tamaño, ha proveído un nuevo mercado de comunicaciones terrestres, orientada a nivel de los

negocios. Muchas de estas terminales han sido instaladas en camiones que viajan largas distancias, permitiendo una comunicación bidireccional.

En conjunto con equipo básico de navegación, ha sido posible precisar del servicio de Localización.

8.2.3.3 SERVICIOS EN EL AIRE.

Siendo esta la aplicación de nuestro de trabajo de graduación. Por más de 25 años, las comunicaciones aeronáuticas por satélite han sido objeto de estudio, análisis, pruebas y demostraciones. En 1964 fue demostrado que las comunicaciones por satélite podían ser usadas para transmitir de y hacia un avión en vuelo de crucero. Ahora, 28 años más tarde, las comunicaciones aeronáuticas por satélite permiten los servicios de transmisión de voz y datos , hacia y desde todo el globo terráqueo.

El servicio más obvio es la accesibilidad de la comunicación telefónica terrestre, un servicio que inicialmente sólo era posible para ciertas regiones de Norteamérica.

Al presente, las llamadas tierra - aire son limitadas, esto no es debido a limitaciones técnicas, sino a problemas de identificación del avión específico en el cual el pasajero llamado está volando y una vez éste ha sido localizado, se debe encontrar al pasajero entre toda la tripulación.

8.3. INFORMACION TECNICA DE LOS SERVICIOS MOVILES POR SATELITE

En la tabla 8.1 se muestran las bandas de frecuencias asignadas para los diferentes enlaces que se dan entre el satélite y el móvil (banda L).

BANDA ENLACE	DE FRECUENCIA DESCENDENTE MHz	BANDA ENLACE	DE FRECUENCIA ASCENDENTE MHz	TIPO DE SERVICIO
	1530 -1533		1631.5 -1634.5	Servicios Marítimos y terrestres
	1533 -1544		1634.5 -1645.5	Servicios Marítimos y terrestres
	1544 -1545		1645.5 -1646.5	Servicios para emergencia y desastres
	1545 -1555		1646.5 -1656.5	Servicio Aeronáutico para reglas de aeronavegabilidad y correspondencia pública.
	1555 -1559		1656.5 -1660.5	Servicios Terrestres Servicios Aereos y Marítimos pueden ser usados en conjunto.

Tabla 8.1 *Bandas de frecuencias para los diferentes servicios*

En la tabla 8.2 se muestra un sumario de los atributos de los sistemas móviles por satélite, que ofrecen servicios de voz y datos.

SISTEMA MOVIL POR SATELITE	ORGANIZACION	CATEGORIA DEL SERVICIO	AREA DE COVERTURA	TERMINALES	FECHA DE INICIO SERVICIO
INMARSAT -A	INMARSAT	Telefonía móvil Datos <i>switch</i> eo por circuito Datos para almacenamiento	Global	Marítimos	1976
INMARSAT AERONAUTICO	INMARSAT	Telefonía móvil Datos <i>switch</i> eo por circuito Paquetes interactivos de datos Datos para almacenamiento	Global	Aviones	1990
INMARSAT -M	INMARSAT	Telefonía móvil Datos <i>switch</i> eo por circuito	Global	Marítimos Terrenales	1993
INMARSAT -B	INMARSAT	Telefonía móvil Datos <i>switch</i> eo por circuito Datos para almacenamiento	Global	Todos	1993
MOBILESAT	AUSSAT Pty ltd	Telefonía móvil Datos <i>switch</i> eo por circuito Datos para almacenamiento	Australia	Todos	1993
MSAT	AMS	Telefonía móvil Radio Móvil Datos <i>switch</i> eo por circuito Paquetes interactivos de datos Datos para almacenamiento	USA	Todos	1994

Tabla 8.2. Atributos de los servicios móviles por satélite

En la tabla 8.3 se muestra un sumario de las características de transmisión en los servicios móviles por satélite:

SISTEMA MOVIL POR SATELITE	VELOCIDAD Kb/s	VELOCIDAD CON PROTECCION DE ERROR(Kbs)	MODULACION	ANCHO DE BANDA MHZ
INMARSAT -A	N/A	N/A	FM	50
INMARSAT AERONAUTICO	9.6	19.2	QPSK	17.5
INMARSAT -M	4.2	8.4	QPSK	10
INMARSAT -B	16	21.33	QPSK	20
MOBILESAT	4.2	6.4	PI/4 QPSK	7.5
MSAT	4.2	6.4	PI/4 QPSK	7.5

Tabla 8.3. Características de transmisión de los diferentes servicios

8.4. CATEGORIAS DE SERVICIOS SEGUN INMARSAT

8.4.1 INMARASAT -A

Este sistema fue el primero. Sus terminales eran grandes y caras, con la típica antena de un metro de Diámetro en el plato paraboloíde.

Cuando INMARSAT -A fue diseñado, la eficiencia espectral no fue considerada. Como resultado el espacio entre canales es de 50 Khz y el ancho de banda para señales de voz es de 30 Khz.

Este sistema está basado en tecnologías análogas, en contraste con los tres nuevos métodos de transmisión digital para la voz y datos que INMARSAT ha puesto en práctica: INMARSAT Aeronáutico, INMARSAT -M e INMARSAT -B.

INMARSAT-A, se desarrolló para dar servicio al área marítima, proporcionando los servicios de telefonía de alta calidad, fax, telex y comunicación de datos. Las primeras estaciones de este sistema transmitían a 9.6 Kbps, mientras las terminales nuevas transmiten a 56Kbps.

8.4.2. INMARSAT -AERONAUTICO

El cual fue diseñado por la Asociación Internacional de Aviación Civil y por el Comité de ingenieros electrónicos de líneas aéreas.

El propósito de este sistema es proveer servicios de comunicación aeronáuticos, incluyendo servicios básicos de tráfico aéreo, control operacional de tráfico y llamadas telefónicas.

El sistema INMARSAT Aeronáutico es el único sistema móvil por satélite que ha sido diseñado con una completa compatibilidad de los estándares OSI.

Este sistema es el que se ha tomado de referencia y base para el diseño de los modelos básicos del presente trabajo de graduación , considerando que el sistema SATCOM, solamente brinda los servicios de comunicación de datos y voz (el resto de servicios, no son propósito de estudio es en este documento.)

En 1994, Lufthansa, Swissair, Air Canada, Brithis Airways, United Airlines y KLM comenzaron con las aplicaciones básicas de los servicios de INMARSAT-AERO.

8.4.3. INMARSAT -M y -B

Estos sistemas fueron diseñados en paralelo y comparten una misma señalización en los protocolos. El sistema -M ofrece , bajo costo, terminales no muy pesadas, transmisión de voz, datos a baja velocidad y servicios de facsímil. El sistema -B, ha sido el sucesor de INMARSAT -A, permitiendo servicios de comunicación de alta velocidad. Los requerimientos para el movimiento de la antena de los sistemas A y B es idéntico, con una ganancia típica de 20 dBi.

Las terminales de INMARSAT-B, son la versión digital de las de INMARSAT-A, razón por la que necesitan menos ancho de banda, son más pequeñas y poderosas, desempeñando las mismas funciones de las terminales de INMARSAT-A. Se han creado las versiones de tierra y océano.

Las terminales INMARSAT-M, son más recientes que las familias A y B. Proveen menor calidad de en la transmisión de la voz, e igual calidad en los servicios de fax y datos a bajas velocidades. La calidad de la voz es similar al servicio telefónico celular.

8.4.4. INMARSAT-C

Las terminales de INMARSAT-C, son capaces de enviar datos a cualquier lugar en el mundo sin necesidad de un radioenlace metálico. Este servicio se introdujo en 1991, operando a 600 bps. La aplicación más común de estos sistemas es el seguimiento y monitoreo de flotas de barcos y camiones.

8.5. CONCLUSIONES

Como se estudió en la sección de la estación móvil, el sistema de comunicación SATCOM, puede operar en cuatro categorías, dependiendo del tipo de antena que posea, característica que también restringe el tipo de servicio que es capaz de procesar. En la transmisión en modo circuito, el servicio de llamadas telefónicas es brindado, debiéndose cumplir con los siguientes objetivos de calidad, que son nominales para las comunicaciones aeronáuticas:

- Calidad de la transmisión de voz. En el enlace del satélite y codificación de la voz, no se debe de incorporar más de 5 QDU de degradación en el sistema. (CCITT, recomendación G.113 Voll III.1). Debiéndose tener un BER de 10^{-3} .

- Bloqueo. La red deberá dimensionarse de forma tal que la probabilidad que no exista un canal libre dispuesto para cualquier llamada, sea menor que 1 en 50 intentos en las horas pico del día.

Las llamadas telefónicas Aire_Tierra, pueden ser ejecutadas por los pasajeros o por la tripulación, con varios tipos de servicios, que se listan a continuación:

- Telefonía para los pasajeros**
- Telefonía para la tripulación**
- Control de tráfico aéreo, para la tripulación.**

Las llamadas telefónicas de los pasajeros, pueden ser cobradas en diferentes formas, de acuerdo a la opción del operador de la aeronave, pero típicamente las llamadas son cargadas a la tarjeta de crédito del pasajero que ejecuta la llamada, de acuerdo con las recomendaciones CCITT E.118.

Las llamadas telefónicas de la tripulación pueden ser atendidas de forma que tengan acceso a servicios y redes especiales, acorde los requerimientos y procedimientos desarrollados por la industria. Estos servicios especiales pueden incluir :

- Acceso completo a la red telefónica pública (como a todo pasajero), sin necesidad de tarjeta de crédito.

- Acceso a servicios de voz especializados, vía redes privadas, con o sin direccionamiento, para comunicación con las torres controladoras de tráfico aéreo.

- Capacidad para bloquear una llamada (de un pasajero) si es necesario.

Un factor muy importante a considerar en la calidad del servicio, es el tráfico, y el número de llamadas simultáneas que se pueden ejecutar, que obviamente son limitadas por el equipo con que cuenta la aeronave (unidades para asignación de canales). Típicamente, los aviones son equipados para poder efectuar 8 llamadas (extendiéndose a 24) simultáneamente.

Los procedimientos y algoritmos que se siguen para la prestación de estos servicios, se estudiarán con mayor detalle, en las últimas secciones de este documento, donde se tratan los modelos básicos para estas operaciones.

CAPITULO 9

SIMULACION

INTRODUCCIÓN: El termino simulación ha sido usado para dar ha entender numerosos conceptos. Usualmente este se refiere a la realización de una representación de amplia complejidad. Por ejemplo los ingenieros construyen simulaciones de sistemas físicos tales como un barco fluyendo en el agua . Los pilotos de avión son entrenados en simuladores de vuelo los cuales son dispositivos físicos que crean una situación en la cual el piloto debe responder y le permiten al piloto aprender como controlar el avión en situaciones casi reales. Todos los sistemas de simulación usan un modelo para representar el comportamiento de un sistema que puede o no existir . El modelo podrá ser físico como en el caso del simulador de vuelo o este puede ser representado como un programa de computadora, como en el caso de simulación de redes de computadoras.

La simulación es una realización alternativa que aproxima el sistema, y en todos los casos el propósito de simulación es analizar y entender el comportamiento del sistema bajo varias acciones alternativas o decisiones.

Una simulación en su forma más simple no es más que un muestreo de un experimento que es ejecutado usando un modelo. El muestreo es hecho continuamente a base a tiempo, en otros como redes de computadoras el muestreo es hecho solamente en ciertos eventos en el tiempo.

OBJETIVO: conocer de forma clara lo que es la simulación de modelos y la facilidad que presenta este para analizarlos y tomar decisiones de los diversos sistemas (en nuestro caso el sistema de comunicación satelital aplicado a la aviación) para ser aplicados a nuestro modelo y se vea de una forma mas clara los conceptos cubiertos por el .

9.1 SISTEMAS Y MODELOS

Un sistema es un conjunto de componentes o entidades interactuando. Generalmente, los componentes trabajan juntos para lograr un objetivo. Sistemas típicos y comúnmente encontrados son sistemas de telecomunicaciones como la red telefónica, sistema de justicia criminal, etc.. Estos sistemas son complicados y complejos y será difícil y costoso experimentar directamente con estos.

Un modelo es una representación abstracta y simplificada de un sistema. El modelo representa el elemento más importante de un sistema y la manera en que interactúan. Un modelo escolástico es un modelo el cual su comportamiento no puede predecirse con precisión, este está sujeto a acceso aleatorio. La mayoría de modelos que son analizados son escolásticos. La descripción de estos modelos incluyen la probabilidad de distribución para los valores de las variables que no pueden conocerse con precisión. Por ejemplo en un sistema de comunicación por computadora, el número de paquetes que serán transmitidos y cuando estos serán transmitidos son aleatorios, aquí el modelo deberá describir la estructura probabilística de estos procesos.

9.2 QUE TIPOS DE SISTEMAS PUEDEN SER SIMULADOS

La simulación ha sido usada para analizar muchos sistemas. Para evaluar la ejecución de un sistema de manufactura, la simulación ha llegado a ser una metodología dominante, y herramientas especiales de modelado, softwares de simulación han sido diseñados para la aplicación de estos sistemas. La simulación es una metodología que no es específica para una área de aplicación, pero puede aplicarse a cualquier sistema que pueda ser modelado usando los conceptos de modelado.

9.3 IMPLEMENTANDO Y EVALUANDO DECISIONES

Todos los sistemas tienen parámetros que definirán las características cualitativas y cuantitativas del mismo. Estos parámetros definen, por ejemplo el número de líneas telefónicas truncadas, la razón de llamadas llegando, promedio de llamadas con tono de ocupado y el promedio de llamadas en espera. Se pueden clasificar los parámetros en dos clases: Parámetros de entrada y parámetros de salida. El número de líneas truncadas y el promedio de llamadas que arriban los cuales son ejemplos de parámetros de entrada, deben ser especificadas de manera de proveer suficiente información para que el programa de simulación pueda trabajar.

Las decisiones deben representarse por los valores de los parámetros de entrada. Los parámetros de salida son valores que son determinados por el sistema y usualmente son usados para especificar la ejecución del sistema. Por ejemplo el número medio de líneas ocupadas nos dice de que manera estará el sistema ocupado. Otro parámetro de salida es el promedio de llamadas en espera en el sistema. Todos estos parámetros de salida nos dicen que tan bien está operando el sistema, y aquí obtenemos las respuestas que estamos buscando a partir del modelo. Cuando la simulación está en proceso, esta producirá datos que podrán ser utilizados para estimar los valores de salida de los parámetros.

9.4 SIMULACION VRS. OTRAS ALTERNATIVAS

Una alternativa aparte de la simulación es usar la teoría probabilística para poder computar los parámetros de salida. Ambos métodos son válidos para poder analizar el comportamiento de los sistemas, pero hay diferencias importantes y fundamentales entre ellos. Matemáticamente el análisis está limitado a un pequeño número de sistemas relativamente simples, sin embargo la simulación puede ser utilizada para analizar

cualquier sistema cuya operación puede ser descrita en términos de un modelo. Cuando la herramienta matemática es usada, los parámetros se podrán computar casi exactos. La simulación de otro punto de vista, requiere que primero colectemos los datos del proceso de simulación, entonces estos serán usados para poder estimar la salida de los parámetros. Entonces, la mejor respuesta que podremos obtener de la simulación es un intervalo confidente que nos da el rango de los valores de los parámetros.

9.5 RAZONES PARA USAR SIMULACION

La simulación es el método de análisis mas frecuentemente usado. Las principales razones son: Primeramente la simulación puede usarse para analizar modelos de complejidad arbitraria. La complejidad del modelo esta limitada solamente por la habilidad de modelador y la metodología de representar la complejidad del sistema, y la capacidad de poder cargar y correr un programa de simulación. El interés primordial del investigador debe de ser experimentar con el modelo de manera de encontrar el diseño que maximise una o mas medidas de la ejecución, o simplemente estudiar el comportamiento del sistema. El proceso del desarrollo del modelo requiere que el sistema sea estudiado y entendido muy bien.

Este estudio frecuentemente no cubre problemas que son desconocidos o que no han sido entendido a cabalidad. Relacionándolo con otras metodologías, la simulación tendrá mas credibilidad a la hora de tomar decisiones. Por ejemplo, una animación, la cual es una representación visual del modelo, podrá ser usado para demostrar que el mismo se aproxima con la ejecución real del sistema. La animación se aproxima mas a lo real que otros métodos de análisis de sistema. Finalmente el mismo método de simulación puede ser usado para analizar un sistema escolástico, sin importar su complejidad.

9.6 PASOS A SEGUIR EN EL ESTUDIO DE LA SIMULACION

9.6.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.

Un planteamiento claro y conciso del problema o la razón para desarrollar el modelo de simulación debe ser planteado primero. El modelador debe saber qué tipo de decisiones se anticipan y qué sistema está envuelto. Estos dos temas dictarán virtualmente cada uno de los aspectos del modelado y el proceso de análisis.

9.6.2 ANALISIS DEL SISTEMA

El modelador deberá conocer y entender la operación del sistema a ser modelado. Si el sistema existe, este podrá envolver un cuidadoso estudio incluyendo la observación de la operación del sistema y conocer la persona que comanda el sistema. En este paso los componentes del sistema y su interacción deben ser identificados y descritos como un preámbulo a la etapa de la construcción del modelo. Todos los parámetros de entrada y variables aleatorias que estarán interactuando deben ser también identificados en esta etapa.

9.6.3 ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE ENTRADA

Cada variable aleatoria en el modelo debe ser examinada, y la forma de su distribución y los parámetros de distribución determinados.

Para nuestro modelo, las variables de entrada serán proporcionados por el usuario, de acuerdo al componente principal con el que se desee trabajar, dediciéndose considerar que existirá un enlace intrínscico entre las variables de cada componente.

Al revisar la Tabla N1, se encontrarán todas las variables, tanto de entrada como de salida, identificándose las de principales entradas como:

Datos de satélite:

Longitud, banda de operación, frecuencia ascendente, frecuencia descendente, tipo de transpondedor, región de cobertura, back off de entrada y salida (sí el usuario trabaja con señales analógicas, para nuestro modelo no serán variables de consideración, pero quedan extensivas en el mismo), densidad de flujo en la saturación, potencia isotrópica radiada efectiva, figura de mérito.

Datos de la señal a transmitir:

Velocidad, modulación, Rool off, FEC, BER.

Datos de la estación terrena:

Localidad, latitud, longitud, diámetro de la antena, ganancia de la antena, temperatura total del sistema, relación de energía por bit a densidad de ruido.

Datos de la unidad móvil

Altura, velocidad de crucero, velocidad de la señal a transmitir, dirección de movimiento, tipo de servicio.

9.6.4 CONSTRUCCION DEL MODELO

Aquí se construye el modelo, decidiendo cuales detalles del sistema se incluirán en el modelo y cuales excluir. El modelo debe de ser una representación simplificada del sistema.

Para nuestro caso incluiremos suficientes detalles para poder proveer una buena aproximación del comportamiento del sistema. Los detalles serán para los eventos radioeléctricos y se excluirán los análisis de tráfico y movilidad.

9.6.5 DISEÑO Y CODIFICACION DEL PROGRAMA DE SIMULACION

Una vez que el modelo ha sido especificado, este debe ser implementado en la forma de un programa de computadora. La naturaleza de este paso dependerá grandemente del software usado para implementar el modelo.

Nuestro modelo ha sido diseñado en Visual Basic y SIMUL-8.

9.6.6 VERIFICACION DEL PROGRAMA DE SIMULACION

Verificación es el proceso de dar seguridad que el programa de simulación es una representación aproximada del modelo. Esto es básicamente un proceso por lotes y línea por línea de código y sintáxis del programa utilizado, lo que puede ser complicado ya que el programa de simulación trata con variables aleatorias cuyos valores no pueden ser predecidos.

9.6.7 ANALISIS DE LOS DATOS DE SALIDA

Usaremos el programa de simulación para estimar uno o mas parámetros de salida en la ejecución del sistema. Antes de que esto pueda hacerse debemos de decidir exactamente que datos serán colectados del programa de simulación y que procesos estadísticos serán usados.

9.6.8 VALIDEZ DEL MODELO

Antes de que el modelo pueda usarse para la toma de decisiones, debemos estar seguros de que este se aproxima al comportamiento del sistema real. Usualmente este paso interactúa en la recolección de datos del sistema real tanto como en la simulación, y comparando los dos para estar seguro de que estos no difieren mucho. Como conclusión de este paso el modelo deberá ser usado como herramienta para evaluar las decisiones concernientes con el sistema.

9.6.9 EXPERIMENTO DEL SISTEMA

El modelo se usará para analizar la decisión relacionada con el sistema, debemos decidir exactamente que es lo que el programa de simulación hará, usando valores de los parámetros y que tanto este programa podrá correr. Esto por supuesto depende de que decisión serán evaluadas.

9.6.10 ELABORANDO RUTINAS DE PRODUCCION

Una vez que el diseño del experimento se ha planteado, la elaboración de la rutina de producción puede ser ejecutado para producir la salida de datos. Es usual guardar los datos de la rutina de producción en archivos, de esta manera las rutinas no serán repetidas si hay un cambio en el proceso usado para analizar los datos.

9.6.11 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS

Aquí es importante computar no solo puntos de estima para poder medir la ejecución, también tenemos que estimar los errores, desde que los datos son estimados de la muestra hasta que se convierten parámetros principales de la variación de las mismas.

9.6.12 IMPLEMENTACION

Si todos los pasos han sido completados, estamos listos para poder usar los resultados para poder determinar cual decisión provee una mejor ejecución. Algunas veces el modelo será usado para poder tomar decisiones de una sola vez, otras veces este es desarrollado para otras decisiones. Cuando este es el caso, el modelo puede ser implementado de tal manera que este pueda ser usado rutinariamente en el futuro.

9.6.13 DOCUMENTACION FINAL

Casi siempre el paso de documentación del proyecto, especialmente el modelo se ve sobre visto. Sin embargo esta debe de ser la parte mas importante del proceso. Aun si mas adelante se usa el modelo sin anticipación, es importante documentar el modelo de tal manera que cualquier aplicación posterior pueda ser efectuada sin tener que volver a recrear el modelo.

9.7 METODOLOGIA DE MODELADO

Ya que el sistema a ser modelado es complejo, dinámico y cambia con el tiempo, técnicas especiales han sido desarrolladas para poder representar su estructura y dinámica. En esta sección se discutirá las características de este modelo, clasificándolos y estudiando algunos de los métodos para representar modelado de sistemas.

9.7.1 MODELADO DE SISTEMAS

El estado del sistema es una colección de variables. La mayor tarea en desarrollar un sistema de simulación es llegar a un modelo que capture el comportamiento del sistema. De esta manera el modelador deberá seleccionar una representación del sistema. En algunos modelos simples el estado del sistema podrá ser una colección de variables. Modelos más realistas, sin embargo, necesitan una representación más rica para el estado del sistema, de tal manera que se capture la complejidad del modelo. La mayoría de modelos usan atributos de entidades. Por ejemplo en un hospital la entidad podrán ser los pacientes, los doctores, enfermeras, operadores de cuartos, equipo rayos X. Las entidades tienen atributos los cuales son puntos de información de las entidades. Un paciente pueden tener los atributos de edad, sexo, un tipo de enfermedad. Los atributos son usados para determinar como las entidades interactúan cuando el modelo del sistema se esta operando. Un set es una colección de entidades, usualmente entidades esperando por algún recurso de tal manera que el progreso a través del sistema pueda continuar. Por ejemplo un hospital podrá tener una cantidad de pacientes esperando para cirugía, cierta cantidad de pacientes esperando tratamiento en la sala de emergencia y una cantidad de paciente ocupando un cuarto. El estado del sistema incluye todas las entidades presentes, los valores de todos sus atributos, y otras variables que podrán definirse.

Para nuestro caso, en un sistema de comunicación móvil por satélite, las identidades son la estación terrena, el satélite y la unidad móvil, teniendo cada uno, sus respectivos atributos principales, unos como variables conocidas a la entrada del mismo y otros como datos por conocer, según la interacción con el sistema.

9.7.1.1 SISTEMAS CONTINUOS, DISCRETOS Y SISTEMAS COMBINADOS.

El modelador tiene dos opciones acerca de en que tiempo será presentado el modelo, como una variable continua o como una variable discreta. Algunos modelos tratan el tiempo como una variable continua y expresan los cambios del sistema en términos de un set de ecuaciones diferenciales que involucran el estado de las variables del sistema. En este caso, el programa de simulación integra numéricamente las ecuaciones diferenciales para computar el camino de la muestra y el estado del sistema.

Para muchos sistemas el estado de los mismos cambia solo en puntos discretos en el tiempo cuando un evento ocurre para causar un cambio. Para nuestro modelo, el estado del sistema cambia por ejemplo, cuando un usuario decide efectuar una llamada telefónica, pues incrementa en uno, el número de canales utilizados y aumenta la probabilidad de bloqueos, etc. Otros eventos que causan que el sistema cambie son por ejemplo., que la aeronave en su movimiento cambie de satélite o estación terrena, que se transmita desde el móvil, en diferente canal, según el servicio utilizado, etc. Entre cualquiera de dos eventos, el estado del sistema permanece constante aunque esté en movimiento y los servicios se estén prestando. Entonces para representar los cambios en un sistema, solo necesitamos describir la acción que ocurre entre cada evento. Este tipo de modelo es llamado modelo de eventos discretos.

Es posible tener una combinación de modelo de sistemas discretos y modelo de sistema continuo en los cuales los valores de algunas variables son controladas por ecuaciones diferenciales y para otros valores estos son cambiados en el momento que el evento esta ocurriendo. Por ejemplo en la fundición del hierro tiene que ocurrir un evento para que el hierro comience a calentarse , pero la temperatura del hierro esta determinada por un conjunto de ecuaciones diferenciales que dependen de la cantidad de potencia aplicada, la temperatura inicial y algunas variables aleatorias. El evento que ocurre para poder purificar el hierro no ocurrirá hasta que el hierro exceda una temperatura especifica. Entonces las variables que cambian continuamente en el tiempo y aquellas que cambian solamente en eventos son independientes.

En la práctica, aún las variables que cambian continuamente son evaluadas sólo a valores discretos, casi siempre igualmente espaciadas, desde que computadoras digitales no pueden representar funciones continuas numéricamente. Entonces podremos considerar aun los tiempos continuos ser casos especiales de una metodología de eventos discretos.

9.7.2 MODELADO DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS

La metodología dominante de modelado de sistemas es la simulación de modelos de eventos discretos. Hay tres maneras fáciles de implementar este modelo en la practica:

Lograr un programa de eventos, lograr un muestreo de actividades y lograr una interacción de los procesos.

Mientras cada uno de estos procesos tienen su propio modo especial de tratar la dinámica del sistema, cada sistema de eventos discretos podrá ser modelado usando uno de los tres métodos anteriores.

El programa de eventos representa los cambios del modelo identificando todos los tipos de eventos que podrán hacer cambiar el estado del sistema. Para cada tipo de evento una rutina implementa la acción de poder brindar los cambios del sistema. Los eventos ocurren instantáneamente. El trabajo del modelador es identificar exactamente que cambios ocurren en el sistema en cada tipo de evento y proveer la lógica para efectuar estos cambios.

Una actividad es un período de tiempo entre dos eventos, usualmente tratando alguna acción o una entidad. El tiempo entre los dos eventos es la duración de la actividad cirugía. Entonces el logro de muestreo de la actividad, que es nuestro interés, es una actividad que ocurre en sobre tiempo, más que los eventos que comienzan y terminan estas actividades. Algunas personas encuentran esto la manera mas natural de pensar acerca de la operación del sistema.

Los modelos pueden expresarse verbalmente o en forma de diagramas. En forma de diagramas la información que proveen es la misma que en forma verbal pero en una forma visual. Los diagramas de flujo son una representación visual de la interacción de procesos como implementación del lenguaje de simulación. La descripción de modelos visuales usan la capacidad de información visual, las cuales están mas desarrolladas que las informaciones verbales, para describir el modelo de la forma mas rápida.

El modelo de nuestro trabajo, está orientado a objetos, es decir que el usuario podrá digitar las entradas de datos, sobre los diagramas a bloques de las secciones con las que trabaje.

9.7.3 PROGRAMA DE SIMULACION

El programa de simulación debe ser capaz de representar el estado del sistema y sus cambios en el tiempo. Todos los programas de simulación de eventos discretos tienen muchas características en común.

Primeramente son capaces de representar entidades, atributos. Todos pueden crear y destruir temporalmente entidades, guardarlas en uno o más conjuntos, cambiar los valores de los atributos, y representar los recursos usados por las entidades.

La dinámica de la simulación de eventos discretos son implementadas creando una lista de sucesión de eventos, eventos que se conocen que van a ocurrir en algún tiempo en el futuro. Aun que el tiempo sea una variable aleatoria, una vez que el valor sea muestreado de su distribución, este será conocido. La ejecución de la simulación es controlada por una rutina de tiempo, la cual selecciona el próximo evento a ocurrir y ejecuta la rutina de eventos apropiada, acción de actividades o acción de procesos para ese evento.

9.7.3.1 PROPOSITOS GENERALES ,LIBRERIAS DE LENGUAJE Y SIMULACION.

Ya que la mayoría de programas de simulación que han sido escritos han sido implementados usando un lenguaje general como lo es Fortran, Pascal, C, Algol, etc, agumentados por una librería de rutinas para implementar la lista de procesos, lista de eventos y una capacidad de generación de datos variables. Law y Klenton (1991) dan una colección elemental de rutinas, las cuales se llaman SIMLIB, para este propósito. SEILA (1988) ha desarrollado un paquete más extenso llamado SIMTOOL, que implementa la programación de eventos y la interacción de procesos para ser usados en pascal. Otros paquetes han sido desarrollados para lenguaje C, Pascal, Modula-2, y C +

+. Esta aplicación es muy natural cuando se utiliza con objetos modernos y lenguajes orientados tales como C++ ya que el programa podrá ser muy fácil de extenderlo en las capacidades de simulación. Esto tiene las ventajas que es relativamente barato y el programador no tiene que aprender un lenguaje nuevo o un nuevo sistema, esto usualmente no incluye la capacidad gráfica que son parte de otros paquetes.

9.7.3.2. LENGUAJES DEL PROGRAMA DE SIMULACION

Se comenzó en 1960, a desarrollar la generación de programas de simulación los cuales incluyen las capacidades de simulación de eventos discretos. Uno de los mas recientes es SIMULA, el cual fue y es un lenguaje avanzado de orientación de objetos implementado en la interacción de procesos. Este lenguaje ha sido muy influenciado en el desarrollo de lenguajes de orientación de objetos tales como C++. Otros lenguajes recientes son GPSS y SIMSCRIPT. Estos lenguajes han sido desarrollados contemporáneamente con lenguajes de propósito general y tienen toda la capacidad de lenguajes de propósito general. Estos lenguajes están dentro de versiones modernas y son muy usados hoy en día. El tutorial de este y otros programas de simulación son dados el paquete MODELWARE TRACKS. Los programas de simulación tienen la ventaja que permiten al programador de expresar más naturalmente la acción de simulación en el lenguaje, en lugar de llamar subprocesos que hacen la acción de simulación. Algunos también tienen capacidades sofisticadas de gráficas.

9.7.3.3 PROGRAMAS DE SISTEMAS DE SIMULACION INTERACTIVA

Los programas de sistemas de simulación interactiva son una manera de automatizar el proceso de trasladar una descripción gráfica de un modelo en un programa de simulación. Ejemplos de tales programas son : SIGMA, y CAPS/ECSL. En cada uno de estos sistemas, el analista desarrolla una representación del modelo, y el paquete convierte esta representación en un programa de simulación usando un

lenguaje de propósitos generales. El análisis tiene la oportunidad de editar el programa antes de correrlo. Esta simulación interactiva realmente ha automatizado el desarrollo de programas de simulación usando un lenguaje de propósitos generales. Se debe de notar sin embargo que el modelador expresa el modelo de simulación gráficamente, desde la perspectiva de la implementación del modelo, comenzando con una representación gráfica del modelo y terminando con correr el programa de simulación, y no nos concierne la parte intermedia del programa si no lo deseamos.

