

01126
25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA RED SATELITAL DE COMUNICACIONES
MOVILES PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE
SEGURIDAD NACIONAL Y SERVICIO UNIVERSAL

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
ELECTRONICO (AREA: COMUNICACIONES)

P R E S E N T A N :
GARCIA MARTINEZ FAVIO
HERRERA ARREOLA ALFONSO
MANCILLA BARRERA OSWALDO
PAVIA MEDINA XICOTENCATL MARIANO
SERRANO FIGUEROA SOFIA DEL CARMEN

DIRECTOR DE TESIS: M. en I. LAURO SANTIAGO CRUZ

MEXICO, D. F.

2003



A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A DIOS

Por el milagro de la vida.

A mis Padres

Alfonso y Luz María, por su amor, trabajo y entrega que
han sido el apoyo
para alcanzar mis sueños.

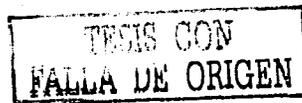
A mis Hermanos

Leonel y Karen por su solidaridad y todos los momentos
felices
que compartimos siempre.

A mi Esposa

Maru, por ser mi inspiración y la alegría de todos mis días
Te amo

Favio G.



B

Este libro está dedicado a:
Todas aquellas personas
de las que he aprendido sus más valiosas
características y experiencias
y aquellas
con quien entrando en contacto directo
han logrado dejar huella
en mi formación.

Especialmente a:

Mis grandes maestros
Que me enseñaron el secreto de la vida
a través de su sabia filosofía.

Mis padres
Alfonso Herrera Mejía.
Evangelina Arreola Cervantes.
Cuyo ejemplo me ha servido de inspiración.

Mi novia
Quien con su inmenso amor
Me mostró lo más hermoso que hay en la vida.

ALFONSO.

Doy gracias a la vida por darme una mamá maravillosa que esta siempre a mi lado para brindarme su apoyo y cariño.

Gracias mami

A mi papá, por contar con él en todo momento.

A mis abuelos Chéncho(†) y Lupe(†), les agradezco todo lo que hicieron por mí.

A mi abuelita Socorro, por la fe depositada en mí en la realización de este trabajo.

A toda mi familia, que siempre me dio ánimos y su apoyo para terminar este trabajo.

Gracias a todos.

Oswaldo Mancilla Barrera.

El presente trabajo no hubiese sido posible, sin el apoyo de diferentes personas a lo largo de su desarrollo; pero sobre todo a **DIOS, Nuestro Señor.**

GRACIAS A:

Xico y Tere (Mis padres): que me dieron la vida, me educaron, soportaron, aconsejaron, formaron en mí un ser humano responsable, me mostraron la realidad de la vida, y me brindaron la oportunidad de superarme al concluir una formación universitaria; **LOS AMO MUCHO.**

Tere mi hermana, que siempre has estado conmigo cuando lo necesito, me impulsaste, y tu valor me demostró que las cosas se hacen con: Voluntad; lucha siempre por realizar tus sueños y alcanzar tus metas. **TE AMO.**

A mi Abuelita Esperanza: por tu gran interés y apoyo en el transcurso de mi existencia, para poder concluir este sueño.

Anita (†): Gracias por todo lo que a lo largo de tu vida y después de ella dejaste en mí, en donde quiera que estés abue, en tu honor.....
TE EXTRAÑO MUCHO.

Alejandro Tíol Morales: Gracias por la beca que en algún momento tan difícil de mi etapa estudiantil me brindaste, Dios te recompensará.

A los profesores durante toda mi vida de estudiante: que dejaron su empeño, trabajo, dedicación, experiencia y conocimientos; especialmente al **M. I. Lauro Santiago Cruz** por su calidad humana para hacer posible la conclusión de este esfuerzo.

Sophie: El amor de mi vida, que sin tu apoyo, paciencia y contribución no hubiese podido concluir... **TE AMO**

Nuevamente a: **DIOS.....**

Xicoténcatl Mariano Pavía Medina

Quiero dedicar la culminación de este esfuerzo a aquellos que con su decidido apoyo contribuyeron a su realización.

En primer lugar quiero agradecerte a ti Dios, porque me diste la vida y mi fe en ti me da fuerza para levantarme cuando siento caer.

A ti mamá; por toda tu comprensión y apoyo para realizar este sueño, porque siempre estas a mi lado y has sabido impulsarme ante cualquier obstáculo, me has demostrado que cuando se quieren hacer las cosas se puede, gracias por todo lo que ha implicado para ti ser mi mamá. Sé que siempre contaré contigo.

A ti papá; por tu inmenso cariño y apoyo. Gracias por el ejemplo tan fuerte a que siempre siga adelante; demostrándome que hay que mejorar cada día.
Gracias papá por tu confianza en mí.

A mi hermano y hermanas; por creer en mi, por demostrarme que todo es posible con decisión, por comprenderme y tolerarme en todo momento, por ser mis consejeros y cómplices, por demostrarme lo que es una verdadera familia y porque siempre están cuando los necesito. Luchen siempre por alcanzar sus sueños. Los amo.

A Alexis; porque me inyectas vida y me animas a superarme y a ser mejor día con día, porque siembras en mi camino un nuevo destino y me das la esperanza de un mundo distinto.

A mi gran amor Xicotécatl; por tu apoyo incondicional, porque siempre me das ánimos haciéndome reír en los momentos más complicados, y me enseñaste que cuando existe amor se puede todo. Te amo.

A todos mis familiares y amigos; que contribuyeron de alguna manera dándome ánimos, por su fe en mí y su cariño para que saliera adelante.

A todos y cada uno de mis maestros que supieron sembrar en mí la esperanza y el conocimiento, especialmente al M.I. Lauro Santiago Cruz.

Gracias a todos, yo seguiré superándome y con el deseo firme de nunca defraudarlos.
Con todo mi amor.

Sofía del Carmen Serrano Figueroa.

ÍNDICE

	Página
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	vi
Prólogo	vii
Capítulo 1	
Introducción	1
Historia de las Telecomunicaciones en México	1
Comunicaciones Móviles	6
Capítulo 2	
Antecedentes	10
2.1 Clasificación de las Señales	10
2.2 Técnicas de Acceso Múltiple	13
2.2.1 Acceso Múltiple FDMA	14
2.2.2 Acceso Múltiple TDMA	15
2.2.3 Acceso Múltiple CDMA	18
2.3 Técnicas de Modulación	19
2.3.1 Modulación por Desplazamiento de fase (PSK)	20
2.3.2 Modulación por Codificación de Pulsos (PCM)	21
2.4 Señalización por Canal Común	25
2.5 Protocolos de Comunicación	29
2.5.1 Ethernet	29
2.5.2 Protocolo SDLC	32
2.5.3 Protocolo HDLC	35
2.5.4 Protocolo TCP/IP	36
Capítulo 3	
Descripción del Sistema	40
3.1 Introducción de la Red MSAT	40
3.2 Descripción de la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal	41
3.2.1 Switch	46
3.2.2 NOC	48

3.2.3 GC	49
3.2.4 Subsistema de Unidades de canal	50
3.2.4.1 CU	50
3.2.4.2 NAP	52
3.3 Servicios	53
3.3.1 Servicios de Voz	54
3.3.2 Net Radio	56
3.3.2.1 Operación de Net Radio	56
3.3.3 Servicios de Datos	58
Capítulo 4	
Integración del Sistema	59
4.1 Planteamiento.....	60
4.1.1 Los Sistemas de Radio.....	61
4.1.2 El Sistema Satelital.....	63
4.1.3 Cálculo de Enlace.....	68
4.1.4 Cálculos Preliminares.....	69
4.1.5 Enlace Ascendente	72
4.1.6 Enlace Descendente	76
4.1.7 Evaluación del Enlace	79
4.2 Ingeniería de Tráfico	82
4.2.1 Características de Tráfico	83
4.2.2 Grado de Servicio	85
4.2.3 Cálculo de Tráfico	85
4.3 Capacidad Máxima del Sistema.....	86
4.4 Dimensionamiento de la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal.....	87
4.4.1 Servicio Universal	88
4.4.2 Redes Privadas de Seguridad Nacional	89
4.4.2.1 Configuración de una sub-red de Seguridad Nacional.....	89
4.4.2.1.2 Configuración y Servicios para cada Entidad de Seguridad	90
4.5 Infraestructura de la Estación Terrena.....	92
4.6 Terminal Móvil	97
4.6.1 Auricular.....	98
4.6.2 Unidad Transreceptora	100
4.6.3 Unidad Electrónica de Antena (AEU).....	102
4.6.4 Antena.....	103
4.7 Instalación de Terminales Móviles	104
4.7.1 Antena Mástil	105
4.7.2 Antena Semi-Fija	106
4.7.3 Antena de Domo Marítimo	107

Capítulo 5

Pruebas de aceptación del sistema	109
5.1 Inicio y Paro del Sistema de Control Terrestre.....	110
5.1.1 Iniciando el Sistema NOC	111
5.1.2 Carga Manual del Sistema Operativo en el Sistema NOC	111
5.1.3 Inicio Manual de las Aplicaciones del Sistema NOC	112
5.1.4 Configuración del sistema NOC a modo automático de arranque	113
5.2 Carga manual de la interface de comunicación entre el equipo NOC y el equipo Tiempo Real.....	114
5.3 Arranque exitoso del NOC.....	114
5.4 Verificación de la existencia de enlaces hacia el CMIS.....	115
5.5 Arranque automático de la terminal MMI de Tiempo Real.....	115
5.6 Cierre correcto de la ventana de eventos (Polycenter).....	116
5.7 Paro de la Aplicación NOC.....	116
5.8 Pruebas de Procesamiento de Llamadas.....	117
5.8.1 Desvío de llamada con terminal ocupada.....	118
5.8.2 Desvío de llamada sin respuesta de terminal.....	120
5.8.3 Desvío de llamada incondicional.....	121
5.8.4 Llamada en espera.....	122
5.8.5 Llamada en conferencia	125
5.9 Orden de Preferencia.....	127

Capítulo 6

Resultados y conclusiones	130
Bibliografía	134
Apéndices	
A: Glosario de Términos	A.1.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
2.1	11
2.2	12
2.3	14
2.4	16
2.5	17
2.6	20
2.7	23
2.8	26
2.9	27
2.10	27
2.11	29
2.12	31
2.13	31
2.14	34
2.15	37
2.16	38
2.17	38
2.18	38
3.1	42
3.2	43
3.3	45
3.4	47
3.5	48
3.6	49
3.7	51
3.8	53
3.9	54
3.10	57
4.1	64
4.2	67
4.3	82
4.4	84
4.5	89
4.6	97
4.7	99
4.8	100
4.9	102
4.10	103

4.11	104
4.12	106
4.13	107
4.14	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
2.1	21
2.2	28
4.1	62
4.2	66
4.3	72
4.4	78
4.5	86
4.6	93-96
4.7	103
5.1	118
5.2	119
5.3	120
5.4	121
5.5	122
5.6	123
5.7	124
5.8	124
5.9	125
5.10	126
5.11	127
5.12	128
5.13	129

PRÓLOGO

La infraestructura satelital a nivel mundial ha continuado su acelerado desarrollo. En los últimos años, la tecnología ha hecho posible poner en órbita nuevos satélites, con mayor capacidad de comunicación, cobertura, potencia y vida útil, lo cual -asociado a la digitalización- permite ampliar sustancialmente la disponibilidad de servicios de los satélites, a costos cada vez más competitivos.

Los primeros servicios móviles por satélite se ofrecieron a barcos en altamar en los años 70. Desde entonces los servicios móviles por satélite han crecido continuamente y hasta hace poco era patrimonio exclusivo de la comunidad marítima. Sin embargo, esta situación está en plena evolución, dado el gran aumento en el número de proveedores y clientes de este tipo de servicios.

El presente trabajo tiene como finalidad la integración de un sistema de Seguridad Nacional y Servicio Universal mediante una red satelital de comunicaciones móviles dentro de la República Mexicana.

El sistema de seguridad consiste de una infraestructura que proporciona redes privadas de comunicación a las diferentes dependencias de seguridad del gobierno, y a su vez existe la posibilidad de interconectar dichos sistemas de comunicación en caso de una emergencia o desastre nacional.

En forma adicional, el estándar que utiliza el sistema de Seguridad Nacional, por sus características inherentes, nos permite satisfacer las necesidades de comunicación en las regiones que por su situación geográfica no justifique la instalación de algún sistema convencional de comunicaciones, como pueden ser la telefonía celular o la propia red pública telefónica TELMEX (Teléfonos de México).

Este trabajo está organizado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 presentamos un panorama general del desarrollo de las telecomunicaciones en nuestro país.

El capítulo 2 está constituido por una revisión de los conceptos de sistemas de comunicación, tales como: modulación, codificación y protocolos de comunicación, acceso múltiple y métodos de señalización.

En el capítulo 3 se describen los servicios de comunicación vía satélite, ofrecidos a los sistemas móviles, entre los que se incluyen servicios de voz, datos y Radio (Trunking), así como la arquitectura del sistema, es decir, se definen las funciones de cada uno de los subsistemas del sistema de control satelital, como parte fundamental del sistema de comunicación para el desarrollo e integración del sistema de seguridad nacional y servicio universal.

En el capítulo 4 se desarrolla propiamente la integración del sistema, es decir, la adaptación del estándar satelital, en cuanto al tipo de equipamiento o ajustes del mismo. En este capítulo también se realiza el cálculo de enlace satelital, ya que de factores tales como la potencia, ancho de banda y ganancia de las antenas, depende el número de terminales que se pueden instalar.

En el capítulo 5 se describen algunas de las pruebas más importantes para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, como son: el arranque y paro del sistema, pruebas de llamada con terminales móviles, etc.

Finalmente en el capítulo 6, se presentan los resultados y conclusiones, la bibliografía consultada, y los apéndices generados, estos últimos como material complementario para ampliar la documentación del presente trabajo.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo presentamos un panorama general de las telecomunicaciones en nuestro país, particularmente hacemos referencia al desarrollo de las comunicaciones vía satélite, las cuales han adquirido gran importancia en los distintos ámbitos del quehacer nacional, principalmente en los servicios de telegrafía, los marítimos, los de telefonía pública, televisión, además de los proyectos con instituciones educativas.

1.1. Historia de las telecomunicaciones en México

La infraestructura satelital a nivel mundial ha continuado su acelerado desarrollo. En los últimos años, la avanzada tecnología ha hecho posible poner en órbita nuevos satélites, con mayor capacidad de comunicación, cobertura, potencia y vida útil, lo cual -asociado a la digitalización- permite ampliar sustancialmente la disponibilidad de servicios de los satélites, a costos cada vez más competitivos.

Las telecomunicaciones se inician en México en 1968, para proporcionar servicios internacionales de telefonía y conducción de señales de televisión, mediante la utilización de los satélites de la Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite (INTELSAT, *International Telecommunication Satellite*). A partir de 1985, México puso en órbita la primera generación de satélites denominados Morelos I y II, que con sus 32 transpondedores cada uno, permitieron ampliar a todo el territorio

nacional la cobertura y diversidad de servicios, principalmente de televisión, así como establecer redes para enlazar los sistemas de cómputo y telefonía.

En 1993 y 1994 se lanzó la segunda generación de satélites, el Solidaridad 1 y el Solidaridad 2, con 41 transpondedores cada uno, con potencia cinco veces mayor que el sistema Morelos, una cobertura en casi todo el continente americano, y capacidad para servicio móvil.

Hasta entonces, el organismo descentralizado TELECOMM (Telecomunicaciones de México) había sido el único operador de satélites mexicanos que proporcionaba servicios a través de estaciones terrenas, para la operación de redes públicas de voz y datos, y mediante la distribución de señales de radio y televisión.

Durante el trienio 1995-1997, México consolidó su marco jurídico en materia de comunicaciones al emitir la Ley Federal de Telecomunicaciones, la cual promueve el desarrollo tecnológico y propicia la competencia en todos los sectores de esta actividad. Asimismo, se impulsó el desarrollo de las telecomunicaciones mediante la formulación de políticas y programas que favorecen el incremento de la oferta, calidad y cobertura de los servicios.

En 1996 se creó la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) órgano desconcentrado de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) con facultades para regular y supervisar el desarrollo de los servicios de telecomunicaciones en el país, y asegurar condiciones de sana competencia. Desde su creación, la Comisión ha realizado estudios e investigaciones para fomentar la competencia de los particulares en la telefonía local y de larga distancia, en el espectro radioeléctrico y en las redes públicas de telecomunicaciones, a efecto de ofrecer al público usuario una amplia gama de servicios favorables en precio y calidad.

Con el propósito de facilitar la inversión de los particulares en las comunicaciones vía satélite, promover su desarrollo tecnológico y consolidar la presencia de México en el mercado internacional, se expidieron con base en el nuevo marco regulatorio, los Lineamientos para la Reestructuración del Sistema Satelital Mexicano y las Bases Generales para su Apertura a la Inversión Privada. Asimismo, con la publicación del Reglamento de Comunicación Vía Satélite, se concluyó el proceso de regulación y protección jurídica a la participación de los particulares en la operación y explotación del sistema satelital mexicano.

En agosto de 1997 se publicó la convocatoria para la adquisición de hasta el 75 por ciento de las acciones de la empresa paraestatal SATMEX (Satélites Mexicanos S.A. de C.V.), la cual se componía de tres satélites en órbita (Morelos II, Solidaridad 1 y 2), y dos centros de control. A finales del año se adjudicó esta licitación al grupo formado por Telefónica Autrey y Loral Space and Communications, cuya oferta económica ascendió a 5,366.4 millones de pesos. Este monto superó en 43.0 por ciento al valor técnico de referencia del Gobierno Federal, lográndose además el compromiso de construir y poner en órbita en el año 2001 un satélite de 32

transpondedores, con un costo estimado de 1,700 millones de pesos. Con la desincorporación de la empresa paraestatal se consolidó el esquema de participación privada, y en las concesiones respectivas se aseguró la capacidad para la prestación de servicios sociales y de seguridad nacional.

Como parte de la modernización del sistema, la empresa SATMEX puso en órbita el satélite de tercera generación Satmex V, con potencia y capacidad 10 veces superior al Morelos II, al cual sustituirá en su totalidad, y con cobertura total sobre el continente americano.

Con objeto de analizar y solucionar interferencias entre sistemas satelitales, se celebraron reuniones con representantes de los Estados Unidos de América y Canadá, alcanzando con el primer país un acuerdo de coordinación satelital que contribuye a que el satélite Satmex V siga prestando servicios en territorio estadounidense, y a que continúe expandiendo sus servicios a otros países del continente americano. El 9 de abril de 1999, se suscribió un tratado para la prestación de servicios por satélite entre México y Canadá.

Adicionalmente, con los Estados Unidos de América se suscribió un tratado de reciprocidad satelital, el primero en su tipo en el mundo, al amparo del cual se prestan servicios de televisión directa al hogar en ambos territorios. Igual instrumento se suscribió con la República Argentina, mientras que, en el seno de la Organización Mundial de Comercio, se concertaron diversos acuerdos en materia de telecomunicaciones.

El satélite Solidaridad 1 dejó de funcionar el 27 de agosto del 2000. Las causas de la falla se desconocen. Entre el 28 de abril y el 4 de mayo de 1999 sufrió varios cortes en su operación. Gracias a que sólo se dañó uno de los dos procesadores que utilizaba el satélite, el otro cumplió funciones de respaldo y el daño pudo ser reparado pero después ninguno de los dos respondió. Las autoridades instruyeron a SATMEX para que iniciara el Plan de Contingencia establecido para la reubicación de los usuarios del satélite Solidaridad I a otros satélites de su flota y, en su caso, a los otros operadores satelitales. SATMEX fue la concesionaria del sistema satelital mexicano tras su desincorporación a finales de 1997. Forma parte de la alianza global de Loral –lo que le permitió ofrecer a sus usuarios alternativas a esta red–, socio de la empresa del Grupo Autrey. Actualmente SATMEX mantiene los satélites Solidaridad 2, y el Satmex V.

Por su parte, Telecomunicaciones de México se concentró en la digitalización y modernización de sus telepuertos para hacer un uso más eficiente de su segmento satelital. Asimismo continúa con la operación de las redes públicas de comunicación a su cargo, con las que mantiene la operación de sus telepuertos internacionales, estaciones terrenas y los servicios móviles por el sistema en banda L del satélite Solidaridad II. También, se suscribió el protocolo concerniente a la transmisión y recepción de señales de satélites para la prestación de servicios móviles y enlaces de conexión asociados entre México y Estados Unidos. En este Protocolo se establecen las condiciones y criterios técnicos para la transmisión de señales de

satélites con licencia de ambos países, y para la prestación de diversos servicios nacionales e internacionales, brindando además a los consumidores nuevas tecnologías para la prestación de los servicios globales de satélites móviles.

En el plano internacional, TELECOMM actúa como signatario y operador ante INTELSAT y la INMARSAT (Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite). Asimismo, participa como inversionista en el sistema global de comunicación ICO (*Intermediat Circular Orbit*); el cual contará con una infraestructura de satélites de órbita media, con cobertura mundial para servicio móvil con teléfonos de bolsillo.

Los servicios internacionales vía satelital, que iniciaron en 1994, a través del sistema Solidaridad, se han consolidado de manera gradual, lo que ha implicado diversas negociaciones para obtener la autorización de aterrizaje de señales en 16 países de Latinoamérica.

En apoyo a los servicios de educación a distancia que ofrece la SEP (Secretaría de Educación Pública), mediante la red de EDUSAT (Educación por Satélite) se modernizó el centro de control para ampliar la capacidad de transmisión hasta 16 canales comprimidos de televisión.

Por otra parte, el servicio móvil satelital constituyó uno de los nuevos mercados con mayor potencial de crecimiento en estos años. México contó con la infraestructura necesaria para prestar estos servicios a un corto plazo. Se concluyó la construcción del centro de control de tráfico, para iniciar operaciones móviles nacionales a través de la banda L, a partir de 1996. De manera complementaria, TELECOMM como signatario de INMARSAT, tiene la capacidad de ofrecer el servicio móvil satelital internacional de voz, datos y fax para el mercado marítimo, aéreo y terrestre del país.

En la actualidad, las telecomunicaciones constituyen un subsector de gran trascendencia para cualquier nación en el mundo. Por su relevancia estratégica, fortalecen la seguridad nacional y contribuyen, en forma directa, al desarrollo económico y social de los países, y al mejoramiento de la calidad de vida de la población.

El sector comunicaciones es uno de los más dinámicos de nuestra economía. Esto es consecuencia del extraordinario avance que se ha dado en esta materia en todo el mundo, pero también resultado del proceso de apertura que se ha emprendido en los años recientes en nuestro país. Los resultados en las comunicaciones demuestran que esta estrategia, que ha privilegiado la competencia, la inversión privada y la desregularización del sector, no sólo ha sido la correcta, sino también la más eficiente y la que ofrece un mayor alcance hacia el futuro.

Hoy, gracias a esta estrategia, más mexicanos se benefician de la mayor diversidad y cobertura de los servicios, que hoy día son más accesibles para la mayoría de la población. Así, los usuarios de las telecomunicaciones se benefician de la competencia, de los nuevos servicios y de las nuevas tecnologías que incorporan los

particulares, impulsando el proceso de modernización económica de México. De igual manera, los beneficios han tenido un importante impacto en el desarrollo regional y social del país. Poblaciones antes incomunicadas ahora cuentan con servicios que son indispensables para impulsar su integración y desarrollo, como el teléfono y la educación ó salud a distancia; además de beneficiarse de medidas, como la integración de áreas de larga distancia en áreas locales, que apoyan su inserción en el dinamismo económico. De esta forma la estrategia de apertura y transformación de las comunicaciones está permitiendo que se desarrollen servicios para el nuevo milenio, que apoyan a las industrias y al campo, y que fortalecen la integración entre los mexicanos y el desarrollo de las zonas que más lo requieren.

Las telecomunicaciones se han considerado hoy en día no sólo como un servicio público, sino como un elemento esencial para el desarrollo, seguridad y soberanía nacionales. México es un país que vive diariamente una gran cantidad de problemas sociales y económicos, con la problemática del levantamiento armado al Sureste del país en 1994, se identificó la falta de un sistema de comunicación para la seguridad nacional, para las dependencias de Seguridad Nacional, como son: la Procuraduría General de la República, la Secretaría de la Defensa Nacional, la Policía Federal Preventiva, la Secretaría de Marina, Estado Mayor Presidencial, Cuerpo de Guardias Presidenciales, la Policía Judicial Federal, CISEN, etc. Por otro lado, la necesidad de comunicar a las regiones más inhóspitas, inaccesibles y apartadas del país, la mayoría de estas poblaciones se localiza en regiones aisladas, con altos índices de pobreza, cuyas accidentadas condiciones orográficas dificultan el acceso, instalación y mantenimiento de los equipos, por lo que los costos de suministro del servicio son mucho más elevados, además estos sistemas no son confiables y no garantizan la integridad de los datos, ya sea por causas naturales como la interferencia por ruido, atenuación por distancia ó porque la base instalada pudiera sufrir algún tipo de atentado ó siniestro.

El servicio universal es de gran importancia en las acciones de protección civil que sirven para auxiliar a la población en casos de contingencias derivadas de fenómenos naturales.

Las acciones a corto plazo en materia de servicio universal estarán centradas, principalmente, en aquellas comunidades con menos de 500 habitantes, el precio del servicio de la telefonía tradicional se encontraría por debajo de sus costos, sin la asignación de un subsidio. De esta manera, un sistema de comunicación satelital por sus características de cobertura, tiempos cortos de implementación, así como bajo costo de instalación, se convierte en la opción más conveniente para proveer servicio universal y llevar la comunicación de voz a la mayor parte de población posible, ya que otra tecnología sería incoesteable. Debido a que sus características de movilidad, facilidad de instalación y la relación costo beneficio es equitativa, es una excelente opción para proveer servicio universal y llevar la comunicación de voz a la mayor población posible, en virtud de que prácticamente todas las poblaciones con mayor densidad demográfica cuentan con este servicio.

Una vez presentados los antecedentes procedemos a buscar soluciones que nos lleven de la mano y que a su vez sean diseñadas para nuestras necesidades específicas, desde la definición de los alcances nos damos cuenta que es una tecnología extraordinaria a nivel mundial.

1.2. Comunicaciones Móviles

Los primeros servicios móviles por satélite se ofrecieron a barcos en altamar en los años 70's. Desde entonces los servicios móviles por satélite han crecido continuamente y hasta hace poco era patrimonio exclusivo de la comunidad marítima. Sin embargo, esta situación está en plena evolución, dado el gran aumento en el número de proveedores y clientes de este tipo de servicios.

Para los barcos que surcan los océanos del mundo, la única alternativa es la radiocomunicación por ondas eléctricas decamétricas, que a pesar de las mejoras introducidas desde la época de Marconi, no es aún confiable. Se plantean problemas de propagación, interferencia y congestión de canales y existen zonas en donde no es posible establecer contacto alguno, ciertos barcos pueden permanecer fuera de alcance durante muchas horas, e incluso días enteros. Por tal razón, los países marítimos, reconociendo la necesidad de establecer comunicaciones confiables con fines de seguridad y para una gestión eficiente, constituyeron la organización denominada INMARSAT.

El sector aeronáutico tiene muchos problemas coincidentes con los del sector marítimo, aunque apenas inicia las comunicaciones por satélite, existiendo un interés grande y una demostrable necesidad de un sistema aeronáutico de comunicaciones por satélite de carácter mundial.