9.7.3.4 SISTEMA DE MODELADO VISUAL INTERACTIVO

El software mas recientemente introducido para simulación utiliza las capacidades gráficas de las computadoras. Este sistema permite al modelo ser desarrollado interactivo y gráfico, y después hacer un chequeo del modelo y una ejecución directa del modelo gráfico o mediante una representación intermedia en el lenguaje de simulación, SIMFACTORY y SIMUL8 (utilizado en nuestro modelo) son ejemplos de esta categoría de paquetes de simulación. Algunos de estos sistemas son llamados “manejadores de simulación de datos” debido a que estos son construidos un una red genérica de simulación de modelos, y el usuario solo provee datos para especificar las características de cada nodo en el en la red. La característica importante es que usuario utiliza iconos en la pantalla para representar el sistema de una manera que se asemeje al sistema físico.

9.7.4 VERIFICACION DEL PROGRAMA DE SIMULACION

No importa el tipo de paquete que es usado en la implementación del modelo , el analista debe tener en cuenta que la estructura y la lógica de la implementación de la simulación corresponde a un modelo representativo. Para programas de simulación este proceso es complicado debido a la complejidad del sistema y la dinámica y cierta

incertidumbre en la operación del programa . Muchas técnicas han sido adoptadas para poder ayudar el proceso. Variables aleatorias pueden ser reemplazadas con específicas, valores conocidos de tal manera que la respuesta del modelo pueda ser predecida exactamente y la salida del programa pueda ser comparada a la respuesta predicha. Como todo paquete complicado , los programas de simulación deben ser desarrollados en módulos que puedan ser probados individualmente . Finalmente, la animación del sistema es usualmente usada para comparar la operación del programa al comportamiento esperado del modelo.

9.7.5 METODOLOGIA DE ANALISIS

Probabilidad y estadística juegan un papel muy importante en la metodología de simulación.

9.7.6 ANALISIS DE LOS DATOS DE ENTRADA.

El término análisis de los datos de entrada se refiere a la técnica de estimar los parámetros de la población asociada con las variables aleatorias en el modelo y fijar la distribución a los datos colectados de esta población en el sistema real. La mayoría de los textos de simulación en la bibliografía contienen la descripción completa de la estimación de los parámetros y la forma de fijarlos. Casi siempre del modelador esta interesado en encontrar , de todos un posible candidato, la distribución que mejor fija un conjunto de datos. Hay paquetes que hacen este procedimiento automáticamente.

9.7.7 GENERACION DE VARIABLES ALEATORIAS

El término variable aleatoria es usado para dar a entender un ejemplo de observación en la computadora, de una distribución específica. La mayoría de modeladores no necesitan saber particularmente con detalle de la generación de variables aleatorias ya que la mayoría de los paquetes de simulación incluyen procedimientos para generar las variables aleatorias de la comúnmente conocida distribución.

Toda la generación de variables aleatorias comienza con uno o mas independientes, idénticamente distribuidos uniformemente variables entre 0.0 y 1.0 y producen la variable aleatoria haciendo una transformación en esta variación de variables aleatorias. Variables aleatorias uniformemente distribuidas son generadas con un integrador entre 0 y m donde m es el límite superior relacionado con la integración de la computadora. Entonces la correcta y confiable variable aleatoria depende fundamentalmente de la calidad de los generadores de números. La mayoría de paquetes usan generadores de números aleatorios que han sido previamente comprobados y documentados.

9.7.8 ANALISIS DE DATOS DE SALIDA

El término análisis de datos de salida se refiere a la técnica de estimar el comportamiento medido de un dato producido por la simulación según el avance en el programa. Las estadísticas tradicionales no son frecuentemente usadas en esta etapa. Podemos usar un número independiente de replicaciones con un largo programa. Si todos los datos usados para estimar la medida de la ejecución son estadísticamente independiente, entonces el método clásico estadístico podrá usarse. Sin embargo este no es el caso.

Sí el sistema ha de ser simulado es estacionario, el proceso de salida tendrá un período transiente inicial que estará hasta que el proceso se encuentre en su distribución estacionaria. Parte del análisis de salida involucra la determinación de cuánto de los datos se truncarán al comienzo o después de aplicar los métodos de estimación. La parte estacionaria de la salida de datos es generalmente autocorrelativa. El efecto de autocorrelación es estimar el tamaño de los valores medios haciendo la estimación mucho más precisa de lo que realmente es.

Frecuentemente el objetivo del análisis de datos es de comparar dos o más diseños de sistemas para determinar cuál provee mejor ejecución. Los métodos estadísticos para comparación están disponibles para determinar la confiabilidad de los datos hechos por la simulación.

Los métodos de optimización del sistema buscan ajustar una o más variables de decisión para optimizar la ejecución del sistema.

9.7.9 VALIDACION

Un modelo puede ser válido solamente si el sistema real existe. Las técnicas para validación son primordialmente estadísticas en naturaleza y involucran la comparación de la distribución de datos de ambos el sistema real y la simulación para asegurar que no difieren sustancialmente. Variantes y otros momentos pueden ser comparados y probados estadísticamente. Una técnica informal para validación que ha sido usada es para producir un reporte de la simulación que es idéntica en forma comparada con un reporte producido por el sistema real. El nuevo reporte es entonces presentado a alguien que maneja el sistema real y este es indicado para ver si puede detectar la forma real del sistema de simulación. Presuntamente si no pueden detectar que el reporte es del sistema de simulación, la simulación es válida.

9.7.10 IMPLEMENTACION

El último paso en el desarrollo de un modelo de simulación es de ganar información que será usada para proveer una decisión con el sistema. En practica el proceso de desarrollar un modelo de simulación es costoso. La mayoría de modelos son un esfuerzo de equipo y toman meses y hasta algunas veces años para poder desarrollarlos. Los costos son medidos en muchos miles de dólares. De tal manera que la mayoría de organizaciones quieren ver resultados de manera satisfactoria. Algunos modelos son desarrollados para ser usados para manejadores de sistemas y controlados por personas que no necesariamente están involucradas con el desarrollo original del modelo.

9.8 MODELO BÁSICO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MOVIL POR SATELITE EMPLEADO EN LA AVIACION AEREA COMERCIAL.

Antes de formular el modelo matemáticamente, es necesario distinguir tres elementos principales que determinan el alcance del mismo:

a) Las aplicaciones, (b) los eventos que intervendrán relativos a las (c) variables que comprenderán los plantiamientos matemáticos que generarán los resultados de acuerdo a la información de entrada.

Las aplicaciones son orientadas a dimensionar un sistema de comunicación móvil por satélite, considerando los eventos radioeléctricos, de tráfico y movilidad, relativos a las variables que se presentan en la tabla 1.

No se pretende con esta segunda parte del trabajo de graduación profundizar en las especificaciones estructurales del modelo, es decir no se detallarán los diferentes componentes que lo conforman, ni como interactuan entre ellos y tampoco se estudiará su funcionamiento, pues toda esa información se encuentra con detalle en la primera parte del documento final.

Con la formulación matemática, se persigue diseñar, evaluar e implementar un modelo básico y no complejo, en el que algoritmos secuenciales serán utilizados para evaluar su comportamiento.

El modelo profundizará en los eventos radioeléctricos, no así en los eventos de tráfico, donde cada subevento es analizado con matemática Stokastica, utilizándose herramientas de probabilidad con los procesos de Poisson , cadenas de Markov y ecuaciones de Bernoulli, para determinar eficiencias de tramas, retardo en envío de mensajes, teoría de colas, etc(sí el usuario desea profundizar en estos elementos, puede auxiliarse de libros para ingenieros de tráfico, orientados a protocolos, modelado y análisis); ni en los eventos de movilidad, donde es utilizada la matemática tridimensional y vectorial, para estudiar el comportamiento de la unidad móvil.

9.9 FORMULACION DEL MODELO

Las variables involucradas en el modelo se describen en la tabla 1, con las que la formulación matemática es completada y orientada al análisis de radioenlaces.

Los tres eventos principales con sus variables predominantes, se enumeran en la tabla 2; debiéndose considerar que todas las variables de tráfico, no serán objeto de estudio en este documento.

Las ecuaciones lineales de primer grado que se utilizarán para formular el modelo, son las que a continuación se describen, tomándose como referencia la tabla N1.

TABLA 9.1 Variables matemáticas del modelo. Ordenadas por correlativo.

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₁	Potencia Isotrópica Efectiva del Satélite	PIRE _{sat}	dBWatts
X ₂	Número de canales por transpondedor	N	Adimensional
X ₃	Número de reutilizaciones	R	Adimensional
X ₄	Capacidad del Transpondedor	C _{sat}	Mbps
X ₅	Tamaño del subsistema de comunica.	P	Lbs
X ₆	Diámetro Antena Tx en Satélite	D _{Bx_{sat}}	m
X ₇	Diámetro Antena Rx en Satélite	D _{Rx_{sat}}	m
X ₈	Demanda total al satélite	D	Mbps
X ₉	Ancho de banda por reutilización	Bw	Mhz
X ₁₀	Número de transpondedores	T	Adimensional
X ₁₁	Temperatura de ruido del Satélite	T _s	K grados
X ₁₂	Nombre del Satélite N1	N1	Adimensional
X ₁₃	Nombre del Satélite N2	N2	Adimensional
X ₁₄	Nivel de iluminación	W	dBm/m2
X ₁₅	Ubicación de Satélite N1	Long ₁	gms
X ₁₆	Ubicación de Satélite N2	Long ₂	gms
X ₁₇	Eficiencia de antena Estación Terrena	n	Adimensional
X ₁₈	Potencia del tubo de ondas progresivas	P _{tw}	dBWatts
X ₁₉	Ganancia de antena Estación Terrena	G _{esta}	dBi
X ₂₀	Latitud de la Estación Terrena	La _{esta}	gms
X ₂₁	Longitud de la Estación Terrena	Long _{esta}	gms
X ₂₂	Acimut de antena Estación Terrena	Ac _{i_{esta}}	gms
X ₂₃	Elevación de antena Estación Terrena	Ele _{esta}	gms
X ₂₄	Distancia de Est. Terrena al Satélite	Dist	Kms
X ₂₅	Temperatura de ruido LNA Est. Terrena	T _{LNA}	K grados
X ₂₆	Eficiencia espectral	ns	Adimensional
X ₂₇	Relación densidad de ruido a portadora asc.	C/N _{O UP}	dB-Hz
X ₂₈	Relación densidad de ruido a portadora des.	C/N _{O DES}	dB-Hz
X ₂₉	Longitud de onda ascendente	y _{UP}	m
X ₃₀	Longitud de onda descendente	y _{DES}	m
X ₃₁	Longitud de onda hacia el móvil	y _{UPmov}	m
X ₃₂	Longitud de onda desde el móvil	y _{DESmov}	m
X ₃₃	Constante de Boltzman	K	Joules/K grados
X ₃₄	Factor de pérdidas ascendente	L _u	dB
X ₃₅	Factor de pérdidas descendente	L _d	dB
X ₃₆	Figura de Mérito Estación Terrena	G/T	1/K grados
X ₃₇	Relación energía por bit a densidad ruido	E _b /N _o	dB
X ₃₈	Relación mínima de X ₃₇	E _b /N _o MIN	dB
X ₃₉	Frecuencia hacia Satélite	F _{up}	Ghz
X ₄₀	Frecuencia desde Satélite	F _d	Ghz
X ₄₁	Frecuencia hacia el móvil	F _{up mov}	Ghz
X ₄₂	Frecuencia desde el móvil	F _{d mov}	Ghz
X ₄₃	Velocidad de Tx de información	Rate	Kbps
X ₄₄	Reservado	Reservado	Adimensional
X ₄₅	Modulación empleada	Mod	Adimensional
X ₄₆	Relación de FEC	FEC	Adimensional
X ₄₇	Razón BER	BER	Adimensional
X ₄₈	Modo de comunicación	Mod	Adimensional
X ₄₉	Roll Off	Roll	Adimensional
X ₅₀	Factor de modulación	FM	Adimensional

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₅₁	Velocidad de la luz	c	m/s
X ₅₂	Margen por lluvia	u _{des}	dB
X ₅₃	Pérdidas miscelaneas	La	dB
X ₅₄	Intermodulación ascendente	C/I	dB
X ₅₅	% Potencia consumida por la portadora	P%	Adimensional
X ₅₆	Velocidad del móvil	V	Km/s
X ₅₇	Altura del móvil	H	Km
X ₅₈	Factor de movilidad	M	adimensional
X ₅₉	Longitud promedio de llamada	L	min
X ₆₀	Intervalo entre llamadas	T _#	min
X ₆₁	Densidad de tráfico	D _t	Adimensional
X ₆₂	Intensidad de tráfico	I _t	Adimensional
X ₆₃	Reservado	Reservado	Adimensional
X ₆₄	Dirección de movimiento Norte	N _{mov}	gms
X ₆₅	Dirección de movimiento Sur	S _{mov}	gms
X ₆₆	Dirección de movimiento Este	E _{mov}	gms
X ₆₇	Dirección de movimiento Oeste	O _{mov}	gms
X ₆₈	Rango de compensación Doppler	C _D	Khz
X ₆₉	Resolución Doppler	R _D	Hz
X ₇₀	Razón de cambio Doppler	RC _D	Hz/Seg
X ₇₁	Error de referencia Doppler	E	Hz
X ₇₂	Dimensionamiento de Buffers	B _{uff}	bits
X ₇₃	Handover de Satélite	Hd _{sat}	Adimensional
X ₇₄	Handover de Estación Terrena	Hd _{esta}	Adimensional
X ₇₅	Handover de haz	Hd _{haz}	Adimensional
X ₇₆	Ancho de banda de la portadora	BW _c	Khz
X ₇₇	Diámetro antena Estación Terrena	D _{esta}	m
X ₇₈	Temperatura de ruido antena Est. Terrena	T _{ANT}	K grados
X ₇₉	Radio promedio de la tierra	Re	Km
X ₈₀	Distancia centro tierra a Satélite	Rc	Km
X ₈₁	Capacidad de la Estación Terrena	C _{esta}	Mbps
X ₈₂	Potencia isotrópica efectiva Est. Terrena	PIRE _{esta}	Mbps
X ₈₃	Figura de mérito del Satélite N1	G/T ₁	1/K grados
X ₈₄	Figura de mérito del Satélite N2	G/T ₂	1/K grados
X ₈₅	Relación portadora a ruido ascendente	C/N _{up}	dB
X ₈₆	Relación portadora a ruido descendente	C/N _{des}	dB
X ₈₇	Relación portadora a ruido asc. Del sistema	C/N _{sist}	dB
X ₈₈	Interferencia de polarización cruzada asc. del sistema	C/X _{pol}	dB
X ₈₉	Interferencias de Satélites adyacentes	C/X _{adys}	dB
X ₉₀	IPBO de portadora	IPBO	dB
X ₉₁	ATP del Satélite	ATP	dB
X ₉₂	Back Off de entrada en Satélite	BOI _{sat}	dB
X ₉₃	Back Off de salida en Satélite	BOO _{sat}	dB
X ₉₄	Relación de portadora a densidad ruido total	C/N _{O tot/sist}	dB
X ₉₅	Relación de portadora a ruido requerido	C/N _{req}	dB
X ₉₆	Margen del enlace	ME	dB
X ₉₇	Potencia del HPA de la Esta. Terrena	P _{HPA}	dBWatts
X ₉₈	Back Off de salida de HPA	BOO _{HPA}	dBWatts
X ₉₉	Pérdidas en el HPA	L _{HPA}	dB
X ₁₀₀	Densidad de flujo en saturación Est. Terrena	SDF	dB/m
X ₁₀₁	Intermodulación en el HPA	HPA _{int.}	dB

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₁₀₂	Ganancia de antena N1 del móvil	G _{1móvil}	dBi
X ₁₀₃	Ganancia de antena N2 del móvil	G _{2móvil}	dBi
X ₁₀₄	Potencia de Tx de Estacion Terr.	P _{tx}	W
X ₁₀₅	Potencia de Rx de Estacion Terr.	P _{rx}	W
X ₁₀₅	Potencia Rx de iluminacion	P _{ilm.}	W
X ₁₀₇	Distancia Max. de un Satelite A la Est. Terr.	S.	Kmts
X ₁₀₈	Potencia generada por los arreglos solares.	P _s	W
X ₁₀₉	Capacidad de las baterias del satelite	Carga	W
X ₁₁₀	Peso aproximado del satelite	Peso	Kg.
X ₁₁₁	Ruido potencia dentro de ancho de banda	N.	W.
X ₁₁₂	Separacion en un enlace intersatelital	S _x	Kmts
X ₁₁₃	Velocidad del satelite en orbita circular	V _s	Kmt/Seg.
X ₁₁₄	Tiempo para que un satelite complete una Rev.	T _s	Horas
X ₁₁₅	Tiempo de retraso	T	Seg.
X ₁₁₆	Exentricidad dela orbita	e.	Adimen.
X ₁₁₇	Diferencia de longitud	$\Delta\lambda$	Adimen.
X ₁₁₈	Elevacion	h.	Grados.
X ₁₁₉	Separacion entre satelites	Ang.	Grados.
X ₁₂₀	Altura de la orbita	h	Kmts
X ₁₂₁	Coficiente gravitacional	g ₀	pie ³ /S ²
X ₁₂₂	Area de cobertura	A _{cov}	Kmts ²
X ₁₂₃	Angulo minimo de elevacion	Φ_1	Grados.
X ₁₂₄	Angulo planar de ancho de haz	Φ_b	Grados.
X ₁₂₅	Diametro del area de cobertura	d.	Area.
X ₁₂₆	Angulo central.	β_0	Grados
X ₁₂₇	Eje semimayor de el satelite	A	Adimen.
X ₁₂₈	Radio de la orbira geostacionaria	r _g	Kmts.
X ₁₂₉	Radio de la tierra	r _E	Kmts.
X ₁₃₀	Eficiencia de la celda solar	η	Adimen.
X ₁₃₁	Constante solar	S _c	Adimen.
X ₁₃₂	Area proyectada del arreglo solar.	A	Area.
X ₁₃₃	Angulo de separacion de longitud	α	Grados
X ₁₃₄	Velocidad de la luz	C	Kmts/Seg.
X ₁₃₅	Apogeo	r _a	Kmts
X ₁₃₆	Perigeo	r _p	Kmts
X ₁₃₇	Longitud de la estacion terrena	$\lambda E_{est.}$	Adimen.
X ₁₃₈	Longitud del satelite	$\lambda E_{sat.}$	Adimen.
X ₁₃₉	Area de cobertura de un haz circular	A _b	Grados ²
X ₁₄₀	Mitad de potencia del ancho de banda	θ_3	W
X ₁₄₁	Area de cobertura de un Haz eliptico	A _b	Grados ²
X ₁₄₂	Latitud de la estacion terrena		

TABLA 9.2 VARIABLES MATEMATICAS DEL MODELO ORDENADAS POR CATEGORIA

VARIABLES DE ENTRADA

SATELITE

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₂ *	Número de canales por transpondedor	N	Adimensional
X ₃ *	Número de reutilizaciones	R	Adimensional
X ₄ *	Capacidad del Transpondedor	C _{sat}	Mbps
X ₅ *	Tamaño del subsistema de comunica.	P	Lbs
X ₆ *	Diámetro Antena Tx en Satélite	D _{tx_{sat}}	m
X ₇ *	Diámetro Antena Rx en Satélite	D _{rx_{sat}}	m
X ₉ *	Ancho de banda por reutilización	Bw	Mhz
X ₁₀	Número de transpondedores	T	Adimensional
X ₁₁	Temperatura de ruido del Satélite	T _s	K grados
X ₁₂	Nombre del Satélite N1	N1	Adimensional
X ₁₃	Nombre del Satélite N2	N2	Adimensional
X ₁₅	Ubicación de Satélite N1	Long ₁	gms
X ₁₆	Ubicación de Satélite N2	Long ₂	gms
X ₈₉	Interferencias de Satélites adyacentes	C/X _{adys}	dB
X ₉₂	Back Off de entrada en Satélite	BOI _{sat}	dB
X ₉₃	Back Off de salida en Satélite	BOO _{sat}	dB
X ₉₇	Potencia del HPA de la Esta. Terrena	P _{HPA}	dBWatts

* Sujetas al tratamiento de las variables de Teletráfico

ESTACION TERRENA

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₁₇	Eficiencia de antena Estación Terrena	n	Adimensional
X ₁₈	Potencia del tubo de ondas progresivas	P _{tw}	dBWatts
X ₂₀	Latitud de la Estación Terrena	La _{esta}	gms
X ₂₁	Longitud de la Estación Terrena	Long _{esta}	gms
X ₂₅	Temperatura de ruido LNA Est. Terrena	T _{LNA}	K grados
X ₇₇	Diámetro antena Estación Terrena	D _{esta}	m
X ₇₈	Temperatura de ruido antena Est. Terrena	T _{ANT}	K grados
X ₇₉	Radio promedio de la tierra	Re	Km
X ₉₈	Back Off de salida de HPA	BOO _{HPA}	dBWatts
X ₉₉	Pérdidas en el HPA	L _{HPA}	dB
X ₁₀₀	Densidad de flujo en saturación Est. Terrena	SDF	dB/m
X ₁₀₁	Intermodulación en el HPA	HPA _{int.}	dB
X ₁₀₄	Potencia de Tx de Estacion Terr.	P _{tx}	W
X ₁₀₅	Potencia de Rx de Estacion Terr.	P _{rx}	W
X ₁₀₅	Potencia Rx de iluminacion	P _{lim.}	W

RADIOENLACES

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₂₆	Eficiencia espectral	ns	Adimensional
X ₃₉	Frecuencia hacia Satélite	F _{up}	Ghz
X ₄₀	Frecuencia desde Satélite	F _d	Ghz
X ₄₁	Frecuencia hacia el móvil	F _{up mov}	Ghz
X ₄₂	Frecuencia desde el móvil	F _{d mov}	Ghz
X ₄₃	Velocidad de Tx de información	Rate	Kbps
X ₄₄	Reservado	Reservado	Adimensional
X ₄₅	Modulación empleada	Mod	Adimensional
X ₄₆	Relación de FEC	FEC	Adimensional
X ₄₇	Razón BER	BER	Adimensional
X ₄₈	Modo de comunicación	Mod	Adimensional
X ₄₉	Roll Off	Roll	Adimensional
X ₅₁	Velocidad de la luz	c	m/s
X ₅₂	Margen por lluvia	u _{des}	dB
X ₅₃	Pérdidas miscelaneas	La	dB
X ₅₄	Intermodulación ascendente	C/I	dB
X ₅₅	% Potencia consumida por la portadora	P%	Adimensional
X ₈₈	Interferencia de polarización cruzada asced.	C/X _{pot}	dB

UNIDAD MOVIL

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₅₆	Velocidad del móvil	V	Km/s
X ₅₇	Altura del móvil	H	Km
X ₅₈	Factor de movilidad	M	adimensional
X ₁₀₂	Ganancia de antena N1 del móvil	G _{1móvil}	dBi
X ₁₀₃	Ganancia de antena N2 del móvil	G _{2móvil}	dBi

TELETRAFICO(No considerados en el modelo matemático)

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₅₉	Longitud promedio de llamada	L	mín
X ₆₀	Intervalo entre llamadas	T _{ll}	mín
X ₆₁	Densidad de tráfico	D _t	Adimensional
X ₆₂	Intensidad de tráfico	I _t	Adimensional
X ₆₃	Reservado	Reservado	Adimensional

VARIABLES DE PROCESO INTERNO

SATELITE

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₁	Potencia Isotrópica Efectiva del Satélite	PIRE _{sat}	dBWatts
X ₈	Demanda total al satélite	D	Mbps
X ₁₀₈	Potencia generada por los arreglos solares.	P _s	W
X ₁₀₉	Capacidad de las baterías del satélite	Carga	W
X ₁₁₀	Peso aproximado del satélite	Peso	Kg.
X ₁₁₁	Ruido potencia dentro de ancho de banda	N.	W.
X ₁₁₂	Separación en un enlace intersatélite	S _x	Kmts
X ₁₁₃	Velocidad del satélite en órbita circular	V _s	Kmt/Seg.
X ₁₁₄	Tiempo para que un satélite complete una Rev.	T _s	Horas
X ₁₁₅	Tiempo de retraso	T	Seg.
X ₁₁₆	Excentricidad de la órbita	e.	Adimen.
X ₁₁₇	Diferencia de longitud	Δλ	Adimen.
X ₁₁₈	Elevación	h.	Grados.
X ₁₁₉	Separación entre satélites	Ang.	Grados.
X ₁₂₀	Altura de la órbita	h	Kmts
X ₁₂₁	Coefficiente gravitacional	g ₀	pie ³ /S ²
X ₁₂₂	Área de cobertura	A _{cov}	Kmts ²
X ₁₂₃	Ángulo mínimo de elevación	Φ _l	Grados.
X ₁₂₄	Ángulo planar de ancho de haz	Φ _b	Grados.
X ₁₂₅	Diámetro del área de cobertura	d.	Área.
X ₁₂₆	Ángulo central.	β ₀	Grados
X ₁₂₇	Eje semimayor de el satélite	A	Adimen.
X ₁₂₈	Radio de la órbita geostacionaria	r _g	Kmts.
X ₁₃₀	Eficiencia de la celda solar	η	Adimen.
X ₁₃₁	Constante solar	S _c	Adimen.
X ₁₃₂	Área proyectada del arreglo solar.	A	Área.
X ₁₃₃	Ángulo de separación de longitud	α	Grados
X ₁₃₅	Apogeo	r _a	Kmts
X ₁₃₆	Perigeo	r _p	Kmts
X ₉₁	ATP del Satélite	ATP	dB

RADIOENLACES

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₉₀	IPBO de portadora	IPBO	dB
X ₂₉	Longitud de onda ascendente	Y _{UP}	m
X ₃₀	Longitud de onda descendente	Y _{DES}	m
X ₃₁	Longitud de onda hacia el móvil	Y _{UPmov}	m
X ₃₂	Longitud de onda desde el móvil	Y _{DESmov}	m
X ₃₃	Constante de Boltzman	K	Joules/K grados
X ₃₄	Factor de pérdidas ascendente	L _u	dB
X ₃₅	Factor de pérdidas descendente	L _d	dB
X ₅₀	Factor de modulación	FM	Adimensional

UNIDAD MOVIL

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₆₄	Dirección de movimiento Norte	N _{mov}	gms
X ₆₅	Dirección de movimiento Sur	S _{mov}	gms
X ₆₆	Dirección de movimiento Este	E _{mov}	gms
X ₆₇	Dirección de movimiento Oeste	O _{mov}	gms
X ₆₈	Rango de compensación Doppler	C _D	Khz
X ₆₉	Resolución Doppler	R _D	Hz
X ₇₀	Razón de cambio Doppler	RC _D	Hz/Seg
X ₇₁	Error de referencia Doppler	E	Hz
X ₇₂	Dimensionamiento de Buffers	B _{uff}	bits
X ₇₃	Handover de Satélite	Hd _{sat}	Adimensional
X ₇₄	Handover de Estación Terrena	Hd _{esta}	Adimensional
X ₇₅	Handover de haz	Hd _{haz}	Adimensional

VARIABLES DE SALIDA

VARIABLE	DESCRIPCION	NOTACION	UNIDADES
X ₁₄	Nivel de iluminación	W	dBm/m ²
X ₁₉	Ganancia de antena Estación Terrena	G _{esta}	dBi
X ₂₂	Acimut de antena Estación Terrena	Ac _{esta}	gms
X ₂₃	Elevación de antena Estación Terrena	El _{esta}	gms
X ₂₄	Distancia de Est. Terrena al Satélite	Dist	Kms
X ₂₇	Relación densidad de ruido a portadora asc.	C/N _{O UP}	dB-Hz
X ₂₈	Relación densidad de ruido a portadora des.	C/N _{O DES}	dB-Hz
X ₃₆	Figura de Mérito Estación Terrena	G/T	1/K grados
X ₃₇	Relación energía por bit a densidad ruido	E _b /N _o	dB
X ₃₈	Relación mínima de X ₃₇	E _b /N _{o MIN}	dB
X ₇₆	Ancho de banda de la portadora	Bw _c	Khz
X ₈₀	Distancia centro tierra a Satélite	Rc	Km
X ₈₁	Capacidad de la Estación Terrena	C _{esta}	Mbps
X ₈₂	Potencia isotrópica efectiva Est. Terrena	PIRE _{esta}	Mbps
X ₈₃	Figura de mérito del Satélite N1	G/T ₁	1/K grados
X ₈₄	Figura de mérito del Satélite N2	G/T ₂	1/K grados
X ₈₅	Relación portadora a ruido ascendente	C/N _{up}	dB
X ₈₆	Relación portadora a ruido descendente	C/N _{des}	dB
X ₈₇	Relación portadora a ruido asc. Del sistema	C/N _{sist}	dB
X ₉₄	Relación de portadora a densidad ruido total	C/N _{O tot/sist}	dB
X ₉₅	Relación de portadora a ruido requerido	C/N _{req}	dB
X ₉₆	Margen del enlace	ME	dB

Las ecuaciones son las siguientes:

$$1) \quad X_1 = 210 + 19.5 + 4.5X_2X_3 + 0.15(X_3^2)X_2 + 4.02 X_4X_3/X_{81}$$

$$PIRE_{SAT} = 210 + 4.5NR + 0.15NR^2 + 4.02C_{SAT}R/C_{esta}$$

$$2) \quad X_1 = -X_{100} - X_{91} + X_{92} - 10\text{Log}(4IX_{24}^2) + X_{82} - X_{93} + PIRE_{SAT_{RX}}$$

$$IRE_{SAT} = \text{SDF} - \text{ATP} + \text{BOI}_{sat} - 10\text{Log}(4I\text{Dist}) + PIRE_{esta} - \text{BOO}_{sat} + PIRE_{SAT_{RX}}$$

$$3) \quad X_2 \geq (X_{10}(X_4/X_{89})/X_3)/X_{18}$$

$$N \geq (T(C_{sat}/C/X_{adya})R)/P_{TWT}$$

$$4) \quad X_4 \leq (X_9X_{26}/X_{10})X_3$$

$$C_{sat} \leq (B_w ns/T)R$$

- 5) $X_5 = 5.5X_6^{2.1} + 5.5X_7^{2.1}$
 $P = 5.5Dtx_{\text{sat}}^{2.1} + 5.5Drx_{\text{sat}}^{2.1}$
- 6) $X_8 \geq X_4X_{10}$
 $D \geq C_{\text{sat}}T$
- 7) $X_{19} = 10\text{Log}X_{17} + 20\text{Log}(\Pi X_{39}X_{77}/X_{51})$
 $G_{\text{esta}} = 10\text{Log}(n) + 20\text{Log}(\Pi F_{\text{up}}D_{\text{esta}}/c)$
- 8) $X_{22} = 180 \pm (\text{Tan}^{-1} (\text{Tan} [X_{15} - X_{21}])/\text{Sen}X_{20})$
 $\text{Aci}_{\text{esta}} = 180 \pm (\text{Tan}^{-1} (\text{Tan} [\text{Long} - \text{Long}_{\text{esta}}])/\text{Sen}(\text{La}_{\text{esta}}))$
- 9) $X_{23} = \text{Tan}^{-1} [(X_{80} - X_{79})(\text{Cos}X_{20}(\text{Cos}[X_{15} - X_{21}]))/X_{79}\text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}X_{20}(\text{Cos}[X_{15} - X_{21}])) - \text{Cos}^{-1}(\text{Cos}X_{20}(\text{Cos}[X_{15} - X_{21}]))]$
 $\text{Ele}_{\text{esta}} = \text{Tan}^{-1} [(Rc - Re)(\text{Cos}(\text{La}_{\text{esta}})(\text{Cos}[\text{Long}_1 - \text{Long}_{\text{esta}}]))/Re\text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(\text{La}_{\text{esta}})(\text{Cos}[\text{Long}_1 - \text{Long}_{\text{esta}}])) - \text{Cos}^{-1}(\text{Cos}(\text{La}_{\text{esta}})(\text{Cos}[\text{Long}_1 - \text{Long}_{\text{esta}}]))]$
- 10) $X_{24} = [X_{80}^2 + X_{79}^2 - (2X_{79}X_{80}\text{Sen}(X_{23} + \text{Sen}^{-1}((X_{79}/X_{80})\text{Cos}X_{23})))]^{1/2}$
 $\text{Dist} = [Rc^2 + Re^2 - (2ReRc\text{Sen}(\text{Ele}_{\text{esta}} + \text{Sen}^{-1}((Re/Rc)\text{Cos}\text{Ele}_{\text{esta}})))]^{1/2}$
- 11) $X_{27} = X_{82} + X_{83} - X_{33} - 20\text{Log}((4\Pi X_{39}X_{24})/X_{51}) - X_{52} - X_{53}$
 $C/N_{o\text{up}} = \text{PIRE}_{\text{esta}} + G/T_1 - K - 20\text{Log}((4\Pi F_{\text{up}}\text{Dist})/c) - u_{\text{des}} - \text{La}$
- 12) $X_{27} = X_{82}(\Pi X_7/X_{29})^2/(X_{33}X_{11}X_{34})$
 $C/N_{o\text{UP}} = \text{PIRE}_{\text{esta}}(\Pi X_7/y_{\text{UP}})^2/(K.T_s.L_u)$
- 13) $X_{28} = (X_{38}X_{17}(\Pi X_6/X_{30})^2)/X_{33}X_{35}$
 $C/N_{o\text{UP}} = (G/T.n(\Pi Dtx_{\text{sat}}/y_{\text{DES}})^2)/KL_d$

14) $X_{28} = X_1 + X_{36} - X_{38} - 20\text{Log}(4\Pi X_{39} X_{24}) / (X_{51} - X_{52} - X_{53})$
 $C/\text{No}_{\text{UP}} = \text{PIRE}_{\text{sat}} + G/T - E_b/\text{No}_{\text{MIN}} - 20\text{Log}(4\Pi F_{\text{UP}} \text{Dist}) / (c - u_{\text{des}} - \text{La})$

15) $X_{36} = X_{19} - 10\text{Log}(X_{25} + X_{78} + (1 - \text{Antlog}(-X_{52}/10))275^\circ\text{K})$
 $G/T = G_{\text{esta}} - 10\text{Log}(T_{\text{LNA}} + T_{\text{ANT}} + (1 - \text{Antlog}(-u_{\text{des}}/10))275^\circ\text{K})$

16) $X_{37} \geq X_{38}$
 $E_b \geq N_o$

17) $X_{54} = -X_{101} - X_{90} - 10\text{Log}X_{76}$
 $C/I = -\text{HPA}_{\text{int}} - \text{IPBO} - 10\text{Log}Bw_c$

18) $X_{55} = [\frac{\text{Alog} \{ (X_1 - \text{PIRESAT}_{\text{RX}} + X_{93}) \}}{10}] 100]$
 $p\% = [\frac{\text{Alog} \{ (\text{PIRE}_{\text{sat}} - \text{PIRESAT}_{\text{RX}} + \text{BOO}_{\text{sat}}) \}}{10}] 100]$

19) $X_{76} = X_{43} X_{46} X_{50} (1 + X_{49})$
 $Bw_c = \text{Rate} \cdot \text{FEC} \cdot \text{FM} (1 + \text{Roll})$

20) $X_{85} = X_{27} - 10\text{Log}X_{76}$
 $C/\text{N}_{\text{up}} = C/\text{No}_{\text{up}} - 10\text{Log}Bw_c$

21) $X_{87} = 10\text{Log} [\frac{1}{\frac{1}{\text{ALog}(X_{85})} + \frac{1}{\text{ALog}(X_{54})} + \frac{1}{\text{ALog}(X_{88})} + \frac{1}{\text{ALog}(X_{89})}}]$
 $C/\text{N}_{\text{list}} = 10\text{Log} [\frac{1}{\frac{1}{\text{ALog}(C/\text{N}_{\text{up}})} + \frac{1}{\text{ALog}(C/I)} + \frac{1}{\text{ALog}(c/x_{\text{pol}})} + \frac{1}{\text{ALog}(c/x_{\text{advs}})}}]$

$$22) \quad X_{104} = -X_{88} - X_{90} - 10\text{Log}X_{76}$$

$$C/X_{\text{pol}} = -c/x_{\text{pol}} - \text{IPBO} - 10\text{Log}(Bw_c)$$

$$23) \quad X_{105} = -X_{89} - X_{90} - 10\text{Log}X_{76}$$

$$c/x_{\text{adye}} = -c/x_{\text{adye}} - \text{IPBO} - 10\text{Log}(Bw_c)$$

$$24) \quad X_{90} = X_{100} - X_{82} + 10\text{Log}((4\pi X_{24}^2))$$

$$\text{IPBO} = \text{SDF} - \text{PIRE}_{\text{esta}} + 10\text{Log}((4\pi \text{Dist}^2))$$

$$25) \quad X_{94} = 10\text{Log} \left[\frac{1}{\frac{1}{10 \text{ALog}(X_{85})} + \frac{1}{10 \text{ALog}(X_{56})}} \right]$$

$$C/N_{\text{tot/sist}} = 10\text{Log} \left[\frac{1}{\frac{1}{10 \text{ALog}(C/N_{\text{UP}})} + \frac{1}{10 \text{ALog}(V)}} \right]$$

$$26) \quad X_{95} = X_{37} + 10\text{Log}(X_{43}) - 10\text{Log}X_{76}$$

$$C/N_{\text{req}} = E_b N_o + 10\text{Log}(\text{Rate}) - 10\text{Log}Bw_c$$

$$27) \quad X_{98} = X_{94} - X_{95}$$

$$\text{ME} = C/N_{\text{tot/sist}} - C/N_{\text{req}}$$

$$28) \quad X_{97} = X_{82} - X_{19} + X_{99} - X_{98}$$

$$P_{\text{HPA}} = \text{PIRE}_{\text{esta}} - L_{\text{esta}} + L_{\text{HPA}} - \text{BOO}_{\text{HPA}}$$

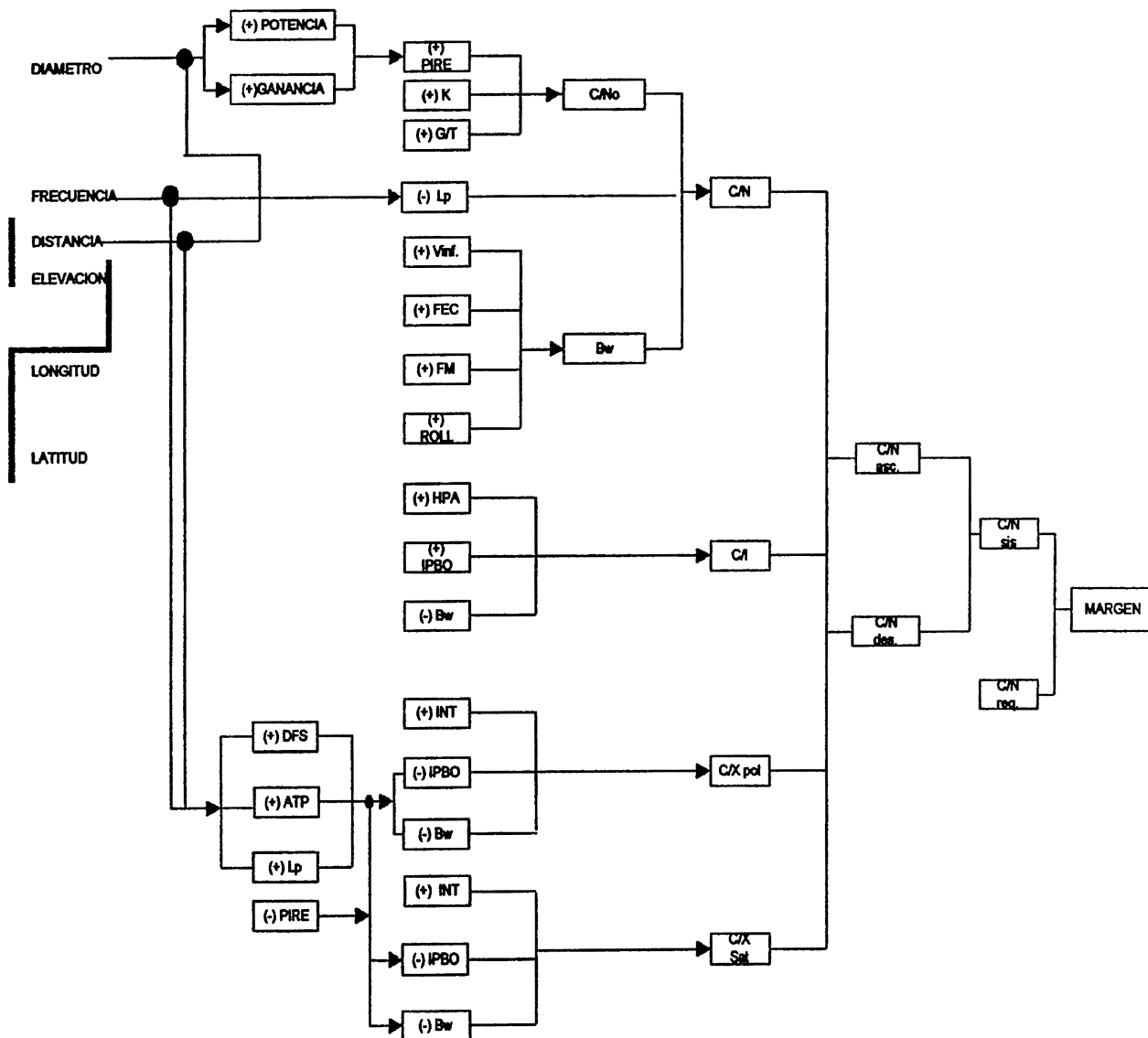
$$29) \quad \frac{1}{X_{81} X_{37}} = \frac{1}{X_{27}} + \frac{1}{X_{28}}$$

$$\frac{1}{C_{\text{esta}} E_b N_o} = \frac{1}{C/N_{\text{up}}} + \frac{1}{C/N_{\text{DES}}}$$

$$30) \quad (X_4/X_{81})X_{17}(\Pi X_6/X_{30})^2 \leq 1$$

$$(C_{sat}/C_{esta})n(\Pi Dtx_{sat}/y_{DES})^2 \leq 1$$

ARBOL DE PROPORCIONALIDAD DE LAS VARIABLES MATEMATICAS



$$30) \quad (X_4/X_{81})X_{17}(\Pi X_6/X_{30})^2 \leq 1$$

$$(C_{sat}/C_{esta})n(\Pi Dtx_{sat}/y_{DES})^2 \leq 1$$

ARBOL DE PROPORCIONALIDAD DE LAS VARIABLES MATEMATICAS

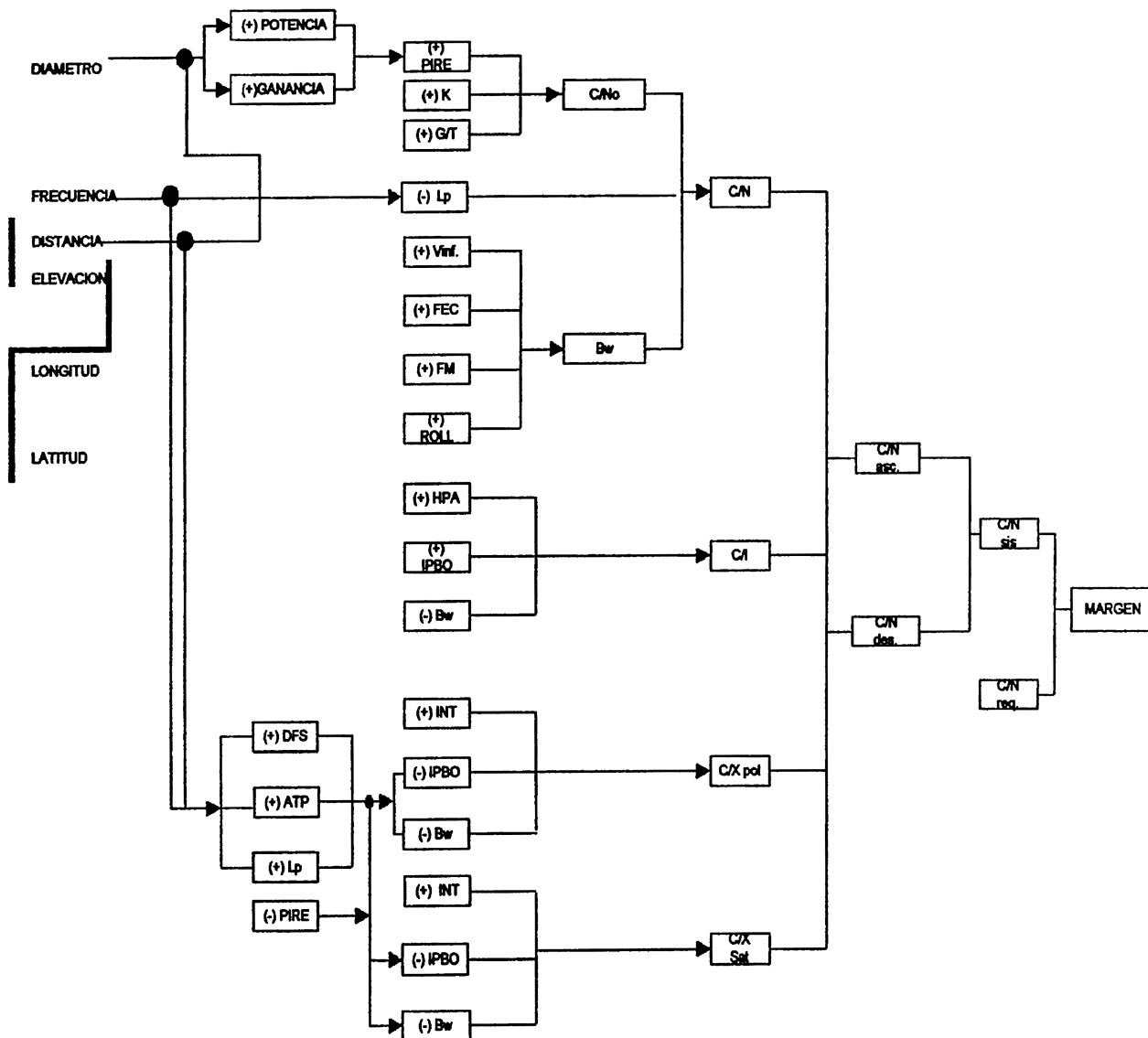


fig 9.1 Arbol de relacion de las variables del sistema

Diagrama de bloques del sistema a modelar

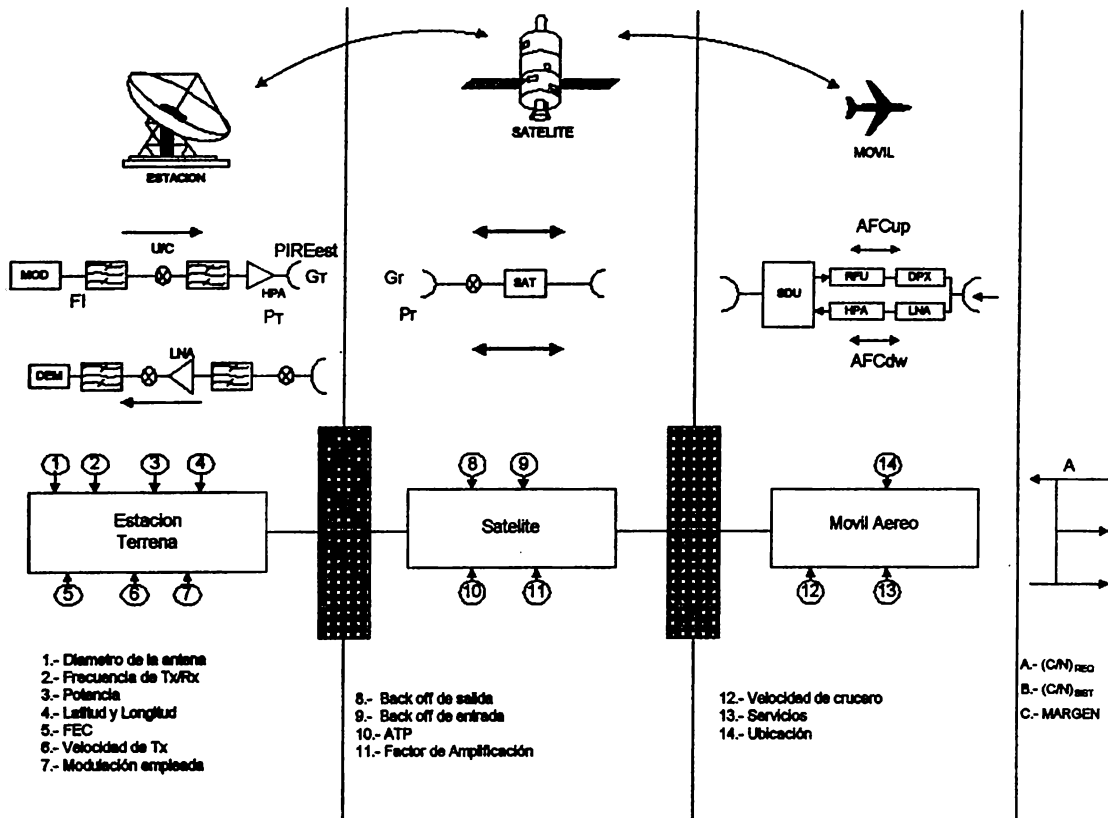
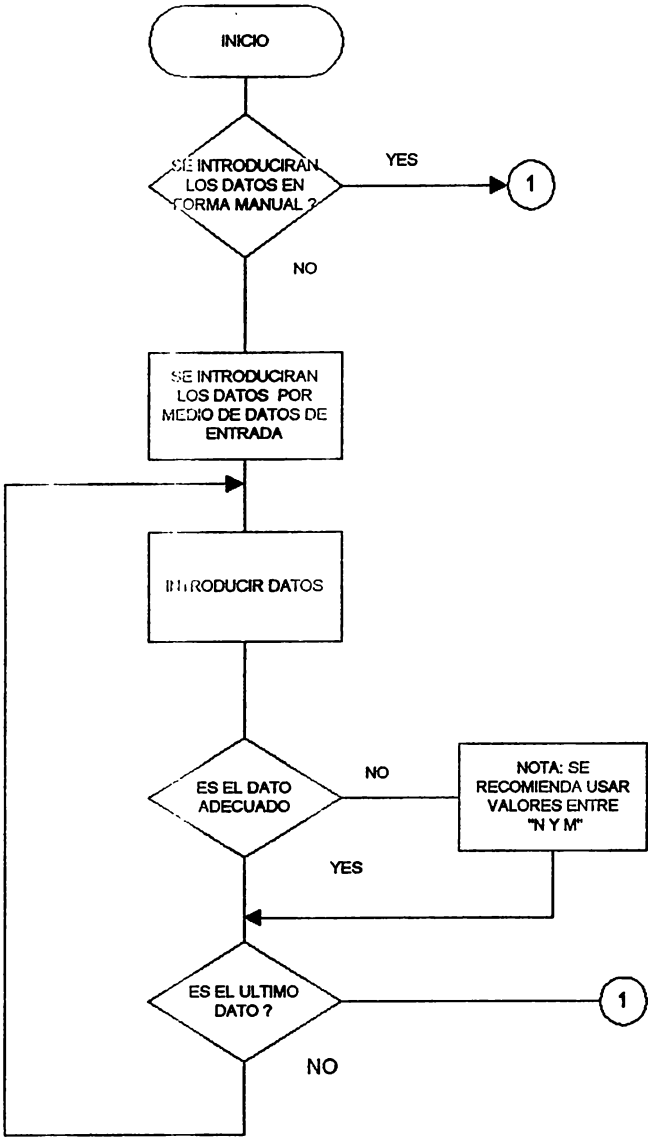


fig 9.3 Diagrama de bloques del sistema

TABLA 9.3 Eventos principales del modelo con sus variables predominantes

RADIO	MOVILIDAD	TRAFICO
Potencia de T x y Rx	Velocidad de movimiento	Longitud promedio de llamada
Relación señal a ruido	Localización	Número de canales
BER	Movilidad	Número de usuarios
Relación portadora-interf.	Dinámica de órbitas	Intervalo entre llamadas
Frecuencias	Handovers	Densidad de tráfico
Velocidad de Tx	Número de aeronaves	Tiempo requerido para un enlace
Modulación	Itinerario de vuelos	Tiempo de sostenido del enlace
Corrección de errores		Tamaño de Buffers
Ancho de banda		Retraso de fuente a destino
Ganancia de antenas		Congestión
Temperatura de ruido		Control de flujo
E_b/N_o		Probabilidad de bloqueo
C/N_o		Commutación
C/N		Multiplexación
Pérdidas		Multiplexación
Propagación		Colas de espera
Control Automático de fre.		Velocidad de arrivo
Control Automático de ganan.		Eficiencia de trama
Efecto Doppler		# de bits por slot
Eficiencia espectral		# de slots en la trama
Reutilización de frecuencia		Disponibilidad
		Intensidad de tráfico
		Retraso de mensajes
		Carga promedio del sistema
		Tiempo de servicio

FLUJOGRAMA DE INTRODUCCION DE DATOS



FLUJOGRAMA DE SALIDA E IMPRESION DE DATOS

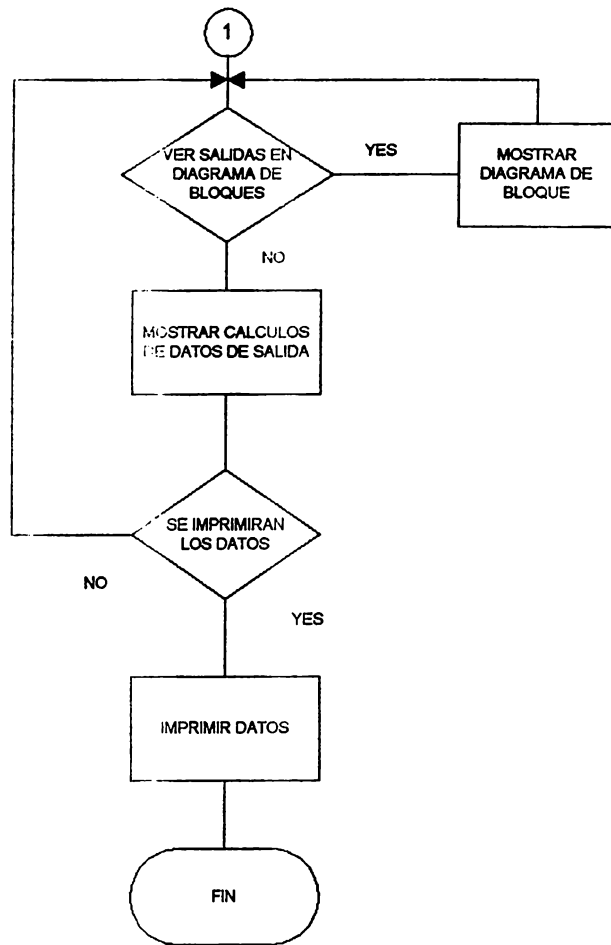
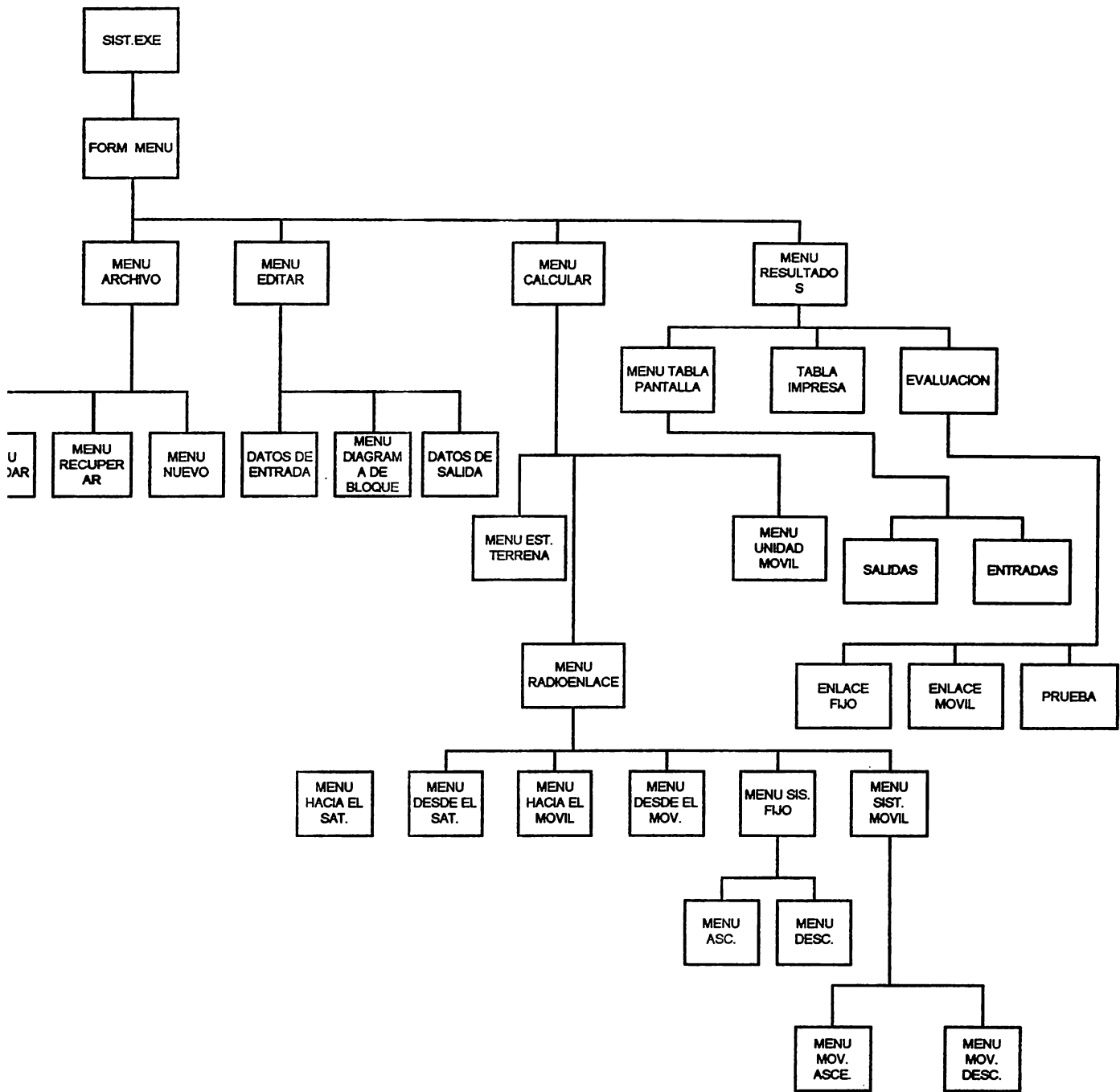
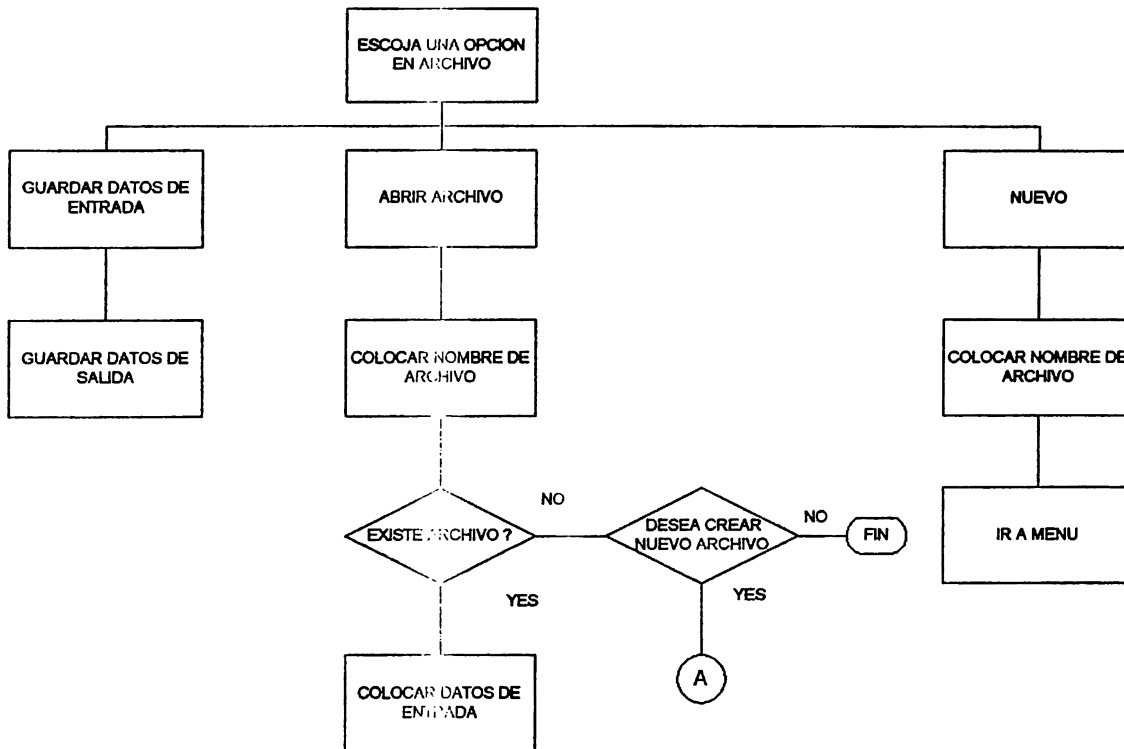


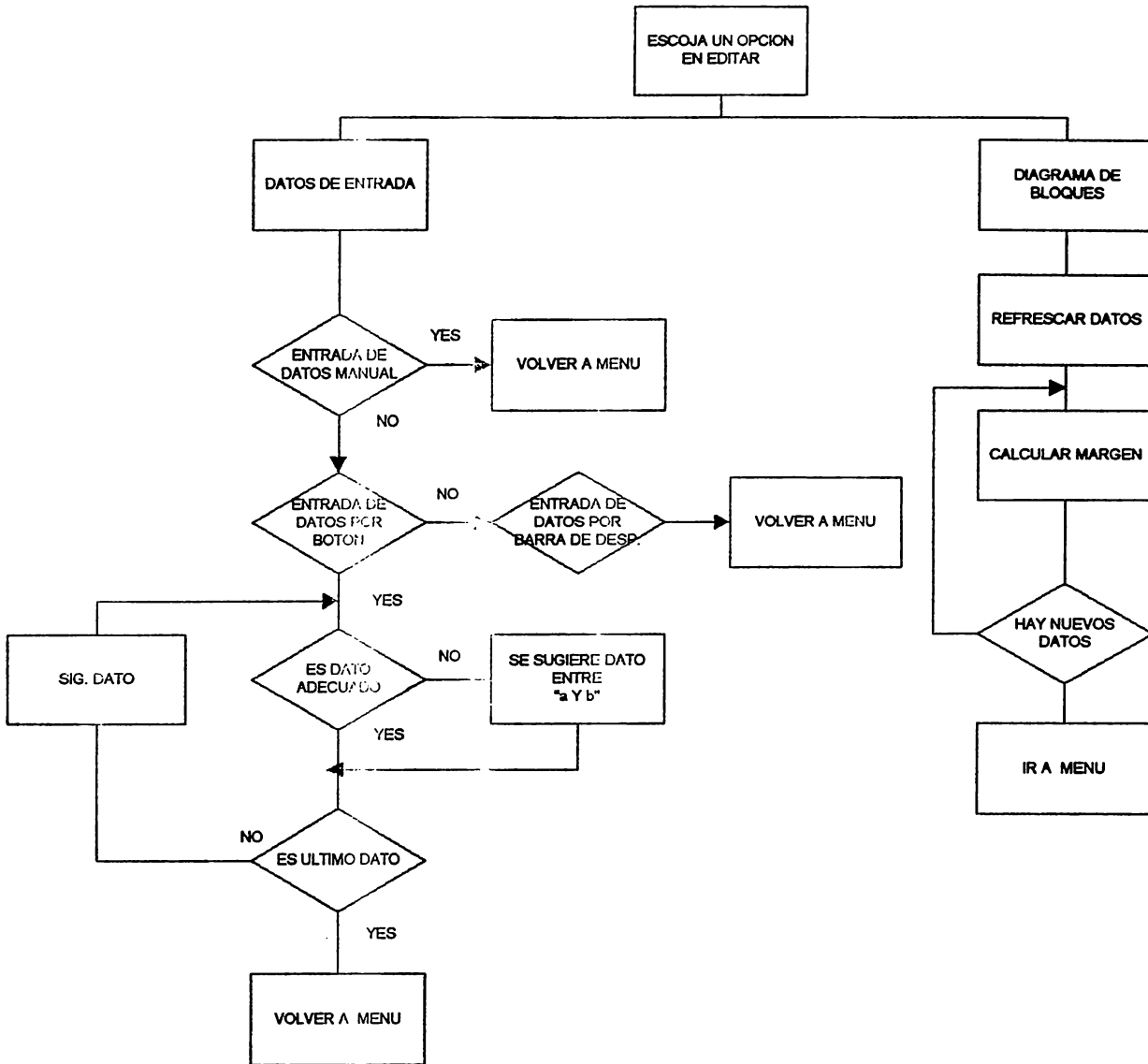
DIAGRAMA DE BLOQUES DE MODELO MATEMATICO