En cuanto a las comunicaciones móviles terrestres, los satélites tienen una función lógica en ciertas regiones del mundo, en particular en zonas escasamente pobladas en las que sería muy costoso instalar sistemas terrestres; en cambio, en zonas con una población apreciable, las comunicaciones terrestres son evidentemente más apropiadas desde el punto de vista económico. Cuando puedan utilizarse instalaciones terrenas, éstas proporcionarán una mayor capacidad de tráfico, una mejor calidad y una utilización del espectro mucho más eficiente.

El primer ensayo de un servicio móvil por satélite se efectuó con el Syncom II, un satélite norteamericano puesto en órbita en 1963, y fue seguido por los realizados con la serie ATS. En 1969, con el TACSAT (*Technical Assistant Center Satellite*), del departamento de defensa de los E.E.U.U., se suministró un servicio de banda estrecha en ondas decimétricas para usuarios militares.

Siete años después, en 1976, la Corporación de Comunicaciones por Satélite COMSAT (*Corporate Communication Satellite*) puso en órbita los satélites

MARISAT, que inicialmente estaban destinados sobre todo a las comunicaciones militares, pero que también llevaban un equipo de banda L para proporcionar servicio a usuarios comerciales importantes. En el mismo año las naciones marítimas adoptaron el Convenio y Acuerdo de Explotación de INMARSAT. Esta arrendó capacidad en los tres satélites MARISAT a fin de dar servicio a un número creciente de usuarios marítimos; la conferencia Internacional que condujo a la formación de INMARSAT, recomendó también que se estudiase la posibilidad de suministrar comunicaciones aeronáuticas.

Los medios aeronáuticos (servicios de tráfico aéreo y líneas aéreas) empezaron a mostrar interés por las aplicaciones de los servicios aeronáuticos por satélite a principios de los años 60's. Una serie de experimentos y demostraciones permitieron ilustrar el gran potencial de dichos servicios para realizar una gran cantidad de funciones en materia de:

- Control de tráfico aéreo.
- Control operacional de las líneas aéreas.
- Gestión comercial de las líneas aéreas.
- Servicios prestados a los pasajeros.

La razón principal de las reticencias de algunos de los usuarios del espacio aéreo residía en la falta de justificación económica para la provisión de dichos servicios, que se consideraban más costosos que los métodos usuales de comunicaciones y por la ausencia aparente de incentivo económico para realizar la inversión necesaria de capital y para sufragar los costos de explotación correspondientes.

En noviembre de 1984, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, *Federal Communication Commission*) de los Estados Unidos publicó su Notificación de Disposición Proyectada relativa a la atribución del espectro para un servicio móvil terrestre por satélite y al establecimiento de este servicio. Al vencer el plazo previsto la FCC había recibido doce solicitudes. Skylink y Mobilesat, habían presentado con anterioridad solicitudes para actividades de desarrollo. Las demás eran Hughes Communications Mobile Satellite Services, Omninet, Wismer & Becker y Transit Communications Global Land Mobile Satellite Inc., Globesat Express, MCCA American Mobile Satellite Inc. y Satellite Mobile Telephone Co.

Cada uno de ellos proponía el suministro de una variedad de servicios de mensajes unidireccionales y bi-direccionales en el marco de los servicios móviles terrestres, marítimos y aeronáuticos por satélite. Algunos de los solicitantes proporcionaban un mercado de más de un millón de usuarios para los primeros años de 1990. Sin embargo, era preocupante que una parte del mercado previsto correspondería a un servicio de telefonía fijo para los abonados de zonas aisladas y rurales.

En septiembre de 1986, la FCC publicó su Informe y Orden sobre la atribución de espectro para un servicio móvil por satélite. Decidió no atribuir ningún espectro a este servicio en la banda de 800 MHz, con la posible excepción de 4 MHz para considerar las negociaciones relativas al servicio que estaban pendientes entre Estados Unidos

y Canadá. En cambio la FCC decidió atribuir al servicio terrestre 18 MHz en la banda del servicio aeronáutico por satélite (1554-1559 MHz y 1645.5-1660.5 MHz) a título primario compartido con este último y 9 MHz a título secundario.

Tres de los solicitantes, Mccaw, MCCA y Omninet, habían presentado también solicitudes para explotar un Servicio de Radiodeterminación por Satélite (RDSS, *Radio Determination Satellite Service*), a raíz de la publicación por la FCC de una notificación de Disposición Proyectada relativa a este servicio. Una cuarta empresa que había formulado una solicitud relativa al RDSS era Geostar. En su Informe y Orden de septiembre de 1985, la FCC atribuyó frecuencias en las bandas 1610-1626.5 MHz y 2483.5-2500 MHz (enlaces móviles ascendentes y descendentes respectivamente) para el RDSS. Pidió además el reconocimiento oficial de esta adopción. En 1986, reafirmaba su criterio de que el servicio de radio-determinación por satélite y el Servicio Móvil por Satélite (SMS, *Satellite Mobile Service*), son suficientemente diferentes para justificar atribuciones separadas. Nuevamente enunció su posición de que el SMS y el RDSS satisfacían diferentes necesidades de los usuarios. El RDSS está destinado principalmente a suministrar información de radio determinación, con cierta capacidad auxiliar de transmisión de mensajes. El SMS tiene como objetivo principal proporcionar servicios de telefonía móvil, radiocomunicaciones y telefonía rural.

Los sistemas de radio terrestres, tales como la radio móvil privada y la celular, están limitadas en rango prácticamente por la altura de la antena y por los efectos de propagación que producen desvanecimiento multipatrón, las sombras que producen los objetos colinas y bosques, atenuación por el follaje, etc. Además, los costos de suscripción están ligados fuertemente a la densidad de población, además de tener políticas de tarifas que sean aceptables y rentables para los usuarios. Además de esas limitaciones, los sistemas terrestres continúan desarrollándose a velocidad asombrosa porque trabajan bien y se tiene necesidad de ellos.

El MSS (Servicio Móvil Satelital) está llegando a ser un mercado viable para los enlaces con dificultades de alcance, también se espera un desarrollo a paso rápido porque puede servir a ciertos usuarios y proveer ciertos servicios, los cuales no serían posibles o serían demasiado caros por la vía alterna terrestre. Los atributos de MSS derivan de la geometría de los servicios de comunicaciones de los satélites geostacionarios con 36,500 km sobre el Ecuador. De esto, un satélite casi puede cubrir el hemisferio entero y puede fácilmente cubrir México, USA, Canadá, parte de Centro América, así como también el mar patrimonial. Así, el MSS puede proveer un servicio ubicuo con un rango ilimitado, el usuario nunca estará fuera del rango de señal que abarca el satélite. La señalización o el marcado es fácil de manejar para el sistema satelital, ya que únicamente es necesario un conmutador nacional para enrutar llamadas. Por las mismas razones, las llamadas de sus usuarios móviles pueden ser regresadas a tierra en cualquier ubicación conveniente, lo cual evita las conexiones de llamadas caras. En efecto, los sistemas satelitales proveen casi conectividad universal y proveen costos que son insensibles a las distancias, esto es, una comunicación de 3,000 km y de 10 km cuesta lo mismo por satélite. Los costos

asignados en el sistema MSS son comparables con el costo de los sistemas terrestres utilizados para servicios en áreas locales.

Hasta este punto podemos considerar que ya tenemos un panorama del desarrollo que han tenido las comunicaciones móviles, ahora es importante destacar que debemos considerar la necesidad de un sistema Seguridad Nacional con las principales dependencias de este rubro, con el estándar MSAT, para poder introducirnos a este tema debemos revisar algunos conceptos básicos de las señales en general, y otros tópicos importantes como es el multiplexaje de las señales para tener acceso al satélite.

Esta revisión de la Tecnología nos va permitir comprender más claramente los procesos de los cuales nos vamos a apoyar para poder ofrecer los servicios de Servicio Universal y principalmente del sistema de Seguridad Nacional.

Por otro lado, ponemos especial atención en la modulación de pulsos codificados ya que es el antecedente principal del manejo digitalizado de nuestras señales, mismas que se multiplexan en un determinado canal, y que manejarán una técnica específica llamada TDMA (*Time División Múltiple Access*).

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

En este capítulo estudiamos las bases de la tecnología de transmisión digital, de tal forma que al tocar temas más complicados, que requieran de ciertos aspectos teóricos, éstos ya hayan sido revisados, permitiéndonos así, avanzar en el desarrollo de los puntos principales de este estudio, como pueden ser la descripción del estándar, servicios, diseño de la red, dimensionamiento, instalación y pruebas de desempeño del sistema de Servicio Universal y Seguridad Nacional.

2.1. Clasificación de las Señales

Una señal puede ser enviada a través de un medio de transmisión modificando alguna propiedad física del mismo. Por ejemplo, sobre una línea eléctrica podemos enviar datos modificando el voltaje o la corriente que circula sobre la misma. Representando el valor de este voltaje o corriente como una función del tiempo $f(t)$, podemos modelar las características de la señal y aplicarle un análisis matemático.

Podemos abordar el estudio de una *señal* desde dos puntos de vista distintos: desde el dominio del tiempo y desde el dominio de la frecuencia:

Desde del dominio del tiempo podemos plantearnos si la función $f(t)$ es:

- Continua: Cuando $\lim_{t \rightarrow a} f(t) = f(a)$, la función puede tomar un conjunto infinito de valores. En términos de señales decimos que se trata de una señal analógica.

- **Discontinua:** Cuando existen discontinuidades o saltos en la función, es decir, no se verifica la expresión anterior. La función toma un conjunto finito de valores. Un ejemplo de esto es una señal digital, también llamada discreta.

Asimismo, podemos plantearnos la pregunta de si la señal es o no periódica, es decir si la función toma el mismo valor cada cierto tiempo T (al que denominaremos *periodo*). Podemos decir que una señal periódica es aquella que cumple con:

$$f(a) = f(a + T) \quad \forall a \qquad \text{ecuación (2.1)}$$

Un ejemplo de función periódica será la siguiente:

$$f(a) = A \times \cos(\omega t + \phi) \qquad \text{ecuación (2.2)}$$

De una función periódica podemos distinguir los siguientes parámetros:

- **Amplitud:** Máximo valor que puede adoptar la señal periódica.
- **Frecuencia:** Número de ciclos por segundo o hertz. Se calcula como la inversa del periodo y se representa por f .
- **Velocidad angular:** Variable que se obtiene de la frecuencia. Se calcula como $\omega = 2\pi f$ y se mide en radianes por segundo.
- **Fase:** Diferencia en el valor de paso por cero de la función. Sirve para distinguir señales que aunque tienen la misma frecuencia y amplitud no son iguales. Esta diferencia se refleja en la figura 2.1.

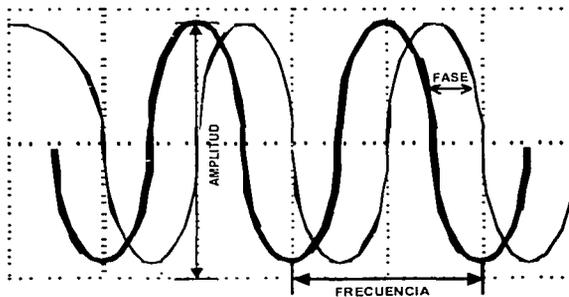
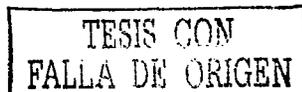


Figura 2.1.



Para efectos de transmisión de datos suele resultar más útil el análisis en frecuencia de la señal que en el tiempo. Por ejemplo, sea la señal $s(t)$, la cual está representada por la siguiente expresión:

$$s(t) = \text{sen } 2\pi ft + 1/3 \text{ sen } 3(2\pi ft) + 1/5 \text{ sen } 5(2\pi ft) \quad \text{ecuación (2.3)}$$

En la señal $s(t)$ se observa que presenta tres componentes senoidales cuyas gráficas se pueden observar en la figura 2.2

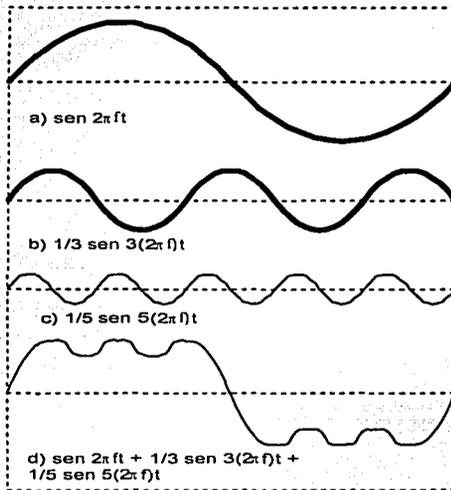


Figura 2.2.

Una señal analógica representa una onda electromagnética que varía de forma continua. Dependiendo de su espectro, las señales analógicas pueden transmitirse por una amplia variedad de medios, por ejemplo, cable coaxial, fibra óptica y medios de propagación inalámbricos.

Una señal digital es una secuencia de pulsos de voltaje que pueden transmitirse por medio de un cable, por ejemplo, un nivel de voltaje positivo constante puede

representar el uno binario y un nivel de voltaje negativo puede representar el cero binario.

Es importante considerar que la transmisión de las señales provoca una disminución de su potencia. Si todas las componentes de la señal se vieran afectadas de igual forma, la amplitud de la señal disminuiría pero su forma no se vería distorsionada.

Desafortunadamente esto no sucede. Usualmente, las amplitudes apenas sufren variación desde la de frecuencia cero hasta una cierta frecuencia de corte f_c , a partir de la que se atenúan fuertemente. En algunos casos, esto se debe al propio medio de transmisión y en otros se logra intencionadamente por medio de filtros que limitan el ancho de banda asignado a cada usuario.

La transmisión de una señal supone el paso de la misma a través de un determinado medio, por ejemplo: un cable, el aire, etc. Debido a diferentes fenómenos físicos, la señal que llega al receptor difiere de la emitida por el transmisor. Si la suma de todos los efectos no produce una gran diferencia entre ambas señales, conseguiremos una transmisión libre de errores. Por el contrario, cuando la señal recibida difiera en exceso de la señal transmitida, el receptor puede interpretar incorrectamente la información y decimos entonces que se produce un error de transmisión. Evidentemente no todas las señales sufren los mismos efectos al atravesar los distintos medios de transmisión.

Una vez que hemos hablado de la clasificación de las señales, podemos ahora dar pie al tratamiento que van a sufrir dichas señales con la finalidad de optimizar nuestros sistemas, un ejemplo muy ilustrativo de estos procesos se da cuando se establece comunicación telefónica como se haría en forma local (par trenzado de cobre) y se quisiera enlazar la ciudad X con la ciudad Y, nos traería muchos problemas, en primer lugar tendríamos que tender tantos pares de hilos como la demanda de llamadas lo exigiera, además de colocarse el mismo número de repetidores por cada par. Esto no resulta rentable, por lo que es necesario introducir el concepto de multiplexaje de una señal, el cual se define como el proceso de transportar en un solo medio físico varias señales eléctricas, para posteriormente aplicar un proceso inverso llamado demultiplexación que implica recuperar cada una de las señales originales.

2.2. Técnicas de acceso múltiple

En la transmisión de señales se emplean técnicas de acceso múltiple para compartir los costos y los recursos de un sistema por parte de un conjunto de usuarios.

Las técnicas de multiacceso son procedimientos de asignación de canales físicos a las estaciones. En general, están asociadas con los métodos de modulación utilizados y con la naturaleza de la señal a transmitir analógica o digital.

Hay tres métodos básicos de multiacceso:

- FDMA (*Frecuencia División Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Frecuencia).
- TDMA (*Time División Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Tiempo).
- CDMA (*Code División Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Código).

Los cuales se explican a continuación.

2.2.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

El método FDMA se basa en la separación de frecuencias del volumen espectral. El ancho de banda disponible se divide en radio canales, de conformidad con un paso de canalización Δf , cada radio canal se asigna a un usuario. Las asignaciones son de banda estrecha del tipo un canal por portadora (SCPC, *Single Channel Per Carrier*). Los usuarios, cada uno en su radio canal, pueden efectuar transmisiones simultáneas e ininterrumpidas en las diferentes frecuencias. Cada receptor o grupo de receptores selecciona mediante un filtro sintonizable el radio canal deseado. En la figura 2.3 se representa un sistema FDMA con 3 radio canales, realizándose una recepción en el radio canal 2.

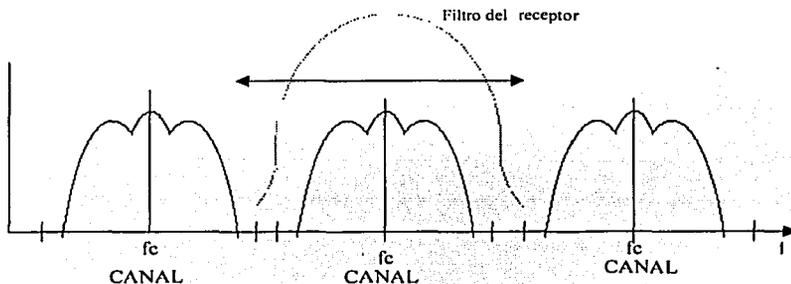


Figura 2.3.

FDMA utiliza habitualmente la modulación de frecuencia para señales analógicas y variantes de modulación de frecuencia digital para señales digitales, y tiene las siguientes características básicas:

- Compatibilidad con modulaciones, señales analógicas y digitales.
- Tecnología madura y experimentada.
- Sencillez de realización de equipos y de integración.
- Resistencia a las perturbaciones en su variante de banda estrecha.
- Adecuado para sistemas de baja y mediana capacidad de tráfico.
- Complejidad de las estaciones de base multicanales en la que es necesario un equipo transceptor por cada radio canal, combinadores, acopladores de antena, etc.
- Escasa versatilidad para acomodar distintas aplicaciones o flujos de tráfico.

En general la tendencia actual en las comunicaciones móviles es hacia el abandono del multiacceso FDMA analógico.

2.2.2. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)

En la técnica TDMA se asigna a los usuarios una misma frecuencia portadora durante breves intervalos de tiempo, de forma periódica, de manera que los usuarios efectúen transmisiones simultáneas pero discontinuas en esa frecuencia portadora, mediante ráfagas o paquetes de información.

El sistema dispone de mecanismos de direccionamiento y sincronización de forma que cada receptor extrae del flujo de señal únicamente las ráfagas destinadas al mismo e ignora las demás.

En TDMA la transmisión se organiza en tramas de duración T_1 . Una trama es una sucesión de N intervalos, cada uno de los cuales se asigna a una terminal. La duración de intervalo es $T_1 = T/N$ tiempo en el cual la terminal efectúa su acceso y en el que dispone de todo el recurso del ancho de banda del sistema. Toda terminal transmite en el tiempo T_1 la información de tráfico recopilada durante una trama más otras señales auxiliares en un proceso de almacenamiento y envío. La información se transmite en forma de un tren de bits llamado ráfaga (*burst*). Por su propia naturaleza, TDMA únicamente es posible con señales digitales de origen o analógicas digitalizadas.

El TDMA se utiliza asociado con modulaciones digitales de frecuencia y fase.

En la Figura 2.4 se ilustran los conceptos asociados a este tipo de acceso múltiple, donde cada MS1, MS2, MS3 ... MS'N es una terminal.

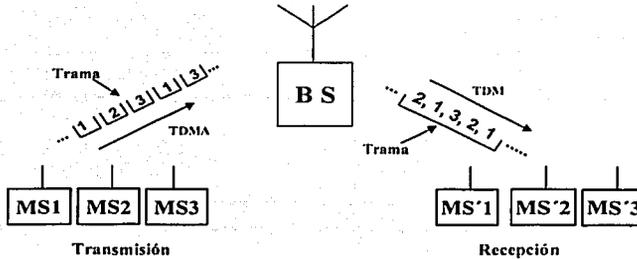


Figura 2.4.

En el enlace ascendente llegan a la Estación Base (BS, *Base Station*) las ráfagas 1, 2, 3... procedentes de las terminales, en tramas sucesivas. Las ráfagas no suelen ser estrictamente contiguas, aunque se hayan emitido con sincronización, pues proceden de terminales situadas a diferentes distancias de la BS. Puede haber entre ellas pequeños intervalos o ligeros solapes. Este tipo de llegadas individuales constituye el TDMA básico, característico del enlace ascendente. Cada terminal realiza su emisión modulando digitalmente una portadora con los bits de la ráfaga.

En el enlace descendente, la información que transmite la BS se organiza también en una trama pero con intervalos consecutivos en forma de multiplexaje por división de tiempo TDM (*Time Division Multiplex*) con sus ráfagas de bits. Esta señal TDM modula la portadora del enlace descendente y se radia en difusión a todas las terminales. Cada terminal extraerá la información del intervalo que tenga asignado, una vez por ráfaga.

Se observa que en el enlace ascendente hay un proceso de concentración de intervalos hacia la BS en tanto que en el descendente el proceso es de difusión.

En TDMA cabe definir los siguientes conceptos básicos:

- La trama (*Frame*): Ciclo de acceso de los N usuarios a los recursos compartidos.
- El período de trama (T_f): Duración temporal de la trama.
- El intervalo de tiempo (*Slot*): Duración de la ventana de acceso de cada usuario al sistema.
- La ráfaga (*Burst*): Secuencia de bits transmitida / recibida en un intervalo de tiempo.
- La velocidad media o de escritura: Número de bits por usuario en el período de trama dividido por el valor del período.
- La velocidad instantánea o de lectura: Velocidad de transmisión de la información en un período de tiempo.

En la Figura 2.5 se representan una trama y una ráfaga, indicándole parámetros típicos de TDMA:

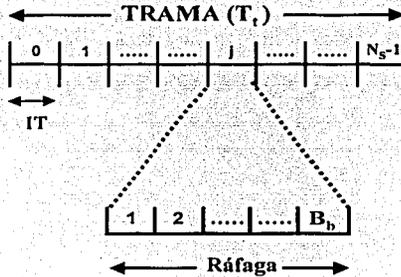


Figura 2.5.

Donde:

- 1) Período de trama: T_t .
- 2) Número de intervalos por trama: N_s .
- 3) Número de bits de información por intervalo: B ,

$$B_t = V_c \cdot T_t \quad \text{ecuación (2.4)}$$

Siendo V_c , la velocidad del codificador fuente (bits).

- 4) Número de bits de *tara* (overhead) por intervalo B_o , que se desglosa como sigue:

$$B_o = B_{fo} + B_{co} + B_g \quad \text{ecuación (2.5)}$$

- 5) Número bruto de bits por intervalo, B_b :

$$B_b = B_t + B_o \quad \text{ecuación (2.6)}$$

- 6) Rendimiento de la trama, η :

$$\eta = 100 \frac{B_t}{B_b} (\%) \quad \text{ecuación (2.7)}$$

7) Velocidad media, V_m :

$$V_m = \frac{B_b}{T_f} \text{ (bit/s)} \quad \text{ecuación (2.8)}$$

8) Velocidad instantánea, V_i :

$$V_i = B_b \cdot N_s / T_f = V_m \cdot N_s = \left(V_c + \frac{B_a}{T_f} \right) N_s \quad \text{ecuación (2.9)}$$

9) Factor de compresión temporal, F_{ct} :

$$F_{ct} = V_i / V_m = N_s \quad \text{ecuación (2.10)}$$

De la ecuación 2.10 se desprende que todo aumento de capacidad de TDMA (mayor número de usuarios) supone un incremento proporcional de la velocidad instantánea y, por consiguiente, del ancho de banda necesario para la transmisión de la portadora TDMA. Como con receptores convencionales las perturbaciones de los canales de propagación de banda ancha son de onerosa compensación, suele haber un límite al número de canales o intervalos N , que puede sustentar una portadora TDMA. Para sistemas de mayor capacidad se utilizan varias portadoras TDMA, constituyéndose de este modo un sistema de multiacceso mixto TDMA/FDMA, en el que cada radio canal proporciona un servicio. Si se dispone de R radio canales la capacidad potencial será ($R \cdot N$ s) canales. En este caso, cada canal físico asignado a una terminal consiste en un radio canal y un intervalo de tiempo.

El empleo de frecuencias diferentes para los enlaces ascendente y descendente asegura que las terminales funcionen en modo dúplex. Hay una variante de TDMA, denominada dúplex por división de tiempo TDD (*Time Division Duplex*) que permite el funcionamiento dúplex con una sola frecuencia portadora. Basta para ello que no coincidan en el tiempo los intervalos de transmisión y de recepción de una terminal. Esto se consigue organizando convenientemente la trama. Para ello se divide la trama en $2N$ intervalos 1, 2, ..., N y 1', 2', ..., N' y se asigna un par de intervalos a cada terminal, por ejemplo el 1 para transmisión y el 1' para recepción.

2.2.3. Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

Las técnicas de multiacceso FDMA y TDMA asignan diferentes recursos (de frecuencia o de tiempo) a cada canal. El método CDMA, al contrario, otorga a cada canal la totalidad del volumen espectral disponible, todo el ancho de banda, durante todo el tiempo y en toda la zona de cobertura (la forma que permite la transmisión simultánea de varias comunicaciones que emplean todos los mismos recursos a la vez). La separación entre ellas se realiza asignándoles diferentes recursos digitales.

La técnica CDMA tiene las siguientes características básicas:

- Requiere que las señales a transmitir y los códigos de dirección sean digitales.
- Es una técnica intrínsecamente de banda ancha.
- Ofrece gran capacidad de tráfico.
- Debido al gran ancho de banda, los receptores CDMA poseen gran resolución temporal, pudiendo extraer los ecos de señal debidos a la propagación multirrayecto, ponerlos en fase, demodularlos y sumar sus contribuciones. De este modo el multirrayecto deja de ser un problema pasando a aprovecharse de forma positiva.
- Requiere estricta sincronización y control de potencia de las transmisiones. Las señales han de llegar a las estaciones con potencias similares para que se pueda efectuar su separación.
- Sólo se requiere un transreceptor físico en la estación base para sustentar múltiples canales.
- La tecnología a utilizar en CDMA es muy compleja y requiere muy elevada integración para conseguir terminales ligeras y de reducido tamaño.
- En entornos contiguos pueden utilizarse las mismas frecuencias, lo cual mejora la calidad del traspaso de comunicaciones de una estación base a otra contigua.

La técnica de espectro ensanchado se ha venido utilizando desde hace algún tiempo en comunicaciones militares, por su carácter de señal cifrada y resistente a interferencias naturales o deliberadas. Hoy día los avances de la microelectrónica y de la ingeniería de programación (*software*) han permitido que la tecnología CDMA sea viable para los sistemas de comunicaciones.

2.3. Técnicas de Modulación

Los sistemas de modulación empleados en comunicaciones móviles dependen de la técnica de acceso múltiple utilizada. Ya se ha visto que TDMA y CDMA requieren señales digitales, por lo que las modulaciones también han de ser de tipo digital y además de banda ancha.

El proceso de modulación precisa de dos señales, moduladora y portadora, y genera como resultado una tercera señal, denominada señal modulada. Se define el término modulación como el proceso mediante el cual una señal que contiene información (moduladora) se combina con otra señal (portadora) para dar como resultado una nueva señal (modulada), que contiene la misma información que la primera pero que es el resultado de modificar alguno de los parámetros característicos (amplitud, frecuencia o fase) de la segunda.

En una señal senoidal son tres las características que pueden variarse: su amplitud, su frecuencia y su fase.

Para nuestra aplicación el tipo de modulación utilizada es la digital, destacando entre ellas:

- Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK, *Amplitud Shift Keying*).
- Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK, *Frequency Shift Keying*).
- Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK, *Phase Shift Keying*).