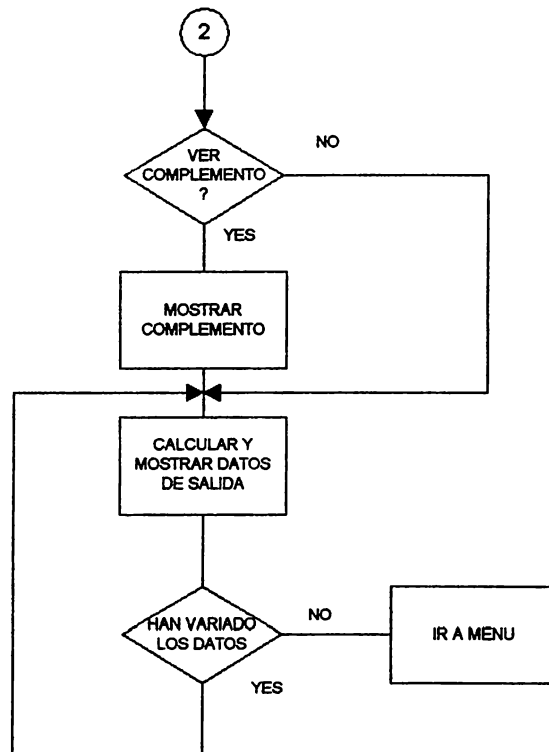
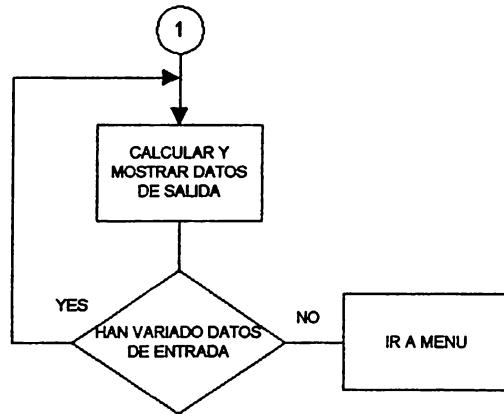
FLUJOGRAMA DE MENU ARCHIVO



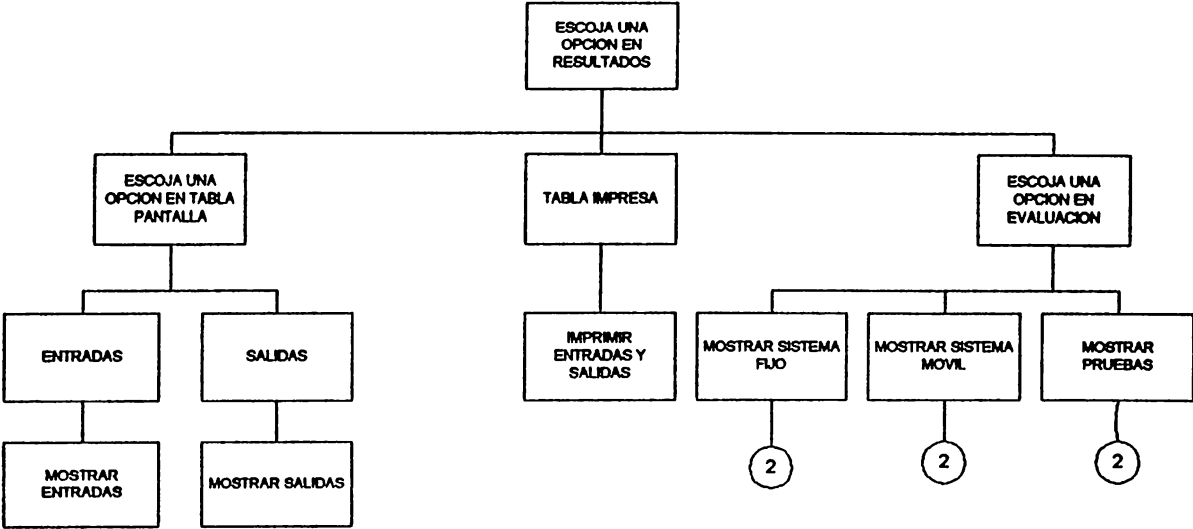
FLUJOGRAMA DEL MENU EDITAR



FLUJOGRAMA DE CALCULO DE DATOS DE SALIDA



FLUJOGRAMA MENU RESULTADOS



CONCLUSIONES

Después de leer el presente capítulo, se concluye que el modelo, no es más que un programa codificado en VISUAL BASIC y SIMUL-8, en el que se entrarán las variables de entrada y se obtendrán las ecuaciones de salida, a partir de un arreglo algebraico simple que determinará la factibilidad de un radioenlace que está compuesto por una parte fija y una móvil. En esta segunda parte, se incluyen conceptos como el efecto Doppler, y se dejan fuera los relativos a la simulación de movilidad y tráfico.

Como pudo observarse en el diagrama de bloques del modelo, el usuario podrá observar el efecto de cambiar con datos prácticos y no prácticos, en la variable de salida principal del mismo: el margen del radioenlace.

Con este programa, el usuario podrá definir o no, la factibilidad de establecer un enlace, así como los requerimientos que serán necesarios para su respectivo establecimiento.

El programa está delimitado a las aplicaciones fijo(tierra) a móvil aéreo y viceversa. Debiéndose considerar que el usuario, podrá cambiar los parámetros principales de entrada y así observar una salida para cada tramo del enlace, por lo que no debe inclinarse a la posibilidad que el modelo queda abierto a cualquier tipo de aplicaciones de comunicación vía satélite.

CAPITULO 10

LOG-ON, LOG-OFF, HANDOVER

INTRODUCCION: Entre los procesos importantes que se dan en toda comunicación aeromovil por satélite son los procesos de log-on, log-off y handover. Estos procesos son importantes tomarlos en cuenta en el estudio debido a que son procesos necesarios para que se realice una comunicación entre aeronave y estación terrena, o en otros términos, entre un usuario móvil y un usuario en tierra.

El primero de los procesos es el de log-on el cual es el proceso que ejecuta la aeronave y la estación terrena para identificarse cuando la aeronave entra a un espacio ocupado por el haz de algún satélite (ya sea este global o puntual), este contendrá la identificación de las características de la estación terrena, de la aeronave y del satélite.

El segundo proceso en estudio es el de log-off el cual es el proceso que ejecuta la aeronave cuando está saliendo de un haz y va entrar a otro, es decir, cuando se registra un handover o cuando se termina su operación. El log-off puede ser iniciado manualmente o de manera automática.

El último proceso es el de handover el cual se da cuando se esta pasando de un haz puntal a otro en un mismo satélite, cuando hay cambios de satélites o de estaciones terrenas debido al movimiento de la aeronave. Existen dos tipos de handover: el Hard Handover, el cual al experimentarse corta cualquier llamada en proceso o por efectuarse y el Soft handover en donde las estaciones involucradas en el mismo mantienen comunicación con el objetivo de que todas las llamadas en proceso o por efectuarse no sean canceladas.

OBJETIVO: Dar a conocer los tres procesos que intervienen cuando el sistema de comunicación del avión arranca, estos procesos son: log-on, que es el intercambio de información entre la aeronave y la estación terrena con respecto a la localización, la identificación y estados de estos; log-off, es el proceso de desconexión del acceso al sistema; y hand over, que es el proceso que se da cuando la aeronave pasa de un satélite a otro, de una estación a otra o de un haz satelital a otro.

10.1 PROCESOS DE LOG-ON/LOG-OFF DE LA AERONAVE A LA ESTACION TERRENA

Para referencia de los tipos de canales, direcciones, aplicaciones, velocidades e información general de los mismos, referirse a la figura 4.2.2. del capítulo 4 y a la tabla 1.2 del capítulo 1 del documento de la primera defensa.

Cuando el sistema SATCOM es activado en una aeronave, busca el modo de selección del proceso de Log-on, para determinar si es automático o manual, para seleccionar la estación terrena que está operando dentro de la región del satélite seleccionado; si es modo es manual, espera por un comando de usuario, si es automático, inicia un proceso de búsqueda en la memoria del sistema, para encontrar si existe una estación terrena de preferencia para la región o de lo contrario, escoge una aleatoriamente.

Habiéndose seleccionado un satélite, la aeronave intenta adquirir y sincronizar una de las frecuencias identificadoras de los canales P en el satélite, cuyos códigos los encuentra en la tabla del sistema de comunicación de la unidad móvil. La tabla contiene la información dividida en cuatro categorías:

i).-- Tabla del sistema:

Contiene información que es buscada por la aeronave cuando el proceso de comunicación con la estación terrena esta en proceso. Cada región que el satélite cubre, posee una tabla con la información siguiente:

Para cada satélite y región de cobertura del mismo:

- .- Identificación del satélite.
- .- Localización del satélite e inclinación de la órbita.
- .- Identificación de los canales P.
- .- Revisión del software de trabajo.

Para cada haz puntual (sí aplica)

- .- Identificación del haz.
- .- Velocidad de transmisión para cada haz.

Para cada estación terrena

- .- Identificación de la estación terrena.
- .- Identificación de los canales P y R
- .- En haz la estación envía los canales P.

Cuando la aeronave abandona una región y arriva a otra, la tabla del sistema de la región no es borrada en la memoria del móvil , sino que es almacenada en una sección de reserva. La aeronave busca por la tabla de la nueva región, sí la encuentra el proceso de log on sigue igual, si no la encuentra, procede a borrar la tabla que la sección de reserva no ha sido utilizada por largo tiempo.

ii.-) **Tabla de categoría de confirmación del Log-on**

Esta información es proporcionada por la estación terrena a la unidad móvil en el proceso de la confirmación del Log-on. Estos datos son almacenados, cuando la aeronave completa el proceso de Log-on.

La información que esta tabla contiene es:

Para la estación terrena

- .- Identificación de la estación terrena que atiende a la aeronave.
- .- PIRE inicial para los canales R/T.
- .- Frecuencia y velocidad del canal P.
- .- Frecuencia y velocidad del canal R.
- .- Frecuencia y velocidad del canal T.

Para la unidad móvil

- .- Identificación del satélite que esta utilizando el enlace.
- .- Identificación del haz en el que se ejecuta el enlace.
- .- Número de canales C habilitados para comunicaciones simultáneas.

iii).- **Tabla de la capacidad de servicio**

Esta información es proveída por la aeronave a la estación terrena. La siguiente información general es contenida en esta tabla:

- .- Clase o categoría de unidad móvil.

- .- Configuración de canales en la unidad móvil.
- .- Característica de los canales de voz.
- .- Requerimientos para la transmisión de datos en modo circuito.
- .- Capacidad para velocidad de información.

Las categorías de la estación móvil son:

- a) Todas transmiten a 600 bps.
- b) Acceso a una sola estación terrena: un canal R,P,T y dos canales C.
- c) Acceso a dos estaciones terrenas simultáneamente: dos canales R,P,T y seis canales C.
- d) Transmisión solo datos: un canal R,P,T y C.

La características principal de los canales de voz:

- a) Algoritmo de codificación y velocidad
- iv).- Tabla de los requerimientos del operador de la aeronave

El contenido de esta tabla es opcional, pero generalmente se acomoda la siguiente información:

- .- Política de Hand-over (automática o manual).
- .- Orden de preferencias para estaciones terrenas.
- .- Identificación del vuelo.
- .- Selección del satélite según la potencia de la señal.

Cuando la aeronave ha sintonizado al canal P, procede a chequear si la revisión del software está actualizada o no. Si el software es de un versión diferente al que la

aeronave opera, se ejecuta un proceso de actualización, antes de proseguir con el proceso de Log-on.

Teniendo seguro que la revisión del software es correcto, la unidad móvil revisa en su tabla de sistema, si existe un haz que deba buscar y así chequea cada una de las frecuencias de los haces enviados por la estación terrena para identificar el más adecuado y así determinar si posee la mayor potencia de señal, de lo contrario escoge el de mayor potencia. Si el sistema no opera con múltiples haces, se escoge el haz global. Al completar este proceso, la aeronave esta lista para registrarse en la estación terrena.

El proceso de Log-on (referirse a las figuras 1,2, 3 y 5) es iniciado sintonizando el canal P de la estación terrena seleccionada y enviando una señal de solicitud de Log-on en uno de los canales R disponibles. Si la estación terrena no puede atender a tal solicitud, debido a que está se encuentra saturada, recibió un mensaje incorrecto en la solicitud, la aeronave no tienen autorización de acceso, etc, la estación terrena responderá con una señal de rechazo, en la que explicará la razón del mismo, por lo que el móvil, de acuerdo a la clase a la que pertenezca, podrá reintentar con la misma estación terrena, según la categoría del código de rechazo:

Indisponibilidad permanente:

La aeronave no puede reintentar el Log-on con la misma estación terrena durante el vuelo en curso.

Indisponibilidad temporal:

La aeronave puede reintentar el Log-on con la misma estación terrena, solamente después que halla intentado con todas las estaciones que están bajo la cobertura del satélite utilizado.

Parámetros inválidos:

La aeronave no puede reintentar el Log-on con la misma estación terrena, utilizando los mismo parámetro en la señal de solicitud.

Opcionalmente, la estación terrena puede atender a diferentes tipos de unidades móviles , por lo que existe la posibilidad que ésta atienda a la señal de solicitud de Log-on de una aeronave, con una señal de confirmación diferente al tipo recibido, por lo que el móvil podrá aceptar, continuado con el proceso de Log-on o rechazar su solicitud con la estación terrena en cuestión.

En la señal de solicitud de Log-on, el móvil envía a la estación terrena, su propia identificación y la del haz en el que se encuentra ubicado. El valor de cero es usado en la identificación del haz, si no existe un haz disponible en el satélite en cuestión, si el móvil se encuentra fuera del área de cobertura del satélite, o sí la estación terrena no opera canales P en el haz que se ha escogido. La aeronave, también informa a la estación terrena el número de canales C con los que está equipada, el algoritmo en uso de la codificación y velocidad de los canales de voz y las capacidades de velocidad para los canales P, R y T. Esta información, excepto el número de canales C y la capacidad de velocidades de información serán retransmitidas en al señal de confirmación de Log-on.

En la señal de confirmación de Log-on, la aeronave determina la PIRE , para los canales R y decide la PIRE de los canales T acorde la PIRE asignada a los canales R y a la relación de velocidad del canal R al T. La estación terrena asigna una canal P, considerando la necesidad de usar canales P con baja potencia en relación la el nivel de degradación de la señal y al tipo de estación móvil.

Sí servicio de datos es utilizado la estación terrena transmite de uno a cuatro frecuencias de canales T a la aeronave. La decisión de cuales canales y con que potencia asignar al móvil la ejecuta la estación terrena considerando la siguiente información:

- .- El satélite en uso.
- .- La clase de unidad móvil.
- .- La capacidad de velocidad de información en el móvil.

La aeronave registra su Log-off al terminar su operación o al registrarse un Handover entre satélites, estaciones terrenas o haces del mismo satélite. El Log-off es iniciado manualmente ya sea directamente o como resultado de los procesos automáticos del Handover.

La aeronave aborta cualquier llamada en progreso y transmite una solicitud de Log-off a la estación terrena. Cuando esta recibe la solicitud, transmite un reconocimiento de Log-off a través de un canal P y luego informa a todas las estaciones terrenas que están bajo la cobertura del satélite, que el móvil ha efectuado un Log-off. Sí la aeronave no recibe una señal de reconocimiento de Log-off de la estación terrena, retransmitirá la solicitud de Log-off cuatro veces y luego termina el proceso.

La estación terrena tienen la capacidad de reasignar canales de datos (figura 6) asignados a una aeronave en particular. Esta función la ejecuta transmitiendo una señal de control de Log-on y reasignación de canales a la unidad móvil, si el móvil responde con la señal de listo para esta labor, la estación terrena transmite la información con los nuevos canales asignados. Cuando esta recibe el reconocimiento de Log-on del móvil, le envía una señal igual y el proceso de Log-on queda completado. Este proceso se estudia en la figura N6. (Para mayor información de las técnicas de reasignación de canales, referirse a la sección 4.2.2 del documento terminado de este trabajo).

En los bordes del área de cobertura terrestre del satélite, el canal P está sujeto a degradaciones o interrupciones, ya sea por que la potencia de la señal ha caído del umbral, por desvanecimientos o por rápidas maniobras del móvil.

La degradación del canal P es declarada cuando se cumple cualquiera de tres siguientes condiciones:

- 1.- Cuando el BER es menor que 10×10^{-3} en período de 10 minutos
- 2.- Cuando más de 10 pequeñas interrupciones son experimentadas durante un período de 3 minutos. (las pequeñas interrupciones son pérdidas de sincronización de reloj por menos de 10 segundos).
- 3.- Cuando la pérdida del reloj dura más de 10 segundos.

Si la aeronave experimenta una degradación del canal P, ejecuta un Log-off sin enviar una solicitud a la estación terrena y comienza con la reinicialización del proceso descrito en la figura N1.

Los eventos de Handover también usan los canales R y P en la misma forma en que se ejecuta un proceso de Log-on.

10.2 PROCESOS DE HANDOVER

Debido al movimiento de la aeronave, existe la posibilidad que handovers sean requeridos, es decir cambios de estaciones terrenas, satélites o haces del mismo satélite.

En las comunicaciones móviles, existen dos tipos de handovers:

1. El handover rígido (HHD, Hard Handover), que al efectuarse, trunca cualquier llamada en progreso y no permite que se efectúe una nueva, hasta que se ha efectuado el proceso de Log-on en la nueva estación terrena. En el idioma inglés, este proceso es conocido como "a brake-before-make arrangement.

Este tipo de handover es utilizado en aplicaciones que involucran a las técnicas de multiacceso: FDMA y TDMA.

2. El handover blando, (SHD, Soft Handover), donde la estación terrena que registra a la aeronave y la estación terrena que lo registrará, sostienen una comunicación con el móvil, para transferir todo las señalizaciones necesarias, para evitar que las llamadas en proceso y las que están por entrar, se corten.

Este tipo de handover es utilizado en aplicaciones que involucran a las técnicas de multiacceso: CDMA.

Un procedimiento general para el handover, se describe a continuación:

Se debe tomar la decisión de donde y cuando el handover debe ser efectuado. Los algoritmos de decisión típicamente utilizados, usan la medida de la potencia de la señal de recepción (para nuestro caso el canal P) y la relación BER para detectar la necesidad de un handover y así identificar un canal libre en la futura región en la que se movilizará.

Los modelos animados que generalmente se presentan para el handover y procesos de Log-on/off del móvil son dos:

1. Los que están orientado a demostrar cuales son los eventos entre el móvil y la estación y en que direcciones se ejecutan. (En esta categoría se encuentra en nuestro trabajo)

2.- Los que se orientan al dimensionamiento de sistemas de comunicación móvil, donde la matemática probabilística avanzada es la única herramienta, que proporciona un resultado, después de varios ensayos de las fórmulas que contemplan comúnmente las siguientes variables:

- .- Área de la zona de sobreposición de los haces del satélite.
- .- Tipo de órbita escogida: en una geostacionaria, el tiempo de duración de llamada es despreciable comparado con el tiempo que el móvil tomará para cruzar la zona de cobertura, por lo que la probabilidad de handover es baja; no así, cuando se trabajo con órbitas bajas.
- .- El tipo de antena utilizada en los satélites, para determinar en que dirección se encuentra en máximo diámetro: de norte a sur o de este a oeste.
- .- Sí la velocidad del móvil es constante o no, relativo a la velocidad de la órbita.
- .- Sí el móvil cruza la celda en la dirección del diámetro más largo o no.
- .- Cuando la solicitud del handover ocurre, determinar sí la celda vecina en la dirección del movimiento será la que asignará el nuevo canal o no.
- .- Qué tipo de movilidad tendrán los usuarios del sistema.
- .- Capacidad máxima de la cola en la solicitud de handovers.
- .- Tiempo máximo que demorará el sistema en atender la solicitud de handover.
- .- Tiempo máximo que demorará el sistema en procesar un handover.
- .- Tiempo de duración de llamada.
- .- Probabilidad del tiempo en que se efectuarán nuevos handovers después del primero

El handover es efectuado, ejecutando como primer paso un Log-off de la estación terrena, seguido por un Log-on con la nueva estación. El algoritmo del handover es mostrado en la figura 4. La secuencia del proceso de handover es mostrado en las figuras 4, y 7.

El handover automático es iniciado por :

- 1.- La detección de la pérdida o degradación del canal P .
- 2.- La aeronave no recibió correctamente la señal de reconocimiento de Log-on de la estación terrena durante los procesos de:

Log-on.

Reasignación de canales.

Cuando el handover es iniciado, la aeronave inicia el proceso de selección de estaciones terrenas, según la descripción anteriormente estudiada.

El handover de estaciones terrenas que operan bajo el mismo satélite, es comandado por el usuario (no pasajeros, sólo tripulación). Al efectuarse, todas las comunicaciones previamente establecidas, se mantienen hasta que son finalizadas. Desde luego, que la aeronave que sólo cuenta con un canal de comunicación, inicia el handover cuando el canal no esta ocupado.

El handover entre satélites es comandado por la tripulación y antes de efectuarlo, todas los canales de comunicación deben estar libres. Si una llamada está en progreso, el sistema aplica un tiempo de supervisión durante tres minutos y luego corta cualquier llamada en progreso. La estación terrena elimina cualquier llamada en progreso con la aeronave, después que un mensaje de información de Log-on es recibido de otra red de estaciones bajo otro satélite.

El handover entre haces, es aplicable cuando el sistema trabaja con satélites de múltiples haces y el software utilizado reconoce este proceso en los algoritmos de funcionamiento del mismo. El inicio del mismo es efectuado cuando después de ejecutar una revisión de los haces recibido se detecta uno con mejor señal al que se encuentra en operación (sí está bajo el umbral).

Para la evaluación del control y calidad del servicio durante la ejecución de un Handover (generalmente aplicable para el tipo Soft Handover), se toman como referencia ciertos parámetro que miden un factor conocido como Q.O.S. (Quality of Service).

Nuestro trabajo de graduación no está orientado a dimensionar la calidad que los sistemas móviles por satélite deben poseer para ser considerados aceptables y el modelo no generará resultados que ayuden al usuario a compara diferentes tipos de sistemas móviles y determinar así la medición de los parámetros que intervienen en la aplicación de los conceptos del Q.O.S. Más sin embargo es necesario que el lector conozca estos conceptos, para que el criterio acerca de estos sistemas móviles se expanda.

La medición de los principales parámetros para la determinación del Q.O.S. se efectúa de acuerdo a la aplicación (servicios) . El factor de medida de los parámetros se basa generalmente en la :

- .- La probabilidad de ocurrencia de uno de los siguientes eventos:
 - *) Bloqueo del servicio.
 - *) Terminación prematura del servicio.
 - *) Congestión.

.- La medición efectiva de:

- *) Promedio de la duración de la congestión.
- *) Atraso de los paquetes.
- *) Número de paquetes perdidos.
- *) Tiempo de proceso en cola de espera.
- *) Requerimiento de ancho de banda.
- *) Duración promedio de la llamada.
- *) Probabilidad que un móvil utilice un canal específico.
- *) Tiempo de utilización del canal.
- *) Metodología de admisión de llamadas.
- *) Algoritmos para diferenciar una nueva llamada de las de llamadas de Handover.
- *) Control de la potencia.
- *) Técnicas de asignación de canales.
- *) Algoritmos para mejorar la eficiencia espectral.
- *) Reserva de canales para handover o priorización de las llamadas de Handover al compararlas con las nuevas llamadas.
- *) Acciones tomadas cuando se efectúa un Handover:
 - .- Conexiones en tiempo real: voz, vídeo.
 - .- Conexiones orientadas a datos
 - .- Conexiones orientadas a mensajes (paging y correo de voz).

Para conocer el nivel de señalización empleado en la ejecución de un servicio originado en tierra, referirse a las figuras 10, 11, 12.1y 14. Para los servicios originados en el móvil, referirse a las figuras 9, 11.1, 12, 13 y 15.

10.3 MODELOS PRESENTADOS

El modelo animado que se presenta ha sido diseñado utilizando como herramientas dos tipos de software: SIMUL8 y ACTION 25.

El modelo que se presenta en SIMUL8:

- .- tiene como objetivo principal:
Demostrar a nivel de bloques el flujo de la información, desde que es transmitida, hasta que se recibe.
- .- contempla lo siguiente:
 - 1.- El detalle de los bloques del modelo, no especifica cada una de las unidades funcionales de los subsistemas que conforman el sistema completo, sino que cada bloque identifica a los tres principales involucrados: la aeronave, el satélite y la estación terrena.
 - 2.- Se consideran las siguientes situaciones a nivel demostrativo:
 - .- Como se ve afectado el sistema, cuando se cambian las siguientes variables:
 - a) Capacidad (a nivel de número de canales, no en Mbps) del transpondedor y la estación terrena.
 - b) Tiempo de proceso de llamadas en la unidad satelital.
 - c) Tiempo promedio de la duración de las llamadas.
 - d) Distribución y período de generación de llamadas
 - e) Capacidad y tiempo máximo de espera en las colas.
 - f) Efecto del handover de satélite y estación terrena.

En la figura 16, se encuentran los flujogramas que se siguieron para la ejecución del modelo en SIMUL8.

En la figuras 17.1 y 17.2, se encuentran los diagramas a bloques de los eventos que se modelan

El modelo que se presenta en ACTION25:

.- tiene como objetivo principal:

Demostrar las señalizaciones a nivel animado que se ejecutan en los procesos de log-on, log-off y handover,

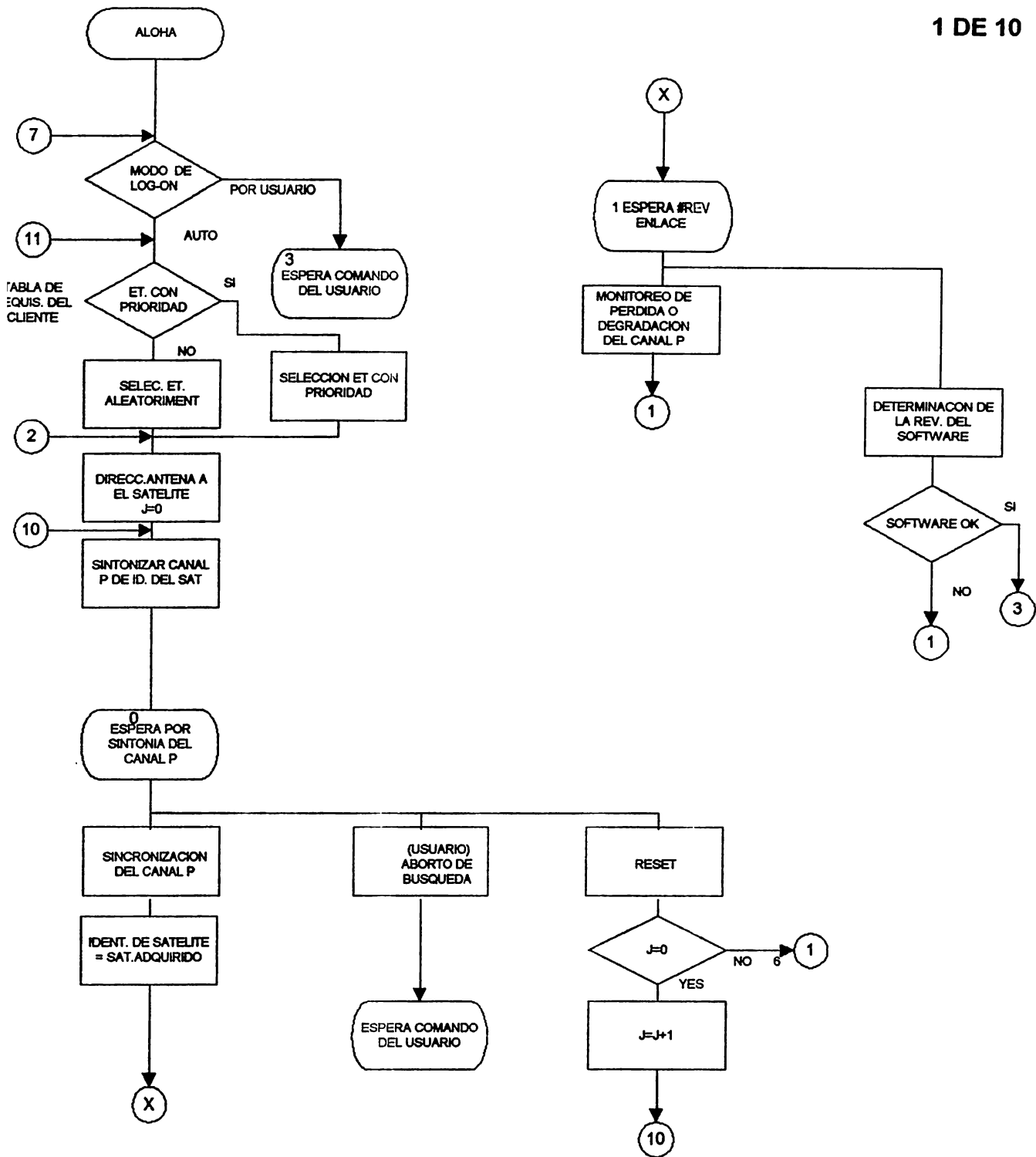
.- contempla lo siguiente:

1.- Se observará que la aeronave está en movimiento, al entrar en la zona de sobreposición de los haces de los satélites se visualizarán los canales que son utilizados en el proceso de handover.

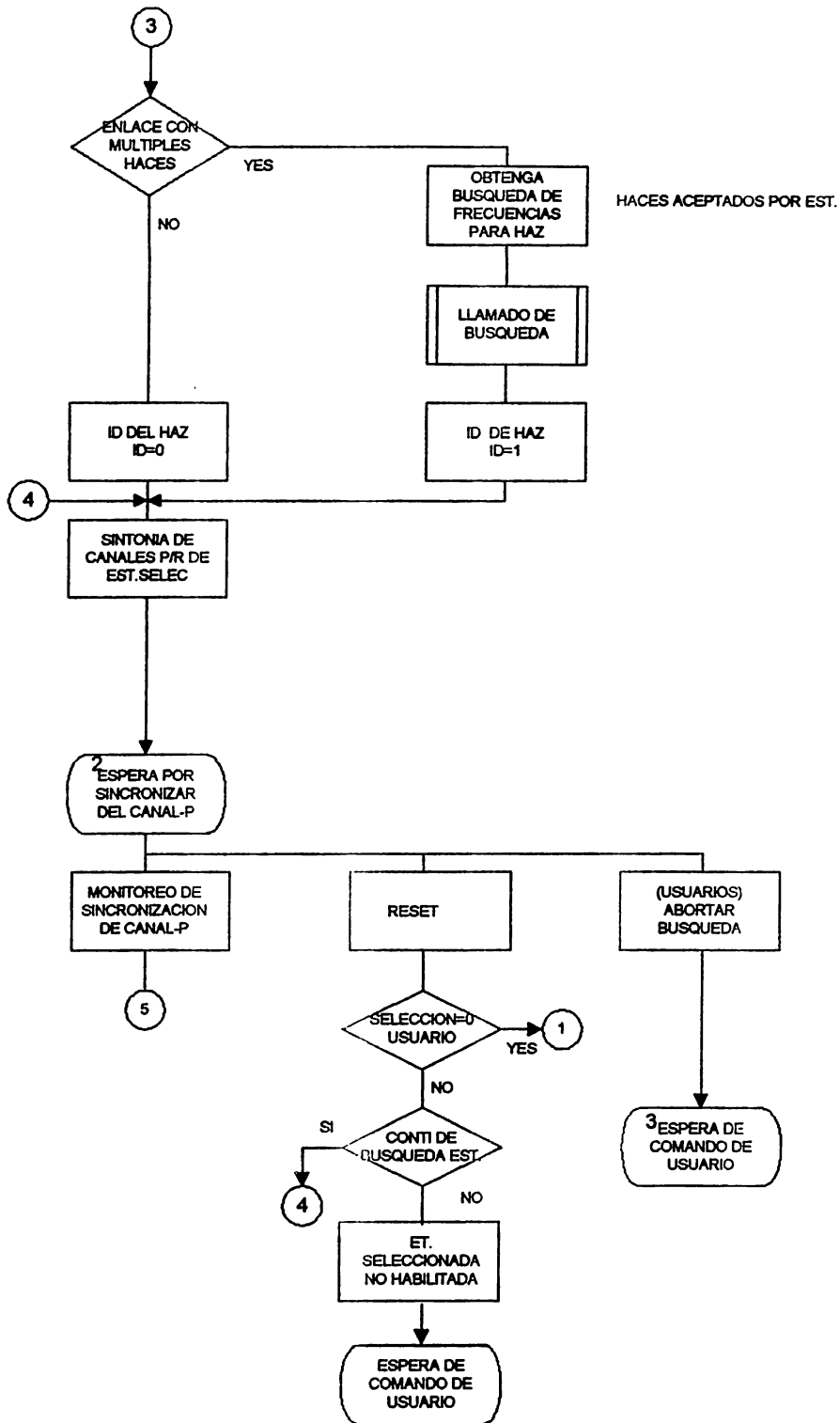
2.- En movimiento, la aeronave generará llamadas y también recibirá, observándose las señales involucradas.

PROCESO DE HANDOVER Y LOG-ON

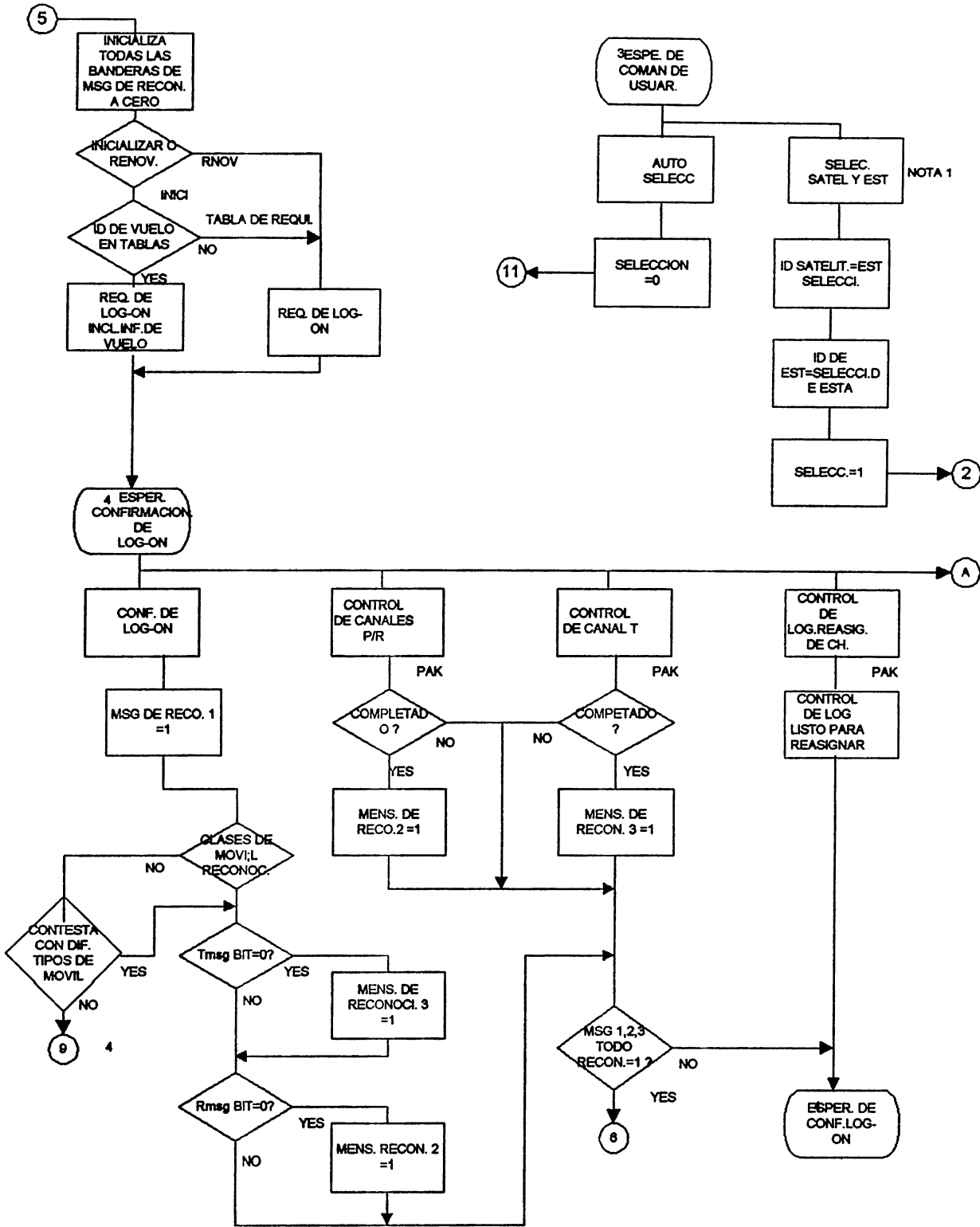
1 DE 10



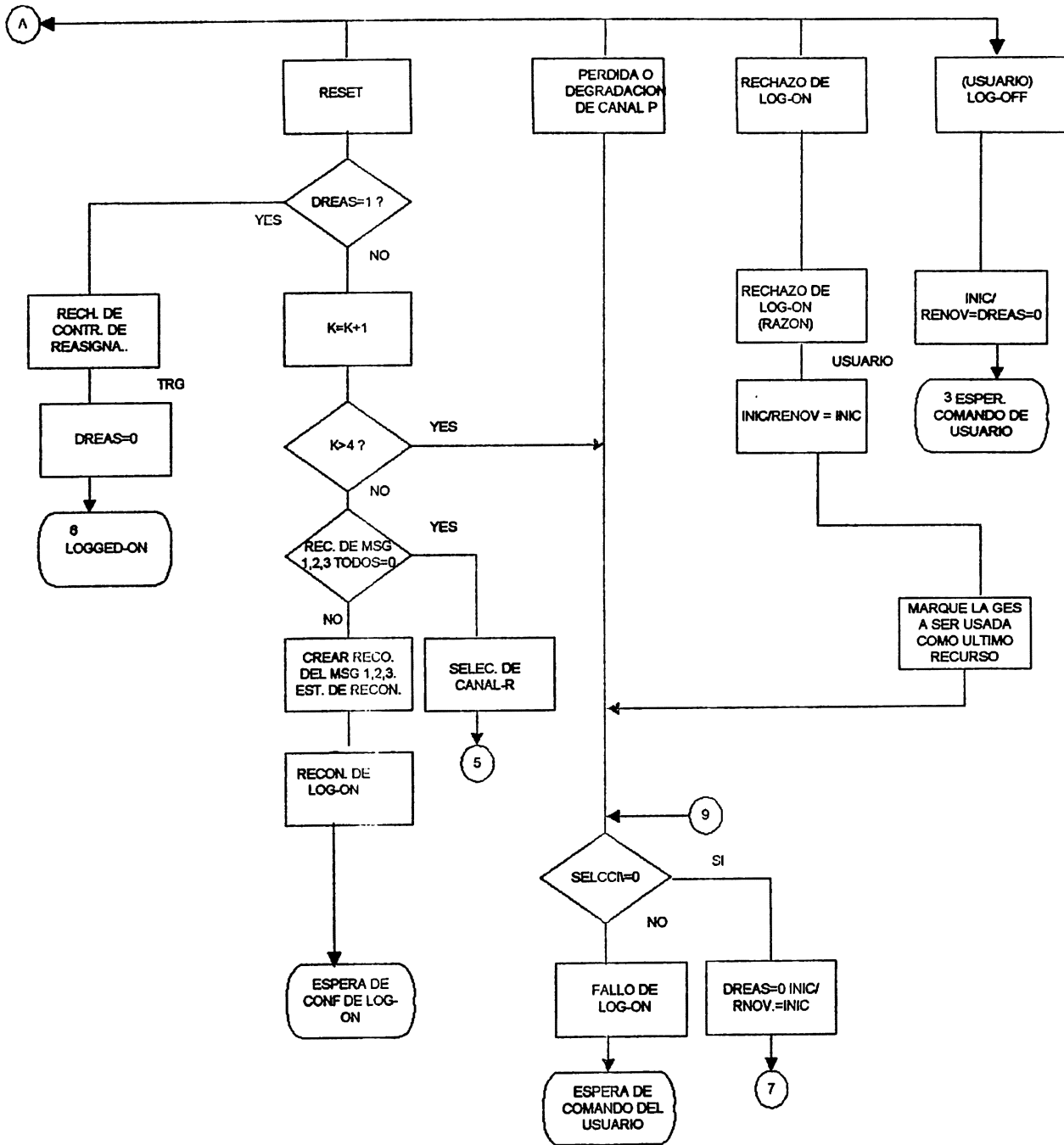
NOTA 1 : LA SELECCION DE LA GES DEBERA SER EN DIFERENTES PISADAS DE SATELITE (SI ES VISIBLE) Y SI EL HANDOVER ES INICIADO DEBIDO A UN HAZ GLOBAL DEBIDO A LA PERDIDA DEL CANAL-P O SU DEGRADACION
 NOTA 2: MARCO DEL CANAL-P

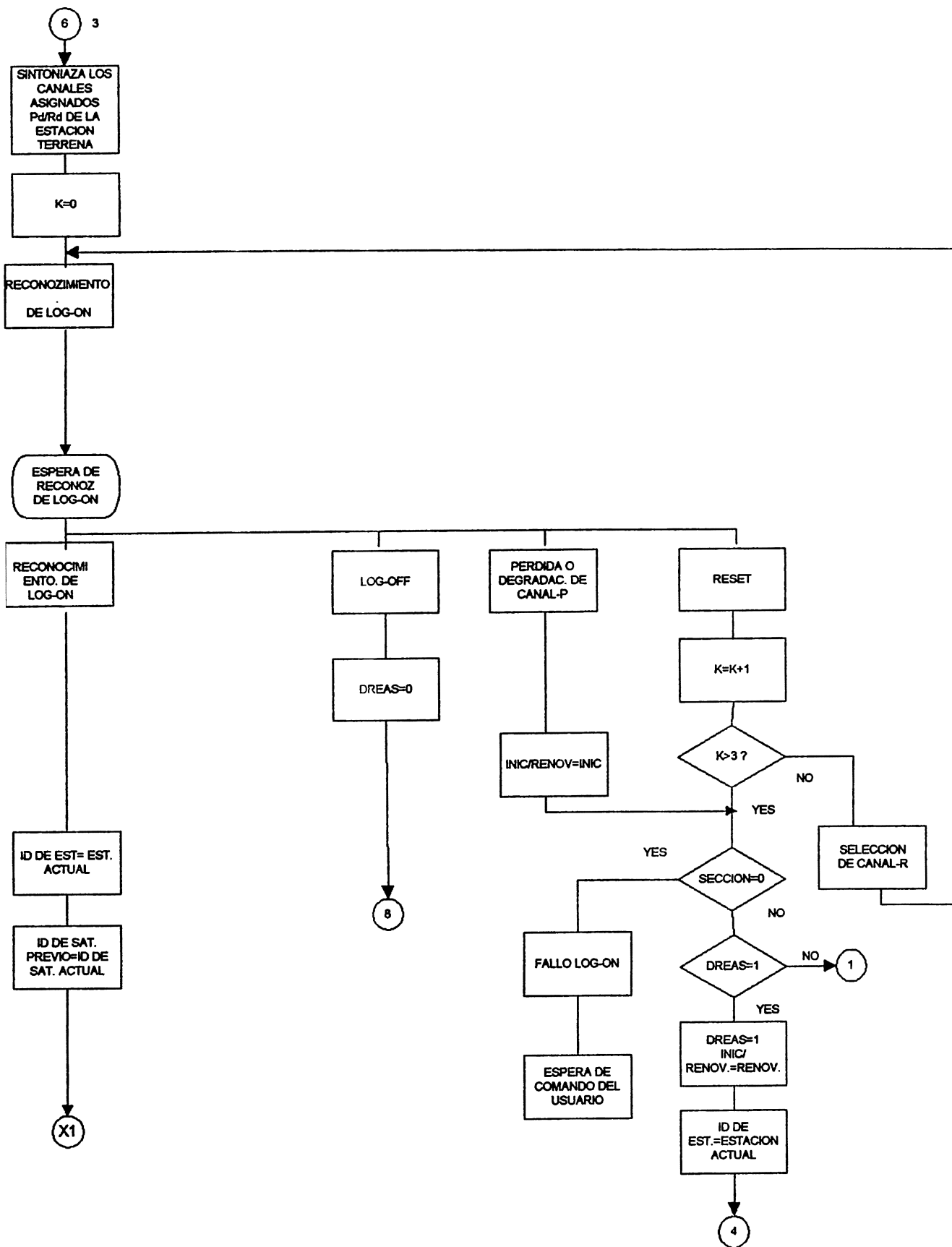


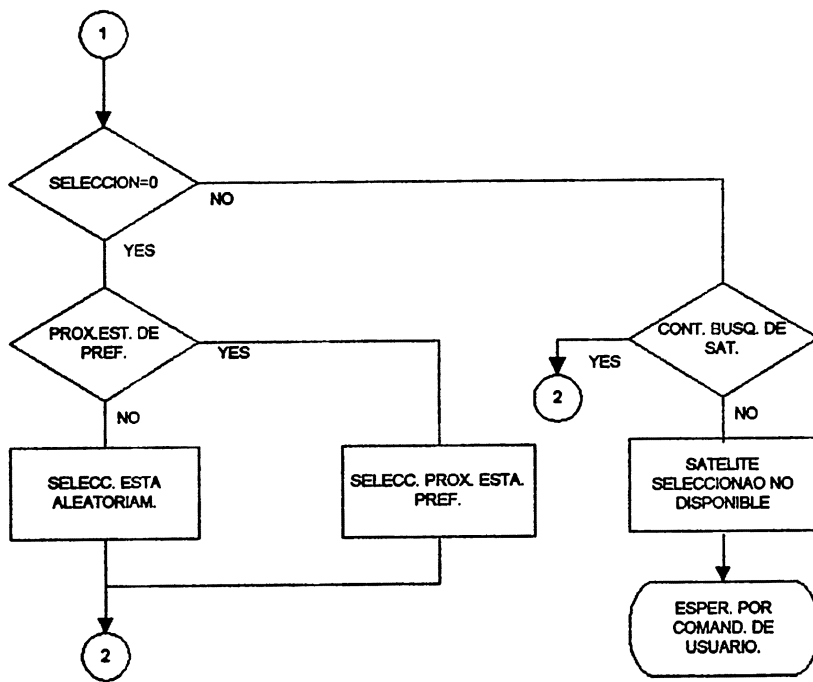
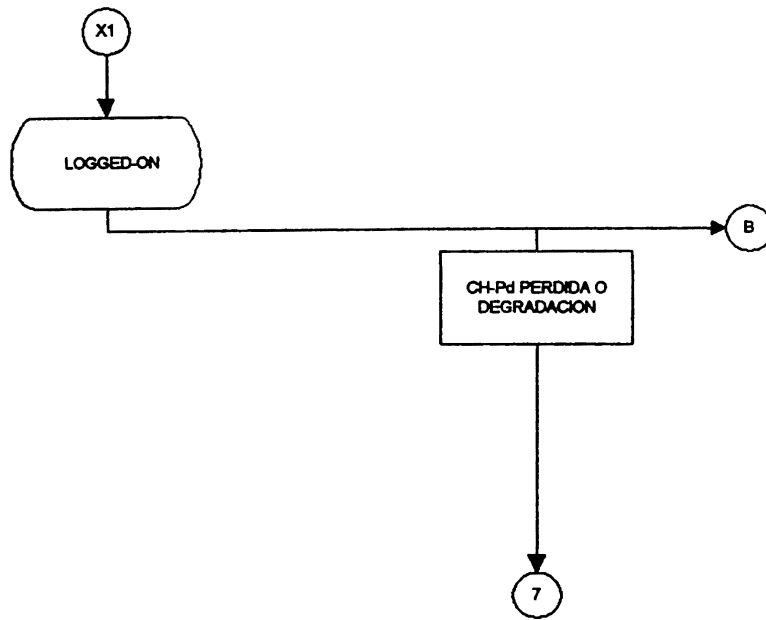
NOTA: MARCO DEL CANAL-P

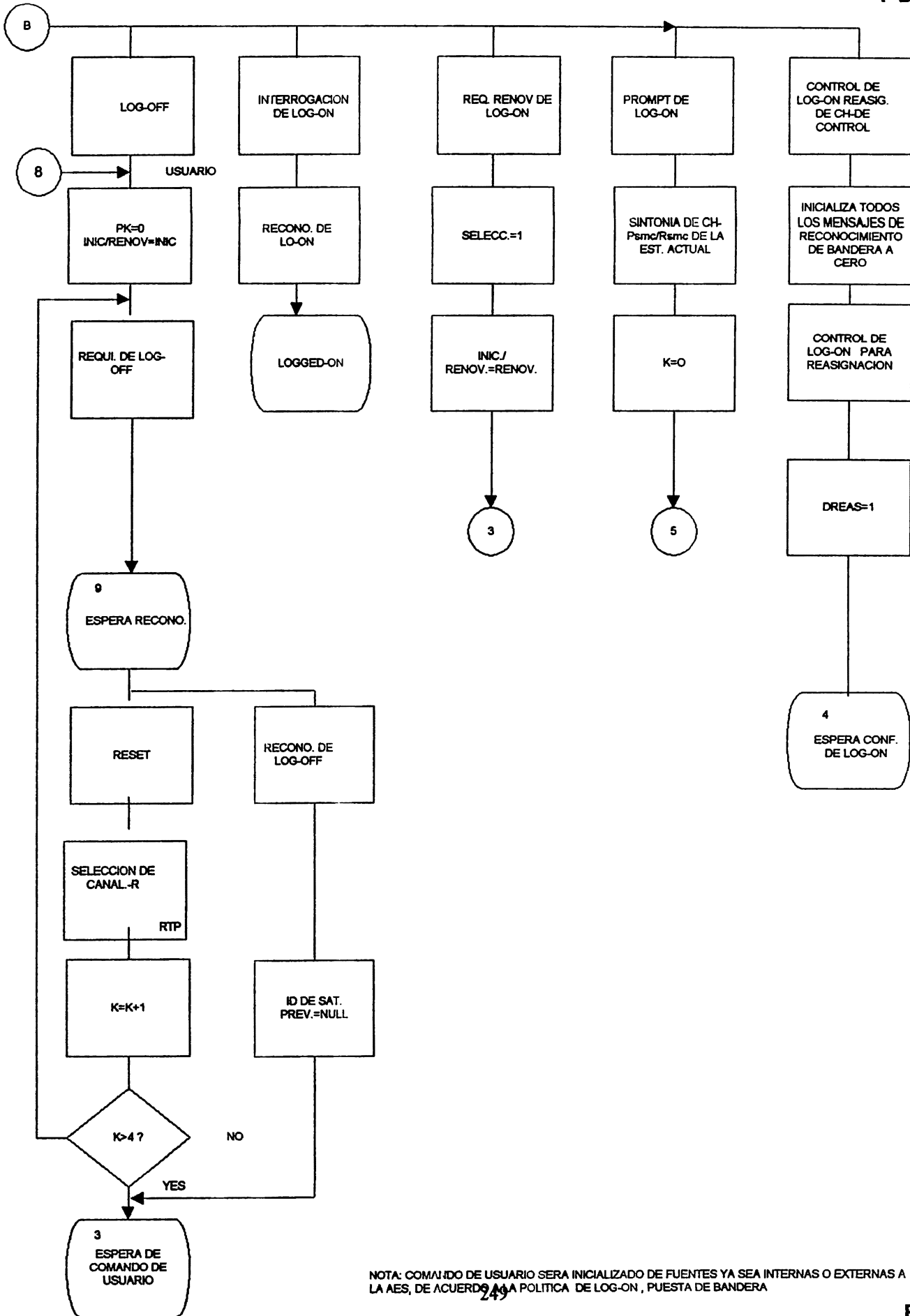


NOTA 1: LA SELECCION EXPLICITA POR COMANDOS DEL USUARIO ESTA PERMITIDA SOLAMENTE SI EL TIPO DE LOG-ON ESTA PUESTO EN EL MODO 'COMANDOS DEL USUARIO'
 NOTA 2: LA BANDERA SELECCIONADA ES PUESTA MIENTRAS SE ESTA EN LA TRANSICION DE LOG-ON DE SATELITE A ESTACION TERRENA SELECCIONADA POR LOS COMANDOS DEL USUARIO









NOTA: COMANDO DE USUARIO SERA INICIALIZADO DE FUENTES YA SEA INTERNAS O EXTERNAS A LA AES, DE ACUERDO A LA POLITICA DE LOG-ON, PUESTA DE BANDERA

FIG 4 (7)

BLOQUE DE PROCESO DE BUSQUEDA DE LOG-ON

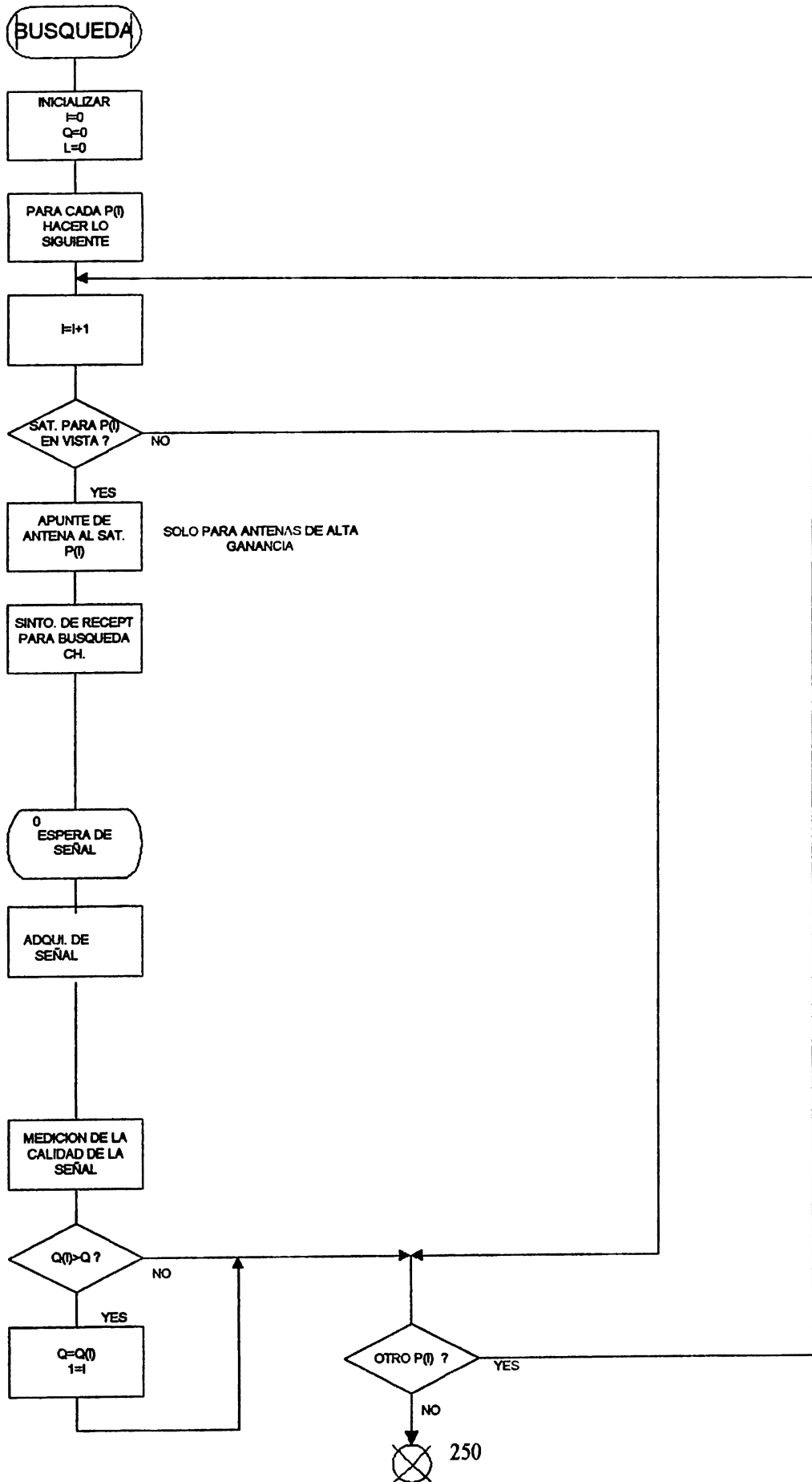
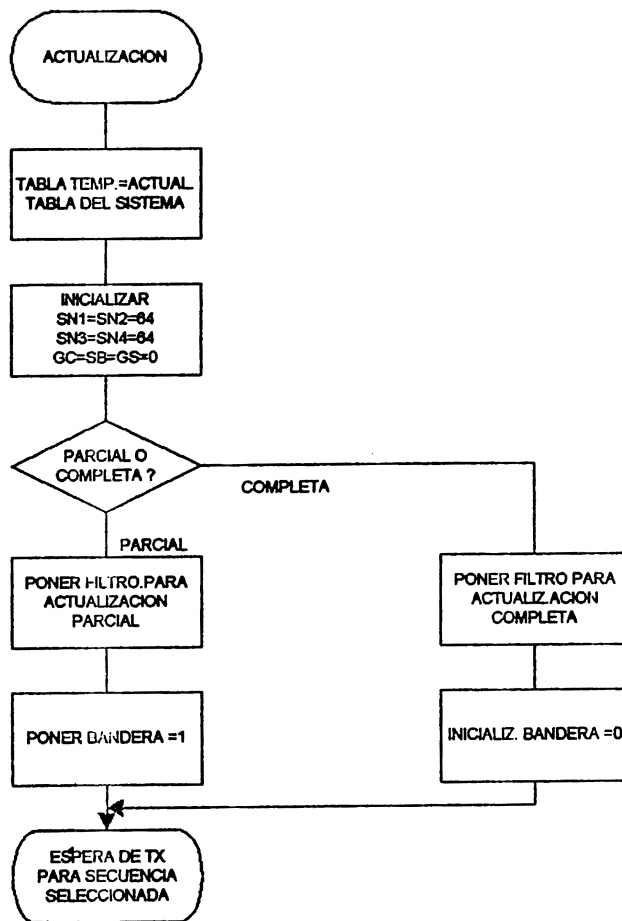
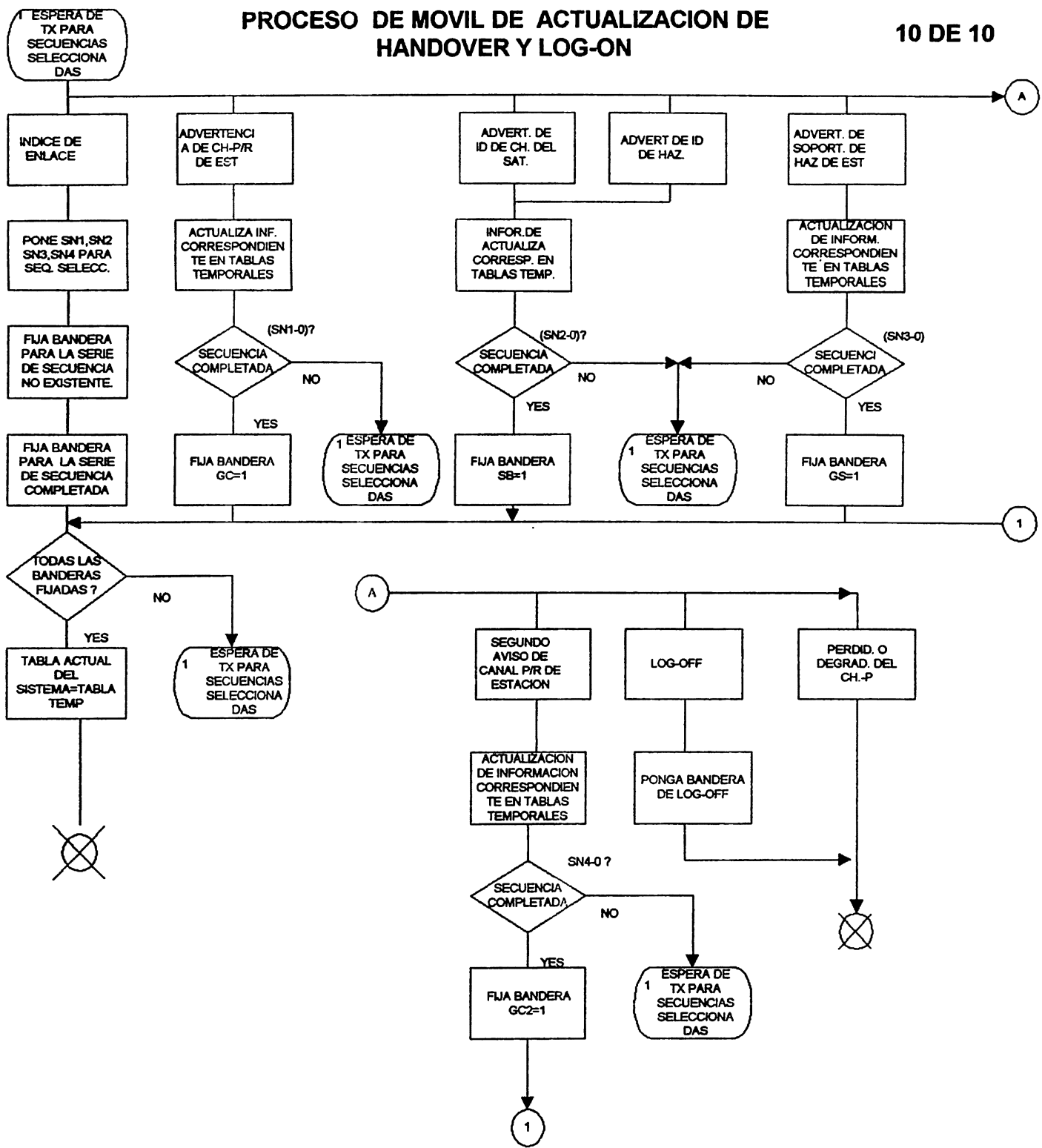


FIG 4 (8)



PROCESO DE MOVIL DE ACTUALIZACION DE HANDOVER Y LOG-ON



SN1: # DE SECUENCIA. VALOR INICIAL PARA LA SERIE DE CANALES DE ADVERTENCIA SU_s P/R
 SN2: # DE SECUENCIA. VALOR INICIAL PARA LA SERIE DE ID DE CANALES DE ADVERTENCIA SU_s DE SAT/SPOT
 SN3: # DE SECUENCIA. VALOR INICIAL PARA LA SERIE DE HACES DE ESTACIONES TERRENAS ADVERTENCIA DE SOPORTE SU_s
 SN4: # DE SECUENCIA. VALOR INICIAL PARA LA SEGUNDA SERIE DE CANALES P/R, ADVERTENCIA SU_s.
 GC: BANDERA PARA INDICAR QUE TODOS LOS SU_s EN LAS SERIES DE CANAL P/R DE ADVERTENCIA SU_s HAN SIDO RECIBIDOS.
 SB: BANDERA PARA INDICAR QUE TODOS LOS SU_s EN LA SERIE DE ID DE ADVERTENCIA SU_s DE CANALES SAT/SPOT HAN SIDO RECIBIDOS.
 GS: BANDERA PARA INDICAR QUE TODOS LOS SU_s EN LA SERIE DE HACES DE ESTACION TERRENA ADVERTENCIA DE SOPORTE HAN SIDO RECIBIDOS.
 GC2: BANDERA QUE INDICA SI TODOS LOS SU_s EN LA SEGUNDA SERIE DE CANALES P/R DE ADVERTENCIA SU_s HAN SIDO RECIBIDOS.