En la figura 2.6 se presentan las gráficas correspondientes a los esquemas mencionados, en donde se observa la variación de la amplitud (ASK), la frecuencia (FSK), y la fase (PSK).

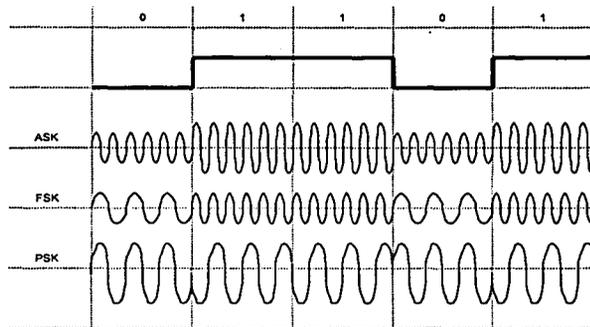


Figura 2.6.

Mención aparte merece la modulación por codificación de pulsos (PCM), que es muy utilizada en diversos sistemas de comunicaciones.

2.3.1. Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)

La modulación PSK es la más utilizada en la comunicación por satélite para señales digitales, ya que permite utilizar menor ancho de banda y existe la opción de reducirlo significativamente en operación multifásica, teniendo además óptima eficiencia de la potencia.

En PSK, la frecuencia y la amplitud se mantiene constantes y se varía la fase de la portadora para representar los niveles uno y cero con distintos ángulos de fase.

Con este tipo de modulación el receptor debe mantener una señal portadora de referencia con la cual comparar la fase de la señal recibida. Esto implica circuitos de demodulación complejos. Por este motivo, suele emplearse una forma alternativa de modulación en fase, que emplea desplazamientos en la fase relativos a la señal anterior transmitido. Por ejemplo, un desplazamiento de 90° relativos a la señal actual puede servir para indicar un cero binario y un cambio en la fase de 270° un uno binario. De esta forma el circuito de demodulación solo necesita determinar los desplazamientos en la fase y no el valor absoluto (PSK diferencial).

En la forma más general de modulación PSK, la portadora se desplaza de forma sistemática 45° , 135° , 225° o 335° , en intervalos espaciados de manera uniforme, y por cada uno de estos desplazamientos de fase se transmiten dos bits de datos.

Las modulaciones por desplazamiento de fase que han sido más utilizadas son la bifásica BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) y la cuadrifásica QPSK.

La bifásica es la forma más simple en la cual la fase de la portadora cambia con cada bit de información de la banda base. Los cambios de fase en este tipo de modulación son de 180 grados para representar los dos posibles valores de un dígito binario.

En el caso de QPSK se emplean 4 fases a 90 grados de diferencia entre ellas, admitiendo la unidad de modulación 2 bits a la vez que pueden formar cuatro combinaciones, una por cada fase constituyendo cada uno un símbolo.

En QPSK, los valores absolutos de la fase dependen de cada pareja de bits, como se indica en la Tabla 2.1

Bit	Fase absoluta
0 0	0
0 1	$\pi/2$
1 0	π
1 1	$-\pi/2$

Tabla 2.1.

2.3.2. Modulación por Codificación de Pulsos (PCM)

PCM (*Pulse Code Modulation*), es un método de modulación mediante el cual la onda analógica continua se transmite en un modo digital equivalente. La base para la explicación del funcionamiento de esta modulación es el teorema del muestreo:

El teorema de Muestreo dice que para conducir la información contenida en una señal de banda limitada, basta con enviar un número finito de muestras discretas:

Una señal moduladora pasobajas de banda limitada a f_m [Hz] queda definida en su totalidad por sus valores en intervalos no mayores que $1/2f_m$ segundos.

Se deduce que en lugar de transmitir la señal completa en forma analógica, en realidad necesitamos transmitir un número discreto de muestras.

Por ejemplo, en telefonía el espectro de voz es de 300 Hz a 3400 Hz, y de acuerdo con el Teorema de Muestreo la frecuencia de muestreo será igual a $f_{\max} = 2 \times 3400 = 6800$ Hz, pero debido a que no se cuenta con filtros ideales el rango de canal de voz o ancho de banda BW se toma de 0 Hz a 4000 Hz por lo que la frecuencia de muestreo será :

$$f_{\min} = 2 f_{\max} = 8000 \text{ Hz} \quad \text{ecuación (2.11)}$$

El tiempo de duración de cada muestra será

$$T = 1 / 2 f_{\max} = 125 \mu\text{s} \quad \text{ecuación (2.12)}$$

En la modulación de pulso, estas muestras discretas se usan para variar un parámetro de una señal de pulso. Por ejemplo puede variarse la amplitud, el ancho o la posición del pulso en proporción a la señal muestreada.

En la modulación por amplitud de pulso PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), la amplitud de un tren de pulsos de ancho constante varía en proporción de los valores muestreados de la señal moduladora. En general los pulsos se toman en intervalos de tiempo equidistantes, la figura 2.7 muestra un ejemplo de una señal PAM.

La variación de la amplitud o regulación del pulso puede variar en forma continua sobre todos los valores. Un refinamiento adicional es cuantificar la señal analógica muestreada en cierto número de niveles discretos. Ahora no solo se cuantifica la señal sino que se usa un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestra. Supóngase, por ejemplo, que se desea cuantificar medio ciclo de una senoidal, de un volt de pico usando ocho niveles discretos. En cada tiempo de muestra debe decidirse cual de los ocho niveles es la mejor aproximación a la senoidal eligiendo el valor más cercano (se puede seguir algún criterio) se mantiene hasta el siguiente tiempo de muestra, y así sucesivamente. Obviamente este proceso de cuantificación produce algunas fluctuaciones con respecto al valor real; éstas pueden tomarse como ruido. El aumento de los niveles de cuantificación tenderá a reducir ese ruido. La cuantificación puede ser lineal (con niveles igualmente espaciados) ó no lineal (con niveles no espaciados de manera uniforme).

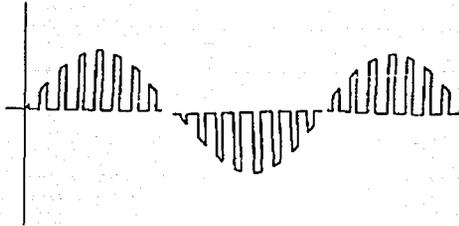


Figura 2.7.

El número de niveles de cuantificación M está estrechamente relacionado con el número de bits (n) que son necesarios para codificar una señal. En nuestro caso cada muestra tendrá 8 bits para su codificación, por lo que los niveles de cuantificación estarán determinados por la siguiente relación:

$$M = 2^n \quad \text{ecuación (2.13)}$$

por ejemplo para $n = 8$ tenemos:

$$M = 2^8 = 256 \text{ niveles}$$

donde el bit más significativo indicará el signo y los otros 7 bits restantes la magnitud, de tal forma que tendremos 128 niveles positivos y 128 niveles negativos.

Al producirse el proceso de aproximaciones, es decir al definir el valor binario de una muestra, ésta se redondeará al número entero más próximo. Esto da cierta alteración de la información representada por la diferencia existente entre la amplitud de la muestra y el valor de nivel de la cuantificación.

Este ruido no es lineal sino que es mayor para las amplitudes pequeñas de las muestras y despreciables para las amplitudes mayores. Para compensar esto es necesario aplicar la cuantificación no lineal (basada en las leyes de compresión), es decir que a las amplitudes pequeñas se les compara con niveles pequeños y a las muestras grandes con niveles grandes.

Se usan dos métodos para reducir los pasos de cuantificación a 128 ó 256 sin sacrificar la fidelidad. Estos son: pasos de cuantificación no uniforme y compresión previa a la cuantificación, a la que sigue una cuantificación uniforme. Se debe tener en mente que el interés principal de la transmisión digital con técnicas PCM es

transmitir voz. A diferencia de la transmisión de datos, es mucho mayor la probabilidad de encontrar señales de amplitud pequeña que de amplitud grande en la transmisión de voz.

Un aspecto secundario, pero igualmente importante, es que las señales codificadas se diseñan para llevar el máximo de información, considerando que todos los pasos de cuantificación (significados o caracteres) tienen igual probabilidad de ocurrencia, es decir, se supone que el nivel de amplitud de la señal obedece a una distribución de probabilidad uniforme entre 0 y \pm el voltaje máximo del canal.

Para resolver el problema de no equidad en la probabilidad del nivel de la señal en las señales de voz, específicamente el de que la probabilidad de las señales de niveles bajos es mayor que la de las señales de niveles altos, se usan grandes pasos de cuantificación para la porción de la señal con mayor amplitud, y pasos más finos para las señales con menor amplitud. Los dos métodos para reducir la cantidad total de pasos de cuantificación se pueden describir ahora de manera más precisa:

- La cuantificación no uniforme durante el proceso de codificación.
- La compresión de la señal antes de que entre el codificador, el cual realiza entonces una cuantificación uniforme sobre la señal que resulta, antes de hacer la codificación. En el extremo receptor la expansión se hace después de la decodificación.

En la mayoría de los sistemas PCM prácticos se usa la compresión para tener un granulado más fino (más pasos) para las señales de amplitud más pequeña. Es una compresión instantánea en comparación con la compresión silábica que se usa en la telefonía analógica con portadora. La función de compresión y la posterior de expansión siguen una de dos leyes, la ley A o la ley "mu" (μ).

En la ley A, que es la que se divide en 13 segmentos: en el eje de las ordenadas se toman los valores binarios de los niveles de la cuantificación, en la mitad inferior caen las muestras con polaridad negativa y en la mitad superior las positivas, en el eje de las abscisas se presentan los valores de tensión de las muestras. Cada segmento tiene 16 niveles excepto el nivel 7 que tiene 64 niveles (realmente son 4 niveles en uno), sumando todos los niveles tendremos 256 niveles de cuantificación.

La ley de compresión : suele aproximarse mediante tramos rectilíneos. Dentro de cada tramo rectilíneo, denominado segmento o cuerda, la relación entrada-salida presenta la forma escalonada propia de la cuantificación lineal.

Para el caso de 8 bits hay 8 segmentos a cada lado del origen, numerados del 0 al 7 y en cada segmento hay 16 «pasos» de cuantificación. En la ley μ : el tamaño del intervalo de cuantificación en cada segmento es doble con respecto al del segmento anterior y, por lo tanto, la pendiente se reduce a la mitad.

El siguiente paso es asignar un dígito a cada nivel de manera que exista correspondencia uno a uno entre los niveles y el conjunto de enteros reales. Esto se

llama digitalización de la señal. Este proceso reduce la señal a un conjunto de dígitos en lo sucesivos tiempos de muestra, originando un sistema de modulación completamente digital. Los dígitos se expresan en forma codificada. El código más común para este propósito es el binario, es decir, un código usa solo dos niveles posibles de pulso. Así, en lugar de enviar las muestras individuales en los tiempos de muestra se envía un código o patrón de pulsos para conducir la información en forma cuantificada.

Considere que si en este esquema de modulación se transmitiera en forma directa las muestras cuantificadas el sistema sería simplemente PAM cuantificado. La asignación de niveles de señal numerados que puede codificarse es lo que da al PCM una clara ventaja sobre otros tipos de modulación.

La Codificación es el proceso mediante el cual se generan las señales ó números binarios que representan los valores cuantificados de las muestras. En este proceso se establece una relación entre una palabra codificada que es un número en binario con un nivel de voltaje .

2.4. Señalización por Canal Común (SS7, Signal System 7)

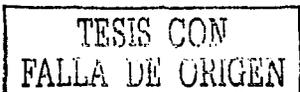
La señalización por canal común es una técnica en la que por medio de un canal dedicado se transporta información (mediante mensajes) relacionada con la operación de la red de telecomunicaciones, así como aquella información relacionada con el mantenimiento de la red.

Esta señalización permite el intercambio de información entre las partes de control de los nodos de conmutación, así como el intercambio de información extremo a extremo entre usuarios de la PSTN (*Public Switching Telephone Network*) y la red satelital.

En la figura 2.8 se ejemplifica la señalización por canal común.

Las características dadas a un sistema de señalización por canal común se traducen en facilidades y funciones de servicio más avanzadas en la red, ya que un sólo enlace es capaz de atender a un gran número de circuitos, la cantidad de señales y mensajes que puede atender (en el caso de la telefonía) prácticamente es ilimitada. Esto, además de la reducción en tiempo en lo referente al establecimiento de la comunicación y del periodo de espera después de la marcación así como la pérdida mínima de señal en comparación a los sistemas convencionales anteriores.

La señalización por canal común permite que un gran número de circuitos de conversación sea controlado por medio de un sólo enlace de señalización, el cual está separado de los circuitos de conversación, es decir que la conexión de



conversaciones entre enlaces usa un enlace común de datos para la transferencia de toda la información referente a la señales.

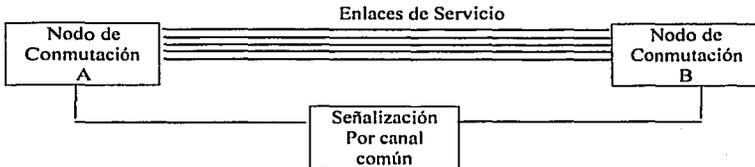


Figura 2.8.

El SS7 (Sistema de Señalización No.7) satisface las exigencias de señalización de control de las llamadas para servicios de telecomunicaciones tales como telefonía y transmisión de datos.

Una red de señalización por canal común está compuesta por un número de nodos de conmutación y procesamiento interconectados por enlaces de transmisión. Para comunicarse usando el sistema de señalización No.7, cada uno de estos nodos requiere la implantación interna de funciones SS7, para convertirlos en puntos de señalización.

La combinación de los puntos de señalización y su interconexión con enlaces de señalización forman la red de señalización SS7.

En una red donde se tienen centrales telefónicas con señalización según el principio de canal común, éstas pueden comunicarse entre sí de diferentes maneras.

Como se puede observar en la figura 2.9, las cuatro centrales A, B, C y D forman una red, de la cual cada una de ellas tiene una ruta directa de conexión hacia las demás, dicha ruta consiste de líneas de conversación y un solo enlace de señalización.

Por ejemplo, si la central A señala hacia B, A y B son llamados puntos de señalización donde A es el punto de origen y B es el punto de destino. Por lo tanto, las centrales que pueden comunicarse con otras partes de usuario semejantes tienen una relación de señalización.

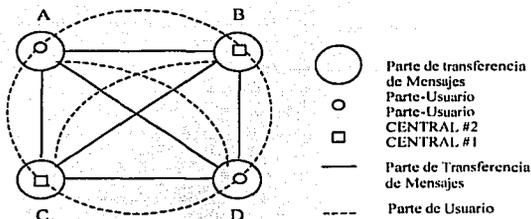


Figura 2.9.

Además, en una red de señalización en canal común no es necesario que todas las centrales que están en la red tengan un enlace de señalización directo hacia las demás.

En la figura 2.10 se puede observar que las centrales A, B y C están interconectadas por medio de líneas de conversación, pero el enlace de señalización existe sólo entre A y B y entre B y C.

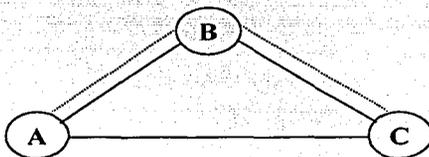


Figura 2.10.

Si se quisiera establecer un enlace de señalización entre centrales donde dicho enlace no existe, éste tendría que realizarse a través de una central común a ambas con la que se tuviera dicho enlace (para nuestro caso esta función la cumple la central B), por lo tanto la central B se convierte en un punto de transferencia de señalización (en inglés S.T.P. *Signal Transfer Point*). Así aunque no se tiene un enlace directo de señalización si se tiene una relación de señalización.

Cuando se tiene una relación y un enlace de señalización entre dos o más centrales se dice que se tiene una señalización en modo asociado. Por otra parte, si solo se tiene una relación de señalización se tiene entonces una señalización en modo no asociado o cuasi asociado.

Un sistema de señalización puede ser ampliado para diferentes fines de acuerdo al usuario, por ejemplo la red telefónica, la cual puede transferir información de este tipo solamente, pero además es posible manejar usuarios con redes de datos, redes de telex, funciones de operación y mantenimiento etc., dónde cada tipo de usuario tiene su propia parte usuario.

En telefonía la parte usuario sólo puede comunicarse con otra del mismo tipo. Para telefonía la parte usuario se denomina TUP. (*Telephony User Part*). TUP administra el control de llamadas en la central intercambiando señales con otras centrales. Cada señal de control emitida está relacionada con un circuito de conversación particular en la red telefónica.

La red de señalización debe tener un mecanismo que transfiera la información entre los usuarios, este mecanismo se llama Parte de Transferencia de Mensajes (MTP). La estructura del sistema de SSC7 permite describir el sistema, especificando las funciones a desempeñar por éste, así como la de sus componentes. Para lo que se consideran 2 aspectos:

- Niveles funcionales.
- Protocolos de comunicación.

Los niveles funcionales se agrupan en dos partes:

- Parte de transferencia de mensajes MTP (*Message Transfer Part*), que comprende los niveles funcionales 1,2 y 3.
- Partes de usuario (UP's) separadas para diferentes aplicaciones (Telefonía, Datos, RDSI, etc.) y constituyen elementos paralelos en el nivel funcional 4.

La tabla 2.2 indica los niveles funcionales del SSC7.

Subsistema	Nivel Funcional	Punto de señalización	
		Origen	Destino
UP	4.- Parte de usuario.	4	4
MTP	3.- Funciones de la Red 2.- Funciones de la terminal del enlace de señalización. 1.- Funciones del enlace de datos de señalización	3	3
		2	2
		1	1

Tabla 2.2.

2.5. Protocolos de Comunicación

Las redes públicas de datos en el mundo están basadas en el uso de protocolos de comunicación que son el conjunto de reglas que se deben seguir para poder establecer un lenguaje comprensible entre las estaciones (en este caso computadoras) que establezcan un enlace para el intercambio de información.

2.5.1. Ethernet

Una red de área local es una red de comunicación de datos circunscrita a un área geográfica pequeña (de cientos de metros o algunos kilómetros de cobertura), que interconecta dispositivos de datos (computadoras, periféricos, equipos de comunicaciones, etc.) compartiendo un medio de transmisión. Sus características principales son su alta velocidad de 1 a 100 Mbits/s, la flexibilidad en su instalación y expansión, simplicidad en su topología pertenecen a una sola organización, costos relativamente bajos.

Los elementos de red presentan hardware y software que permiten la integración de los dispositivos de datos de una red LAN son principalmente: el medio de transmisión, las tarjetas de red, el sistema operativo de red, los equipos de interconectividad que permiten la comunicación con otras redes de datos.

Los estándares para las redes de área local especifican básicamente las funciones relacionadas con la transmisión de datos en el medio físico están basados en el proyecto 802 de la IEEE, el cual especifica la funcionalidad, medios de transición, conectores etc.

En la figura 2.11 se muestran los protocolos comparados con el Modelo OSI (*Open Standard Interconnection*) ISO. (*International Standar Organization*)

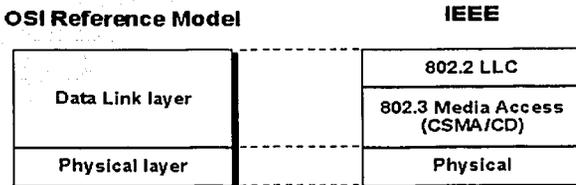


Figura 2.11.



Dentro del proyecto 802 se destacan los siguientes puntos:

LAN IEE 802.2

La subcapa LLC permite que diversos tipos de redes locales y redes metropolitanas puedan comunicarse en forma sencilla. La subcapa MAC es particular a cada tipo de red, es decir en cuanto al método de acceso de la red y el manejo de la capa física (Topología). Esta forma de operar fue definida por la IEEE (*Institute of Electrical & Electronic Engineers*) de EEUU y acordada por los proponentes de redes locales Ethernet, Token Ring y Token Bus.

LAN IEE 802.3 "ETHERNET"

Ethernet fue diseñado por Robert Metcalf trabajando para la empresa Xerox en el Palo Alto Research Center (PARC). Las primeras redes Ethernet soportaban 100 estaciones como máximo, con un alcance menor a 1 km y una tasa de 2.94 Mbps. Su nombre se adoptó como referencia al Ether, sustancia que los antiguos creían que era necesaria para que la luz y la gravedad se propagaran, y para sostener a los astros. Posteriormente se amplió el número de estaciones a 1024, su alcance a 10 km y su tasa a 10 y 100 Mbps. Ethernet utiliza la codificación Manchester .

Originalmente Ethernet se diseñó con una topología de medio común o bus en base a cable coaxial grueso, posteriormente evolucionó para manejar cable coaxial delgado, mas tarde se definió su operación utilizando fibra óptica y par trenzado siguiendo una topología de estrella. Finalmente evolucionó para trabajar a 100 y 1000 Mbps (*Fast Ethernet y Gigabit Ethernet*)

Una red LAN IEE 802.3 opera a una velocidad de transmisión de 10 Mbps, ya sea utilizando cable telefónico, cable coaxial o cable de fibra óptica, a distancias máximas de 100 m, 500 m ó 1500 m (sin repetidor) respectivamente. Sin duda este tipo de red es la más difundida. La mayoría de fabricantes de dispositivos de redes LAN soportan este estándar.

El funcionamiento de las redes LAN IEE 802.3 o tipo Ethernet se basa en el método de acceso *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* (CSMA/CD), el cual asigna el canal de transmisión en forma aleatoria a una estación cuando esta se encuentra libre. Incluye un método para evitar precisamente que dos o más estaciones transmitan a la vez (detección de colisiones).

Cada estación recibe tramas y sólo procesa las que tienen su dirección física como destino, las demás las ignoran. Cuando una estación desea transmitir espera hasta que escucha que el medio no está ocupado transmitiendo tramas. Al estar libre el medio intenta transmitir la trama escuchando que no ocurra una colisión con alguna otra trama de otra estación.

Si ocurre una colisión, cada estación interrumpe su transmisión enviando una señal analógica para informar a todas las otras estaciones que hubo una colisión. Cada

estación que desea transmitir se espera un número aleatorio de tiempo cuando el medio está libre para volver a intentar transmitir su trama.

La figura 2.12 muestra este proceso en 4 pasos:

1. La estación A transmite.
2. La estación B transmite.
3. Se produce la colisión y se interrumpe la transmisión.
4. Cada estación deja de transmitir para volver a transmitir después de un tiempo.

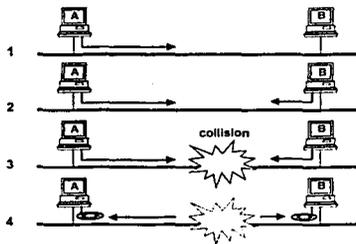


Figura 2.12.

La figura 2.13 nos muestra las Tramas (*frames*) del Protocolo Ethernet y el IEEE 802.3, donde se describe brevemente cual es la función de cada uno de los campos de estos protocolos.

Los campos más importantes son: El preámbulo, que nos sirve para delimitar las tramas, también existe un campo de longitud de 6 bytes para la dirección fuente y otros 6 más para la dirección destino, un rango de 46 a 1500 bytes para la información y el campo de revisión de Paridad FCS (*Frame Check Sequence*).

Tramas Ethernet / 802.3

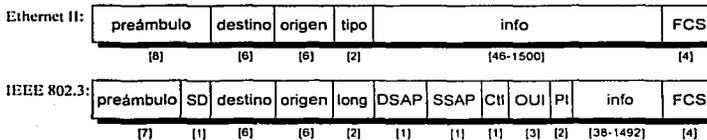


Figura 2.13.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Preámbulo: Conjunto de bits conteniendo el patrón binario 1010...

SD: Start delimiter (10101011)
Destino: Dirección MAC (*Medium Access Control*) destino
Origen: Dirección MAC origen
Tipo: Tipo de trama
Longitud: Número de bytes en el campo de información
DSAP: *Destination Service Access Point* (10101010)
SSAP: *Source Service Access Point*
Ctl: Tipo de servicio, LLC para el protocolo de capa 3
OUI: *Organization Unit Identifier*
PI: *Protocol Identifier*
Info: PDU de la Subcapa LLC
FCS: *Frame Check Sequence*: Chequeo de Integridad
CRC: *Cyclic Redundancy Check*

El estándar IEE 802.3 define varias interfaces físicas las cuales se aplican dependiendo de los requerimientos de distancia que se tengan para conectar estaciones o dispositivos de datos que usan configuración red LAN.

IEEE 802.3 10 Base T, es la especificación para utilizar par telefónico sin blindar, se requiere equipo concentrador de red para poder utilizar esta especificación, la distancia máxima entre el HUB y la estación es de 100 m.

IEEE 802.3 10 Base 5, es la especificación para cable coaxial grueso que permite distancias máximas de 500 m se aplica para cableados de red principal (*backbone*)

IEEE 802.3 10 Base 2: es la especificación para cable coaxial delgado con distancias máximas de 185 m. Normalmente se aplica para interconectar computadoras mayores en centros de cómputo de piso falso.

IEEE 802.3 10 Base F: Especificación para conectar estaciones o segmentos de red con fibra óptica con distancias hasta de 3 KM. Se aplica en aplicaciones tipo campus.

2.5.2. Protocolo SDLC

IBM desarrolla el protocolo Control de Enlace de Datos Síncrono (SDLC: *Synchronous Data Link Control*) a mediados de los años 70's para su uso en entornos SNA (*System Network Architecture*), Arquitectura de Redes de Sistemas. El SDLC fue el primer protocolo de la capa de enlace de datos que se basó en una operación síncrona orientada a bits.

Después de desarrollar el protocolo SDLC, IBM lo propuso a diferentes comités de estandarización. La ISO (Organización Internacional de Estándares) modificó el

SDLC para crear el protocolo HDLC (*High Density Link Control*) Control de Enlace de Datos de Alto Nivel. El Sector de Estándares en Telecomunicaciones de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) originalmente llamada CCITT, modificó después el protocolo HDLC para formar el LAP (*Link Acces Protocol*) Procedimiento de Acceso de Enlace, y después el LAPB (*Link Acces Protocol Balanced*) Procedimiento de Acceso de Enlace Balanceado. El IEEE (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica) modificó el protocolo HDLC para formar el IEEE 802.2. Cada uno de estos protocolos ha adquirido gran importancia en su propio dominio, pero el SDLC continúa siendo el protocolo principal de la capa de enlace de datos de SNA para los enlaces WAN.

El protocolo SDLC soporta una gran variedad de tipos de enlace y topologías, puede utilizarse con enlaces punto a punto y enlaces multipunto, con medio de transmisión por cable o por el espacio libre, semi-dúplex o dúplex total y redes de conmutación de circuitos y de paquetes.

El protocolo SDLC identifica dos tipos de nodos de red: *principal* y *secundario*. Los nodos principales controlan la operación de otras estaciones llamadas secundarias. Los nodos principales sondan a los secundarios en un orden predeterminado y las estaciones secundarias, posteriormente, pueden transmitir si tienen datos para su envío.

El nodo principal también se encarga de establecer y eliminar enlaces, y administrar el enlace mientras se encuentra en operación. Los nodos *secundarios* se controlan a través de los nodos principales, lo que significa que los secundarios solamente pueden mandar información a los principales, si estos últimos otorgan el permiso para hacerlo.

Los nodos principales y secundarios de SDLC pueden estar conectados en cuatro configuraciones básicas:

- *Punto a punto*: Involucra solamente dos nodos, el principal y uno secundario.
- *Multipunto*: Supone una estación principal y múltiples estaciones secundarias.
- *Ciclo*: Comprende una topología en ciclo, donde el nodo principal está conectado al primero y al último nodo secundario. Los nodos secundarios intermedios pasan los mensajes entre ellos a medida que responden a las solicitudes del nodo principal.
- *Concentrador ve adelante*: Implica un canal de ida y otro de regreso. El nodo principal utiliza el canal de regreso para comunicarse con los nodos secundarios. Los secundarios utilizan el canal de ida para comunicarse con el principal. El canal de ida esta cableado de estación en estación hasta el principal a través de cada uno de los nodos secundarios.

El formato de la trama SDLC se muestra en la figura 2.14 y se detalla a continuación.

- *Apuntador* - Comienza y finaliza la verificación de errores.

- **Dirección** - Contiene la dirección SDLC de la estación secundaria, que indica si la trama viene de una estación principal o de una secundaria. Esta dirección puede contener una dirección específica, un grupo de direcciones o una dirección de difusión. Un nodo principal es una fuente de comunicación o un destino que elimina la necesidad de incluir la dirección del nodo principal.
- **Control** - Emplea tres diferentes formatos, en función del tipo de trama SDLC utilizada:
 - Trama de información (I): Transporta la información de la capa superior e información de control.

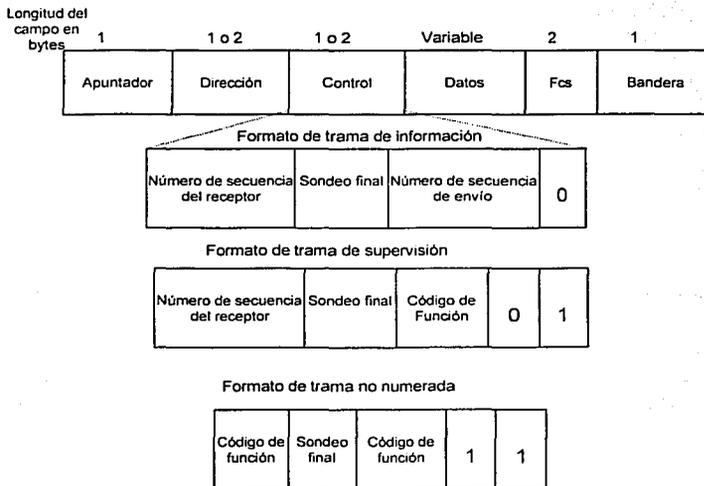


Figura 2.14.

Esta trama envía y recibe secuencias de números y el bit P/F (Sondeo Final) lleva a cabo el control de flujo y de errores. El número de secuencia de envío se refiere al número de la trama que se enviará después. El número de secuencia de recepción da el número de la trama que se recibirá después.

Tanto el emisor como el receptor conservan el número de secuencia de envío y recepción.

Una estación principal utiliza el bit P/F para informar al nodo secundario si requiere una respuesta inmediata. La estación secundaria utiliza el bit P/F para informar al nodo principal si la trama presente es la última en su respuesta actual.

° Trama de Supervisión (S): Proporciona la información de control. Una trama S puede solicitar y suspender la transmisión, reportar el status y confirmar la recepción de las tramas I. Las tramas S no tienen un campo de información.

° Trama No numerada (U): Soporta funciones de control y no es secuencial. Una trama U se puede utilizar para inicializar nodos secundarios. Dependiendo de la función de la trama U, su campo de control es de 1 o 2 bytes. Algunas tramas U tienen un campo de información.

- *Datos* - Contienen una PIU (Unidad de Información de Trayectoria) o una XID (Información de Identificación del Intercambio).
- *FCS* (Secuencia de Verificación de la Trama) -- Precede al delimitador de la bandera de final y, en general, es el residuo que resulta del cálculo de la CRC (Verificación de Redundancia Cíclica). El cálculo de la CRC se efectúa de nuevo en el receptor. Si el resultado difiere del valor contenido en la trama original, se da por hecho que ha habido un error.

En una configuración normal de red basada en SDLC, existe un controlador de establecimiento de IBM (originalmente llamado controlador de grupo) en un sitio remoto se conecta a terminales tontas y a una red Token Ring. En un sitio local, un anfitrión IBM se conecta (por medio de las técnicas de canal conectado) hacia un FEP (Procesador Frontal) de IBM, que también puede tener enlaces hacia las LANs Token Ring locales y a una troncal SNA. Los dos sitios se conectan por medio de líneas privadas a 56 Kbps basadas en SDLC.

2.5.3. El protocolo HDLC

HDLC (Control de Enlace de Datos de Alto Nivel) es un protocolo que comparte el formato de trama de SDLC, y los campos de DIC brindan la misma funcionalidad que los de SDLC. Asimismo, como en SDLC, HDLC soporta operación síncrona dúplex total.

Sin embargo, HDLC difiere de SDLC en varios detalles. Primero, HDLC tiene una opción para la verificación de la suma de 32 bits. Asimismo, a diferencia de SDLC, HDLC no soporta las configuraciones de ciclo ni del concentrador ve adelante.

La diferencia principal entre HDLC y SDLC está en que SDLC sólo soporta un modo de transferencia, en tanto que HDLC soporta tres, que son los siguientes:

- NRM (Modo de Respuesta Normal) - Este modo de transferencia también lo utiliza el protocolo SDLC. En este modo, los secundarios no se pueden comunicar con un principal hasta que éste dé el permiso.
- ARM (Modo de Respuesta Asíncrona) - Este modo de transferencia permite que los secundarios inicien la comunicación con un principal sin haber recibido permiso.
- ABM (Modo Balanceado Asíncrono) - Éste presenta el nodo combinado, que puede actuar como un principal o un secundario en función de la situación. Toda la comunicación en ABM se presenta entre múltiples nodos combinados. En entornos ABM, cualquier estación combinada puede iniciar la transmisión de datos sin el permiso de ninguna otra estación.

2.5.4. Protocolo TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*)

La pila de protocolos de TCP/IP no solo especifica los protocolos necesarios para el transporte de datos a través de una Internet, sino incluye especificaciones para aplicaciones comunes al usuario tales como correo electrónico transferencias de archivos, terminal virtual, entre las más importantes. Resultando los protocolos SMTP FTP y Telnet, respectivamente.

Los protocolos de la pila de TCP/IP son ampliamente utilizados y son soportados prácticamente por la mayoría de los fabricantes de datos.

Los protocolos TCP/IP son extremadamente flexibles en cuanto que casi cualquier tecnología de transmisión puede ser utilizada para transferir su tráfico. En Internet existen varios estándares para encapsular datagramas IP en redes tipo IEEE 802, FDDI o redes públicas tipo X25, Frame Relay, SMDS o ATM.

IP es el protocolo de capa 3 (de acuerdo a OSI de la pila de protocolos TCP/IP. Este protocolo representa el corazón de las redes de Internet. Posee el servicio de direccionamiento de los datagramas IP de una máquina a otra a través de los enrutadores de Internet.

Dentro de las capas del protocolo IP se encuentran:

La Capa de Red, es la capa más baja de la pila de protocolos responsable de transmitir los datagramas sobre el medio a su destino final, a nivel sistema OSI corresponde a las capas física y de enlace. Esta capa es responsable de proveer la comunicación de host a host, es aquí donde el paquete se encapsula dentro de un datagrama de Internet, el algoritmo de ruteo se corre.

La Capa de Transporte es el tercer nivel del software de Internet es responsable de proveer la comunicación entre aplicaciones residentes en diferentes servidores mediante la inserción de información en el datagrama tal como la información de socket. La capa

de transporte puede proporcionar servicios confiables y no confiables en el sentido de que un servicio confiable se entienda como aquel que maneje reconocimientos de la estación destino.

La Capa de aplicación es el nivel más alto del modelo de Internet, las aplicaciones son Telnet, FTP y SMTP.

El propósito de los protocolos de comunicaciones es proveer servicios a las aplicaciones de capas superiores.

- Telnet Proveen un servicio de terminal, este permite al usuario firmarse dentro de otro sistema de cómputo a través de la red como si su máquina estuviera conectada directamente.
- FTP (*File Transfer Protocol*). permite al usuario comunicarse interactivamente con otra maquina con el propósito de manipular archivos, es decir, FTO permite al usuario obtener archivos de otra maquina en la red, o enviarlos según sea el caso.
- SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) es un protocolo de correo electrónico.
- DNS (*Domain Name Server*) Permite al sistema reconocer nombres en lugar de cadenas de caracteres para las direcciones IP
- SNMP Permite al usuario administrar el sistema mediante una estación que extraiga (*Polling*) información de los componentes de la red.

Una dirección IP tiene una longitud de 4 octetos y se divide en una parte de red y una parte de máquina. La parte de red identifica la red lógica ala cual la dirección se refiere las decisiones de enrutamiento se realizan en base a esta información. La parte del computador identifica una maquina en esta red.

Por convenio las direcciones IP se escriben con números decimales (uno para cada octeto) separado por puntos. Por ejemplo una dirección IP es 128.138.240.1 El octeto más a la izquierda es el más significativo y siempre es parte de la red.

Existen varias clases de direcciones IP, que difieren en la forma en que los octetos se colocan entre las partes de la red y del computador. Las direcciones comúnmente utilizadas se agrupan en las clases A, B y C. La clase de una dirección se puede determinar observando el primer octeto.

Clase A : Se pueden formar 125 redes y 16,777,14 host por red. Ver figura 2.15.

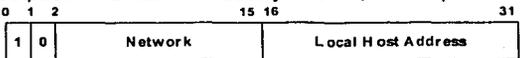


Figura 2.15.

Clase B: Se pueden formar 16,382 redes clase B con 65, 534 hosts por red.
Ver figura 2.16.



Figura 2.16.

Clase C: Se pueden formar 2,097,152 redes con 254 host por red. Ver figura 2.17.



Figura 2.17.

Clase D: Este tipo de direccionamiento se usa para manejar otro tipo de direcciones que apuntan a un grupo en específico de direcciones llamado multicast. Ver figura 2.18.



Figura 2.18.

El rango de direcciones para identificar las direcciones IP es el siguiente:

- Clase A: 001.hhh.hhh.hhh - 127.hhh.hhh.hhh
- Clase B: 128.001.hhh.hhh - 191.254.hhh.hhh
- Clase C: 192.000.001.hhh - 223.255.254.hhh
- Clase D: 224.000.000.000 - 239.255.255.255

La administración de estas direcciones es por el NIC (*Network information Center*). Los protocolos de enrutamiento permiten a los enrutadores intercambiar información de las trayectorias disponibles para enviar datagramas a través de la red.

El Protocolo de Información de Enrutamiento RIP (*Routing Information Protocol*), esta basado en el protocolo RIP de Xerox. Utiliza la mejor trayectoria disponible

entre dos puntos en una red basado en el número de saltos existentes entre esos dos puntos (protocolo vector distancia).

Cada nodo envía una copia de su tabla completa de ruteo a cada uno de sus nodos adyacentes sin importar si hubo cambios o no cada 30 segundos.

TCP es un protocolo cuya función principal es garantizar el intercambio de datos entre procesos de diferentes computadoras a través de un mecanismo de retransmisión de información en caso de presentarse errores en la recepción de la misma.

Los servicios que proporciona a la capa de aplicación son el multiplexaje de varias sesiones, establecer y mantener conexiones entre puntos finales, reportar condiciones de error y fallas en la y transmisión.

La interacción entre protocolos TCP de máquinas que se comunican se hace a nivel de conexión de puntos finales, esto es la conexión entre puertos TCP asociados con direcciones IP.

Como existen aplicaciones comunes de usuarios, tales como FTP, SMTP TELNET etc., se ha convenido en utilizar siempre el mismo número de puerto TCP para cada protocolo de aplicación. A estos puertos se les denomina Puertos Bien Conocidos, así por ejemplo una aplicación que utilice TELNET siempre se dirigirá al puerto TCP número 23 de la máquina remota.

Este capítulo fue estructurado de tal forma que nos permita ubicar ciertos antecedentes de las comunicaciones, para luego introducirnos en los aspectos teóricos y generales de aquellos tratamientos que sufre una señal que será transmitida vía satélite, cada una de estas transformaciones es sumamente importante por lo que hacemos una descripción detallada de tales procesos, como pueden ser: la Modulación PSK, las técnicas PCM de multiplexación y las técnicas de acceso al satélite, para posteriormente revisar la SS7 y finalmente describir en forma general los protocolos de comunicación de datos tales como TCP/IP y HDLC.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El objetivo de este capítulo es proporcionar una introducción global del estándar MSAT (*Mobile Satellite Communication*), así como la descripción de cada uno de los servicios que se pueden ofrecer con este sistema. Se describen cada una de las partes de las redes satelitales que cumplen con el estándar MSAT y sus componentes, de tal forma que se pueda identificar el papel que desempeña cada subsistema dentro de la red.

3.1. Introducción de la Red MSAT

La red MSAT es un sistema de Comunicaciones Móviles Satelitales que proporciona servicios de comunicación de voz y datos a usuarios móviles terrestres, aéreos y marítimos en el territorio Mexicano y sus aguas costeras, dentro de un límite de 200 millas náuticas.

El sistema de Comunicaciones Móviles Satelitales lo conforman:

- Un satélite en órbita geostacionaria
- Una estación Terrena (CGS, *Communication Ground Segment*), el cual maneja las llamadas telefónicas y las interconecta con la red pública conmutada (PSTN, *Public Switched Telephone Network*).

- Terminales móviles (MET, *Mobile Earth Terminal*), que son la interfaz con el usuario final a los que se les ofrecen los servicios de comunicación.

Para facilitar la comprensión del funcionamiento de la Red de comunicaciones satelitales, mencionaremos las partes que la conforman:

- Un Switch.
- El Sistema de Administración de Prepago, (SAP).
- El Centro de Operación de la Red, (*Network Operation Center, NOC*)
- El Sistema de Administración y Control de la Información, (*Control Management Information System, CMIS*).
- Un Controlador de Grupo, (*Group Controller, GC*).
- Las Unidades de Canal, (*Chanel Unit, CU*)
- El Procesador de Acceso a la Red, (*Network Access Processor, NAP*).
- El Subsistema de Radiofrecuencia, (*RF Subsystem*)
- Las Antenas
- El Satélite
- Las Terminales: Fija, Semifija y/o Móvil, (*Mobile Earth Terminal, MET*)

A continuación, explicamos de una forma sencilla la interacción de cada uno de los módulos o subsistemas que involucra el estándar.

3.2. Descripción de la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal

La descripción del funcionamiento de una Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal bajo el estándar MSAT, se llevará a cabo definiendo la trayectoria de una señal que recorre cada uno de los elementos del sistema, para poder establecer una llamada desde un servicio de telefonía local hacia una terminal móvil.

El proceso de comunicación se inicia cuando al marcar desde un teléfono local (TELMEX) hacia una terminal móvil utilizamos la infraestructura de la PSTN. Esta infraestructura está formada por la interconexión de centrales digitales telefónicas cuyos canales son propiamente enlaces digitales, como pueden ser: E1's o multiplexajes de orden superior como los canales E3. En el caso de nuestra Red dichos enlaces son soportados por dos centrales de TELMEX: la Central Estrella (CTI, Centro de Tránsito Interurbano), que proporciona la conexión de larga distancia, y la central Culhuacán (CTU, Centro de Tránsito Urbano), la cual aporta la conexión desde y hacia la PSTN Local. En el marcado de un número telefónico, los primeros dígitos (llamados cabeza de grupo) nos permiten encaminar la llamada a una determinada central dentro de la red, en nuestro caso al marcar hacia una terminal móvil la cabeza de grupo nos conecta hacia la central que tiene la interconexión con el Switch de la estación terrena de nuestro sistema de

comunicaciones móviles satelitales. La figura 3.1 muestra esquemáticamente la interconexión entre la estación terrena y la PSTN.

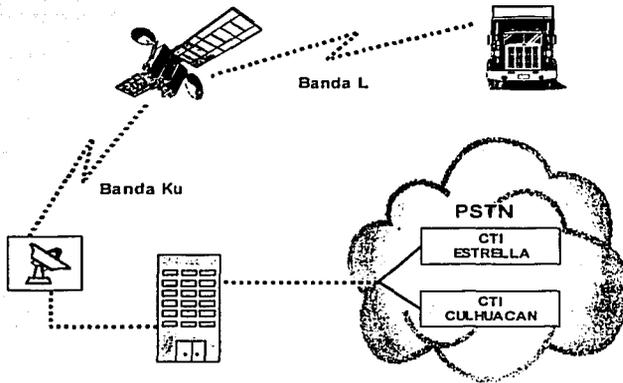


Figura 3.1.

La función del Switch es propiamente ser la interfaz entre la PSTN y el Centro de Control de Comunicaciones de Red, el cual está formado por el GC, las unidades de Canal, los NAP's y el Subsistema de RF. Considerando que las centrales digitales de Telmex manejan el sistema europeo de multiplexaje, la señal de entrada hacia el Switch de la PSTN es mediante estándar Europeo E1's y el Sistema de Comunicaciones Móviles Satelitales utiliza el estándar de multiplexaje americano, es necesario la interconexión de un equipo llamado BALUM, el cual es un convertidor de fibra óptica a coaxial que convierte E1's a T1's, mediante técnicas de segregación y agregación de bits de manera que sea transparente el envío de información de usuario en un sistema de 32 a 24 canales.

Una vez establecida la conversión, ésta puede ser transportada a lo largo de los sistemas por medio del módulo controlador de troncales del Switch, el cual manda la información a la matriz de conmutación y en función de lo que se decida es enviada al módulo de memoria (DRAMs) para dar conocimiento al usuario del estado de su llamada a través de anuncios o mensajes grabados, o en su defecto, al módulo periférico celular inteligente, que funciona como interfaz entre los modems satelitales, el canal de RF, las antenas y el satélite. Finalmente la señal ingresa al módulo de control de entrada-salida, para registro de eventos.

El siguiente paso en el proceso de comunicación es la conexión al Centro de Operación de la Red, el cual administra y monitorea las fallas a través de una bitácora de errores, ejecuta pruebas de diagnóstico, mantiene el control para el establecimiento de la red; adicionalmente administra las cuentas de las terminales móviles asignadas a Seguridad Nacional, acumulando datos tanto de facturación como de ejecución de llamadas, generando los registros de rendimiento de los elementos del sistema, dicho almacenamiento es en el ámbito local, para posteriormente transmitirlo al sistema externo de software CMIS. Adicionalmente el NOC administra la configuración de las terminales móviles, posee el control de cambios, monitorea los recursos de las terminales (por ejemplo, terminal sin corrientes, frecuencia de transmisión correcta, reportes de estado, etc.); así como también presenta la información al operador mediante reportes y en su caso a las entidades externas afectadas. Finalmente, se encarga de la seguridad proporcionando control de acceso a información y operaciones del sistema, y permite distribuir información referente a las llaves de seguridad de acceso a las terminales móviles y a la red de comunicaciones.

En la figura 3.2 se aprecian los primeros módulos que nos ayudan a validar la comunicación entre la PSTN y la estación terrena.

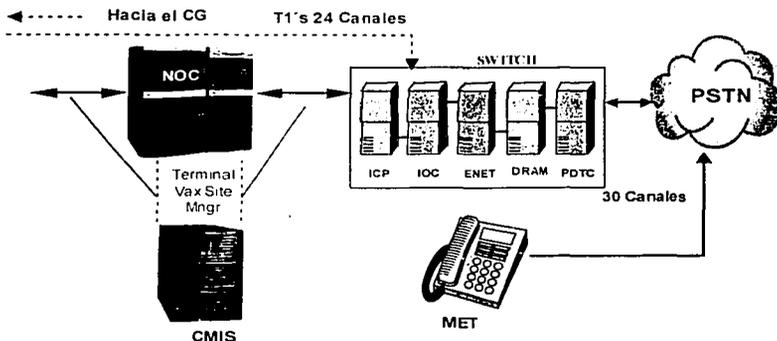


Figura 3.2.

Debido a la carga administrativa que desempeña el NOC, éste se auxilia de un programa de cómputo denominado CMIS (*Control Management Information System*), el cual es una aplicación estructurada que se encarga de coleccionar y validar información en relación con la terminal, por ejemplo: las condiciones óptimas de operación, notifica si la terminal está fuera de operación debido a mantenimiento o descompostura y los servicios a los que tiene derecho la terminal (larga distancia,

recibir y/o emitir llamadas, si acepta, voz, datos, radio, etc.). También indica si está determinada como terminal de prueba o en fase de verificación de desempeño PVT (*Performance Verification Test*), captura detalles de ejecución de proceso, proporciona reportes flexibles, análisis de capacidades, etc.

El siguiente módulo dentro del sistema que recibe la señal del NOC y el análisis que realizó el CMIS es el Controlador de Grupo, el cual se encarga de verificar la capacidad del sistema en dos direcciones: la primera es en dirección al Switch, cerciorándose de la disponibilidad de canales de comunicación terrestre (líneas telefónicas), y por otro lado, unidades de canal de comunicación satelital, lo anterior lo realiza en caso de llamadas entrantes y salientes, si en ambos casos existe disponibilidad, autoriza al NOC a establecer la comunicación. Dicha autorización se realiza a través de canales de comunicación fuera de banda denominados: MT-SR (*Signaling Random Mobile Earth Terminal*, Canal de Señalización de Entrada de Acceso Aleatorio de una MET hacia la Estación Terrena), MT-ST (*Signaling TDMA Mobile Earth Terminal*, Canal de Señalización de Entrada de Acceso TDMA, desde una MET hacia la Estación Terrena).

Esta señalización se realiza antes del establecimiento de una llamada, por otro lado al establecerse la llamada, existe comunicación en banda entre la MET y la estación terrena por medio de los canales de señalización llamados FES-C (el cual es un canal de señalización que envía información dentro de un canal de comunicación ya establecido, desde la estación terrena hacia una MET) y MET-C (que es un canal de señalización que transmite información de entrada en un canal de comunicación ya establecido, desde una MET hacia una estación terrena); el controlador de grupo (GC, *Group Controller*). También administra las llamadas, incluyendo el establecimiento, la terminación, el monitoreo, la identificación y la activación del servicio de voz.

Para establecer la llamada necesitamos canales de comunicación los cuales se denominan unidades de canal (CU, *Channel Unit*) y pueden ser programados para proporcionar la interfaz de canal portador entre la estación terrena y el satélite. Su principal objetivo, es proporcionar la función de modem satelital. La unidad de canal proporciona una comunicación full-duplex a través del satélite entre redes de circuitos conmutados y terminales móviles y se configura por la carga de software de aplicación específica. Al cargar el programa de aplicación, la CU modula y demodula las transmisiones satelitales de paquetes de datos del sistema de acceso aleatorio. Además al manipular la señal, la interfaz terrestre realiza las funciones de compresión de voz, modem telefónico, modem de Facsímil, tonos de señalización en un canal de comunicación previamente establecido, así como los protocolos de conversión, etc. Adicionalmente en el segmento terrestre se encuentra el Subsistema de Radiofrecuencia, el cual realiza la combinación, la división de los canales y la conversión en Banda Ku para transmitir la señal al satélite por medio de una antena.

Finalmente la señal es enviada al satélite en Banda Ku, los transpondedores la convierten en Banda L y la retransmiten hacia la tierra para localizar la terminal de destino. Lo anteriormente descrito se ilustra con la figura 3.3

En base la explicación anterior, describiremos cada uno de los módulos que forman el sistema de comunicaciones móviles satelitales de estándar MSAT.

Con relación a los dos tipos de servicio de comunicación de voz, el estándar MSAT administra el Servicio Universal y servicio de Seguridad Nacional, la diferencia entre éstos servicios consiste en que el Servicio Universal es un sistema de prepago y el Servicio de Seguridad Nacional es netamente de consumo gubernamental.

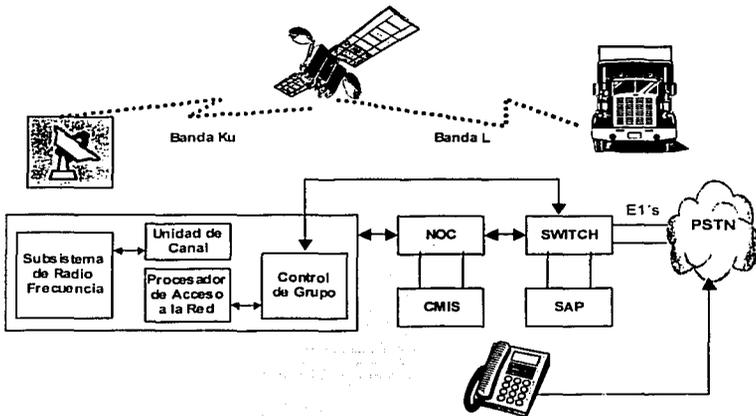
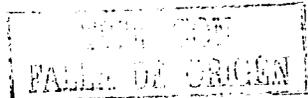


Figura 3.3.

A fin de tener un control en el tráfico, es necesario verificar la información de la terminal con relación a su estado crediticio, dicha validación la efectúa el SAP (Sistema de Administración y Prepago), para tarificar el uso de la terminal, es decir que la terminal está en condiciones de operar sobre la base de un prepago por servicio de comunicación, registra el tiempo de inicio, el número telefónico fuente y el número telefónico destino, la hora de finalización de llamada, identifica si la llamada es Local o de Larga Distancia Nacional, Internacional o Mundial, realiza el descuento pertinente del crédito asignado a la terminal en función del tiempo aire consumido, guarda registros para cualquier referencia futura como estadísticas, tarificación, etc.;



el SAP no valida ni busca información referente a la terminal si se trata de una llamada de Seguridad Nacional.

3.2.1. Switch

El Switch es el primer elemento que se encuentra en interfaz entre la PSTN y las terminales móviles.

La infraestructura para la interconexión de la PSTN con el Centro de comunicaciones móviles satelitales MOVISAT es provista por 8 enlaces E1 soportados por dos centrales telefónicas: La central ESTRELLA CTI, que proporciona enlaces de comunicación de Larga Distancia, y la Central Culhuacán CTU, que proporciona enlaces de comunicación a través de la red Local, ambas centrales entregan dichos servicios de comunicación por medio óptico (Fibra Óptica).

El Switch está formado por los siguientes elementos:

- La Matriz de conmutación (ENET, *Extended Network*), que se encarga del establecimiento físico de las llamadas, la sincronía de la central y la conexión de los módulos de computación. Maneja dos módulos redundantes.
- El Módulo controlador de troncales digitales PCM 30 (PDTC, *PCM Digital Trunk Control*), que tiene como función principal ser la interfaz hacia la PSTN con 8 enlaces E1, bajo el esquema de señalización 7 y utilizando una velocidad de transmisión de 2048Mbps en cada uno de sus 8 puertos.
- El Módulo periférico celular inteligente (ICP, *Intelligent Celular Peripheric*), que administra la interfaz con la red satelital, y establece comunicación a través de enlaces T1.
- El Controlador de Entrada Salida (IOC, *Input Output Controller*), que supervisa las terminales de usuario, discos duros, modem, impresoras, consolas de operador, etc. Este controlador tiene doble equipamiento debido a las múltiples interfaces de usuarios existentes entre el sistema de conmutación y el sistema MOVISAT.
- El Módulo de unidad de memoria (DRAM, *Device Read Access Memory*), que almacena los mensajes de ayuda a los usuarios del sistema, los informes de actividad diaria, registros para fines de facturación, etc.