PROCESO DE ESTACION TERRENA PARA SOLICITUD DE LOG-ON

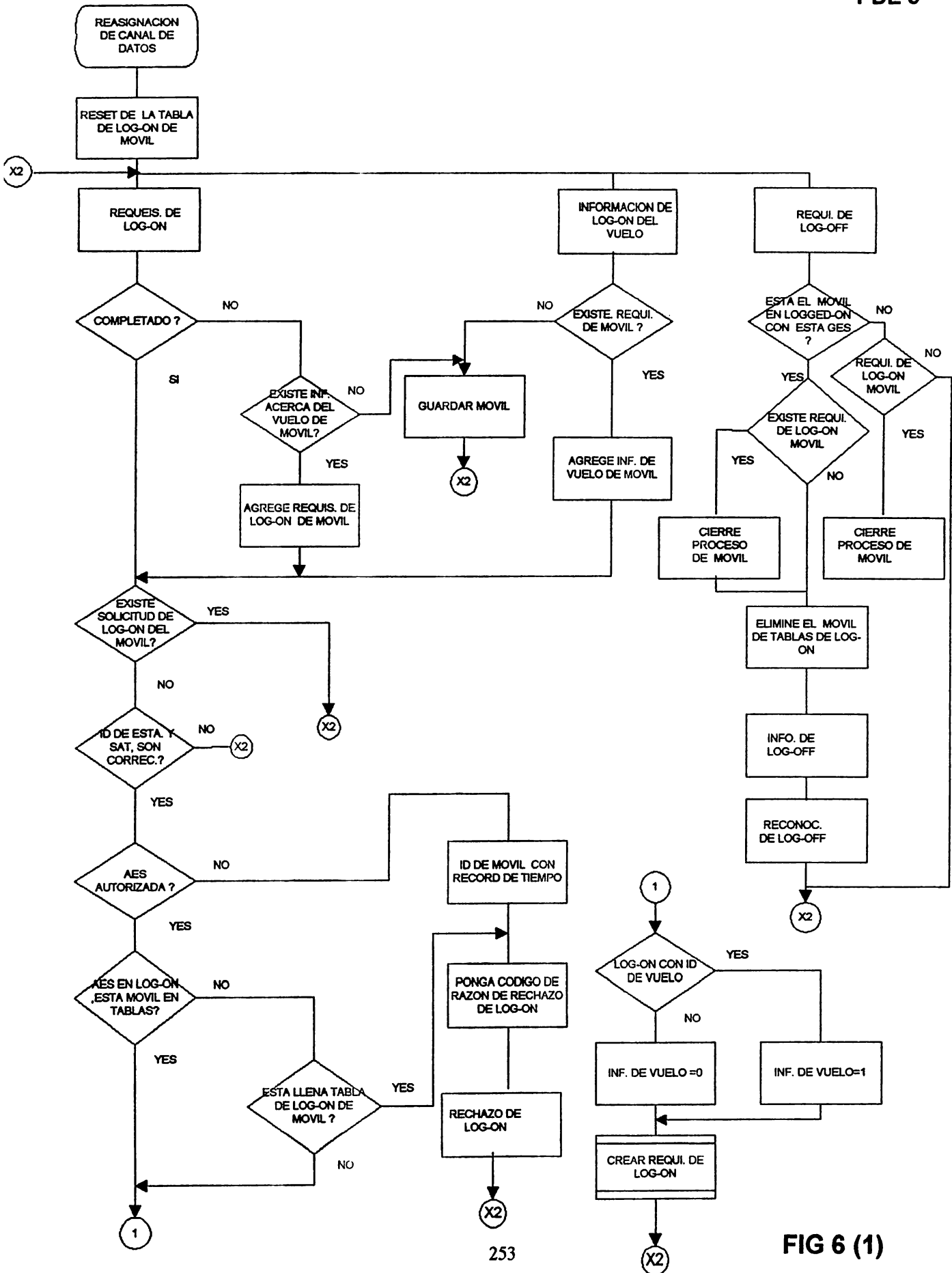


FIG 6 (1)

PROCESO DE ESTACION TERRENA PARA SOLICITUD DE LOG-ON

2 DE 3

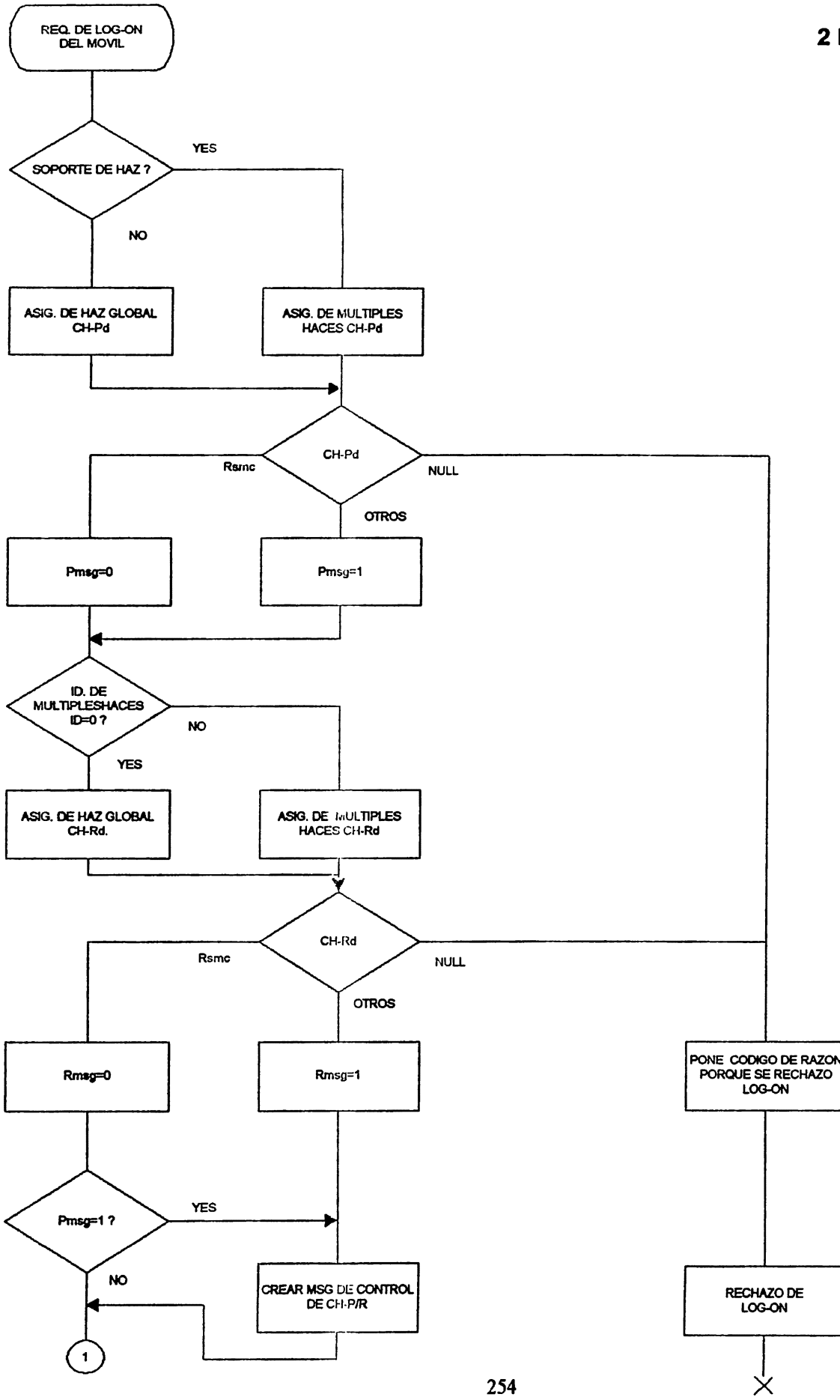
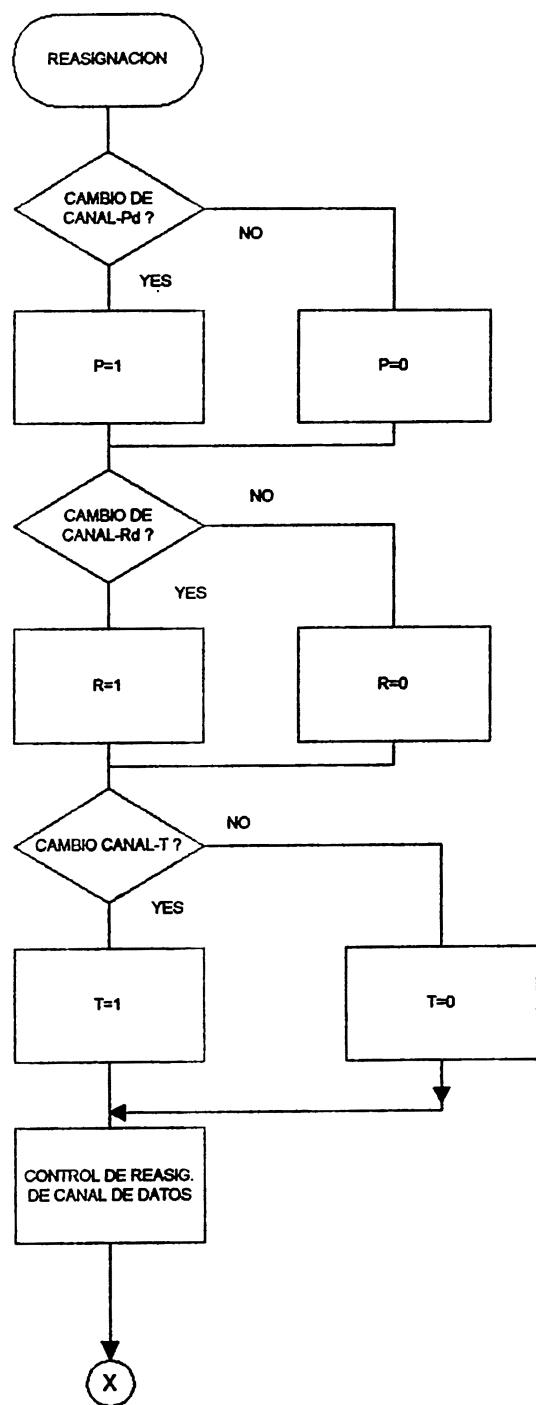
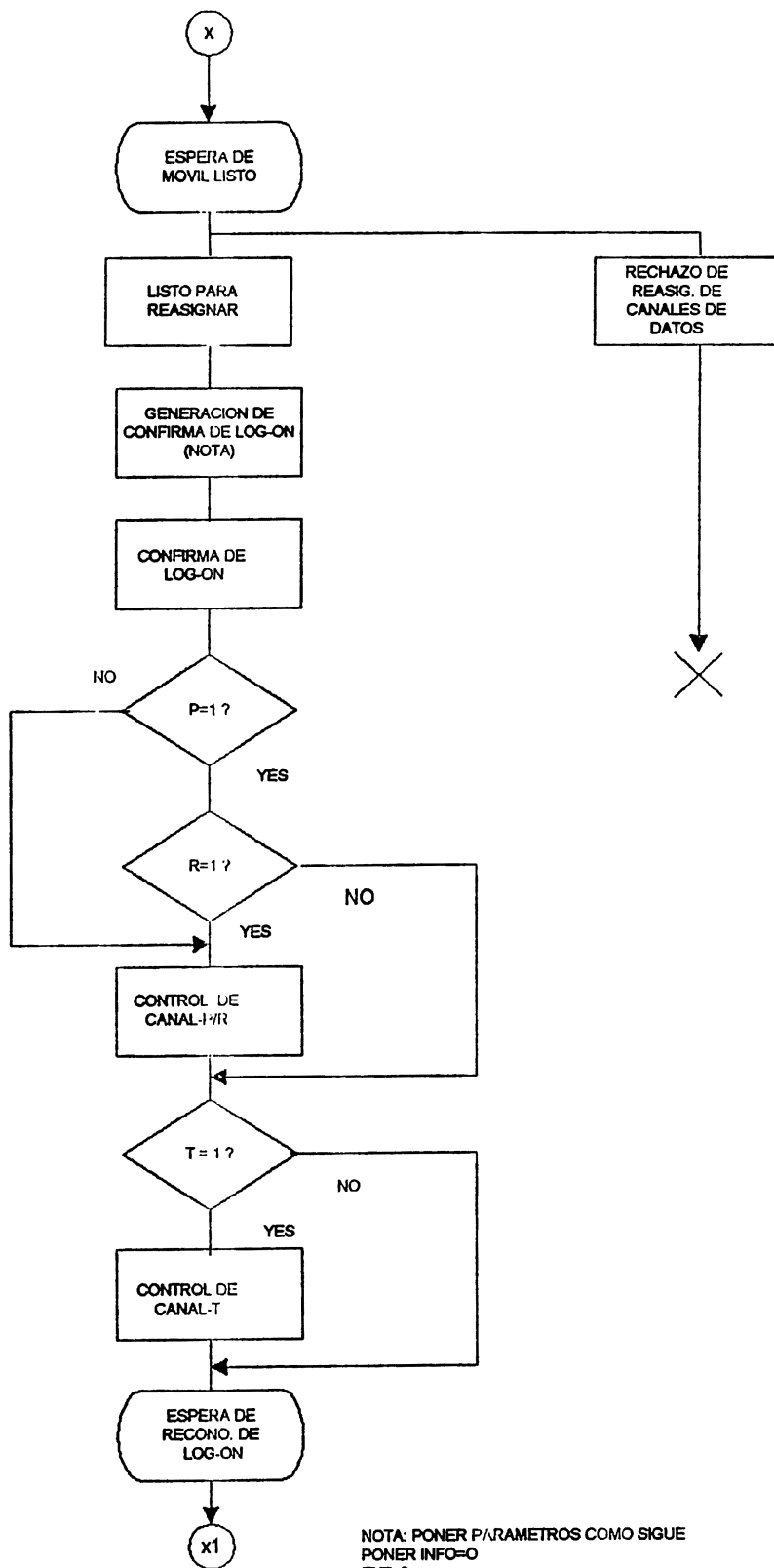


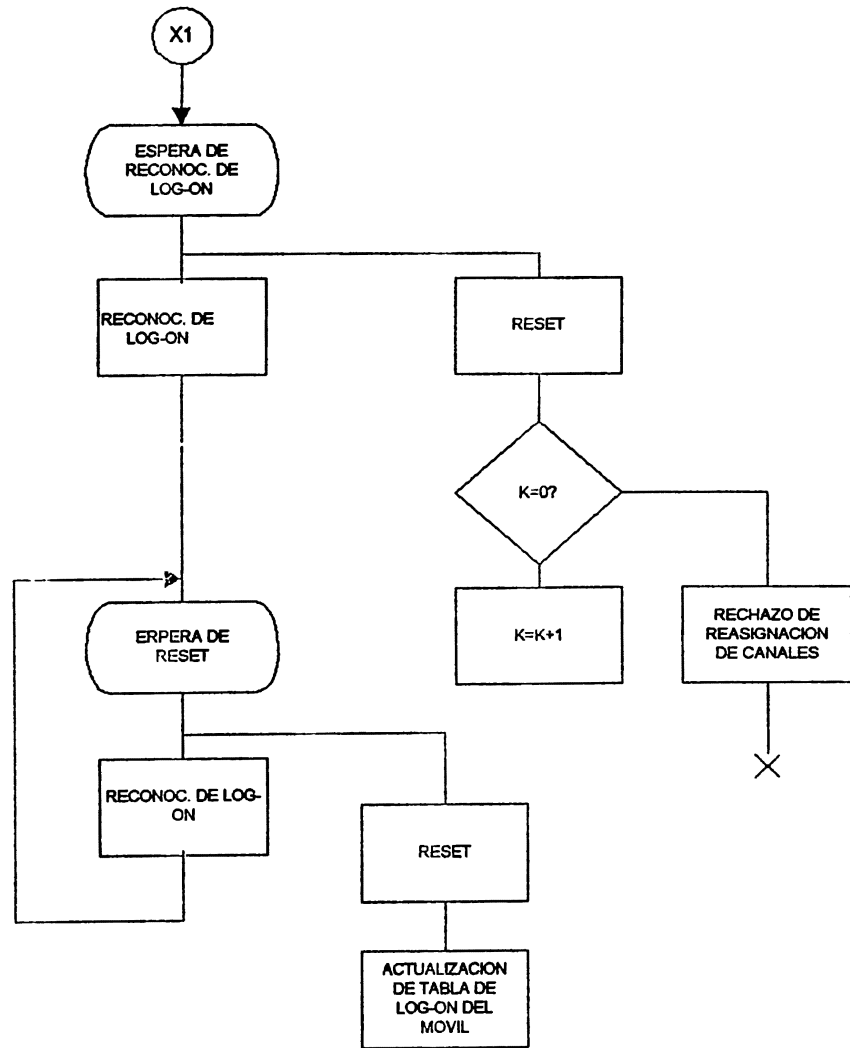
FIG 6 (2)

PROCESO DE REASIGNACION DE CANALES DE DATOS PARA ESTACION TERRENA

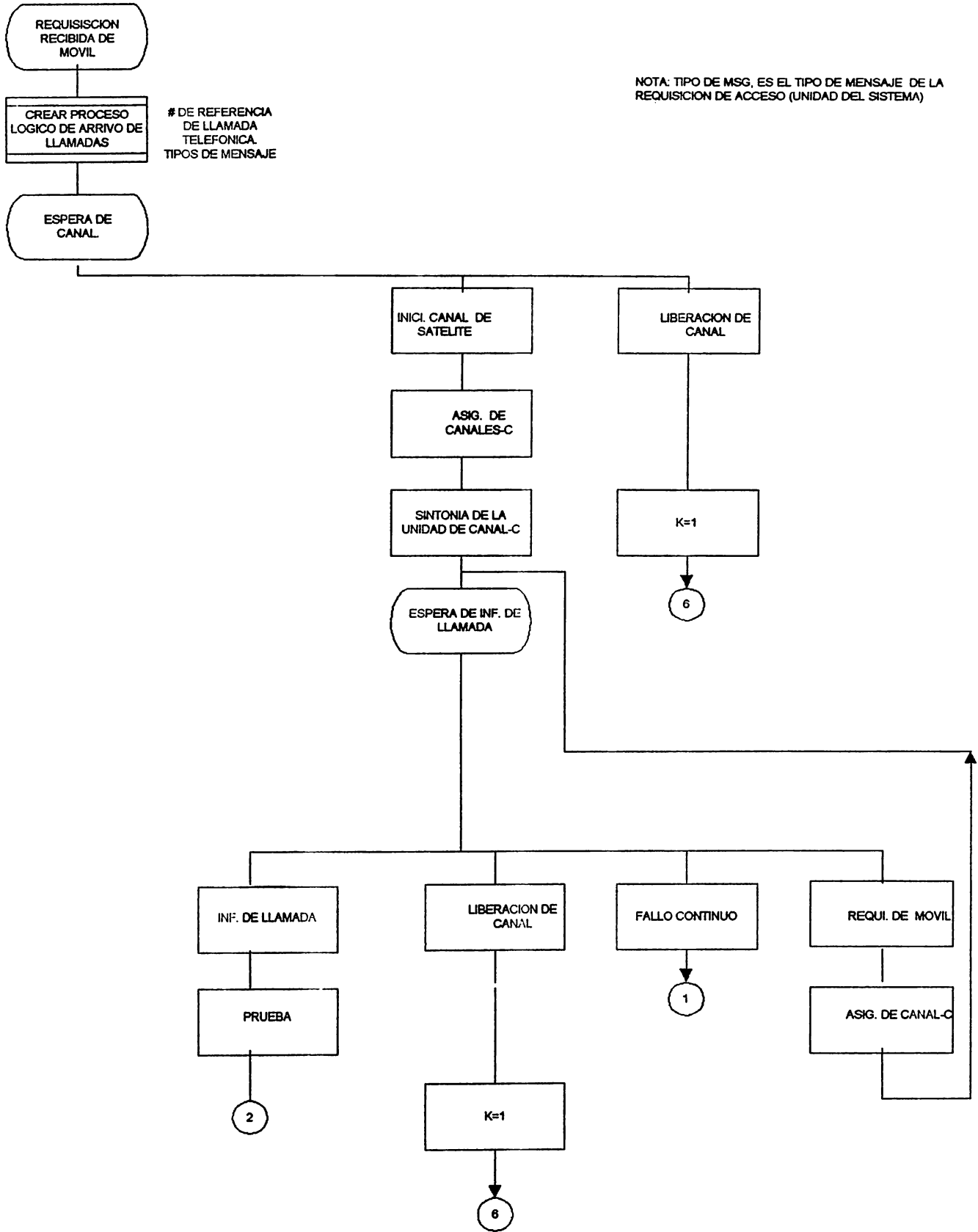


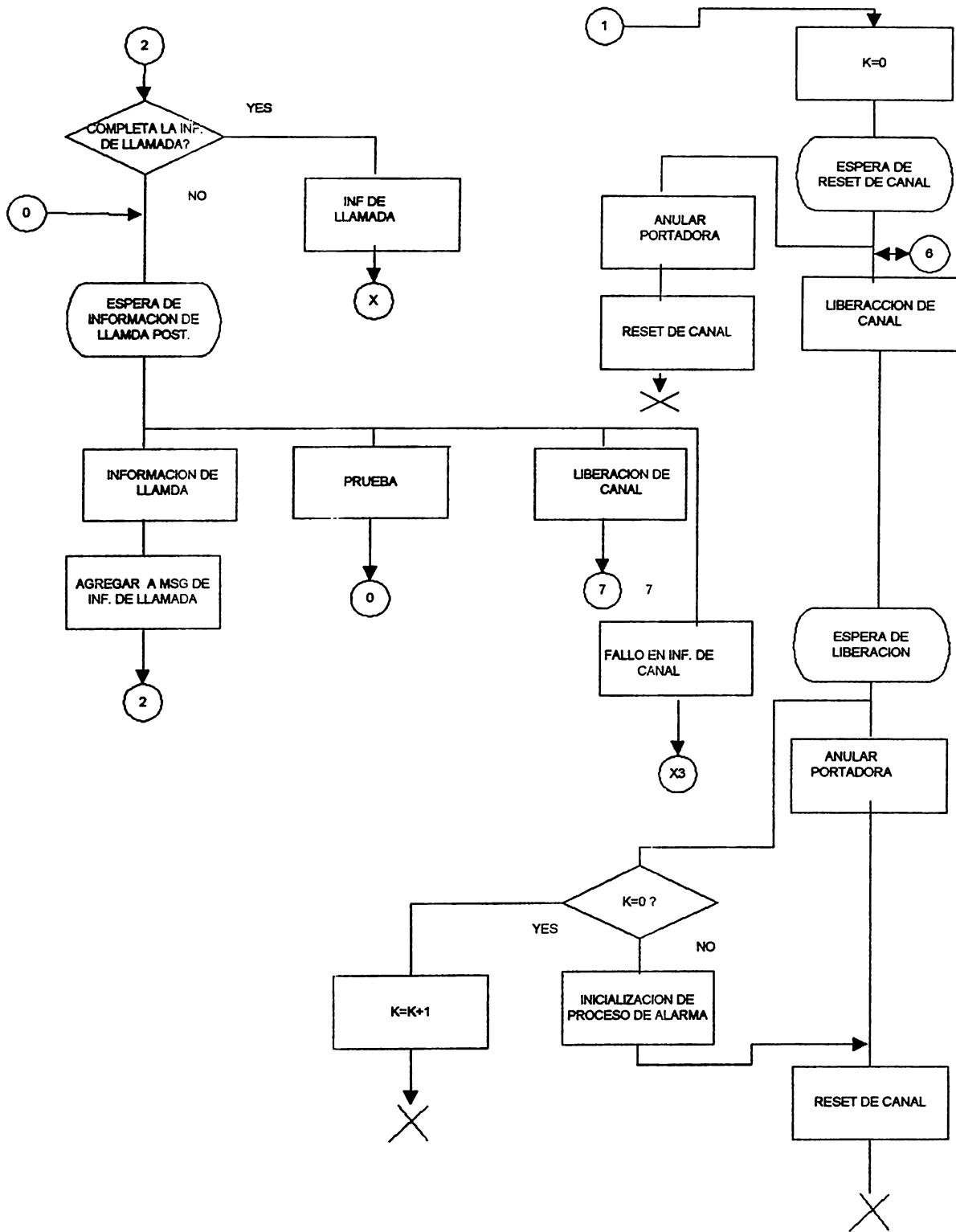


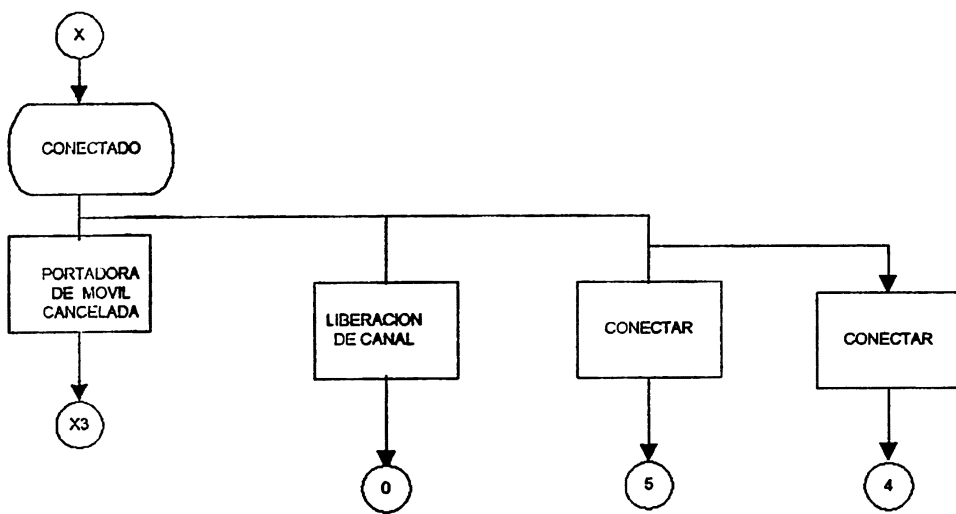
NOTA: PONER P/PARAMETROS COMO SIGUE
 PONER INFO=0
 EXT=0
 ID. DEL SAT=ESTE SATELITE
 ID. DE HAS=HAZ ACTUAL
 EIRP Inicial= DE ACUERDO A VELOCIDAD DEL CANAL R/T
 CLASE DE AES= COMO EL LAS TABLAS DE LOG-ON
 CARACTERISTICAS DEL CANAL DE VOZ= COMO EN TABLAS DE LOG-ON
 REFERENCIA=4MSG A "0", 4 LBS COMO EN CONTROL DE LOG-ON



ARRIBO DE LLAMADA TELEFONICA A LA ESTACION TERRENA







0
4
5

FIG 14 (3)

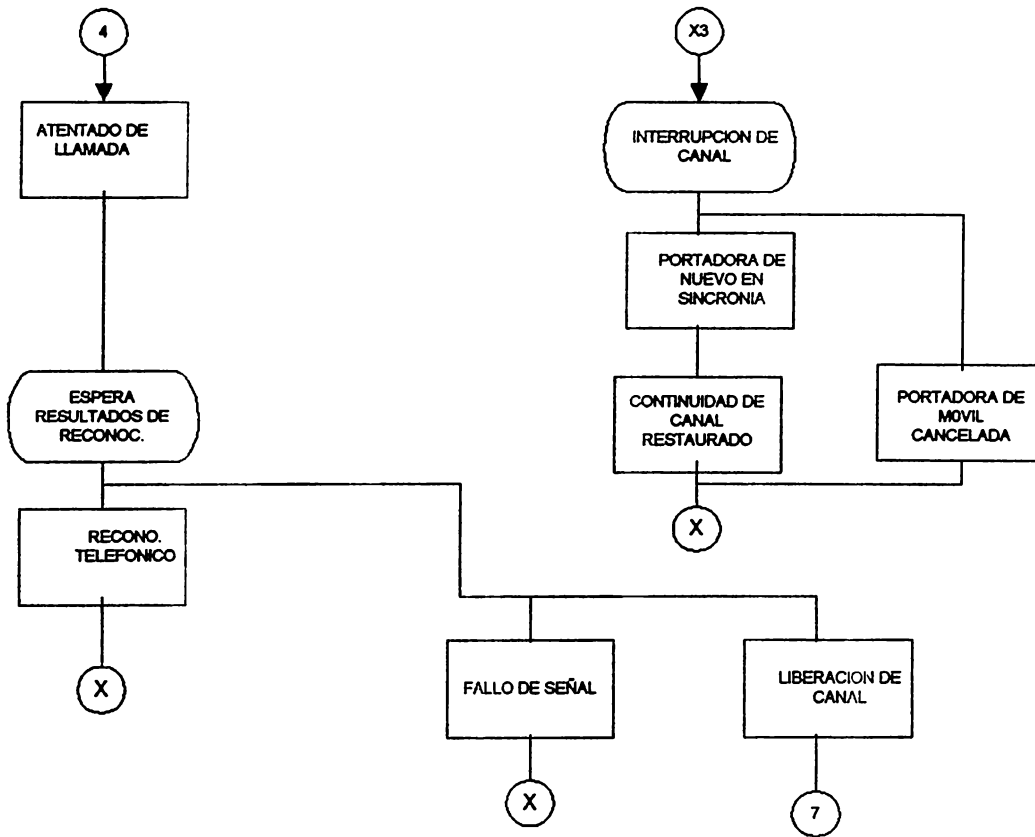


FIG 14 (4)

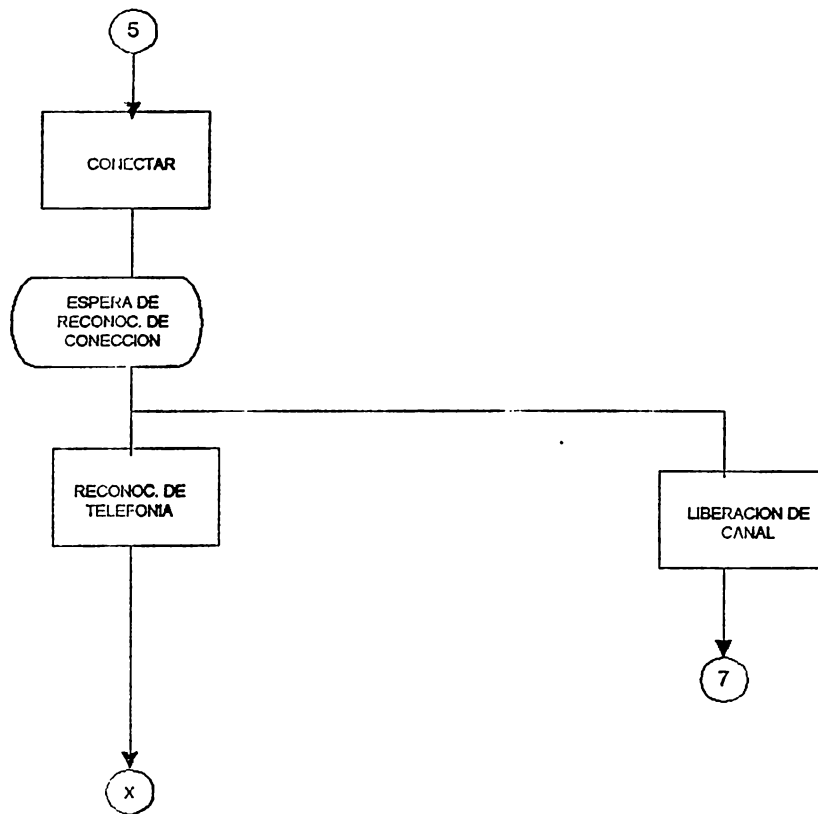


FIG 14 (5)