El Switch se apoya de un programa de computo de Administración y Prepago, para operar en forma adecuada. Dicho sistema se denomina SAP el cual se encarga de administrar los recursos de las terminales móviles para el Servicio Universal.

La figura 3.4 muestra la composición del Switch.

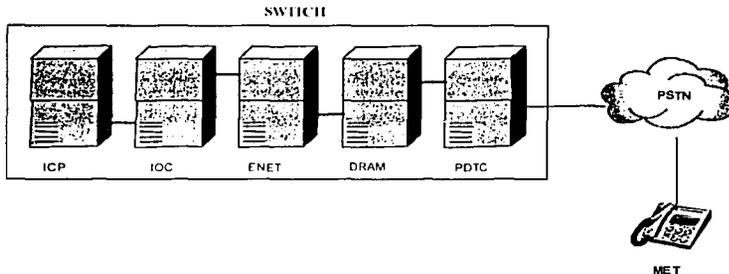


Figura 3.4.

El Servicio Universal funciona en la modalidad de Prepago, y el SAP se encarga de tarificar y descontar en tiempo real el importe de las llamadas de los usuarios rurales. Tiene la habilidad de desplegar registros (IVR's), ya sea para la consulta de saldos, Notifica la suspensión del servicio en la terminal (tiene la facilidad de activar y/o desactivar terminales).

Este sistema de administración cuenta con tres servidores: SA, CT y CT2, cada uno de ellos tiene cargado el software de Sapmanager, Kernel de Telefonía y Sapserver.

- El SA se encarga de la administración del sistema, en el se encuentra la Base de Datos con la información de los usuarios que están dados de alta. Tiene 4 E1's para Servicio Local y Larga Distancia Internacional (Estados Unidos de América y Canadá) y Larga Distancia Mundial (Resto del Mundo).
- El segundo servidor es el CT, que posee 4 E1's para Larga Distancia Nacional.
- El último es el CT2 con 3 E1's para Loop, Larga Distancia Internacional y Mundial, así como para Servicio Local.

La interfaz entre este sistema con el conmutador se realiza a través de tarjetas E1 Dialogic, el software para efectuar estas conexiones se divide en dos partes y se encuentra instalado en los tres servidores.

- El Kernel de Dialogic se emplea para efectuar las llamadas salientes, no se puede modificar y está incluido en cada tarjeta. A su vez el Kernel de Telefonía se utiliza para completar las llamadas entrantes. En conjunto, ambos sistemas se utilizan

para realizar todas las funciones de telefonía, por ejemplo la señalización 7 entre el Switch y la PSTN. enlace de llamadas, liberación de canales, etc.

- El Sapmanager se encarga de desplegar ventanas de estado de los canales y el proceso de las llamadas.

La figura 3.5 muestra los componentes que integran al SAP.

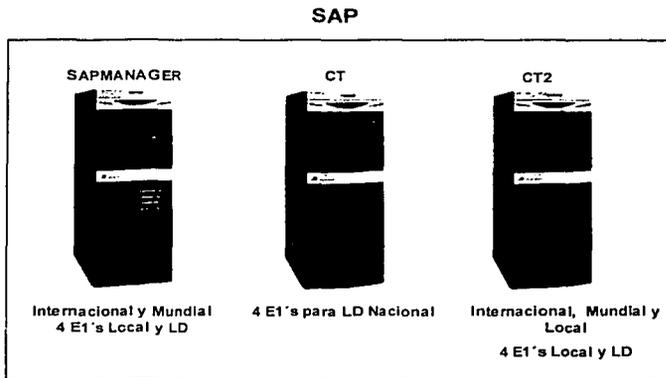


Figura 3.5.

3.2.2. Centro de Operación de la Red (NOC, *Network Operation Center*)

El NOC administra y monitorea las fallas a través de la bitácora de errores, ejecuta pruebas de diagnóstico y mantiene el control para el establecimiento de la red; adicionalmente administra las cuentas: acumulando datos tanto de facturación como de ejecución de llamadas, generando registros de rendimiento de los elementos del sistema con almacenamiento local para posteriormente transmitirlo al sistema externo CMIS; controla la configuración de las terminales móviles, las propiedades de éstas, posee el control de cambios, monitorea los recursos de las terminales (terminal sin corrientes, frecuencia de transmisión correcta, reportes de estado, etc.); así como también presenta la información al operador mediante reportes y en su caso a las entidades externas afectadas. Finalmente se encarga de la seguridad, proporcionando control de acceso a información y operaciones del sistema, y permite

distribuir información referente a las llaves de seguridad de acceso a las terminales móviles y el acceso a la red de comunicaciones.

El NOC a su vez se apoya en otro programa de cómputo que se denomina CMIS el cual activa los servicios de voz y datos, así como los servicios digitales para las terminales móviles, permite administrar el estado de las terminales. Dichos estados de terminales se describen a continuación:

- 0: Registrada, la terminal está programada en el sistema.
- 1: Comisionamiento, permite realizar a la terminal móvil la prueba de verificación de desempeño (PVT, *Performance Verification Test*).
- 2: Operacional, acceso autorizado para servicios de comunicaciones.
- 3: No Autorizada, cualquier acceso es negado.
- 4: Falla o Reparación, la terminal móvil se encuentra en reparación o fuera de servicio por falla.

Este módulo administra los planes de tarificación, ajustes de la potencia de transmisión de la señal, planes de numeración, alta de usuarios y cambios de estado. El sistema está compuesto por un Servidor Alfa 2100 Digital con sistema Operativo UNIX y Oracle 7.

La figura 3.6 muestra el aspecto físico del CMIS.

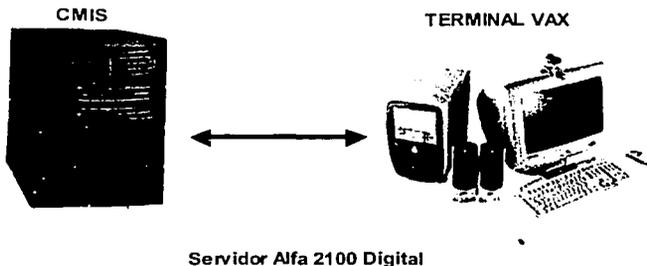


Figura 3.6.

3.2.3. Controlador de Grupo (GC, *Group Controller*)

Adicionalmente el estándar MSAT tiene la propiedad de crear redes privadas virtuales por medio de una programación en el Controlador de grupo. Estas redes

virtuales nos permiten ofrecer autonomía y servicio confidencial a cada una de las dependencias de Seguridad Nacional.

El Controlador de grupo es el dispositivo encargado de verificar la disponibilidad de los recursos del sistema, dicha verificación de recursos se lleva a cabo en dos direcciones diferentes: la primera en dirección al Switch, asegurándose de que este sistema tenga libres canales de comunicación terrestre (líneas telefónicas) y por otro lado, supervisa la existencia de unidades de canal de comunicación satelital listas para ser ocupadas, estos dos procesos los lleva a cabo en caso de llamadas entrantes y salientes. Si todo está en condiciones de ofrecer el servicio de comunicación solicitado, autoriza al NOC a establecer la llamada; en caso de carecer de infraestructura disponible, avisa al módulo de mensajes y aviso grabados, para dar aviso al usuario de que en ese momento la llamada no puede ser completada.

3.2.4. Subsistema de Unidades de Canal

El sistema de comunicaciones móviles satélites MOVISAT ofrece a sus usuarios comunicaciones de voz y datos. La estación terrena interconecta las terminales móviles con la PSTN, a través del segmento espacial. La estación terrena realiza la interconexión a través de una red satelital de acceso múltiple de asignación por demanda (DAMA, *Demand Assign Multiple Access*), en la cual son utilizados canales de señalización ALOHA para el establecimiento y liberación de llamadas y canales de comunicación de canal único por portadora.

El Subsistema de Unidades de Canal (CUS, *Channel Unit Subsystem*) proporciona tres sistemas de unidades de comunicación para las terminales móviles (Señalización, Comunicación y Net Radio). El CUS contiene dos procesadores de acceso a la red (NAP, *Network Access Processor*) y 24 unidades de canal (CU). La CU opera en conjunto con el NAP para proporcionar el acceso de la red satelital al equipo terrestre.

La figura 3.7 presenta el contenido del CUS, así como los subsistemas con los que interactúa dentro del NCC.

3.2.4.1. Unidades de Canal (CU)

La función principal de la unidad de canal es proporcionar una interfaz para el modem satelital y puede ser programada para proporcionar la interfaz del canal portador entre la estación terrena y el satélite.

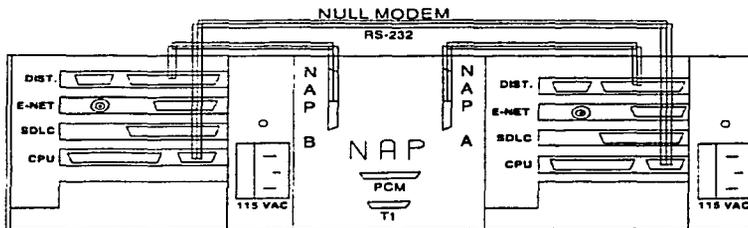


Figura 3.7.

La unidad de canal proporciona comunicación full duplex a través del satélite entre redes de circuitos conmutados y terminales móviles, es configurada por la carga de software de aplicación específica. Así, la configuración de una aplicación diferente consiste en seleccionar la carga de software apropiada. Al cargar dicho programa de aplicación, la CU modula y demodula las transmisiones satelitales de paquetes de datos del sistema de acceso aleatorio (ALOHA), el sistema TDMA y la transmisión continua SCPC, además para adaptar la señal a la interfaz terrestre, realizan las funciones de compresión de voz, modem telefónico, tonos de señalización en banda, protocolos de conversión, etc. La CU cuenta con una memoria de 500 kb de RAM.

Dentro de la estación terrena interconecta las terminales móviles a las redes.

Cuando se carga el CUS con el software adecuado, éste opera de tres formas diferentes, dependiendo de la tarea que se le asigne al NAP. Estas tres formas de operar son las siguientes:

Unidad de Señalización
Unidad de Comunicaciones
Unidad de Net Radio

- Unidad de Canal de Señalización (SCU, *Signalling Channel Unit*)

La SCU implementa un canal de señalización de comunicación terrestre (GC-S) en la dirección de salida del sistema, dicho canal es de transmisión continua que transporta unidades de señalización recibidas del NAP a través del Bus SDLC, adicionalmente habilita dos canales de comunicación que interactúan con la estación terrena, estos canales se denominan:

MT-ST y MT-SR, son canales de recepción de paquetes que transportan unidades de señalización enviadas por las terminales móviles que son extraídas por las SCU y enviadas al NAP.

La MET realiza la petición de recursos a la estación terrena mediante un canal de señalización MET-ST y por medio del canal GC-S la estación terrena asigna el canal de comunicación correspondiente. Mediante el canal MET-SR la Terminal envía los datos necesarios de destino de la llamada en formato TDMA y de manera aleatoria envía información en los canales de señalización.

- **Unidad de Canal de Comunicación (CCU, *Communication Channel Unit*)**

Cuando la CU es configurada o cargada mediante software, para funcionar como Unidad de Canal de Comunicación, habilita el canal FES-C de transmisión y el Canal MT-C de recepción, para soportar los modos de recepción:

2.4 kbps Data Mode
4.8 kbps Data Mode

La CCU realiza la conversión de datos de 64kbps (formato de canal libre) a 6.4 kbps de Voz comprimida y 2.4 kbps en Datos. Adicionalmente agrega un encabezado y codifica la señal como sea requerido para formar una composición de datos a una tasa de 6.75 kbps, así como también realiza funciones de procesamiento adicional para producir una señal modulada QPSK a 1120-1470 MHz.

El canal FES-C es un canal de señalización que envía datos en un canal de comunicación previamente establecido desde la Estación Terrena hacia la MET.

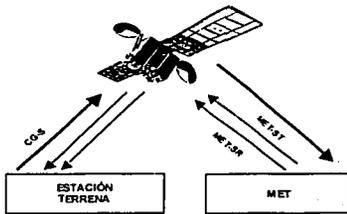
El canal MET-C es un canal de señalización que transmite información a través de un canal de comunicación previamente establecido desde la MET hacia la Estación terrena.

Los canales de Señalización a través de un canal de comunicación previamente establecido se utilizan para intercambiar información de protocolos de acceso a la red entre la estación terrena y la MET, mientras la llamada está en curso.

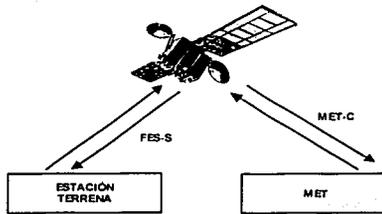
Los canales de señalización se muestran esquemáticamente en la figura 3.8

3.2.4.2. NAP (*Network Access Processor*)

Los NAP's conmutan la línea T1 proveniente del Switch y transfieren la información del bus PCM a las unidades de canal, por medio de una tarjeta de distribución llamada (T1/PCM).



Antes de Establecer una Llamada



Después de Establecer una Llamada

Figura 3.8.

La interfaz externa full-duplex ANSI T1.403 es conectada al NAP, para que cada T1 pueda transportar 24 canales en lugar de un solo canal de voz. El canal de señalización del estándar americano LAP-D, es descompuesto de la trama T1 y enviado a la conexión Ethernet.

La tarjeta Controladora Ethernet aporta el enlace de comunicación entre el NAP y el GC, dicha tarjeta es configurada via software. La comunicación entre el NAP y el GC (o SLSS) se realiza por medio de dos conexiones de interfaz Ethernet, la función de las conexiones Ethernet consiste en pasar comandos, datos e información de estado. La operación de las unidades de canal se controla a través de una conexión SDLC proveniente del NAP, dicho protocolo proporciona comunicaciones de datos serial full-duplex. Así mismo, existe una conexión T1 HDLC que comunica al Switch con el NAP para propósito de interconexión entre la red satelital y la PSTN. Cabe mencionar que los 24 canales de comunicación T1 de 64 kbps son comprimidos en una relación de 1/10 por medio de un protocolo de Compresión propietario del fabricante, lo que arroja como resultado canales de comunicación de 6.4 kbps para poder ser enviados al satélite. La figura 3.9 muestra la forma en que se interconectan los Nap's y las Unidades de Canal en la Estación Terrena.

3.3. Servicios

Los servicios que ofrece el estándar MSAT son de voz: Telefonía satelital y Net Radio (*Trunking*), y de Datos, a velocidades de 2400 y 4800 bps. Dichos servicios se describen a continuación:

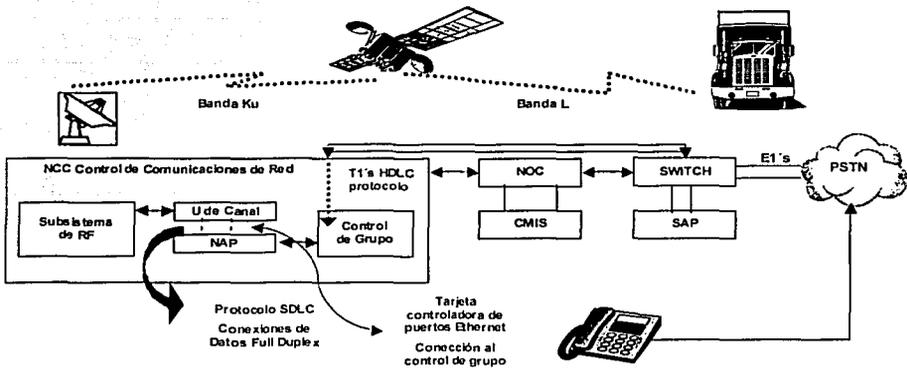


Figura 3.9.

3. 3.1. Servicios de voz

Dentro de los servicios de voz que proporciona el estándar MSAT están:

- **Identificación de Llamada:** Esta característica proporciona el número del originario a la MET y requiere de un display numérico en la MET.
- **Restricción de Identificación de Llamada:** Es la propiedad de restringir la presentación del número de la MET al destino.
- **Identificación de línea conectada:** Esta característica presentará el número de línea conectada a la MET destino, y requiere de un display numérico en la MET.
- **Restricción de Identificación de línea conectada:** Es la propiedad de restringir la presentación del número de la MET de origen en el display de la MET destino.
- **Transferencia de Llamada:** Esta característica permitirá a un usuario MTS transferir una llamada establecida a un tercero.
- **Desvío de Llamada Incondicional (Call Forwarding Incondicional):** Esta característica permitirá a un usuario de MET pedir que todas sus llamadas sean

desviadas incondicionalmente a una MET específica o un número PSTN. Si esta característica es activada, la MET suscrita no debe ser señalizada. El servicio de llamada no debe ser afectado, y las llamadas deben ser direccionadas no importa que condición de terminación.

- **Desvío de llamada con Terminal Ocupada (*Call Forwarding Busy*):** Esta característica permitirá a un usuario de MET pedir que todas las llamadas sean direccionadas, sobre la condición de ocupado, a una MET específica o número PSTN.
- **Desvío de llamada en caso de congestión (*Call Forward Congestion*):** Es la propiedad de permitir a un usuario de MET que todas sus llamadas sean desviadas a un anuncio grabado, sobre la condición de congestión de la red.
- **Desvío de llamada si la terminal no Contesta (*Call Forwarding No Reply*):** Esta característica permitirá a un usuario de MET pedir que todas sus llamadas sean direccionadas, sobre la condición de no contestación, a un número específico MET o PSTN. Este incluirá el caso de que la MET sea incomunicable (ejemplo: bloqueada o apagada) también como el usuario de la MET no levante el handset cuando este suene. Si el direccionamiento no puede ser completado a su destino, entonces la red borrará la llamada.
- **Llamada en Espera (*Call Waiting*):** Esta propiedad permitirá a un usuario aceptar una llamada entrante mientras esta ocupado en otra llamada. Activará la MET, que esta ya ocupada en comunicaciones, para notificar al usuario de que hay una llamada entrante.
El usuario entonces tiene la posibilidad de aceptar o ignorar la llamada en espera. Si es aceptada, el usuario de MET será capaz de conmutar entre las dos llamadas.
- **Retención de Llamada (*Call Holding*):** Esta característica permitirá al usuario interrumpir la llamada y re-establecer la comunicación subsecuentemente.
- **Operación Alternante Voz / datos:** Esta característica permitirá al usuario de MET conmutar entre los nodos de voz y de datos durante una llamada.
- **Conferencia (*Conference Calling*):** Esta propiedad permite al usuario de MET comunicarse con destinos múltiples, el cual permite la comunicación entre ellos mismos. Ambos subscriptores de MET's y PSTN pueden ser incluidos.
- **Llamada Tripartita (*Three-Party Service*):** Esta característica permitirá a un usuario de MET que es activo en una llamada mantener esa llamada, hacer una llamada adicional a un tercero, cambiar de una llamada a otra como se requiera (previendo privacidad entre las dos llamadas, y/o dejar una llamada y regresar a otra).

3.3.2. Net Radio

Net Radio proporciona una red de comunicación similar a la de radio conferencia (trunked radio), esta acción se efectúa mediante el uso de un protocolo denominado PPT (*Push-To-Talk, Presionar para hablar*). La transmisión se realiza simultáneamente a todos los usuarios de la misma red, es decir, se utiliza un canal de comunicación común para todos. Dicho protocolo garantiza que un solo usuario haga uso del canal. Este servicio permite que un operador de MET (opcional), sea escuchado por cada uno de los abonados en esa red particular. Net Radio también tiene un servicio de prioridad el cual permite a una MET interrumpir la conversación en una situación de emergencia.

La opción Net Radio incluye 30 unidades de canal suficientes para soportar 30 llamadas simultáneas, 5 interfaces para soportar servicio de despachador.

Las conexiones por marcado en forma privada serán soportadas a través de la configuración de línea de base DMS-MTX.

3.3.2.1. Operación de Net Radio

Net Radio le permite a todos los usuarios de una red definida transmitir voz utilizando el canal común. Una MET podrá ganar acceso con una petición al oprimir el botón y una señal de reconocimiento determina cual de ellas será autorizada a transmitir voz. Otro usuario que deseara transmitir esperará que termine el actual conversador; la transmisión concluye al liberar el botón, mientras el canal de comunicación común es liberado y se prepara para recibir una nueva petición de transmisión de otro usuario. Un nuevo usuario podrá ganar acceso sólo cuando no existan llamadas en proceso.

Una red podrá tener hasta 9999 MET's y un sólo despachador, cada uno de los abonados, incluyendo el despachador (si hubiese), están identificados dentro de la red con una dirección de 4 dígitos. La dirección "0000" está reservada para el despachador mientras todas las otras direcciones están disponibles para las terminales. Dicho direccionamiento se utiliza para identificar a las terminales o al despachador que es el portavoz en la red. Una llamada Net Radio normal es una conversación PTT entre varias terminales e incluye un despachador; si está disponible, una MET transmite en un tiempo usando el protocolo PTT mientras todas los demás reciben la transmisión de voz. De ser necesario un despachador podrá interrumpir a cualquier MET que esté transmitiendo.

El servicio Net radio incluye una modalidad de modo privado el cual permite a una MET comunicarse con otra en específico. La llamada de Net Radio en modo privado

utiliza los 4 dígitos de la dirección para identificar las terminales específicas que serán incluidas en una llamada. Sólo dos terminales son incluidas en el modo privado.

En el servicio de Net Radio existe la facilidad de realizar conferencia entre tres terminales, dicha facilidad se inicia cuando un abonado selecciona un grupo deseado y activa el botón para hablar (PTT, *Push-To-Talk*), esto envía una petición para el grupo seleccionado enviado por el CGS al satélite.

La figura 3.10 muestra la panorámica general de la red Net Radio.

El CGS valida la petición e identifica al miembro del grupo de conversación, el cual será incluido en la conferencia, después uno de los grupos de canales es asignado a la conferencia y un grupo apropiado de estaciones reciben instrucciones para sintonizar el canal asignado. Una vez asignado el canal, la unidad que inició el mensaje emite un tono para indicar al operador que la conferencia se ha establecido correctamente. El usuario puede ahora hablar para enviar su mensaje y soltar el botón para esperar la respuesta del otro participante de la conferencia, cuando sucede esto, se envía un tono para indicar que nos escucha un nuevo participante, en este momento cualquier participante puede responder oprimiendo el botón PTT.

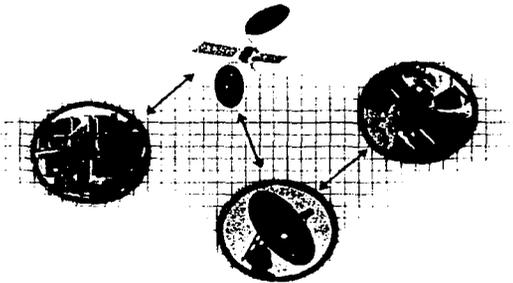


Figura 3.10.

Cuando se deja de presionar el botón PTT la conferencia se mantiene activa o arriba por medio del CGS por un determinado tiempo, para permitir a cualquier integrante hacer uso del canal, este período de tiempo se le llama tiempo para colgar o "*hang time*" y se reinicia cada vez que se presiona y se suelta el PTT, este tiempo es de 6 segundos por estándar, así que si el tiempo expira se dice que hay un tiempo fuera en el cual el CGS libera la conferencia y todas las unidades participantes regresan a un estado inactivo y los canales del satélite regresan al grupo de canales disponibles para su reasignación.

En algunos equipos de radio también se puede ofrecer la comunicación de dos vías, como servicio de teléfono móvil (full duplex), a partir del mismo abonado y mediante la utilización del servicio telefónico MSAT.

En una situación de emergencia los radios están equipados con una señal de interrupción de prioridad, cuando ésta se activa interrumpe al CGS y al actual participante, dejándole el canal a la unidad que envió la señal de interrupción.

La cobertura depende de las múltiples huellas que maneja el satélite ya que cada huella maneja su propia señalización.

3.3.3. Servicios de datos

Esta tecnología permite enviar datos a través de dos canales de diferente capacidad, uno de 2.4 kbps (V.22bis) y por otro de 4.8 kbps (V.32bis). Este tipo de servicio es ideal para usuarios que reciben y transmiten gran cantidad de información con fines de supervisión, en servicio fijo y móvil. Económica y técnicamente eficiente para aplicaciones que envían paquetes de datos de hasta 1500 bytes o que las terminales se encuentran alejadas.

En el presente capítulo se explicaron de manera sencilla los módulos o subsistemas que permiten que la comunicación entre un abonado de la PSTN y una MET se lleve a cabo, así como también los servicios agregados, facilidades, funcionalidades, etc., que se pueden obtener con el estándar de comunicaciones móviles satelitales MSAT. En el siguiente capítulo se expondrá el diseño e implementación del sistema.

CAPÍTULO 4

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Una vez que se han revisado las bases teóricas de nuestro proyecto, debemos ahora enfocar nuestros esfuerzos en la integración de la red, que nos servirá como plataforma para proporcionar toda la gama de servicios que requieren las dependencias ya mencionadas.

Existen, por supuesto, diferentes medios de transmisión que se deben considerar, algunos de ellos mucho mejor adaptados a nuestras aplicaciones en particular, es por esto, que deben conocerse las características de cada uno de estos medios para poder decidir cual de ellos es, el más indicado para integrar una solución.

Posteriormente y como parte fundamental en todo proceso de integración, se debe realizar un estudio de tráfico, en base a la demanda de servicios en cada una de las dependencias de seguridad, además en el caso de elegir una red satelital, se lleva a cabo, el cálculo de enlace al satélite, ya que la potencia y ancho de banda son factores que se encuentran íntimamente ligados para poder ofrecer un número determinado de terminales al usuario final, esto último no se podría proporcionar sin el dimensionamiento del conmutador o *switch* conectado a la estación terrena, donde propiamente se llevarán a cabo la creación de las redes virtuales y su interconexión.

4.1 Planteamiento

La extensión del servicio telefónico a áreas rurales y las comunicaciones móviles orientadas a dependencias de Seguridad Nacional, no son exclusivamente una preocupación de las naciones en vías de desarrollo sino que constituyen un problema particular para casi todos los países. Estos dos sectores de las Telecomunicaciones tienen implicaciones de índole económica, dictadas por factores tales como:

1. Infraestructuras existentes
2. Densidad de población
3. Características del terreno
4. Clima
5. Políticas del servicio

Estos factores condicionan la elección de la tecnología, es decir, en base a las necesidades de cada proyecto se evalúan los medios de transmisión que podrían integrar una solución junto con el tipo de terminales ó equipos de usuario final. Los medios de transmisión que se pueden emplear son los siguientes:

1. Cable/ Fibra óptica
2. Multicanales de radio
3. Satélite

En lo que respecta a centrales telefónicas, los fabricantes de equipos de conmutación cuentan con versiones de conmutadores digitales pensados para su aplicación en zonas rurales, sin embargo, aunque la decisión del equipo de conmutación es relevante a efectos de costo, en la práctica este factor no es tan determinante como los son los medios de transmisión.

Es notoria la dificultad de instalar cables metálicos o fibra óptica como medio de transmisión en terrenos adversos, ya que requieren de toda una infraestructura, y los costos de instalación son tan altos que no justifica su instalación, por el volumen tan reducido de llamadas en una zona rural; además, resulta aún mas complicado pensar en el mantenimiento que esto requiere, ya que para ambos casos, par de hilos o fibra, se deben instalar repetidores cada determinada distancia.

Por otro lado los sistemas de radio y microondas son relativamente simples de instalar y a menudo representan la única opción para la extensión del servicio rural.