ARRIBO DE LLAMADA TELEFONICA A LA ESTACION TERRENA

6 DE 6

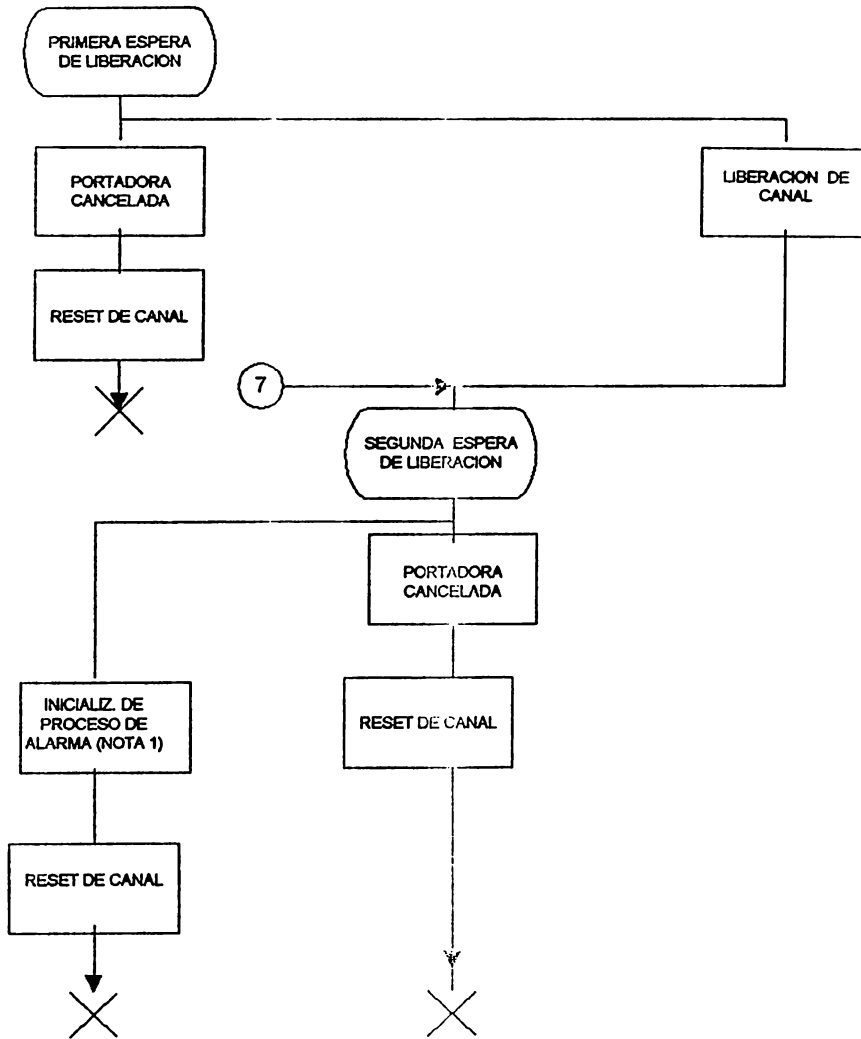
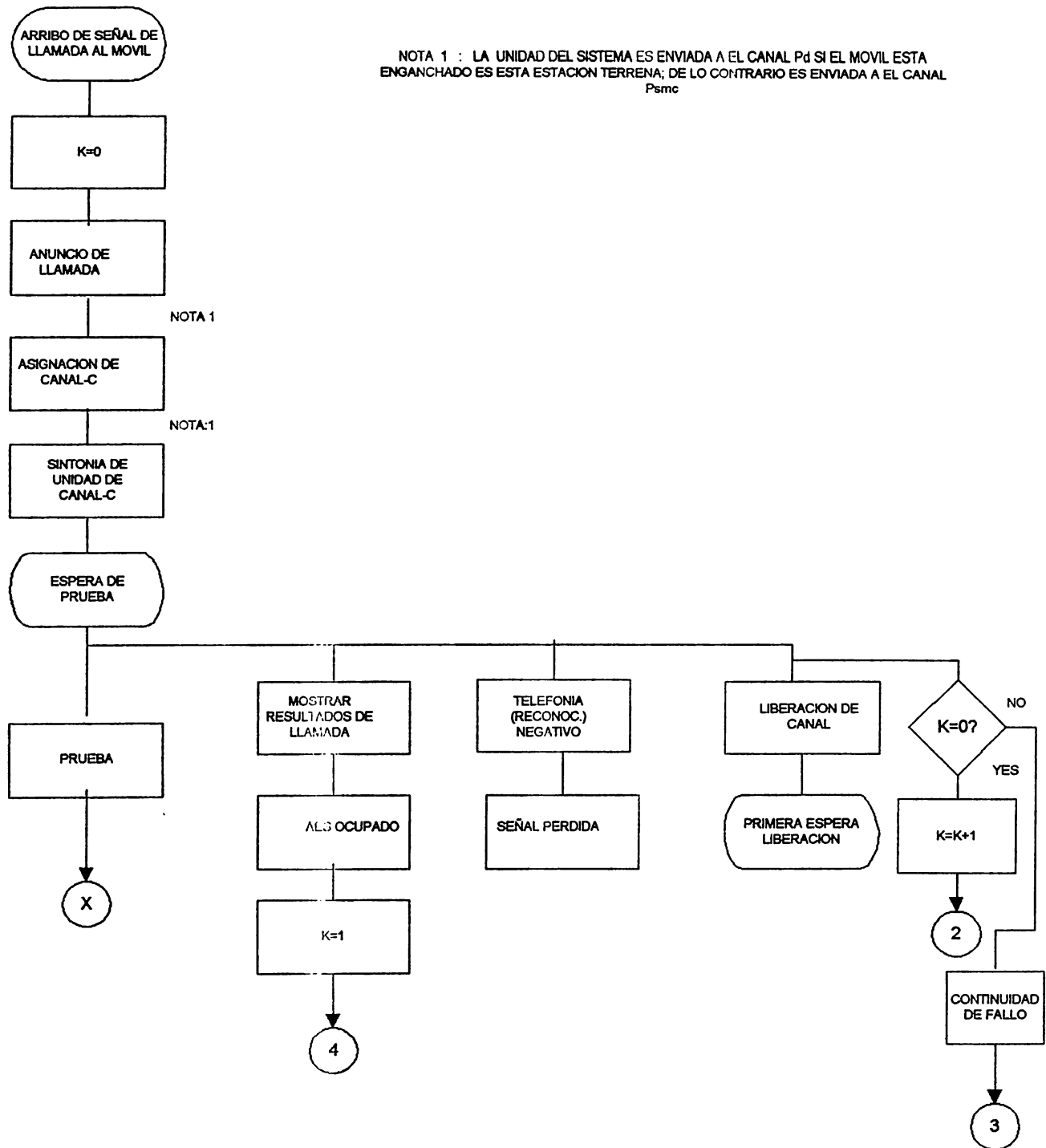
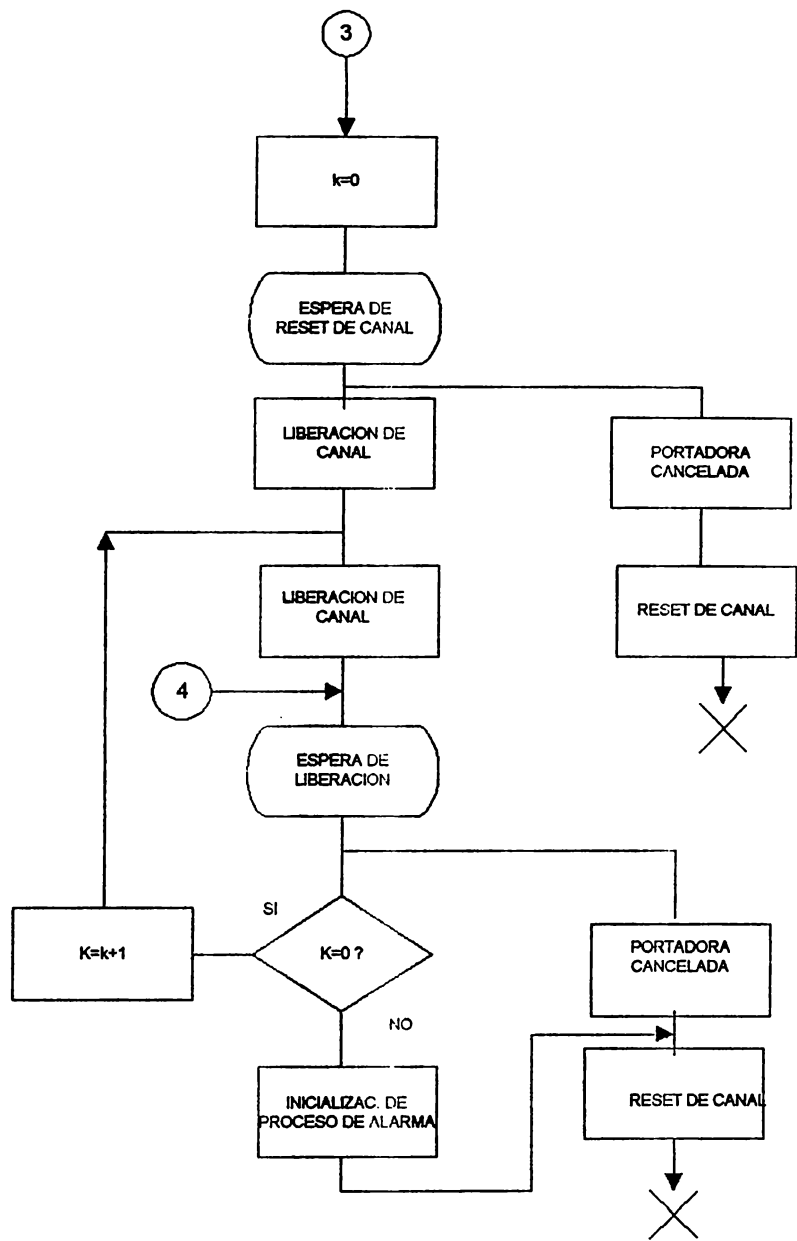


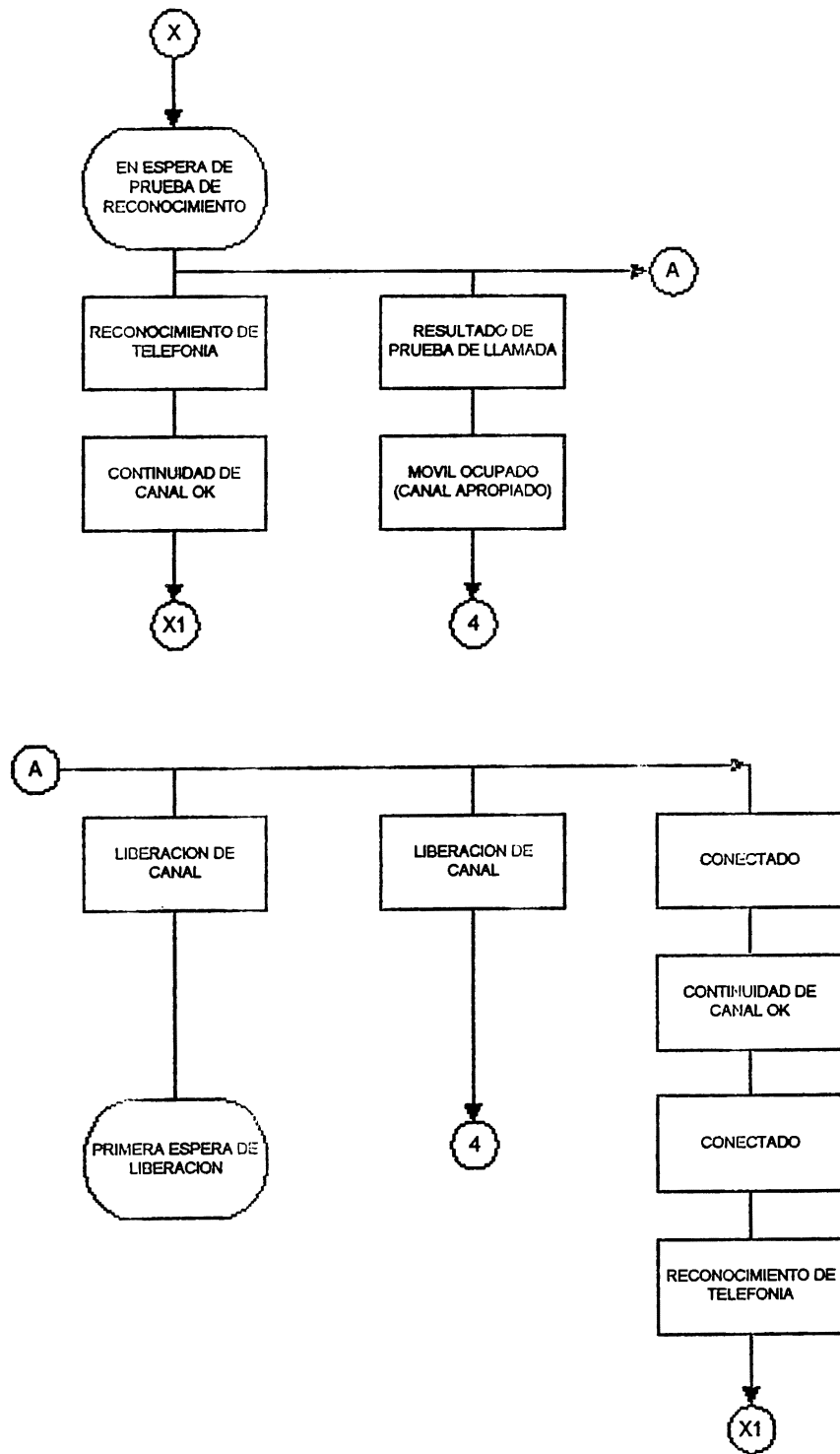
FIG 14 (6)

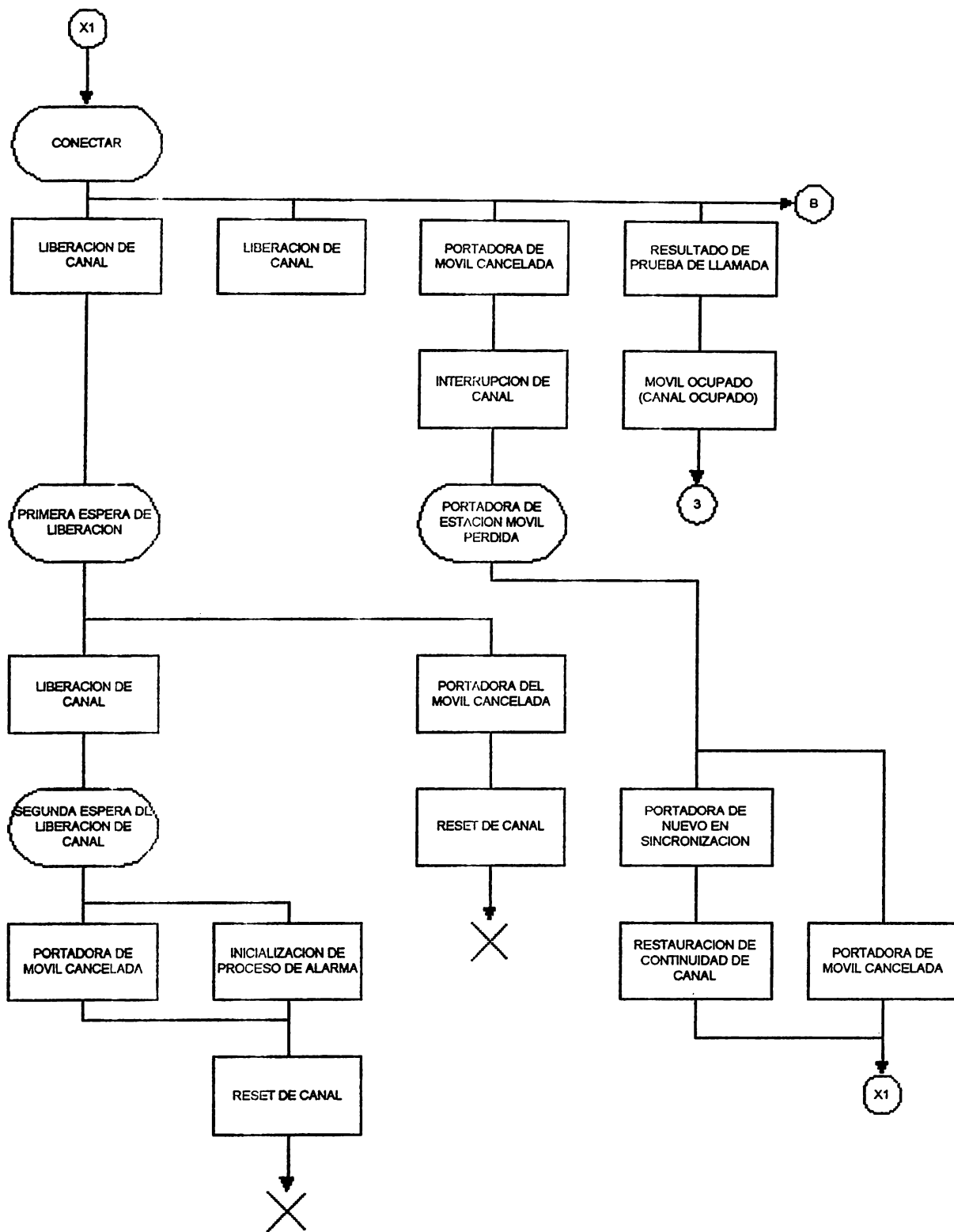
PROCESO FISICO DE SEÑALIZACION DE UNA LLAMADA ARRIBANDO A LA ESTACION MOVIL



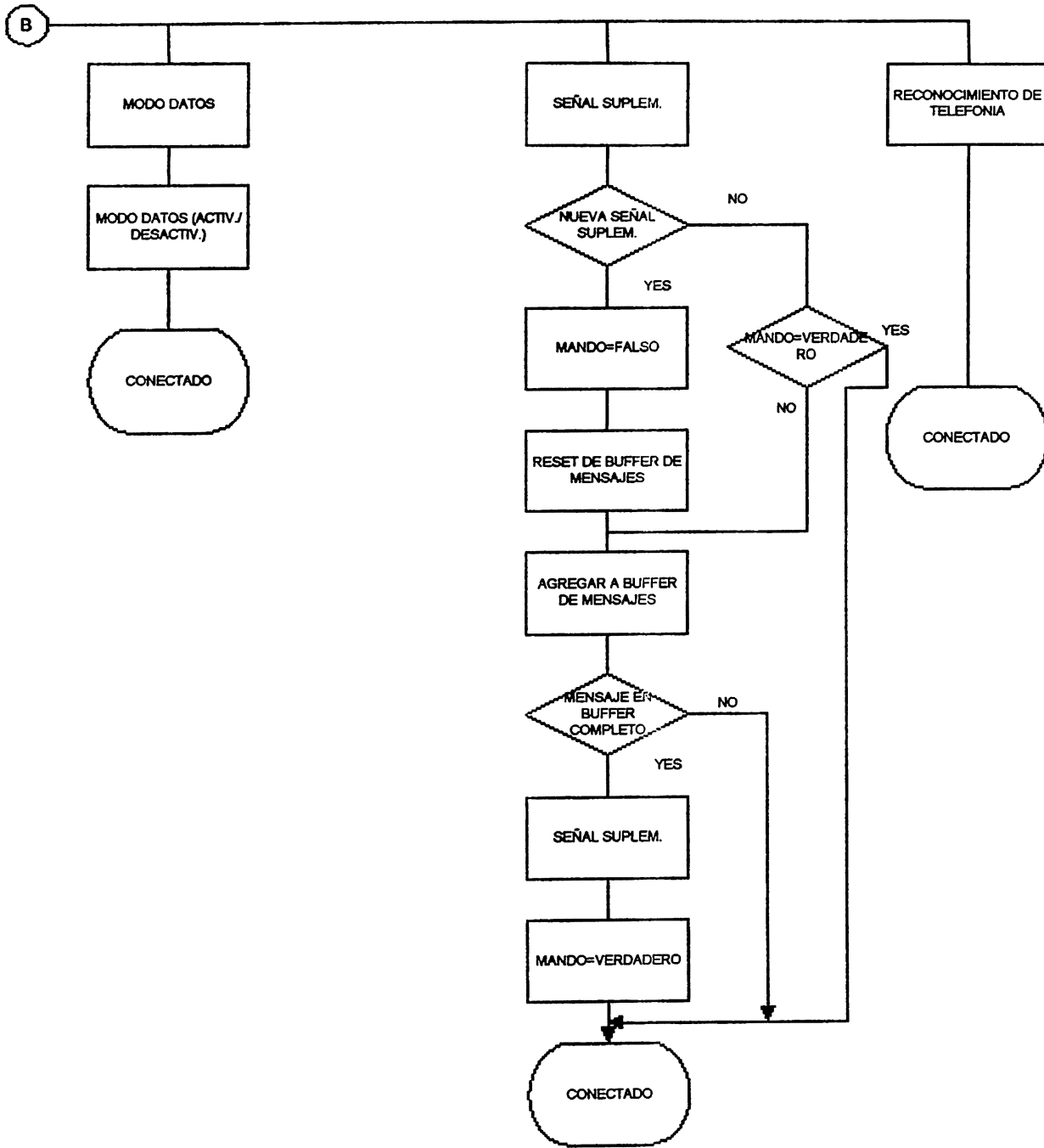


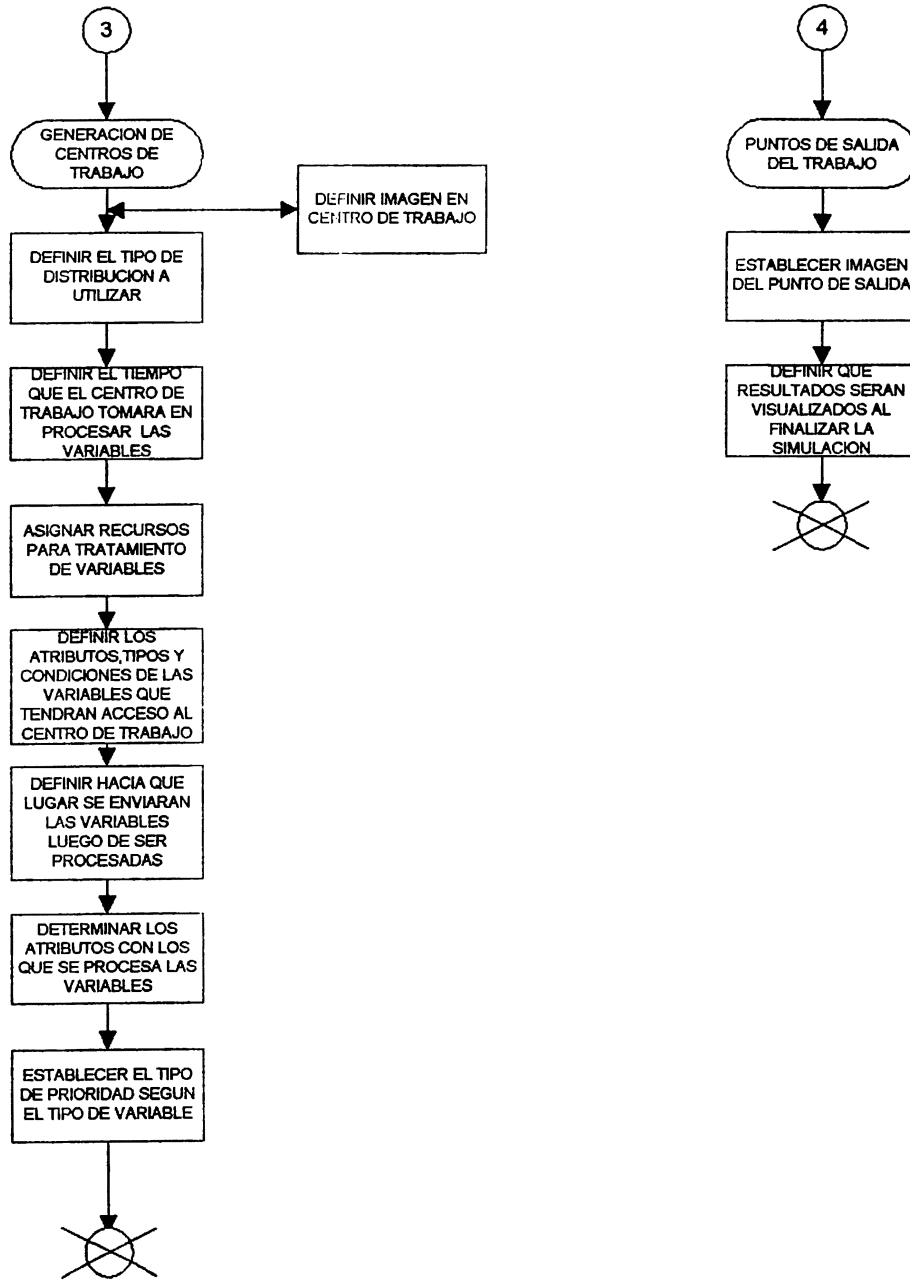
PROCESO FISICO DE SEÑALIZACION DE UNA LLAMADA
ARRIBANDO A LA ESTACION MOVIL

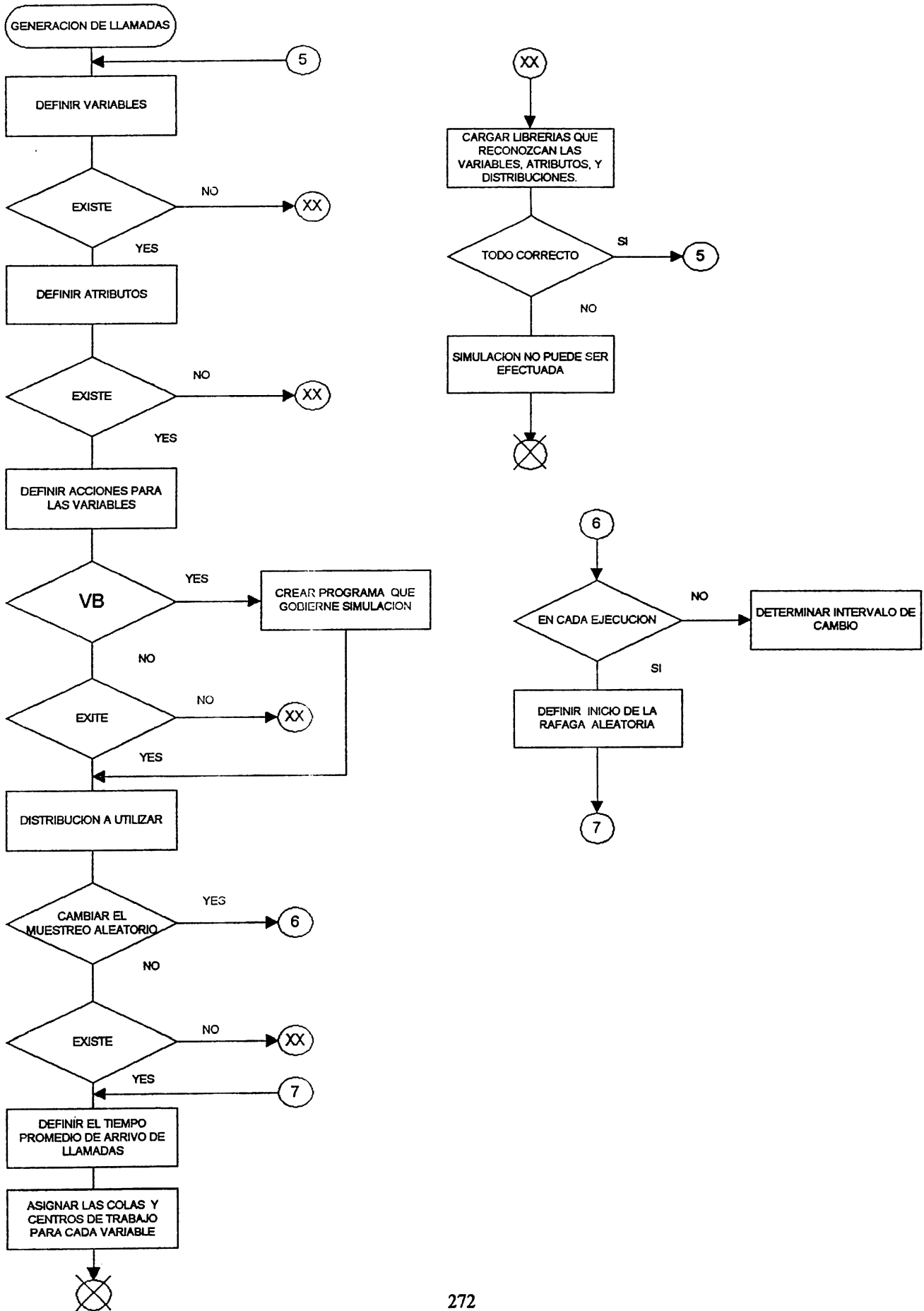




PROCESO FISICO DE SEÑALIZACION DE UNA LLAMADA ARRIBANDO A LA ESTACION MOVIL







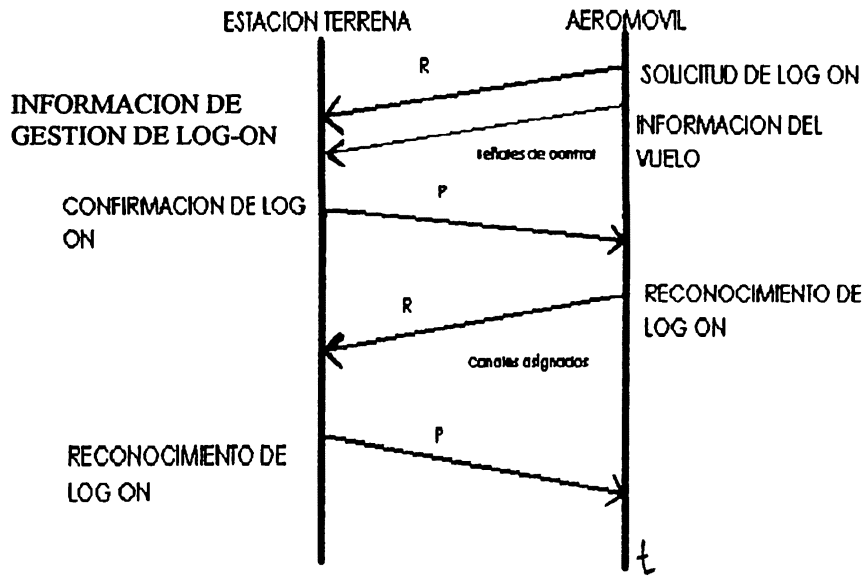


FIG. N1. SECUENCIA DEL PROCESO DE LOG ON

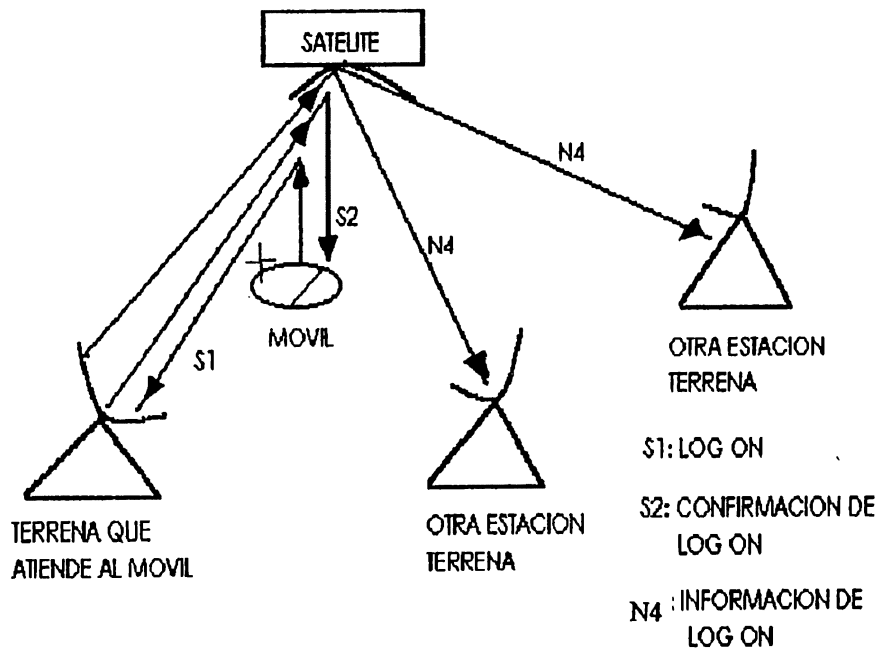


FIG. N2. ENRRUTAMIENTO DE SEÑALES PARA EL PROCESO LOG ON

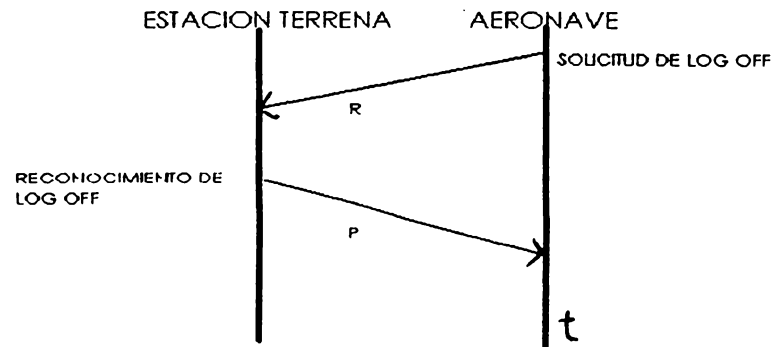


FIG. N3. SECUENCIA DEL PROCESO LOG OFF

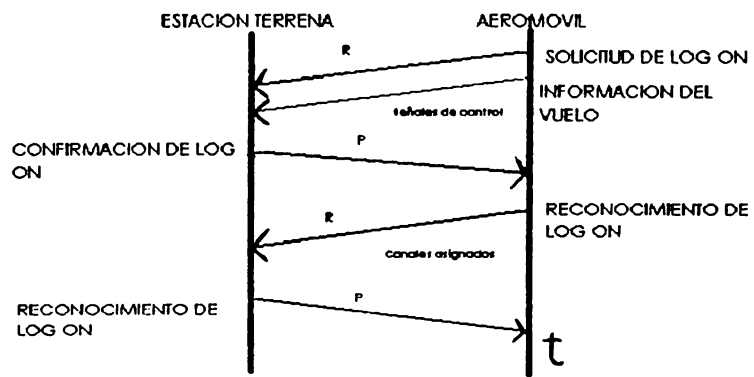


FIG. N7 SECUENCIA DEL PROCESO HANDOVER

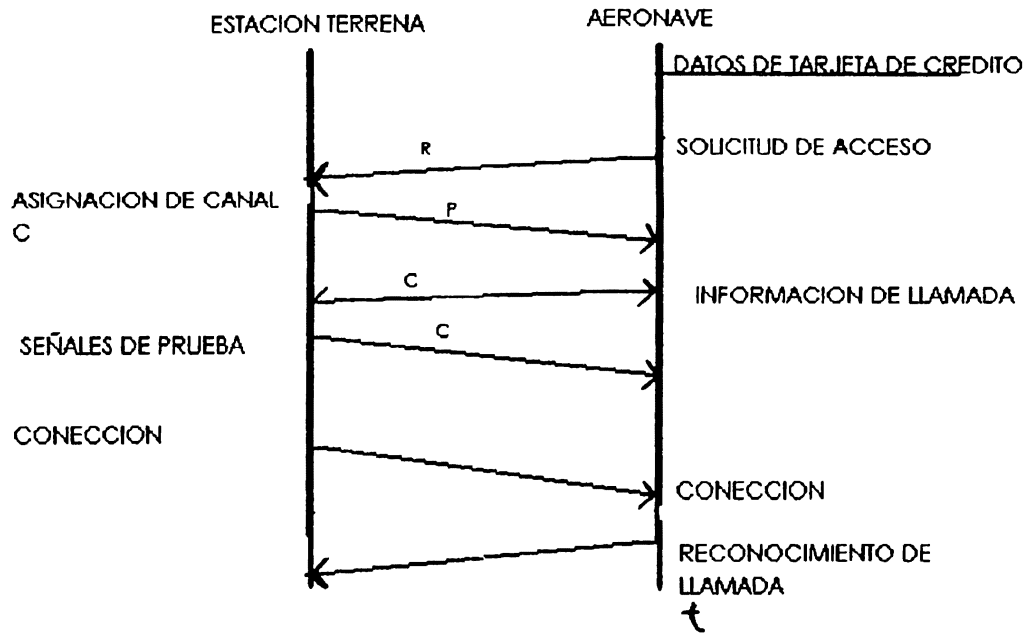


FIG. N9 SECUENCIA DE LA LLAMADA AIRE - TIERRA

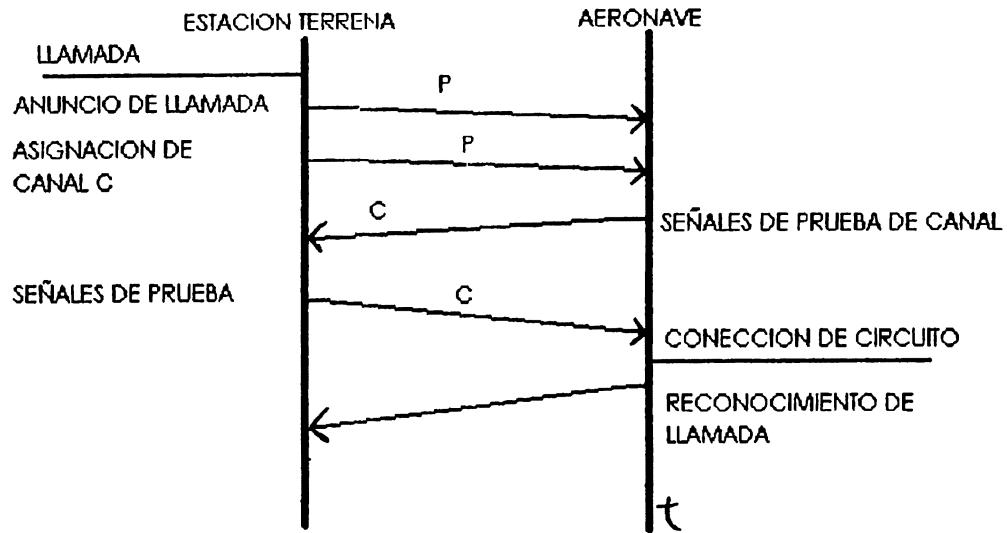


FIG N10. SECUENCIA DE LLAMADA TELEFONICA
TIERRA A AIRE

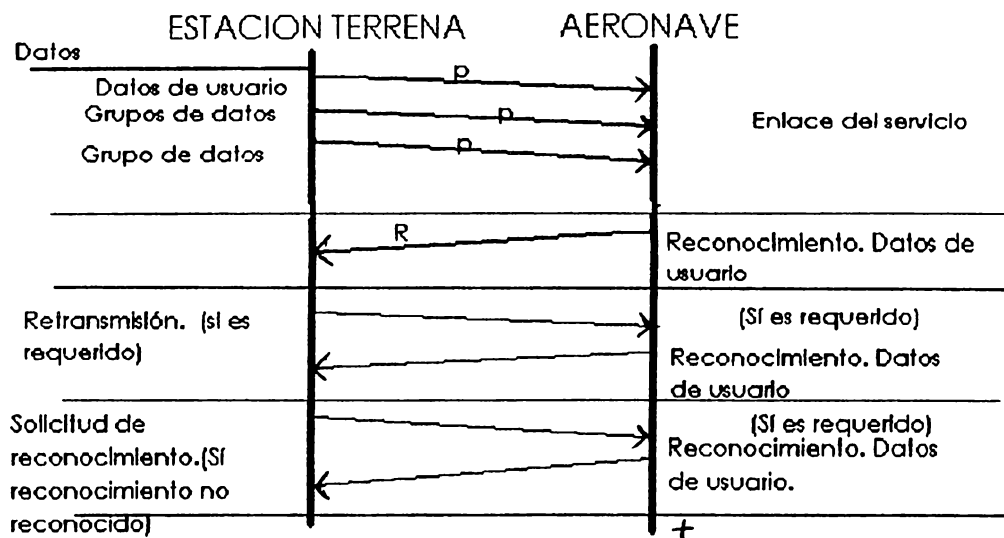


FIG N11. SECUENCIA DE LA TRANSMISION DE DATOS EN LA DIRECCION TIERRA - AIRE

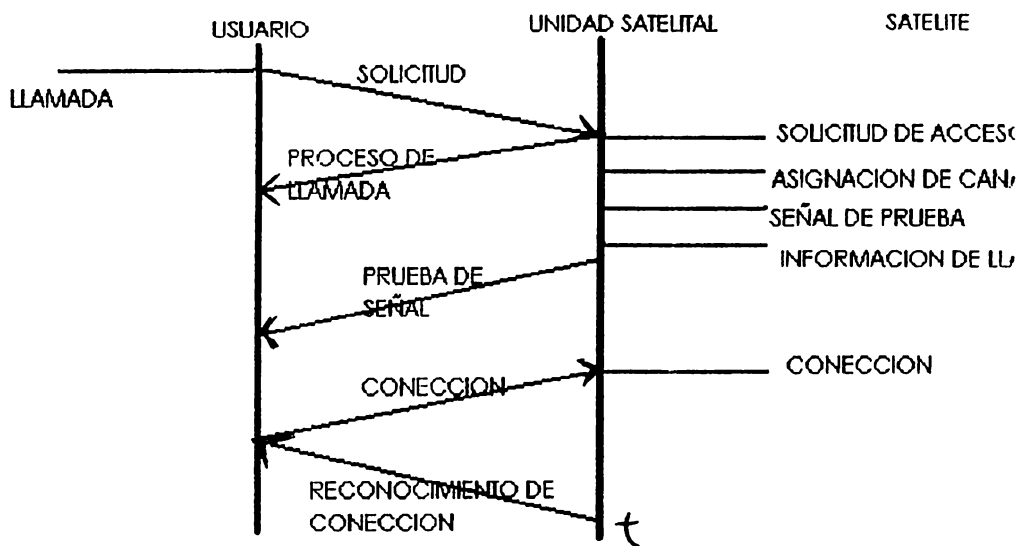


FIG.11.1 SECUENCIA DE LLAMADA MOVIL-SATELITE

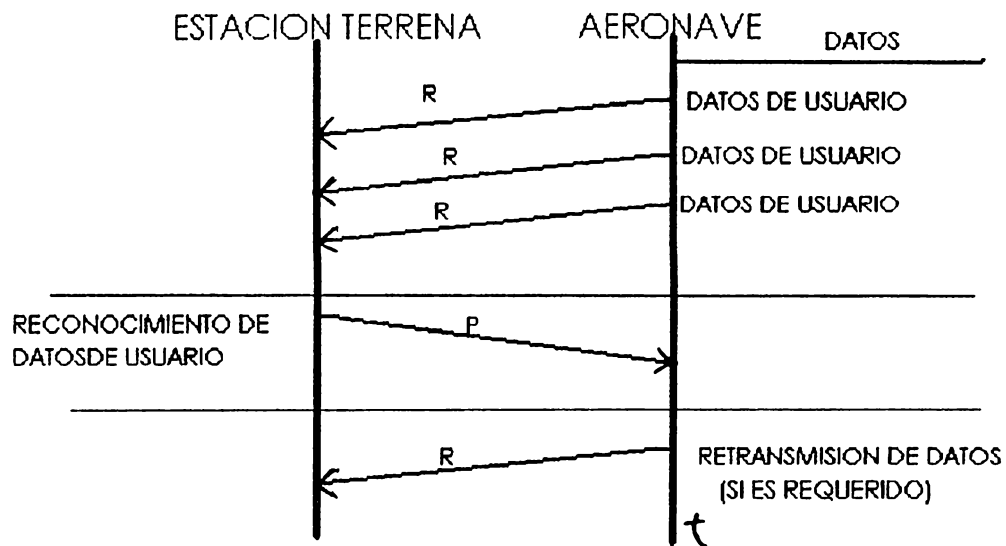


FIG. N12. SECUENCIA DE TRANSMISION DE DATOS EN LA DIRECCION AIRE - TIERRA

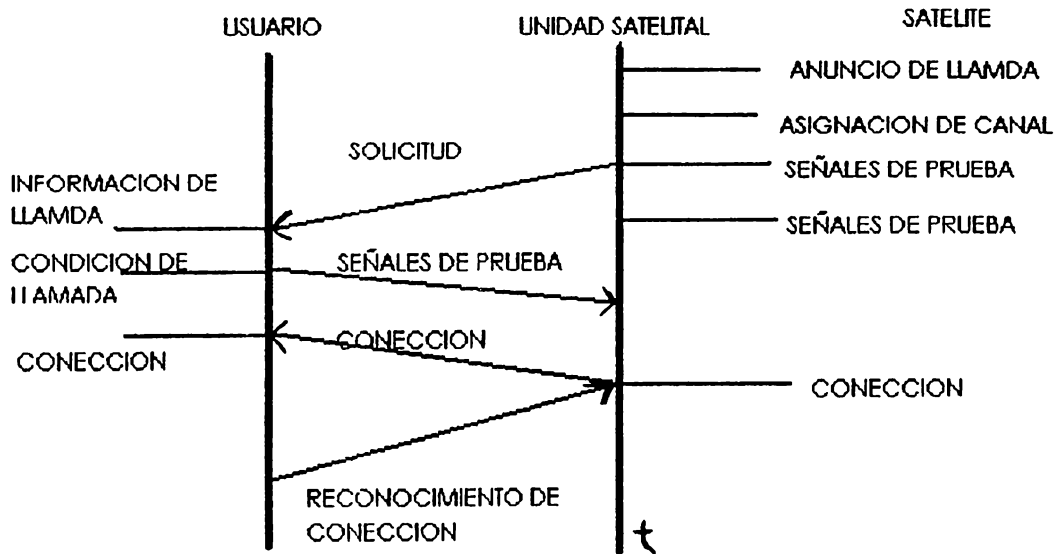


FIG N12.1 SECUENCIA DE LLAMADA EN LA DIRECCION SATELITE HACIA MOVIL

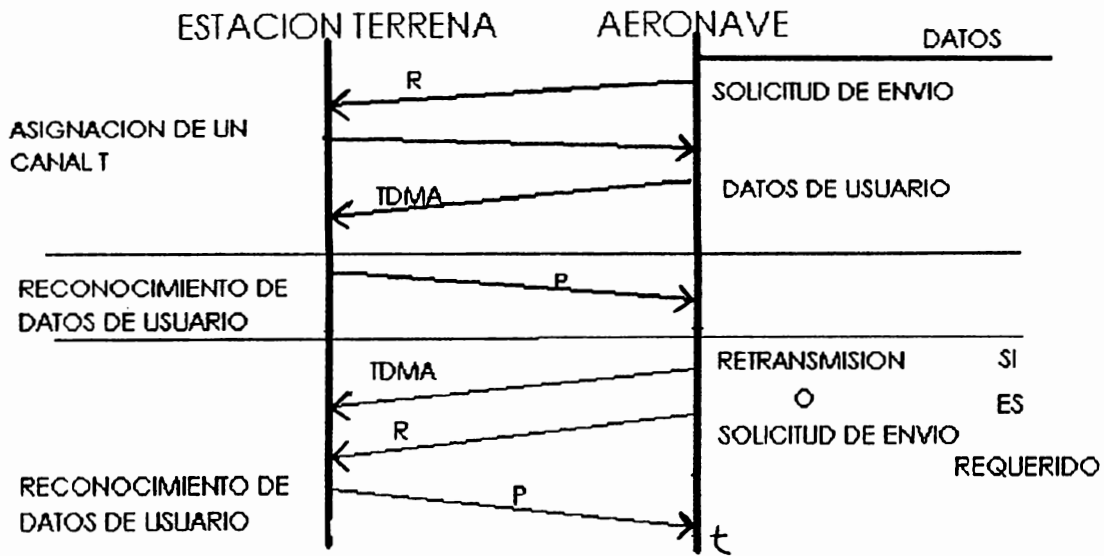


FIG. N13. SECUENCIA DE LA TRANSMISION DE DATOS EN LA DIRECCION AIRE - TIERRA (USANDO UN CANAL T)

Los siguientes parámetros G.O.S. son recomendados para servicios móviles:

- 1- Retraso de selección
- 2- Retraso de respuesta
- 3- Retraso de liberación de llamada
- 4- Probabilidad de bloqueo end to end
- 5- Probabilidad de llamadas cortadas por handover

La tabla define las recomendaciones G.O.S. según el tipo de llamada

Tipo de llamada	De red fija a red móvil	De red móvil a red fija	De red móvil a red móvil
Parámetro G.O.S.			
ESTABLECIMIENTO		DE LLAMADA	
Atraso de selección	E.771	E.771	E.771
Atraso de señal de respuesta	E.771	E.771	E.771
Probabilidad de bloqueo end to end Probabilidad de bloqueo de radioenlace	E.771	E.771	E.771
LIBERACION DE		LLAMADA	
Atraso de liberación de llamada	E.771	X	X
Liberación de canales	X	E.771	X

X = nivel de operador

E.771 = recomendaciones de la series ITU-T

Retardo de postselección: definido como el intervalo de tiempo desde el instante del primer bit del mensaje de configuración inicial conteniendo todos los dígitos de la selección que es pasada por la terminal que llamó a el sistema de señalización de acceso hasta el ultimo bit del primer mensaje.

Retardo de la señal de respuesta: definida con el intervalo de tiempo desde el instante en que la terminal que llamo pasa el primer bit de el mensaje de CONEXIÓN a el sistema de señalización de acceso hasta que el ultimo bit de el mensaje de CONEXION es recibida por la terminal.

Retardo de rechazo de llamada: es definida como el intervalo de tiempo desde el instante que el mensaje de DESCONEXION es pasado por la terminal del usuario que concluyo la llamada a el sistema de acceso de señalización hasta que el mensaje de RECHAZO es recibido por el mismo terminal(indicando que los terminales pueden iniciar/recibir una nueva llamada

Probabilidad de bloqueo end to end: es la probabilidad de que cualquier inicio de llamada sea bloqueada por la falta de recurso del sistema de red

PARAMETROS PARTICULARES PARA SISTEMAS MOVILES

-Probabilidad de conexión cut-off debido a handover infructuosos: es la probabilidad de que una llamada en progreso será rechazada por el sistema cuando sucede un handover el cual fallo al encontrar un canal de radio libre en el haz o por falta de recurso para establecer la nueva conexión

Para ciertos tipos de acceso múltiple y de asignación de canales (TDMA combinado con asignación de canal dinámico) los handover entre canales de un mismo tipo podrían ser requerir handover entre haces. Para otros tipos de acceso múltiple (CDMA) los handover entre haces no son exigidos

La contribución de los sistemas de haces a la probabilidad de bloqueo end to end incluye un componente particular:

probabilidad de bloqueo de los canales de radio

En los sistemas móviles existentes los bloqueos en radio canales es típicamente de 5 a 10%

Los sistemas móviles se ven involucrados en situaciones en las cuales la contribución de la red móvil es comparable con los estándares existentes, por ejemplo:

- Bloqueo de canales de radio menores de 1%

Los dos factores principales que tienen un impacto en la ejecución de bloqueo de canales de radio son:

- Características de tráfico ofrecidas por cada celda
- Características de tráfico de handover desde y hacia cada haz

Los límites numéricos de los estándares de bloqueo de canales de radio dependen del tipo de llamada

Los parámetros G.O. S. Contribuyen a los parámetros Q.O.S.

CONCLUSIONES GENERALES

Cualquier tipo de sistema de telecomunicaciones, por compleja que sea la tecnología con que opera, puede ser estudiado y comprendido por personas con conocimientos básicos del ramo, a través de diversos métodos, siendo uno de los más efectivos la utilización de un software didáctico que le permita analizar el efecto que tienen las variables de entrada en la salida del sistema.

Con el modelo matemático que se ha diseñado de forma didáctica, se ha habilitado al usuario para que además de analizar el efecto que genera el cambio de valores de las variables definidas en la entrada del sistema, sea también capaz de dimensionar sistemas de comunicación móvil aérea por satélite, por medio de los resultados del modelo en cada una de las principales secciones que componen el sistema completo.

Debido a que el modelo contempla un sistema móvil, que por naturaleza está conformado por un radioenlace fijo (desde tierra hacia el satélite) y por un radioenlace móvil (desde el satélite hasta la aeronave), el usuario es habilitado con la facultad de estudiar solamente uno de ellos de forma independiente, determinando así la factibilidad de los mismos por medio del resultado reflejado en los márgenes de la evaluación de la C/N de cada uno de ellos.

Adicional, el software permite al usuario, conocer las variables de entrada, de proceso interno y de salida para cada tipo de enlace y para cada subsistema involucrado (estación terrena, satélite y móvil) en el sistema móvil, proporcionándole una ayuda interactiva donde encuentra una definición resumida de cada una de las variables. Si el usuario desea profundizar, se le ha brindado un documento bastante explícito, en el que se encontrará además de las definiciones, una amplia explicación y en los casos que aplica, una definición matemática sencilla. También el usuario podrá auxiliarse de una presentación animada, donde se detallan los principales parámetros en forma resumida,

que en cada capítulo del documento escrito se mencionan y de una simulación básica de procesos de teletráfico que se efectúan en la generación de llamadas desde la tierra o desde el aire.

El modelo matemático, la presentación animada, la simulación básica y el documento escrito se han diseñado de forma que el usuario sea capaz de interrelacionar toda la información de forma ordenada, pretendiéndose crear en el mismo un criterio de evaluación de sistema móviles aéreos por satélite lo más amplio posible.

APENDICE A

GUIA DEL USUARIO PARA LA MANIPULACION DE DATOS EN LOS MODELOS SIMULADOS EN SIMUL8

Los procesos involucrados en la generación, mantenimiento y finalización de un servicio, se han simulado en dos programas, cada uno de los cuales demuestra diferentes procesos, más sin embargo todos operan con la misma lógica de funcionamiento.

En los programas AIRGND.S8 (Servicios aire-tierra), GNDAIR.S8 (Servicios tierra-aire), es posible cambiar los datos de la simulación siguiendo los siguientes pasos:

CAMBIO DE LA GENERACION DE LAS LLAMADAS

En la parte izquierda de la presentación de los modelos, se encuentra los generadores de llamadas. Para cambiar la operación de este proceso se deberá seleccionar el generador con el Mouse y luego en la ventana que se visualizará se podrán cambiar el período y la distribución de la generación de las llamadas.

Los datos se deben interpretar así: se generarán las llamadas en un número aleatorio cada cierto intervalo (definido en el campo timing) y con una determinada frecuencia (definida en el campo distribution).

CAMBIO DE OPERACION DE LA UNIDAD DE DATOS SATELITALES

Se deberá seleccionar con el Mouse. En la ventana que se visualizará se podrán cambiar la capacidad de procesamiento de llamadas simultáneas (en el campo capacity) y el tiempo que las llamadas podrán permanecer en espera (en el campo shelf life).

Los datos se deberán interpretar así: se podrán atender cierto número de llamadas simultáneamente (SATCOM, soporta 8 llamadas simultáneas, y 24 en modo extendido). Cuando la capacidad de la unidad de datos satelitales este en su límite, las llamadas no podrán permanecer en cola (campo shelf life). Las llamadas que se generaron durante este evento, son enviadas a una caja donde se visualizan las llamadas perdidas por falta de capacidad de la unidad satelital. Las llamadas que se generen cuando no existan canales disponibles, se dirigirán a una caja destinada para ellas.

CAMBIO DE OPERACION DE LA ESTACION TERRENA

En la estación terrena se simulan los eventos de la capacidad de la misma y el tiempo promedio que el canal pasa ocupado. En las cajas destinadas para el procesamiento de los canales de voz y datos se podrá cambiar el tiempo y distribución del procesamiento de los mismos (campos average y distribution)

APENDICE B

INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL PROGRAMA P21

Después de haber activado el ejecutable de P21 aparecerá un menú en la pantalla donde encontrara: archivos, editar, calcular.

ARCHIVO (abrir)

Es un pequeño subprograma que abre un archivos ya existente o introduce uno nuevo con datos que después pasan a ser los datos de entrada del sistema

Las opciones que tiene son las siguientes:

ABRIR: Abre un archivo nuevo o uno ya existente. Se recomienda al estudiante abrir el archivo con nombre: SISTEMA, donde encontrara datos de entrada con valores típicos.

CERRAR: Cierra archivo en uso

VER PRÓXIMO Y ANTERIOR" Observa el próximo o el anterior grupo de datos

ADICIONAR Y BORRAR: Introduce o borra un grupo de datos en el archivo

DATOS A P21: introduce los datos a los datos de entrada

DATOS DE P21: trae los datos de datos de entrada y los almacena en el archivo

EDITAR

DATOS DE ENTRADA En esta opción se introducirán los datos de entrada del sistema con los cuales se trabajaran, se pueden introducir el dato en cada caja, presionando los botones de ESTACION, SATELITE, ETC., o por medio de archivo. Al estudiante se le hará mas fácil si ocupa el archivo SISTEMA para obviar la entrada de datos

DIAGRAMA DE BLOQUES Aquí se observan los principales parámetros que afectan al sistema, el margen del sistema fijo y el margen del sistema móvil. El estudiante puede variar los datos y ver el comportamiento de la salida. Para introducir los datos de entrada al sistema presione REFRESCAR.

CALCULAR (AVANZADO)

Se calculan los datos de salida de estación terrena, satélite, móvil y radioenlaces, para esto presione alguna de los nombres que aparecen abajo de calcular en el menú, elija el boton calcular, luego presione sistema fijo o móvil según sea el caso.(si quiere calcular el sistema móvil sin pasar por el fijo presionar antes SISTEMA FIJO

OPCIONES A CALCULAR: Estación terrena, Radioenlaces Hacia y Desde el satélite, Hacia y Desde el móvil, Sistema fijo Ascendente y Descendente, Sistema móvil Ascendente y Descendente.

RESULTADOS

VER LOS RESULTADOS, muestra como se imprimirán los datos de entrada y salida

IMPRIMIR RESULTADOS, imprime datos de entrada y resultados

EVALUACIÓN evalúa los sistemas fijo y móvil para analizar su factibilidad

APENDICE C

COMO INSTALAR LOS DISCOS

En el disco etiquetado con "disco uno" se encuentra el ejecutable **INSTALAR**, digite la palabra **INSTALAR**, en el prompt del a:. Instalar le creará un directorio llamado **P21** en el disco duro con los siguiente archivos:

P21.EXE
AYUDA.EXE
VISOR.EXE
AIRGND.S8
GNDAIR.S8
AYUDA.DOC
LEAME.DOC
PROGP21.DOC
SAT1.ACT
SAT2.ACT
SAT3.ACT
SISTEMA

Los requerimientos del sistema deberán ser los siguientes:

PC 486 o superior
Espacio en disco duro: 10M
Memoria RAM: 4M (8M recomendable)
Ambiente windows 3.1 o superior

En apéndice A y B se explican como usar el simulador y el programa matemático **P21**, en este apéndice se explica como usar el visor que es la presentación dinámica del trabajo de graduación.

Ya instalado el programa, en ejecutar de windows digite **C:\P21\visor.exe**, después abra los archivos **SAT1.ACT**, **SAT2.ACT** Y **SAT3.ACT**, uno a la vez, presione play y comenzara la presentación, el programa tiene para retroceder, adelantar y detener como opciones para el usuario.

Si existe alguna duda con los apéndices A, B y C remítase a **LEAME.DOC**, que le proporcionará información adicional acerca de los programas utilizados en el trabajo de graduación

PROGP21.DOC: muestra todo el programa codificado con el cual fue hecho **P21**, que dicho de paso fue realizado en **VISUAL BASIC**. Para flujogramas remítase al capítulo 9 del trabajo de graduación

BIBLIOGRAFIA

- UYLESS BLACK, Redes de computadoras profundos, normas e interfaces, Prentice Hall 1987, pàginas utilizadas: 107-122.
- JHON WILEY AND SONS, Digital Telephony, Teleinformàtica 1982, 3ra. edició paginas utilizadas 1-50, 64-80, 141-205, 272-321, 413-460.
- BERNHARD E. KEISER, Broadband Coding, Modulation and Engineering, Printice Hall . 1989, Hall 1989, pàginas utilizadas. 245-331.
- LIBRO IESS-309-R.2 1- DIGITAL SATELITE COMUNICATIONS, 2a. edició 1990 Pàginas utilizadas 1-86, 226-303.
- ROBERT M. GOGLIORDI, Satellite, comunicació, 2da. edició, 1991 pàginas utilizadas: 1-26, 31-90, 95-146,157-208, 251-288,61-499.
- GARY D. GORDON AND WALTER L. MORGAN, Principle of communications satellites, 1a. edició 1993, pag. uti. lizadas 1-85, 114-130, 136-170, 268-290.
- BHARGARA HACCOUN, Digital communication by satellite, 2da. edició 1992, pàginas utilizadas 1-27, 229-267, 292-307, 353-400
- ROYAL AERONAUTICA SOCIETY, One day symposium, 1987, pàginas utilizadas 1-7 14-26, 27-33, 41-60, 7178.
- ROGER L. FREEMAN, Telecommunication transmissió han book, 1974, pàginas utilizadas 295-336
- J.M HERNANDO RABANOS, Transmissió por Radio Vol. II, servicios de Publicaciones, 4a. edició 1987, pàginas utilizadas.85-281, 300-391.
- Manual de estudio ALCATEL, Tecnología de estaciones terrenas, impreso durante primer trimestre 1996, mòdulos utilizados.
Mòdulo 1, lección 3-4.
Mòdulo 2, lección 1,
Mòdulo 3, lección 1

Manual de estudio ALCATEL, Tecnologia de comunicaciones por satèlite, impreso durante primer trimestre 1996, mòdulos utilizados
Mòdulo 1, leccion 1,2,3,4
Mòdulo 6, leccion 1.

SERVICIO MÒVIL AERONÀUTICO POR SATÈLITE, Recomendaciones e informes del CCIR, 1986, Vol VIII-3

PALE DE REMER, DONAL MELCAN, Global Navigation for pilots, 1ra. ediciòn, pàginas utilizadas. 145-160, 203-236, 261269-281.

PAUL J. SUAREZ, Use of Satellites for Air Traffic communication and navigation, 1993. pàginas utilizadas 1-42.

FORM LOGSOON, Mòvile Communication Satellite theory and aplicacion, 1995. Pàginas utilizadas 73-92, 111-125

J. POWELL, Aircraft radio Systmas, 1981 pàginas utilizadas 172-188

CHARLES DOLE, Fligt theory for pilots, 4ta. ediciòn 1984, pàginas utilizadas 158-177, 223-240, 243-259.

COMUNICATION MAGAZINE IEEE

-METEOR BURST COMUNICATION SEP-90

-MOBILE SATELITE COMMUNICATION SYSTEM: TOWAR GLOBAL PERSONAL COMMUNIATION NOV-91

-SIMULATION OF COMUNICATION SYSTEM JUL-94

-SIMULATION OF SOFTWARE FOR COMMUNICATION NETWORKS: THE STATE OF THE ART MAY-94

-NETWORK ARCHITECTURE FOR A GEOSTATIOANRY COMMUNICATION SATELITE JUL -94

-SYSTEM ASPECTS OF CELLULAR RADIO JAN-95

-PROPAGATION MEASUREMENTS AND MODELS FOR WIRELES COMMUNICATION CHANNELS JAN -95.

-MOBILE SATELITE COMMUNICATION SEP-94.

- SATELITE MOBILE COMMUNIAION AND RADIO POSITIONING SYSTEM
PLANNING ASPECTS JUL-88.
- HIGH GAIN AIRBONE ANTENNA FOR SATELLITE COMMUNICATION MARZO- 91.
- DYNAMIC CDMA CODE ALLOCATION FOR VOICE AND DATA TRAFFIC IN
NETWORKS OF LEO SATELLITES 1949.
- SATELLITE IN UMTS AND B-ISDN: STATUS OF ACTIVVITIES AND PERSPECTIVES DEC-
94.
- OCEAN GOING SHIP SUPPORT USING MULTIMEDIA TELECONFERENCING VI A
SATELLITE JUN-93.
- TWO USER LOCATION STRATEGIES CONMUNICATIONS SERVICE 1999.
- MOBILE SATELLITE SERVICES POR TRAVELLERS 1994.
- SATELLITE ANTENNAS JUL-9.
- SURVIABLE COMMUNICATION CONCEPT VIA MULTIPLE LOW EARTH LOW ORBITING
SATELLITES NOV-89.
- HANDOVER AND CHANNEL ASSIGNMENT IN MOBILE CELLULAR NETWORKS NOV-91.
- DESIGN AND CHARACTERISTICS OF A MULTIBAND COMMUNICATION
SATELLITE ANTENNA SYSTEM VOL- 31, No.2, APRIL-95.
- PREDICTING ION IOSPHERIC SCINTILLATION FOR SATELLITE COMMUNICATION
APRIL -89.
- MOBILE SERVICE IN AUSTRALIA NOV-91.
- SIMULATION MODEL REUSABILITY MARCH-94
- SATELLITE AND TERRESTRIAL MICROWAVE COMMUNICATION IN CHINA MAYO-93
- EARTH SATELLITE PROPAGATION RESEARCH APRIL-94.

TRANSACTION ON AEROSPACE, IEEE

- DESIGN AND CHARACTERISTICS OF A MULTIBAND COMMUNICATION SATELITE
ANTENNA SYSTEM VOL 31, N2, APRIL 95
- ESTIMATING THE DOPPLER CENTROID OF SSAR DATA VOL 2, MARCH 95
- COMMUNICATION AND RADIO DETERMINATION SYSTEM USING TWO
GEOSTACIONARY SATELITES VOL 3 , N2, APRIL 95

-ANALYSIS OF SYSTEM PARAMETERS FOR LEO/ICO SATELLITE COMMUNICATION NETWORKS

-SLOTTED ALOHA AND CODE DIVISION MULTIPLE ACCES TECHNIQUES FOR LAND MOBILE SATELLITE PERSONAL COMMUNICATIONS

-EFFICIENT DYNAMIC CHANNEL ALOCATIOS TECHNIQUES WITH HANDOVER QUEUING FOR MOBILE SATELLITE NETWORKS

-PERSONAL COMMUNICATION SYSTEM USING MULTIPLE HIERARCHICAL CELLULAR OVERLAYS