Los sistemas de radio analógicos multicanal normalmente utilizan frecuencias VHF y UHF. Sin embargo, están siendo reemplazados por sistema de radio digital en microondas, que facilitan la conexión de conmutadores digitales a la red. En estos sistemas los saltos entre repetidores son comparativamente de menor longitud y la atenuación debida a circunstancias meteorológicas o dificultades por la irregularidad del terreno puede representar mayores costos.

El sistema de radio específicamente dirigido a telecomunicaciones rurales es el multi-acceso (radio punto multipunto). Con este sistema las estaciones individuales de abonado rodean a una estación base en un círculo de 50 y 200 km de radio. El problema aquí, suelen ser los costos de las estaciones individuales.

Los sistemas satelitales parecen ser la opción más ventajosa, ya que el objetivo fundamental del servicio móvil por satélite es la provisión, mediante estaciones de satélite en órbita, de servicios de comunicación entre estaciones terrenas fijas situadas en la tierra, que proporcionan la interfaz con las redes fijas (red telefónica conmutada, redes de paquetes, red teles, red digital de servicios integrados o redes cerradas de usuarios), y las estaciones terrenas móviles.

Desde esta perspectiva podemos percatarnos que los sistemas de transmisión que resultan ser los más viables son los sistemas de radio terrestre, y los sistemas por satélite; por lo rentable que pueden ser y por que son los únicos con los que se puede diseñar una red con los tipos de servicios que requieren nuestras instituciones de seguridad y a su vez proporcionar una opción para la telefonía rural.

4.1.1 Los Sistemas de Radio

Heinrich Hertz, en 1887, fue capaz de producir las primeras ondas de radio, como la electricidad y la luz, que son formas de radiación electromagnética; la energía se envía mediante ondas de campo magnético y eléctrico. En un conductor estas ondas se inducen y se guían mediante una corriente eléctrica que pasa a lo largo de un conductor eléctrico, pero esta no es la única forma de propagar las ondas electromagnéticas. Empleando una señal eléctrica muy potente como fuente de transmisión una onda electromagnética se puede propagar muy lejos a través del aire. Este es el principio del radio. La característica distintiva de una señal de radio es su alta frecuencia en relación con el ancho de banda de las frecuencias de la señal de información. La frecuencia de la portadora tiene que ser alta para que se pueda propagar como onda de radio. Después de la modulación, la señal modulada se amplifica y se envía a la antena. La amplificación refuerza la intensidad de la señal lo suficiente, para que la antena convierta la energía de la corriente eléctrica en una onda de radio lo suficientemente potente.

Cuando las ondas de radio se transmiten desde un punto, se dispersan y propagan como frentes de onda esféricos. Éstos viajan en una dirección perpendicular al frente de onda. Las ondas de radio y de luz son similares, al igual que un rayo de luz, las ondas de radio se pueden refractar (cambio de dirección que sufren la radiaciones al pasar de un medio a otro de diferente densidad) y difractar (desviación del haz debido al roce con los bordes de algún cuerpo). Un sistema de radio se diseña para aprovechar alguno de estos modos de transmisión:

- a) Propagación por línea de vista

- b) Propagación por onda de tierra
- c) Por dispersión troposférica

Las primeras se basan en el hecho de que las ondas viajan en línea recta. Este es quizá el tipo más simple de un sistema de radio y es el que se usa en las microondas.

Siempre que el receptor esté dentro de la línea de vista del transmisor, entonces la propagación por línea de vista es posible. El alcance de un sistema de línea de vista está limitado por el efecto de la curvatura de la tierra, por lo tanto estos sistemas pueden llegar más allá del horizonte cuando tengan mástil más altos.

Los sistemas de radio también pueden tener alcance más allá del horizonte utilizando uno de los tres efectos de radio de propagación antes mencionados.

Las ondas de tierra o superficie tienen buen alcance dependiendo de su frecuencia. Se propagan mediante la difracción utilizando la tierra como guía de onda, las señales de radio de baja frecuencia son las mejores porque la cantidad de refracción o doblamiento está relacionado con la longitud de onda de radio. Entre más larga es la longitud de onda mayor es el efecto de difracción. Por lo tanto, entre menor es la frecuencia mayor es el doblamiento.

La tercera forma de transmisión es la dispersión troposférica. Ésta es una forma de reflexión de ondas de radio. Ocurre en una capa de la atmósfera de la tierra llamada tropósfera y trabaja mejor en ondas de radio de ultra frecuencia.

En la tabla 4.1 podemos ver las frecuencias y los sistemas que se manejan en cada sistema de propagación que resultan ser más utilizadas.

Sistema	Frecuencia	Servicios
Onda de tierra	50kHz a 2MHz	Radiodifusión, radiomarítima, radionavegación (antenas muy altas).
Dispersión troposférica/línea de vista.	Arriba de 30MHz	Estaciones de radio locales Celular, y banda civil (antenas pequeñas).

Tabla 4.1.

Los sistemas de radio terrestres, tales como la radio móvil privada y la celular, están limitadas en rango prácticamente por la altura de la antena y por los efectos de propagación que producen desvanecimiento multipatrón, las sombras que producen los objetos como colinas y bosques, atenuación por el follaje, etc. Los costos de suscripción están ligados fuertemente a la densidad de población, además de tener

políticas de tarifas que sean aceptables y rentables para los usuarios. No obstante estas limitaciones, los sistemas terrestres continúan desarrollándose a velocidad asombrosa, porque trabajan bien y se tiene necesidad de ellos.

En todo el territorio nacional se cuenta con dichos sistemas terrestres, pero pese a los esfuerzos la zona de cobertura es muy limitada, e inclusive en las mismas autopistas de cuota se tienen grandes tramos en las que las antenas celulares no alcanzaran ofrecer el servicio.

Los sistemas de comunicación móvil de telefonía celular están limitados a servir únicamente en zonas urbanas donde las estaciones base están localizadas relativamente cerca de los usuarios móviles. El sistema celular no es una solución económicamente posible para comunicaciones vehiculares en áreas remotas o rurales donde la población es densamente baja.

4.1.2 El Sistema Satelital

La transmisión mediante satélite constituye una excelente forma de comunicación a larga distancia, ya sea alrededor de la tierra o a través de un terreno difícil. También proporciona los medios efectivos para la radiodifusión de la misma señal hacia un gran número de estaciones receptoras. Los tipos de satélite que comúnmente se emplean en las redes de telecomunicaciones, son los satélites geoestacionarios que orbitan la tierra directamente arriba del Ecuador, a una altura tal que viajan una vez alrededor del eje de la tierra cada 24 horas. Dado que tanto el satélite como la tierra se mueven a la misma velocidad, desde un punto específico sobre la superficie de la tierra, en el Ecuador, el satélite parecerá estar fijo geográficamente.

Cuando un satélite geoestacionario se emplea para propósitos de telecomunicaciones, se equipa con antena de microondas que permiten radiocontactos de línea de vista entre el satélite y otras antenas de microondas de estaciones terrenas localizadas en diferentes puntos de la superficie terrestre.

Se puede entonces establecer comunicación entre estaciones terrenas mediante la conexión tándem, que consiste de un enlace de subida desde la estación transmisora hasta el satélite, y de un enlace de bajada desde el satélite hasta la estación receptora. En el satélite el enlace de subida se conecta con el enlace de bajada a través de un receptor (respondedor), para cada enlace de subida, y de un transmisor para cada enlace de bajada, y debido a que los dos normalmente trabajan por pares se designa como un solo conjunto de equipo que se conoce como transpondedor.

El servicio móvil satelital está llegando a ser un mercado viable para los enlaces con dificultades de alcance (por ejemplo el Servicio Universal y Seguridad Nacional), también se espera un desarrollo a paso rápido porque puede servir a las dependencias

de seguridad y proveer servicios de comunicación, los cuales no serían posibles o serían demasiado caros con infraestructura terrestre.

Las ventajas de un sistema móvil satelital derivan de la geometría de los servicios de comunicaciones de los satélites geoestacionarios, con 36,000 km sobre el ecuador. De ahí que un solo satélite pueda cubrir el hemisferio entero y por supuesto puede fácilmente cubrir México y sus 200 millas náuticas de mar patrimonial.

Así, un sistema móvil satelital puede proveer un servicio con un rango ilimitado dentro de la República Mexicana, el usuario nunca estará fuera del rango de la señal que abarca el satélite.

Véase la Figura 4.1 en la que se puede ver claramente como la huella del satélite abarca todo nuestro territorio así como el litoral en el golfo y océano pacífico.

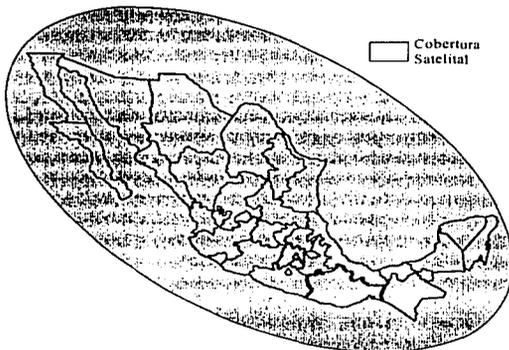


Figura 4.1.

La elección del satélite a utilizar en un sistema de comunicaciones está determinada por sus características de cobertura, rango, señalización, flexibilidad de enrutamiento y efectos de propagación.

Satmex cuenta con un sistema de satélites mexicanos, de los cuales el Solidaridad 2, tiene una haz de cobertura doméstico para las necesidades de Servicio Universal y Seguridad Nacional, así como el manejo de las Banda C y Banda L requeridas para las comunicaciones móviles.

La señalización o el marcado es fácil de manejar para el sistema satelital, ya que, únicamente es necesario un *switch* para enrutar las llamadas. El sistema satelital proveerá conectividad en todo el territorio nacional con costos que no dependen de la distancia, esto es, una conexión de 3000 km y de 10 km cuesta lo mismo por satélite, los costos son comparables con el costo de los sistemas terrestres utilizados para telefonía local.

Por otro lado, la tecnología satelital ha alcanzado un punto donde las comunicaciones vehiculares entre los usuarios móviles y las estaciones base pueden ser logradas con un costo relativamente bajo. De tal forma que los sistemas que son capaces de realizar comunicaciones móviles vía satélite, pueden complementar la red móvil celular extendiendo su área de cobertura de comunicación de las áreas urbanas hacia las áreas rurales (Servicio Universal).

Los sistemas de comunicaciones móviles por satélite no se restringen únicamente a cobertura terrestre, si no que también pueden manejar comunicaciones aeronáuticas o Marítimas con la misma confiabilidad que las terrestres (Seguridad Nacional).

En el contexto del diseño de redes satelitales, el cálculo de enlace constituye la base matemática para el dimensionamiento de los equipos que se utilizan en las estaciones terrenas (E/T), en tanto que en la operación de redes, nos es útil para determinar la cantidad de potencia necesaria para que la comunicación entre dos o más E/T se realice con la calidad deseada.

Los principales componentes de un sistema de telecomunicaciones por satélite son el Segmento Terrestre y el Segmento Espacial.

Segmento Terrestre se denomina a la parte que está constituida por las E/T que transmiten a los satélites y reciben de estos señales de tráfico de todas clases, y constituyen la interfaz con las redes terrestres.

El Segmento Espacial consiste en los satélites y en las facilidades en tierra que efectúan las funciones de telemetría, comando y seguimiento, así como el apoyo logístico para los satélites.

Para el caso de nuestro sistema de comunicaciones, el segmento espacial está integrado por el satélite Solidaridad 2 que cuenta con carga útil en las Bandas Ku y L. El rango de frecuencias en banda Ku es de 14.0 – 14.5 GHz para el enlace ascendente y de 11.7 a 12.2 GHz en el enlace descendente. La Banda L es la banda en la que opera el satélite para dar servicio de comunicaciones móviles vía satélite, el rango de frecuencias de operación para los servicios móviles es de 1525 –1559 MHz Espacio-Tierra y de 1626.5 -1660.5 MHz Tierra-Espacio.

A diferencia de las bandas C y Ku que cuentan con 500 MHz de ancho de banda, la banda L tiene una capacidad únicamente de 34 MHz, sin embargo, de acuerdo al comunicado que México presentó a las delegaciones de Canadá, Rusia, USA e Inmarsat, con fecha 14 de Septiembre de 1994, respecto a su propuesta de utilización

de espectro en Banda L, sólo se podrán operar los rangos de frecuencia acordados en la reunión multilateral para la coordinación de frecuencias, que arrojó como resultado un Ancho de Banda total asignado a nuestro país de 4.4 MHz. La tabla 4.2 muestra el rango de frecuencias autorizados.

Rango de Frecuencias	Ancho de Banda
1526.4 – 1527.7 MHz	1.3 MHz
1528.3 – 1530.0 MHz	1.7MHz
1530.0 – 1530.3 MHz	0.3 MHz
1546.9 – 1547.1 MHz	0.2 MHz
1558.1 – 1559.0 MHz	0.9 MHz
Total	4.4 MHz

Tabla 4.2.

El ancho de banda que se tiene asignado de 4.4 MHz, es el que se negoció en la reunión multilateral de operadores de banda L en todo el mundo.

Las comunicaciones móviles son generalmente de un objeto móvil a uno fijo y del satélite al móvil. La banda Ku es utilizada en la otra mitad del enlace como alimentador de enlaces de recorrido de regreso. La banda L es utilizada para los enlaces de subida y de bajada del móvil al satélite.

En el enlace de ida, en banda Ku, se cursan las comunicaciones provenientes de la estación maestra; en el satélite se efectúa la translación Ku/FI a FI/L y las transmite en banda L a los usuarios móviles. A través del enlace de regreso, en banda L, se reciben las señales de los usuarios móviles, se efectúa la translación L/FI a FI/Ku, y las regresa en banda Ku a la estación maestra.

El sistema de comunicaciones incorpora la tecnología en banda Ku - L para maximizar su funcionamiento, ya que los enlaces alimentadores simplifican grandemente el diseño y costo del satélite a través de la reducción de la ganancia del transpondedor; esta baja ganancia reduce la posibilidad de que se presente intermodulación pasiva, recordemos que la mitad el enlace se realiza en banda Ku, lo que permite hacer uso de antenas de menor diámetro. Finalmente el uso de enlaces de alimentación simplifica el enrutamiento del satélite, porque cada haz de la banda L es accedido desde un haz único de banda Ku y viceversa. Esto es, para dirigir una señal de la banda Ku a un rayo específico de la banda L, es necesario únicamente colocar la señal de enlace de subida de banda Ku en el espectro de frecuencia asociado con ese rayo. Si únicamente la banda L fuera utilizada, cada señal de enlace de subida en un rayo pincel (haz muy fino) de banda L tendría que ser enrutado a su correspondiente rayo pincel destino para

el enlace de bajada y se crearía una gran complicación para el arreglo de los enrutamientos del satélite.

La figura 4.2 nos muestra el Plan de frecuencias de Banda L y Banda Ku, es decir, la señal sube de la estación móvil al Satélite en Banda L y desciende a la estación maestra en Banda Ku; a través de una conversión de frecuencias realizadas por los transpondedores.

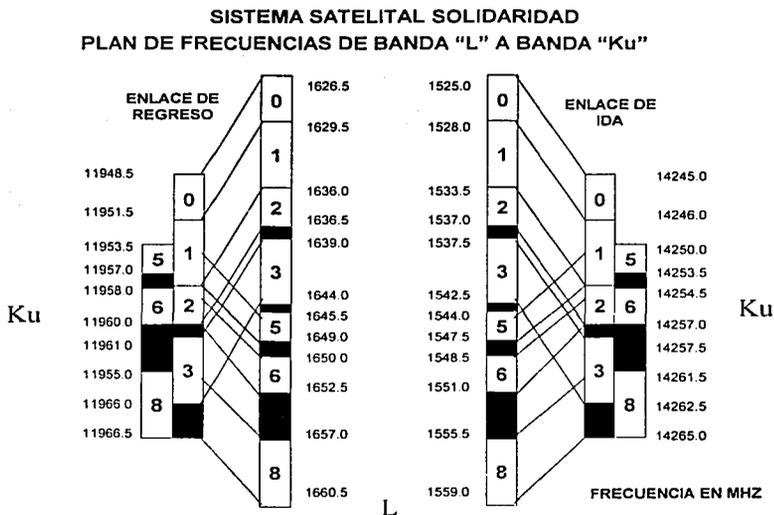
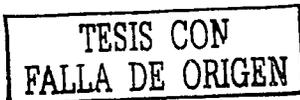


Figura 4.2.

Observe en la figura anterior que la conversión de frecuencias no es lineal, ya que si una frecuencia en banda Ku entra por un transpondedor, la frecuencia resultante en banda L de la conversión no sale por el mismo.

Ahora, presentaremos los cálculos necesarios para el enlace satelital.



4.1.3. Cálculo de Enlace

El cálculo de enlace es un procedimiento matemático que nos permite evaluar la calidad de la señal existente en un canal de comunicación vía satélite, considerando los niveles de potencia en todo el sistema. Dicho cálculo, nos permite obtener los valores de potencia necesaria para comunicar dos o más E/T, tomando en cuenta las consideraciones físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre, con el procesamiento que recibe por parte de los equipos (entre ellos al mismo satélite), y la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

Para nuestro caso en particular, tomaremos como ejemplo ilustrativo una Estación Terrena (E/T) en la ciudad de México D.F. y una Estación Terrena virtual en la ciudad de Tijuana, lo anterior es para demostrar que existe cobertura satelital a nivel nacional.

La metodología de cálculo que emplearemos se basa en dividir el cálculo del enlace satelital en tres partes principales:

- a) Enlace ascendente
- b) Enlace descendente
- c) Evaluación del enlace

Cada una de las partes anteriores conjuntan a una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos con cierta independencia que nos permiten manejarlos por separado; en las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones portadora a ruido C/N (*Carrier/Noise*), totales ascendente y descendente, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace.

El margen del enlace es el parámetro que nos indica la calidad total de éste, que considera el nivel de potencia en el equipo receptor de acuerdo a una calidad esperada en la información recibida y la calidad de la información proporcionada por el enlace, en función de la potencia total de la portadora.

Cuando se diseña un enlace debe tomarse algún criterio de diseño que fije las condiciones para que el enlace opere satisfactoriamente, de esta manera, una vez establecidos dichos criterios, se consideran si el margen del enlace es óptimo o no. En caso de ser satisfactorio, se da por concluido el cálculo y se procede a la recuperación de los valores correspondientes a los parámetros más relevantes como son la Potencia Isotópica Radiada Equivalente de Satélite por portadora (PIRE) y la PIRE de Estación Terrena, éstas son las potencias controlables de nuestro enlace. Para el caso en que el margen del enlace no sea el adecuado, se realiza nuevamente el cálculo bajo diferentes condiciones de potencia, para lo cual, debemos cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T, hasta obtener los resultados deseados.

A continuación se presenta un análisis para determinar la capacidad de nuestro sistema de comunicaciones, considerando los recursos limitados de potencia y frecuencia disponibles en la Banda L.

4.1.4. Cálculos Preliminares

Los cálculos preliminares son aquellos que nos generarán una serie de datos (Ancho de Banda, Ángulo de Acimut, Ángulo de elevación, etc.), los cuales, permitirán evaluar las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía en la trayectoria de propagación, sin embargo, para obtener este parámetro, es necesario conocer previamente el ángulo de elevación, por otro lado, el ángulo de acimut se calcula como complemento al ángulo de elevación, para tener completa la referencia y estar en condiciones de orientar correctamente una antena hacia el satélite, aunque restaría hacer la consideración debido a la declinación magnética.

Cálculo de enlace entre México D.F. y Tijuana.

Ahora procederemos a realizar los cálculos de enlace entre la estación terrena de México D.F. y la estación virtual en la ciudad de Tijuana.

Calculamos entonces el Ancho de Banda (AB) que utilizaremos en nuestro sistema, por medio de la ecuación 4.1:

$$AB = V_{inf.} (FEC)^{-1} (FM) (1 + ROLL OFF) (kHz) \quad \text{ecuación (4.1)}$$

Donde:

- V_{inf} = Velocidad de información (6400 bits/seg de información + 350 bits/seg de encabezado (6750 bits/seg), esta velocidad resulta de aplicar un factor de compresión propietario de 1 a 10 a un enlace de PCM típico de 64000 bit/seg
- FEC = Corrección de errores por adelantado (FEC, Forward Error Correction), igual a 1
- FM = Factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada: Si la modulación es BPSK FM = 1.0
Si la modulación es QPSK FM = 0.5
- ROLL OFF = Factor de ensanchamiento del espectro igual a 0.60

Sustituyendo los valores:

$$AB = 6750 * (0.5)^{-1} * 1.60$$
$$AB = 5.4 \text{ kHz} \cong 6.0 \text{ kHz}$$

Este ancho de banda ocupado es el espacio en frecuencia que utilizaremos para el cálculo de enlace.

Se obtienen ahora los valores de Apuntamiento de antena (Acimut) y distancia E/T hacia el Satélite, en ambos sitios donde se colocarán las estaciones terrenas para la cobertura; para ello haremos uso de ec. 4.2.

- Ángulo de acimut (A') para E/T México D.F.

$$A' = \tan^{-1} (\tan [ABS (LONG_{SAT} - LONG_{ERT}) / \text{Sen } LAT_{ERT}]) \quad \text{ecuación (4.2)}$$

Donde:

$LONG_{SAT}$ = Longitud del satélite 113.0 ° Oeste.
 $LONG_{ERT}$ = Longitud de E/T 99.01 ° Este
 LAT_{ERT} = Latitud de E/T 19.35 °
 ABS = Valor absoluto

Sustituyendo los valores dados:

$$A' = \tan^{-1} (\tan [ABS (113.0 - 99.01)] / \text{Sen } 19.35)$$

$$A' = \tan^{-1} (0.2491 / 0.3313)$$

$$A' = \tan^{-1} (0.7519)$$

$$A' = 36.94^\circ$$

Ya que la E/T se ubica en el Hemisferio Norte y al Este del Satélite, entonces utilizaremos la expresión $A = 180 + A'$ que permite calcular el ángulo de azimut, tomando en cuenta la localización geográfica de la E/T).

$$A = 180^\circ + 36.94^\circ$$

$$A = 216.94^\circ$$

- Ángulo de elevación (E) para E/T en México D.F. Este ángulo se determina haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$E = \tan^{-1} [(R - Re (w) / (Re \text{ Sen } (\cos^{-1} w)))] - \cos^{-1} w \quad \text{ecuación (4.3)}$$

Donde:

R = Distancia Promedio del Centro de la Tierra a la órbita geoestacionaria (42164.2 km)
 Re = Radio Promedio de la Tierra (6378.155 km)
 $w = \cos LAT_{ERT} (\cos [LONG_{SAT} - LONG_{ERT}])$

sustituyendo valores para calcular el parámetro w :

$$w = \cos 19.35 \cos [113.0 - 99.01]$$

$$w = 0.9155$$

contando con el valor de w , se sustituyen ahora los valores restantes en la ecuación 4.3:

$$E = \tan^{-1} [(42164.2 - 6378.155(0.9155)) / (6378.155 (\text{Sen } (\cos^{-1} 0.9155)))] - \cos^{-1} 0.9155$$

$$E = \tan^{-1} [(42164.2 - 5839.201) / (6378.155 (0.402))] - 23.723$$

$$E = \tan^{-1}[(36324.999) / (2564.018)] - 23.723$$

$$E = 62.24^\circ$$

- Distancia (D) entre E/T México y Satélite Solidaridad 2:

$$D = \{R^2 + Re^2 - (2 Re (R) \text{ Sen } (E + \text{Sen}^{-1} ((Re / R) \text{ Cos } E)))\}^{1/2} \quad \text{ecuación (4.4)}$$

Donde:

$$R = \text{Distancia Promedio del Centro de la Tierra al Satélite (42164.2 km)}$$

$$Re = \text{Radio Promedio de la Tierra (6378.155 km)}$$

$$E = \text{Ángulo de elevación } 62.24^\circ$$

Sustituyendo :

$$D = \{42164.2^2 + 6378.155^2 - (2(6378.155(42164.2)) \text{ Sen}(62.24 + \text{Sen}^{-1}((6378.155/42164.2)\text{Cos}62.24)))\}^{1/2}$$

$$D = 36315.65 \text{ km}$$

Ya contamos con los valores para la Estación Terrena en México D.F., ahora se realizan los cálculos para la Estación virtual en Tijuana:

- Ángulo de acimut para la E/T virtual ubicada en Tijuana:

$$A' = \tan^{-1} (\tan [\text{ABS} (113.0 - 117.01)] / \text{Sen } 32.32)$$

$$A' = 7.47^\circ$$

Como la E/T está ubicada en el hemisferio Norte y al Este del satélite, se aplica la misma expresión que se utilizó para el ángulo de acimut en el caso de México D.F.:

$$A = 180^\circ + 7.47^\circ$$

$$A = 172.53^\circ$$

Y se obtiene también su Ángulo de Elevación:

- Ángulo de elevación para la E/T virtual en Tijuana:

$$\text{Con: } w = \text{Cos } 32.32 \text{ Cos } [113.0 - 117.01]$$

$$w = 0.8430$$

$$E = \tan^{-1} [(42164.2 - 6378.155(0.8430)) / (6378.155(\text{Sen}(\text{Cos}^{-1} 0.8430)))] - \text{Cos}^{-1} 0.8430$$

$$E = 52.13^\circ$$

Distancia entre la E/T virtual en Tijuana y el Satélite Solidaridad 2, usando nuevamente la ecuación 4.4:

$$D = (42164.2^2 + 6378.155^2 - 2(6378.155(42164.2))\text{Sen}(52.13 + \text{Sen}^{-1}((6378.155/42164.2)\text{Cos } 52.13)))^{-1/2}$$

$$D = 36947.06 \text{ km}$$

Resumiendo, los resultados obtenidos se relacionan en la tabla 4.3.

Parámetro calculado	Valor
Ancho de Banda	6 kHz
Ángulo de acimut para México D.F.	216.94 °
Ángulo de Elevación para México D.F.	62.24°
Distancia entre E/T México D.F. y el Satélite Solidaridad 2	36315.65 km
Ángulo acimut para Tijuana	172.53°
Ángulo de Elevación para Tijuana	52.13°
Distancia de E/T entre Tijuana y el Satélite Solidaridad 2	36947.06 km

Tabla 4.3.

Los datos reflejados en la tabla 4.3. nos permitirán completar los datos para calcular los enlaces ascendente y descendente de nuestro sistema.

4.1.5. Enlace Ascendente

En la parte de enlace ascendente se evalúa la relación Señal a Ruido Ascendente Total ($C/N_{\text{ASCOTOTAL}}$), que determina la calidad de la comunicación entre la E/T transmisora y el Satélite como receptor, tomando en cuenta las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del mismo, las cuales se definen como:

C/I o razón de potencia de portadora respecto de la potencia del ruido de intermodulación en el HPA (*High Power Amplifier*) de la E/T transmisora

C/I_{POL} o razón de potencia de portadora respecto de las señales en la polaridad contraria que van hacia el mismo Satélite.

$C/I_{\text{SATÉLITE ADYACENTE (SATADY)}}$ o razón de potencia de portadora respecto de señales que van dirigidas hacia los satélites colindantes al Este u Oeste que, por condiciones del patrón de radiación de las antenas terrenas en transmisión, son dirigidas hacia nuestro Satélite.

Inicialmente se evalúa la relación Señal a Ruido Ascendente (C/N_{asc}), es decir, la relación de potencia de la portadora con respecto al ruido propio del equipo receptor del Satélite, en el que interviene la potencia de transmisión de la estación terrena conocida como Potencia Isotópica Radiada Equivalente (PIRE), así como también, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida por apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades del Satélite y la Estación Terrena (E/T), la atenuación que produce la lluvia, las características de ruido y ganancia del Satélite.

Posteriormente, tienen que evaluarse las diferentes relaciones de interferencia que afectan al enlace ascendente, dichas relaciones son las siguientes:

(C/I)

(C/X_{POL})

(C/X_{SATELITE ADYACENTE (SATADY)})

Los valores que adopta cada una de las relaciones de interferencia anteriores, varían en función de la densidad de potencia que tiene nuestra portadora de comunicación y, con respecto al número de portadoras procesadas simultáneamente con ella en el mismo amplificador de la E/T donde se transmite (C/I), además de que si existe o no el reuso de frecuencia en el Satélite, (C/X_{POL}) y del tipo de tráfico que comparte la misma banda de frecuencia y polaridad en los satélites colindantes, aunado con el patrón de radiación de las antenas que funcionan con esos sistemas (C/X_{SATADY}).

La relación Señal a Ruido Ascendente Total (C/N_{ASCOTOT}) considera todos los aspectos mencionados, sin embargo, cabe aclarar que mientras mayor es el valor de la potencia de la portadora respecto del ruido de intermodulación, la interferencia por polarización cruzada y la interferencia por Satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

Calculamos ahora las relaciones Señal a Ruido mencionadas anteriormente:

- Relación portadora a densidad de ruido ascendente, para este cálculo utilizaremos la ecuación 4.5:

$$(C/N_{asc}) = PIRE_{ET} + (G/T)_{SAT} - K - Ls_{asc} - LL_{asc} \quad \text{ecuación (4.5)}$$

Donde:

- PIRE_{ET} = Potencia Isotópica radiada efectiva desde la E/T.
- (G/T)_{SAT} = Ganancia del Satélite = 3.60
- K = Constante de Boltzman = -228.6 (DBJ^o/K)
- Ls_{asc} = Pérdidas en el espacio libre ascendentes
- : asc = Margen de atenuación por lluvia ascendente 2.0 dB, para la disponibilidad de 99.50 % en la banda Ku
- LL_{asc} = Pérdidas misceláneas: es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas,

apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1 dB

Para obtener esta relación es indispensable calcular las pérdidas en el espacio libre ascendentes, las que se obtienen utilizando la siguiente expresión.

$$Ls_{asc} = 20 \text{ Log } ((47^{TM} F^* D) / C)$$

Donde:

F = Frecuencia ascendente; 14.25 (Hz) por ser la frecuencia intermedia en banda Ku

D = Distancia entre E/T y satélite $36315.65 E^3$ (m)

C = Velocidad de la luz $3E^8$ (m/s)

Sustituyendo los valores para las pérdidas en el espacio libre ascendentes, tenemos:

$$Ls_{asc} = 20 \text{ Log } ((47^{TM} 14.25 E^3) (36315.65 E^3) / 3 E^8)$$

$$Ls_{asc} = 206.72 \text{ dB}$$

En esta metodología se propone el valor de la PIRE de E/T_{TX}, como punto de partida del cálculo. Esta PIRE en términos reales será proporcionada por la combinación de potencia utilizada del HPA (High Power Amplifier) y la ganancia de la antena en transmisión. Se propone el valor de 40.5 dBW para la PIRE de E/T.

Sustituyendo valores en la ecuación 4.5:

$$(C/N_{asc}) = 40.5 + 3.60 - (-228.6) - 206.72 - 2.0 - 1.0 \quad (\text{dB-Hz})$$

$$(C/N_{asc}) = 62.98 \text{ dB-Hz}$$

Calculamos ahora el resultado de la relación portadora a ruido ascendente en dB:

$$(C/N_{asc}) = (C/N_{asc}) - 10 \text{ Log } (AB)$$

$$(C/N_{asc}) = 62.98 - 10 \text{ Log } (5.4 E^3)$$

$$(C/N_{asc}) = 25.66 \text{ dB}$$

- Las relaciones de interferencia necesarias se calculan utilizando las siguientes expresiones:

$$C/I \text{ Intermodulación ascendente} = C/I = -HPA - IPBO_i - 10 \text{ LOG}(AB)$$

$$C/X \text{ Polarización cruzada ascendente} = C/X_{pol} = -INTAscCPOL - IPBO_i - 10 \text{ LOG}(AB)$$

$$C/X \text{ Satélite adyacente ascendente} = C/X_{satady} = -INTASCSADY - IPBO_i - 10 \text{ LOG}(AB)$$

Donde:

$$(IPBO_i) = DFS - PIRE_{E/T} + L_{pasc} + ATP + L_{ATM} + : asc$$

IPBO_i es el valor del Back off de entrada de portadora

Para esta última expresión:

DFS = Densidad de Flujo de Saturación -100.8 dBW/m^2 Dato del Fabricante

ATP = Atenuador de Posición 14 dB

L_{ATM} = Pérdidas Atmosféricas 0.5 dB

$L_p \text{ asc} = 10 \text{ Log} (4 \cdot TM \cdot D^2)$

$L_p \text{ asc} = 10 \text{ Log} (4 \cdot TM) (36315.65 \text{ E}3)^2$

$L_p \text{ asc} = 162.19 \text{ dB}$

sustituyendo valores en la ecuación para calcular IPBOi (Back Off de entrada):

$IPBOi = -100.80 - 40.5 + 162.19 + 14 + 0.5 + 2.0$

$IPBOi = 37.39 \text{ dB}$

- Cálculo de intermodulación ascendente (C/I):

$C/I_{\text{intasc}} = -(-106.0) - 37.39 - 37.32$

$C/I_{\text{intasc}} = 29.79 \text{ dB}$

- Obtención de polarización cruzada ascendente (C/X):

$C/X_{\text{Polcda}} = -(-112.6) - 37.39 - 37.32$

$C/X_{\text{Polcda}} = 36.39 \text{ dB}$

- Pérdidas por Satélite adyacente ascendente (C/X):

$C/X_{\text{Satady}} = -(-110.0) - 37.39 - 37.32$

$C/X_{\text{Satady}} = 33.79 \text{ dB}$

Finalmente se calcula la Relación portadora a ruido ascendente total por medio de la siguiente ecuación :

$$(C/N)_{\text{ascTOTAL}} = 10 \log \left[\frac{1}{\begin{matrix} 10^{\frac{1}{10} \log \left(\frac{C}{N_{\text{asc}}} \right)} + 10^{\frac{1}{10} \log \left(\frac{C}{I} \right)} + 10^{\frac{1}{10} \log \left(\frac{C}{X_{\text{pol}}} \right)} + 10^{\frac{1}{10} \log \left(\frac{C}{X_{\text{satady}}} \right)} \end{matrix}} \right]$$

ecuación (4.6)

sustituyendo los valores obtenidos anteriormente en la ecuación 4.7, obtenemos el valor de la Relación Señal a Ruido Ascendente Total.

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{ASCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\alpha \log \left(\frac{25.66}{10} \right) + \frac{1}{\alpha \log \left(\frac{29.79}{10} \right) + \frac{1}{\alpha \log \left(\frac{36.39}{10} \right) + \frac{1}{\alpha \log \left(\frac{33.79}{10} \right)}} \right]$$

ecuación (4.7)

$$C/N_{ASCTOTAL} = 23.55 \text{ dB}$$

4.1.6. Enlace Descendente

En la parte descendente se evalúa la relación Señal a Ruido Descendente Total ($C/N_{DESCTOTAL}$), que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre el Satélite y la Estación Móvil, que toma en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace en el descenso (C/N_{DESC} , C/I , C/X_{Pol} , etc).

Primeramente se evalúa la relación Señal a Ruido Descendente (C/N_{DESC}), es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido propio del equipo receptor de la Estación Móvil, en el que interviene la potencia de transmisión del Satélite conocida como PIRE de Satélite por portadora, así como las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida de apuntamiento, las pérdidas debido a la desviación de trayectoria causadas por árboles, edificios, montañas, etc. (todo aquello que cruce en su trayectoria), a la atenuación que produce la lluvia y a las características de ruido y ganancia de la Estación Móvil.

En el caso de las interferencias causadas al enlace de descenso en la Banda L, adoptaremos valores constantes, ya que en este caso en particular las interferencias son muy pequeñas, por lo que a continuación consideramos los siguientes valores:

C/I Intermodulación descendente; $C/I = 30 \text{ dB/Hz}$
 C/X Polarización cruzada descendente; $C/X_{pol} = 30 \text{ dB/Hz}$
 C/X Satélite adyacente descendente; $C/X_{satady} = 35 \text{ dB/Hz}$

La relación $C/N_{DESCTOTAL}$ considera todos los aspectos antes mencionados, cabe aclarar que en tanto mayor sea el valor de la potencia de la portadora, respecto del ruido, intermodulación, interferencia por polarización cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

- Cálculo de la Relación portadora de densidad de ruido descendente por medio de la ecuación 4.8:

$$(C/N)_{desc} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{ET} - K - LS_{desc} - L_{sh} - :_{desc} - LL_{desc} \quad \text{ecuación (4.8)}$$

Donde:

$PIRE_{SAT}$ = PIRE de satélite por portadora

$(G/T)_{ET}$ = característica de la estación terrena receptora

K = Constante de Boltzman = -228.6 (dBJ^oK)

LS_{desc} = Pérdidas en el espacio libre descendentes

L_{sh} = Pérdidas causadas por todo aquello que se cruza en las trayectorias del enlace del satélite a la estación móvil (en este caso en particular consideramos 1.0 dB)

$:_{desc}$ = Margen de atenuación por lluvia descendente = 0.0 dB en la Banda L

LL_{des} = Pérdidas misceláneas (sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y despolarización, su valor aproximado es de 1 dB)

Calculando los valores que intervienen en la ecuación 4.8:

PIRE del Satélite:

$$PIRE_{SAT} = - DFS - ATP + MIBO - Lp_{desc} + PIRE_{ET} - MOBO + PIRE_{SATU}(RX)$$

Donde:

DFS = Densidad de Flujo de Saturación es la PIRE de saturación hacia la localidad de recepción: -100.80 dBW/m²

$$Lp_{desc} = 10 \text{ Log } ((4^{\text{TM}})(36947.06 \text{ E}3)^2)$$

$$Lp_{desc} = 162.35 \text{ dB}$$

$MIBO$ = Back off de entrada al Transpondedor: 5.1 dB (datos del fabricante)

$MOBO$ = Back off de salida del Transpondedor: 46.0 dB (datos del fabricante)

ATP = Atenuador de Posición: 14 dB

sustituyendo los valores para obtener la PIRE, tenemos:

$$PIRE_{SAT} = -(-100.80) - 14 + 7.5 - 162.35 + 40.5 - 5.1 + 46.0$$

$$PIRE_{SAT} = 13.35 \text{ dBW}$$

Ahora calculamos las Pérdidas por espacio libre descendentes:

$$LS_{desc} = 20 \text{ Log } ((4^{\text{TM}})(1.54 \text{ E}9)(36947.06 \text{ E}3) / 3 \text{ E}8)$$

$$LS_{desc} = 187.55 \text{ dB}$$

La relación Ganancia vs Temperatura (G/T) (también conocida como figura de mérito) de la estación móvil, nos permite calcular la Relación Señal a Ruido Descendente. Este valor ya está dado por los fabricantes de las antenas móviles: Westinghouse & Mitsubishi, y los valores más comunes se muestran en la tabla 4.4.

ANTENA	G/T (dB/K)
Westinghouse	
Mast Antena	-17.5
Countour Dome	-17.5
High Gain Mobile	-14
Maritime Antena	-11
Fixed Site Antena	- 4
Mitsubishi	
ST-121 (Fixed)	-10
ST-151 (Briefcase)	-12
OmniQuest (Lap Top)	-14.6

Tabla 4.4.

Para este caso en particular consideramos una G/T de - 4 dB/K, para antenas de alta Ganancia (dato obtenido de especificaciones del fabricante).

Sustituyendo valores tomando en cuenta la figura de mérito de una antena fija:

$$(C/N)_{desc} = 13.35 - 4 - (-228.6) - 187.55 - 1.0 - 1.0$$

$$(C/N)_{desc} = 48.40 \text{ dB-Hz}$$

el calculo anterior pero ahora en dB:

$$(C/N)_{desc_{dB}} = (C/N)_{desc} - 10 \text{ Log (AB)}$$

$$(C/N)_{desc_{dB}} = (48.40) - 10 \text{ Log (5.4 E3)}$$

$$(C/N)_{desc_{dB}} = 11.08 \text{ dB}$$

Finalmente sustituimos los valores obtenidos con anterioridad en la ecuación 4.9, y de esta forma se calcula la Relación Portadora a Ruido Descendente Total.

$$(C/N)_{DESCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\text{alog} \left(\frac{C}{N_{desc}} / 10 \right)} + \frac{1}{\text{alog} \left(\frac{C}{I} / 10 \right)} + \frac{1}{\text{alog} \left(\frac{C}{X_{pol}} / 10 \right)} + \frac{1}{\text{alog} \left(\frac{C}{X_{satady}} / 10 \right)} \right]$$

ecuación (4.9)

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.9, tenemos:

$$(C/N)_{DESCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log\left(\frac{11.08}{10}\right)} + \frac{1}{a \log\left(\frac{30.0}{10}\right)} + \frac{1}{a \log\left(\frac{30.0}{10}\right)} + \frac{1}{a \log\left(\frac{35.0}{10}\right)}} \right]$$

$$(C/N)_{DESC TOTAL} = 10.95 \text{ dB}$$

Una vez teniendo los resultados de los cálculos preliminares anteriores, procederemos a calcular las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía en la trayectoria de propagación (C/N_{TOTAL}).

4.1.7. Evaluación del Enlace

En este punto se calcula la relación C/N_{TOTAL} , es decir, la resultante de la combinación entre el enlace ascendente total y el enlace descendente total. Además calcularemos la relación Señal a Ruido Requerida (C/N_{REQ}), que depende de las características del módem y de la señal de comunicaciones. Al comparar los valores de la C/N_{TOTAL} con los resultados obtenidos de la $C/N_{REQUERIDA}$, obtenemos el valor del Margen del Enlace que nos indicará finalmente, si nuestro enlace cumple o no con la calidad deseada en el diseño del mismo.

Tomando en cuenta la ecuación 4.10, se calcula la relación Señal a Ruido Requerida

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log\left(\frac{C/N_{ASCENDENTE}}{10}\right)} + \frac{1}{a \log\left(\frac{C/N_{DESCENDENTE}}{10}\right)}} \right]$$

ecuación (4.10)

sustituyéndolos valores obtenidos de las Pérdidas Ascendente y Descendente Total:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\alpha \log(23.55/10)} + \frac{1}{\alpha \log(10.95/10)}} \right]$$

$(C/N)_{TOTAL} = 10.80 \text{ dB}$

Calculamos ahora la relación Portadora a Ruido Requerido por medio de la ecuación 4.11:

- Relación portadora a ruido requerido

$$(C/N)_{REQ.} = E_b/N_o + 10 \text{ Log}(V_{inf}) - 10 \text{ Log}(AB) \quad \text{ecuación (4.11)}$$

Donde:

E_b/N_o = Densidad de energía de bit a Ruido: 9.50

V_{inf} = Velocidad de Información: 6750 b

AB = Ancho de Banda utilizado: 5.4 kHz

sustituyendo los valores, obtenemos:

$$(C/N)_{REQ.} = 9.50 + 10 \text{ Log}(6.75 \text{ E}3) - 10 \text{ Log}(5.4 \text{ E}3)$$

$$(C/N)_{REQ.} = 10.47 \text{ dB}$$

Con los datos calculados, finalmente sustituimos dichos valores en la ecuación 4.12:

- Margen del enlace

$$ME = (C/N)_{TOTAL} - (C/N)_{REQ.} \quad \text{ecuación (4.12)}$$

$$ME = 10.80 - 10.47$$

$$ME = 0.33 \text{ dB}$$

El margen del enlace debe ser mayor a cero. En caso de que el margen sea negativo, quiere decir, que nuestro enlace no corresponderá a la tasa de bits erróneos planteada como condición inicial de diseño. Si el margen es inferior al esperado, incrementaremos la PIRE de E/T propuesta inicialmente y calcularemos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace conveniente. Si el valor del Margen de Enlace es mayor a cero, entonces es adecuado.

- Porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite

$$\% \text{ POT} = \frac{[A \text{ Log} \{ (PIRE_{SAT} - PIRE_{SATU} + MOBO) \}]}{10} * 100 \quad \text{ecuación (4.13)}$$

sustituyendo:

$$\% \text{ POT} = \left[A \text{ Log} \left\{ \frac{(13.35 - 46.0 + 5.1)}{10} \right\} \right] * 100$$

$$\% \text{ POT} = 0.176 \%$$

- Cálculo de la potencia consumida en el HPA:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = \text{PIRE}_{\text{ET}} - G_{\text{TX}} + L_{\text{HPA Y ANT}}$$

ecuación (4.14)

sustituyendo:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 40.50 - 58.30$$

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = -17.80 \text{ dBW}$$

El resultado anterior pero en Watts:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = A \text{ Log}(-17.80 \text{ dBW} / 10)$$

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 0.0166 \text{ W}$$

Los análisis anteriores nos permiten verificar que nuestro proyecto es viable, ya que tenemos cobertura a nivel Nacional y podremos brindar el servicio esperado por los usuarios, además nos informa, que empleando antenas omnidireccionales la red está limitada en potencia, ya que puede soportar 568 canales activos (Unidades de Canal).

De otro modo, si empleamos antenas de ganancia media, la red no está limitada en potencia, pero si lo está por la parte del Ancho de Banda asignado (4.4 MHz); en este caso, la red puede soportar hasta 733 canales activos.

La figura 4.3 nos muestra la relación de los límites de potencia y ancho de banda para una antena de alta ganancia (canales fijos) vs. una antena de baja ganancia (canales móviles), dicha figura arroja información para determinar que tipo de canales es conveniente elegir dependiendo de las necesidades de los usuarios. Por ejemplo, si tomamos como base el Ancho de Banda asignado de 4.4 MHz, y que nuestra información ocupa 6 kHz como máximo para una antena de baja ganancia, podemos tener hasta 733 canales de comunicación operando simultáneamente (véase la gráfica). Sin embargo, al utilizar antenas de alta ganancia y la potencia del Satélite, tendremos alrededor de 3000 terminales operando.

Debido a los requerimientos de comunicación y de las características de los usuarios finales (Seguridad Nacional y Servicio Universal), es necesaria una combinación de ambas terminales (Móviles y Fijas). Cabe aclarar que no es necesario tener canales dedicados para la operación, ya que su uso no es continuo, es por ello que se realizó un estudio de tráfico para determinar la ocupación de los canales y poder ofrecer el servicio a una mayor cantidad de terminales.

Se menciona el análisis de tráfico, como un parámetro para definir la demanda de los recursos, a fin de llevar a cabo la comunicación.

Mostraremos el análisis de tráfico que se tomó en cuenta para dimensionar la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal, cabe señalar que la etapa de arranque del sistema tiene la capacidad para 1800 terminales.

Canales Móviles contra Canales Fijos

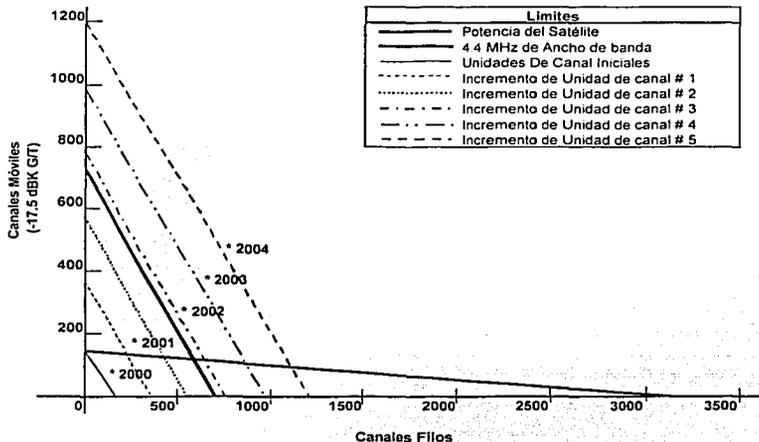


Figura 4.3.

4.2. Ingeniería de Tráfico

La calidad de servicio de un sistema se mide en función de la magnitud de las pérdidas y el tiempo de los retrasos. Por lo general, la calidad de servicio de un sistema es una cifra que se establece y la tarea que se debe resolver es diseñar un sistema que se apege tanto como sea posible a los valores especificados, con costo mínimo. Esto implica, desde luego, la necesidad de calcular las pérdidas o los retrasos para lo cual es necesario contar con métodos adecuados de cálculo, estos métodos de cálculo constituyen la teoría de Tráfico.

El danés A. K. Erlang 1878 - 1929, fue el primero en abordar el estudio de tráfico telefónico en base al cálculo de probabilidad, estableciendo con esto lo que se conoce como la teoría de tráfico.

La intensidad de tráfico es la medida de la magnitud del tráfico, es un valor promedio alrededor del cual varía el tráfico real. Su valor numérico indica el número promedio de llamadas que existen durante el periodo de observación (3600 seg.). En forma estricta, la intensidad de tráfico es una cantidad adimensional, pero se le ha asignado la unidad de Erlang (erl), en memoria del fundador de la teoría.

La ingeniería de tráfico se encarga de proporcionar los requerimientos de comunicaciones:

- Dentro de un área de Servicio
- Para un número específico de suscriptores
- Con un cierto grado de servicio

4.2.1. Características de Tráfico

Para poder dimensionar una red telefónica, es necesario conocer la cantidad de total de Erlangs que dicha red estará utilizando y el porcentaje de bloqueo de llamadas que se espera rechazar.

En Telecomunicaciones, un Erlang es un número entre 0 y 1 que indica que tan ocupado está un servicio telefónico sobre un periodo de tiempo. Un Erlang de 1 aplicado a un circuito telefónico indicará que el circuito está ocupado el 100% de tiempo. Un Erlang puede ser aplicado a un grupo de líneas en una troncal telefónica o al tráfico en un centro telefónico de llamadas (Call Center).

Un dato importante para el cálculo de Erlang es conocer el No. de llamadas y las características de tráfico de la red en cuestión y definir el promedio de las variaciones que se consideren pertinentes; un diseño completo implicaría el promedio de todas las variaciones indicadas a continuación:

- Variación en el tiempo de duración:

Se refiere al promedio de la duración de las llamadas, en segundos, de una red determinada. Por ejemplo, si se realizan 3 llamadas al día y sus duraciones respectivas son: 180 seg., 300 seg., 200 seg., el promedio será: 226.7 seg. por llamada. Un valor típico de duración de llamadas es de 180 seg.

- Variación de horario:

El tráfico es generalmente bajo durante la noche y se incrementa rápidamente en las mañanas, cuando las oficinas, empresas dependencias de gobierno inician sus operaciones diarias. La intensidad de tráfico gradualmente disminuye durante la hora de la comida y nuevamente se incrementa por la tarde. La figura 4.4 muestra una gráfica de intensidad de tráfico en función de la hora del día. Las dos horas pico se presentan antes del medio día y antes del anochecer.

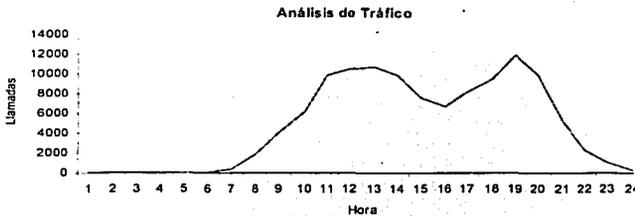


Figura 4.4.

- Variación diaria:

Se define por semana, quincena ó mes. Probablemente en fines de quincena, lunes o viernes, el tráfico de llamadas sea más intenso que en otros días.

- Variación de temporada:

Durante las vacaciones de las otras empresas, el tráfico de llamadas de una empresa que labora durante esos días disminuirá; asimismo ocurrirá durante el fin e inicio de año. Este concepto también se puede aplicar para una compañía de energía eléctrica donde en Verano el uso de energía eléctrica, para aire acondicionado, será más intenso que en un día templado.

- Variación a largo plazo:

Aquí se puede considerar las expectativas de crecimiento a un año, 5 años, 10 años, etc.; esto es importante, si se desea mantener la misma calidad del servicio a través de los años.

4.2.2. Grado de Servicio

El Grado de Servicio es una medida de la probabilidad de que una llamada proporcionada a una unidad de canal o módem satelital otorgado encontrará un canal de voz ocupado en el primer intento; esto es, que todas las peticiones de llamada sean completadas. El grado de servicio es expresado como un porcentaje, hay una oportunidad del 1% (probabilidad) que todos los canales de voz estén ocupados y la llamada sea bloqueada. El equivalente de bloqueo permitido será parte del diseño del sistema y un 2% es frecuentemente utilizado, en la práctica se recomienda este porcentaje para este tipo de servicio.

4.2.3. Cálculo de Tráfico

Una vez consideradas y cuantificadas todas las variaciones mencionadas en el apartado anterior, se propone un promedio (en segundos) de la duración de las llamadas. Un parámetro importante que se debe de considerar para este cálculo es el número de llamadas en horario pico, es decir, el número máximo que esperamos o que realmente se está ocupando el canal de comunicación a determinada hora del día.

Para calcular los parámetros indispensables en la determinación del número de canales que necesitará el sistema, se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$\text{Volumen del tráfico} = \text{No. de llamadas en hora pico} \times \text{duración promedio.}$$

ecuación 4.15

$$\text{Erlang} = 1 \text{ circuito ocupado por una hora} = \text{Volumen de tráfico} / 3600 \text{seg.}$$

ecuación 4.16

Para nuestro caso:

Proponemos un valor de 1800 llamadas (1800 Terminales Móviles) que forman parte de nuestra primera etapa de instalación y un tiempo promedio de llamada de 180 segundos (este tiempo se tomó conforme a la práctica, por ejemplo TELMEX tiene este valor como referencia), entonces, tenemos:

$$\text{Volumen del tráfico} = 1,800 \text{ llamadas} \times 180 \text{ seg.} = 324,000 \text{ llamadas} \times \text{seg.}$$

$$\text{Erlangs} = 324,000 / 3600 = 90 \text{ erl}$$

Con el resultado obtenido, nos remitimos a la tabla de tráfico (tabla 4.5) que es una parte de estas tablas, ya que son muy extensas, en donde buscamos en el interior de la

matriz el valor de 90 Erlangs, siguiendo la columna del porcentaje de bloqueo de llamadas del 2%. Podemos observar que no existe el valor exacto, por lo que procedemos a redondear entre los valores 89.9 y 91.9, que horizontalmente en el valor de N (N = Número de canales) obtendríamos el valor entre 102 y 104, por lo tanto concluimos que con 103 circuitos podemos ofrecer esta calidad de servicio a los 1800 usuarios de nuestra primera etapa.

N	Porcentaje de Bloqueo de Llamadas																									
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
96	65.9	67.5	68.5	69.8	71.7	73.9	75.3	76.4	77.2	78	78.7	79.3	79.8	80.3	81.2	82.4	84.1	85.8	91.1	94.8	99.7	107.5	115.7	134.0	157.6	190.0
97	66.8	68.3	69.3	70.7	72.6	74.8	76.2	77.3	78.2	78.9	79.6	80.2	80.7	81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.6	109.8	116.9	136.5	159.3	192.0
98	67.6	69.2	70.2	71.5	73.5	75.7	77.1	78.2	79.1	79.8	80.5	81.1	81.7	82.2	83.1	84.3	86	88.8	93.2	96.9	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9	194.0
99	68.4	70	71	72.4	74.4	76.6	78	79.1	80	80.8	81.4	82	82.6	83.1	84.1	85.3	87	89.8	94.2	97.9	103.0	111.1	119.4	138.3	162.6	196.0
100	69.3	70.8	71.9	73.2	75.2	77.5	78.9	80	80.9	81.7	82.4	83	83.5	84.1	85	86.2	88	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0
102	70.9	72.6	73	75	77	79.3	80.7	81.8	82.7	83.5	84.2	84.8	85.4	85.9	86.9	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	105.3	114.6	123.1	142.6	167.6	202.0
104	72.6	74.3	75.3	76.7	78.8	81.1	82.5	83.7	84.6	85.4	86.1	86.7	87.3	87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.5	103.2	108.5	116.9	125.6	145.4	170.9	206.0
105	73.3	75	77.1	78.5	80.5	82.8	84.3	85.5	86.4	87.2	87.9	88.6	89.2	89.7	90.7	92	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7	119.3	128.1	148.3	174.2	210.0
108	75	77.7	78.9	80.2	82.3	84.6	85.2	87.3	88.3	89.1	89.8	90.5	91.1	91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9	121.6	130.6	151.1	177.6	214.0
110	77.7	79.4	80.5	81.9	84.1	86.4	88	89.2	90.1	90.9	91.7	92.3	92.9	93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115	124.0	133.1	154.0	180.9	218.0
112	78.4	81.1	82.2	83.7	85.8	88.3	89.8	91	92	92.8	93.5	94.2	94.8	95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3	125.3	135.6	156.9	184.2	222.0
114	81.1	82.9	84	85.4	87.7	90.1	91.6	92.8	93.9	94.7	95.4	96.1	96.7	97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5	129.6	138.1	159.7	187.6	226.0
115	82.8	84.6	85.7	87.1	89.4	91.9	93.5	94.7	95.7	96.5	97.3	98	98.6	99.2	100.2	101.6	103.3	106.7	111.7	115.9	121.7	131.0	140.6	162.6	190.9	230.0
118	84.5	86.3	87.4	89	91.2	93.7	95.3	96.5	97.5	98.4	99.2	99.9	101	101.1	102.1	103.5	105.5	108.7	113.7	118.0	123.9	133.3	143.1	165.4	194.2	234.0
120	86.2	88	89.2	90.7	93	95.5	97.1	98.4	99.4	100	101	102	102	103	104	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1	135.7	145.6	168.3	197.6	238.0

Tabla 4.5.

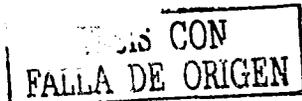
Tomando como base el estudio de tráfico, ahora propondremos el dimensionamiento de nuestra red.

4.3. Capacidad Máxima del Sistema

Tenemos dos formas de determinar la capacidad máxima del sistema:

- Por potencia máxima del satélite
- Por ancho de banda

Considerando la potencia máxima del satélite, y utilizando el porcentaje de potencia consumida por portadora calculado por medio de la ecuación 4.13, dividiendo el 100% de la potencia total entre dicho porcentaje (0.176), se obtienen 568 portadoras (canales activos), dicho valor es el total de canales que pueden ser dedicados, es decir 568 usuarios simultáneos si instalamos antenas tipo mástil, las cuales tienen una ganancia de - 4.0 dB/K, que sería nuestro peor caso; sin embargo, para poder ofrecer el servicio



a una mayor cantidad de usuarios, tendríamos que instalar antenas de mayor ganancia con $-17.5 \text{ dB}^\circ\text{K}$, con lo que tendríamos la posibilidad de brindar servicio hasta 9926 [(568 portadoras x Ganancia de la antena ($-17.5 \text{ dB}^\circ\text{K}$)] canales para Terminales Móviles con este tipo de antena. Jugando con estos dos valores se aprovechará al máximo la capacidad de nuestro sistema.

Si tomamos en cuenta el Ancho de Banda disponible de 4.4 MHz del espectro en Banda L, la red puede soportar un máximo de 733 canales activos para transmitir información en un espacio de 6 kHz, estos canales serán dedicados; sin embargo, este tipo de sistema de comunicación no necesita serlo. Recordemos que la calidad de servicio propuesta es del 2%, con 103 canales el sistema soportará 1800 terminales, ahora, con 733 canales el sistema brindará servicio a 12,809 Terminales Móviles, lo que garantiza una expansión a futuro, según las necesidades con el crecimiento de la población.

4.4. Dimensionamiento de la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal

El Plan Nacional de Desarrollo publicado de 1995 a 2000, mostró la necesidad de comunicar a las comunidades rurales con densidad de población menor a 500 habitantes, así como contar con una red de comunicación de Seguridad Nacional para combatir las diversas problemáticas del país (Narcotráfico, Contrabando, Levantamientos Armados, Invasión, Inteligencia, etc.). Tomando en cuenta dichas problemáticas a solucionar se proponen los siguientes objetivos:

- Desarrollar e implantar un sistema de comunicaciones de voz y datos confiable, que permita la interacción de las diversas entidades encargadas de la seguridad en nuestro país, y que abarque todo el territorio nacional, incluyendo el mar patrimonial.
- Incrementar la cobertura y penetración de la telefonía rural para llevarla, con calidad y precios accesibles, a los núcleos de población que aún carecen del servicio, a fin de abatir su aislamiento y contribuir a igualar sus oportunidades de comunicación con las del resto del país.

Para llevar a cabo dichos objetivos es necesario contar con un sistema integral de comunicación. Tomando como base la disponibilidad de ancho de banda, en banda L que tiene asignado nuestro país, la mejor alternativa la ofrece el sistema de comunicaciones móviles satelitales (MÓVISAT), ya que tiene cobertura regional (a lo largo del país), incluyendo las 200 millas de mar patrimonial. Esta tecnología permitirá que interactúen las diversas instancias de seguridad, así como permitir la comunicación en los lugares más recónditos y de difícil acceso que tiene nuestro país.

En lo que respecta a Seguridad Nacional, tenemos varias instancias gubernamentales que se encargan de velar por la soberanía de la patria, por lo tanto, es indispensable que dichas instancias cuenten con un medio de comunicación seguro, de gran

confidencialidad, eficiente y flexible, que les permita interactuar simultáneamente en caso de contingencia, desastre natural, invasión, etc. Debido a la importancia de cada una de estas instituciones se asignarán el número de terminales móviles a cada una de ellas en función de sus necesidades.

4.4.1. Servicio Universal

En lo que respecta al Servicio Universal, el panorama es amplio, ya que con base en las necesidades publicadas por el Plan Nacional de Desarrollo, se determinó una demanda de 8000 terminales móviles distribuidas alrededor del territorio nacional (Chiapas, Oaxaca, Puebla, Michoacán, Chihuahua, etc.), lo que beneficiará a una población de 4 millones de habitantes; permitiéndoles tener comunicación de voz a bajo costo (por medio de subsidio), reduciendo con ello, la marginación en la que se desenvuelven dichas comunidades, y contribuyendo al desarrollo de las mismas a través del servicio de comunicación de voz. Es necesario mencionar que la primera etapa de instalación contempla únicamente 1800 terminales y se irán incrementado conforme los flujos de capital anuales así lo permitan.

Cabe mencionar que en este tipo de infraestructura no es necesaria la formación de redes de comunicación, ya que cada una de las Terminales Móviles será asignada a cada una de las comunidades más apartadas que tiene el Territorio Nacional, a través de concesiones a particulares, las cuales serán asignadas por medio de licitaciones públicas, las cuales incluyen la instalación de las terminales (auricular, unidad transponedora, unidad electrónica de antena y antena), así como también soporte técnico y servicio de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Las terminales asignadas al Servicio Universal funcionarán bajo la modalidad de Prepago, es decir, para que tengan disponibles servicios de comunicación, será indispensable el pago del servicio con anticipación, además contarán con un número de asistencia en línea las 24 horas los 365 días del año para cualquier consulta u orientación, este servicio será totalmente gratuito para los concesionarios.

Para mantener la continuidad en el servicio, es indispensable mantener informado al usuario acerca de estado de su crédito, por ello, se ofrecerá un servicio automático de consulta de saldo, además, para reforzar aún más, se notificará al interesado cuando le quede disponible un 25% de su crédito para que realice el pago lo más pronto posible.

Después de haber descrito las características del Servicio Universal, describiremos ahora las características de la red de Seguridad Nacional.

4.4.2. Redes Privadas de Seguridad Nacional

Se brindará servicio de redes privadas conforme a los requerimientos y jerarquías organizacionales de las instancias de Seguridad Nacional, dichas instancias se listan a continuación:

- ❖ Secretaría de la Defensa Nacional
- ❖ Policía Federal Preventiva
- ❖ Secretaría de Marina
- ❖ Centro de Investigación de Seguridad Nacional (CISEN),
- ❖ Cuerpo de Guardias Presidenciales
- ❖ Procuraduría General de la República (PGR)
- ❖ Estado Mayor Presidencial

Aparte de poder ofrecer redes privadas de comunicación es posible brindar subredes de comunicación, las cuales forman parte del universo de la Red de Seguridad Nacional.

4.4.1.1. Configuración de una sub-red de Seguridad Nacional

El sistema de comunicaciones móviles satelitales de estándar MSAT, permite la creación de redes virtuales, así como la interacción de éstas, de tal forma, que es posible poseer independencia, confiabilidad, confidencialidad, seguridad, y a la vez, comunicación global en caso de ser requerido. La figura 4.5 muestra un esquema en forma piramidal, de las posibles redes que se pueden configurar de acuerdo con la jerarquía que necesite manejar el usuario, mostraremos sólo un ejemplo, ya que cada usuario tiene su propio diseño acorde a sus necesidades, dicho ejemplo es el aplicado a la Secretaría de la Defensa Nacional.



Figura 4.5.

Dentro de la sub-red para servicio de Seguridad Nacional se tiene la opción de poder brindar dos tipos de configuraciones, los cuales se mencionan a continuación.

- **Red Semi Cerrada**
 - División Jerárquica
 - Plan de Numeración (Movisat)
 - Plan de marcación a su red y a la red telefónica
 - Llamadas entrantes y salientes desde su red y la RTPC

- **Red Cerrada**
 - División Jerárquica
 - Plan de numeración propio
 - Plan de marcación a su red
 - Llamadas entrantes y salientes desde y hacia su red
 - Grupo de terminales móviles BANDA L para entidades de Seguridad Nacional

4.4.1.2. Configuración y Servicios para cada Entidad de Seguridad

Para poder ofrecer el servicio a cada una de las instancias encargadas de la Seguridad Nacional, fue necesario consultarlas acerca de los requerimientos de comunicación de cada una de ellas, las cuales reportaron las siguientes necesidades:

- **Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)**

Capacidad: 600 terminales (distribuidas entre zonas militares a lo largo del Territorio Nacional).

Debido a que la SEDENA es la institución de seguridad más importante en el país se le asignará una interconexión de 60 canales de la RTPC hacia su red privada, teniendo tres niveles de usuarios móviles en forma Jerárquica:

Nivel 1: Marcación de 4 dígitos hacia su red privada y con salida hacia la RTPC por medio de una clave de acceso en caso de emergencia.

Nivel 2: Marcación de 4 dígitos a su red privada y salida a la RTPC

Nivel 3: Marcación 3 dígitos para un alto mando y 4 dígitos a su red privada y con salida a la RTPC.

Todos los usuarios pueden recibir llamadas de la RTPC y de las demás terminales de la institución, debido a la configuración del Nivel 1, pero no puede tener llamadas salientes hacia los demás usuarios de Seguridad Nacional.

- **Policía Federal Preventiva (PFP)**

Esta instancia de seguridad tendrá asignada para su uso oficial una configuración de red de comunicación totalmente privada, que permitirá, llamadas dentro de ella, llamadas hacia la RTPC, sólo a ciertos usuarios cuya jerarquía organizacional así lo permita, además de contar con comunicación hacia las demás instancias de seguridad nacional en caso de contingencia, a través de una marcación especial para este tipo de casos.

La PFP realizó una solicitud de 350 Terminales (para su uso en: Carreteras, Aduanas, Aeropuertos, etc.)

- **Secretaría de Marina (SM)**

Los usuarios de esta red pueden hacer y recibir llamadas desde y hacia la RTPC y de las demás entidades de Seguridad Nacional, en caso de contingencia a través de un plan especial de marcación. Las llamadas que se pueden realizar desde esta red pueden ser de Móvil a Móvil y de Móvil a Fijo para llamadas locales, para el caso de larga distancia los accesos estarán enfocados a ciertas jerarquías organizacionales.

La SM realizó una solicitud de 600 Terminales (para su uso en: Zona Navales, Guardacostas, Capitanías de Puerto, etc.).

- **Procuraduría General de la República (PGR)**

Al igual que las anteriores instancias, los usuarios de esta red de seguridad que pertenecen a la PGR, pueden hacer y recibir llamadas desde y hacia la RTPC, además de poder tener comunicación con las demás entidades de Seguridad Nacional en caso de contingencia a través de un plan especial de marcación. Las llamadas que se pueden realizar desde esta red son: de Móvil a Móvil y de Móvil a Fijo solamente para llamadas locales, así como de Móvil a Móvil y de Fijo a Móvil para llamadas locales, nacionales e internacionales.

La PGR realizó una solicitud de 300 Terminales (para su uso en: Aduanas, Aeropuertos, Puertos marítimos, Migración, Policía Judicial Federal, Policía Fiscal Federal, etc.).

- **Centro de Investigación en Seguridad Nacional (CISEN)**

Los usuarios del CISEN también al igual que las instancias mencionadas anteriormente pueden tener acceso para realizar y recibir llamadas desde la RTPC así como a las entidades de Seguridad Nacional restantes en caso de contingencia.

El CISEN realizó una solicitud de 200 Terminales.

Así mismo, se incluyen también las redes que comparten canales comunes de la red, ya que son instancias de menor relevancia:

- Y Cuerpo de Guardias Presidenciales, solicitó 50 Terminales .
- Y Estado Mayor Presidencial, solicitó 30 Terminales.
- Y Protección Civil, requiere 30 terminales.
- Y Presidencia de la República, necesita 20 Terminales.
- Y Centro Nacional de Prevención de Desastres, notificó la necesidad de 20 Terminales.

Todas las instituciones anteriores podrán comunicarse de manera privada con su mismo grupo, y por medio de un plan especial de marcación podrán ejercer comunicación entre todas ellas, en caso de contingencia Nacional.

Cabe señalar que los servicios de comunicación para cada una de las instancias de Seguridad Nacional no causan cargo económico alguno, ya que forma parte del presupuesto de egresos anual contemplado por cada una de las instituciones, y que en la primera etapa de instalación no se asignarán todas las terminales solicitadas por cada una de las instancias de Seguridad Nacional.

Finalizamos con la descripción de las características de las redes de comunicación para el servicio de Seguridad Nacional, ahora explicaremos la infraestructura que se instalará en la estación terrena para poder llevar a cabo la comunicación.

4.5. Infraestructura de la Estación Terrena

La estación terrena es el lugar físico donde se localizará todo el equipamiento que formará parte del sistema de comunicaciones móviles satelitales de estándar MSAT.

El estándar MSAT es el resultado de un trabajo de integración y adaptación de diversas tecnologías con las cuales ya se contaba en el mercado, por ejemplo Digital Equipment Corporation (DEC), CPI (Equipo de Radiofrecuencia), Comtech-EFData (CUS), Nortel Networks (Switch). Sin embargo, la mayor parte de la operación se realiza mediante el funcionamiento de un software cuyo propietario es Westinghouse. Dicho software de aplicación permite la operación de los diferentes módulos de nuestra Estación Terrena, como son: el Controlador de Grupo (GC, *Group Controller*), Centro de Operación de la Red (NOC, *Network Operations Center*), Señalización y Estación Lógica (SLSS, *Station Logic and Signaling*) y el Procesador de Acceso a la Red (NAP, *Network Access Processor*).

Este sistema de comunicaciones utiliza para su funcionamiento, los servicios de comunicación otorgados por el satélite Solidaridad 2 propiedad de Telecomunicaciones de México.

Recordemos que el control de la operación del Sistema de Comunicaciones Móviles Satelitales se lleva a cabo en la Estación Terrena, bajo un esquema de funcionamiento lógico, es decir, a través de la ejecución del software propietario, con la ayuda de una

infraestructura de hardware, es por esto que la explicación de su funcionamiento resulta compleja y queda fuera del alcance del presente trabajo de tesis.

Sin embargo, en la tabla 4.6, y a nivel informativo, se presenta la relación de Hardware y Software utilizado.

1. Computador Central	
Descripción	Proveedor
VFT 810 VMS	Digital
Add in 64 MB VAXft 810 Memory	
VFT 810 DSSI Adapter Module	
VFT 810 Ethernet Adapter	
VAXft 810 2.6 GB Tape in Expander	
3.2GB SF36 w/2 RF36.SF Arrays	
1.6GB Upgrade Kit for SF3x-s	
Mono White Term w/RS232 USA	
Companion rinter, US, 120V	
10Ft 6-Cond Ovi Dat w/MNP	
Hardware de red	Digital
DECREPEATER 90C,US,CAN,JAPAN	
DECbrouter 90T2A, For DEChub	
DECsrv 700-08 (DSRVW-E)	
InfoServer 1000, Thinwire, US	
TT3100&VAX4100, DEC3000 SERIES	
Licencias de Software	Digital
OpenVMS I/A 8	
Encryption V/V CW:900	
NAS 300 SW V/V	
POLY SWDCON v/V	
POLY SWDAGT V/V	
POLY NW 400 V/V	
OSI Toolkit V/V	
POLY FW V/V	
2. Equipo de Monitoreo y Prueba (Estación de Prueba)	
Descripción	Proveedor
VAX 4000-90 base unit, keyboard, mouse, 16MB	DEC
16 Mbyte ECC memory	
19" Monochrome Monitor	
535 Mbyte disk	
DECserver 700	
AMCO Cabinet	L.G. White
AMCO Pull-out Writing Surface	L.G. White
AMCO Shelft	L.G. White
AMCO Chassis Guides	L.G. White

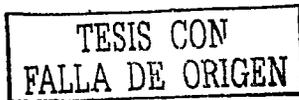
Tabla 4.6. (Continúa)

Pulizzi 12-Outlet 24-Amp Power Strip w/EMI filter	L.G. White
3588A Spectrum Analyzer with Rack Mount	Hewlett Packard
SCSI to IEEE-488 Converter	IOTech
IEE-488 Cable 6'	IOTech
SCSI Cable for VAXstation 4000	IOTech
22" 14 dBic Helical Antenna w/ Pipe Mount	Seavey
Coaxial Lightning Protector	Polyphaser
Teltone T-311 Telephone Access Unit	Bell Industries
Teltone DB-9 to DB-25F Adapter Cable	Bell Industries
Multitech 9600	bps
FAX/DATA Modem	Avnet
12 V 13 A DC Power Supply	Acopian
External MT Reference Oscillator	WEC
Mobile Terminal:	WEC
Mobile Terminal Transceiver Unit	
MT TU Mounting Bracket	
Mobile Terminal Antenna Unit AEU	
MT AEU Mounting Bracket	
MT TU Power Cable	
MT TU to AEU Interface Cable	
RMS/STS Subrack	WEC
Antenna to MT AEU RF Cable	WEC
MT TU to AEU RF Cable	WEC
MT TU to AEU Power Cable	WEC
MT TU to AEU Control Cable	WEC
Miscellaneous cables and connectors	WEC
COTS SOFTWARE LICENSES	
VMS License	DEC
NAS-250 License	
DECmessageQ VMS 2.0	
RTR - Server Runtime	
DECperformance Solution Data Collector	
Polycenter System Watchdog Agent	DEC
SCSI488/D Driver License	IOTech
RTI - Runtime License	Kinetics Sys
GoldFAX Send Receive License	Data Proc
3. Equipo de Monitoreo y Prueba (Monitoreo del Subsistema de Radio Frecuencia)	
Descripción	Proveedor
VAX 4000-90 base unit, keyboard, mouse, 16 MB	DEC
Additional 16 Mbyte ECC memory for VAX 4000-90	
19" Monochrome Monitor	DEC
535 Mbyte disk	DEC

Tabla 4.6. (Continúa)

Serial Printer Cable – MMJ plug to MMJ plug 50'	Black Box
Printer cable Adapter – MMJ jack to DB25 male	Black Box
SCSI to IEEE-488 Converter	IOTech
SCSI Cable for VAXstation 4000 – 6'	IOTech
IEEE-488 Cable 6'	IOTech
IEEE-488 to Digital I/O Converter	IOTech
High Current Module for Digital 488/80A	IOTech
IEEE-488 Cable – 1.5'	IOTech
AMCO Cabinet	L.G.White
AMCO Pull-out Writing Surface	L.G.White
AMCO Shelf	L.G.White
AMCO Chasis Guides	L.G.White
Pulizzi 12 Outlet 24 Amp Power Strip w/EMI filter	L.G.White
8563E Spectrum Analyzer with Rack Mount	HP
7-port Spectrum Analyzer Select Switch	STS
Misc cables, connectors, & hardware	WEC
COTS SOFTWARE LICENSES	
VMS License	DEC
NAS-250 License	DEC
DECmessageQ VMS 2.0	
RTR – Server Runtime	
DECperformance Solution Data Collector	
Polycenter System Wachdog Agent	DEC
SCSI488/D Driver License	IOTech
RTI – Runtime License	Kinetics Sys.
4. Equipo de Monitoreo y Prueba (Monitoreo de Estación Remota)	
Descripción	Proveedor
VAX 4000-90 base unit, keyboard, mouse, 16 MB	DEC
16 Mbyte ECC memory	
19" Monochrome Monitor	
535 Mbyte disk	
DECserver 700	
AMCO Cabinet	
AMCO Pull-out Writing Surface	
AMCO Shelf	
AMCO Chasis Guides	
Pulizzi 12 Outlet 24 Amp Power Strip w/EMI filter	
3588 Spectrum Analyzer with Rack Mount	Hewlett Packard
SCSI to IEEE-488 Converter	
SCSI Cable for VAXstation 4000 6'	
IEEE-488 cable 1.5'	
IEEE-488 to digital I/O Converter	
High Current Module for Digital 488/80A	

Tabla 4.6. (Continúa)



IEEE-488 Cable 1.5'	
Directive Antenna Array	
Coaxial Lightning Protector	
Multi-conductor Lightning Protector	
Dowkey Transfer Switch w/ Indicator Circuit	
28 V 1.1 A DC Power Supply	
12 V 13 A DC Power Supply	
External MT Reference Oscillator	
Mini-Circuits RF Amp for RMS Wideband Tap	M Leader Co
Mobile Terminal:	WEC
Mobile Terminal Transceiver Unit	
MT TU Mounting Bracket	
Mobile Terminal Antenna Unit AEU	
MT AEU Mounting Bracket	
MT TU Power Cable	
MT TU to AEU Interface Cable	
RMS/STS Subrack	WEC
Antenna to MT AEU RF Cable	WEC
MT TU to AEU RF Cable	WEC
MT TU to AEU Power Cable	WEC
MT TU to AEU Control Cable	WEC
Antenna Control Cable	WEC
Miscellaneous cables and connectors	WEC
COTS SOFTWARE LICENSES	
VMS License	
NAS-250 License	WEC
DECmessageQ MS 2.0	
RTR – Server VMS 2.0	
DECperformance Solution Data Collector	
Polycenter System Watchdog Agent	DEC
SCSI488/D Driver License	IOTech
RTI – Runtime License	Kinetics Sys

Tabla 4.6.

Como se puede notar, la cantidad de información que se maneja para las especificaciones y modos de operación del Hardware y Software utilizados en la Estación Terrena es demasiado extensa. Si se requiere consultar mayor información, por favor remitase a los manuales de operación.

Después de mostrar la infraestructura necesaria para el funcionamiento de nuestro sistema de comunicaciones, continuaremos con la descripción de la parte que convivirá con el usuario final, la Terminal Móvil.

4.6. Terminal Móvil

El sistema telefónico móvil satelital Series 1000 de Westinghouse cubre las necesidades de comunicación para usuarios marítimos y terrestres, tanto móviles como fijos y semifijos. Este sistema proporciona los siguientes servicios de comunicación:

- Circuitos Conmutados de Voz y Datos.
- Mensajería por medio de pequeños paquetes de datos.
- Servicio de Fax.
- Comunicación manos libres mediante el empleo de un micrófono.
- Sistema de posicionamiento Global (GPS, *Global Position System*).
- Radio comunicación para flotillas.
- Llamada de emergencia.

La terminal está formada por:

1. El auricular (*Handset*).
2. La Unidad Transreceptora (TU, *Terminal Unit*).
3. La Unidad Electrónica de la Antena (AEU, *Antenna Electronic Unit*)
4. La Antena.

En la figura 4.6 . se muestra la apariencia de una terminal móvil con los módulos que la forman.

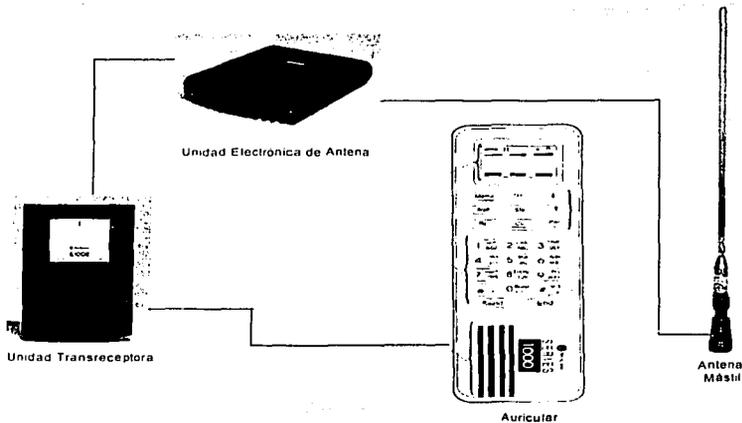


Figura 4.6.

A continuación se describe cada uno de los módulos que conforman la terminal móvil.

4.6.1. Auricular

El auricular es la interfaz de usuario de la Series 1000. El panel de control para el auricular consiste en un conjunto de teclas y de una pantalla de visualización. Está constituido en la parte posterior de la bocina del auricular por una pequeña pastilla que emite el tono de llamada, el teclado alfanumérico que genera tonos de DTMF y la opción de activación de altavoz y micrófono para la modalidad de manos libres.

Las características del auricular incluyen:

- 99 números en memoria para remarcado.
- Tres tipos de menús fáciles de usar.
- Control completo para todas las opciones.
- Capacidad de manejar un número celular simultáneamente.
- Permite funcionamiento Satelital o Celular.
- Un solo número para modo Celular o Satelital.
- Micrófono manos libres.
- Marcado por medio de un solo toque.
- Respuesta automática.
- Características avanzadas tales como correo de voz, reenvío de llamada, identificación de la llamada (si la red lo soporta).
- Llamada de emergencia.
- Bloqueo del auricular (previene el uso no autorizado).

La pantalla de cristal líquido del auricular incluye:

- Contraluz.
- Despliegue de 16 caracteres alfanuméricos en dos líneas de 8 caracteres.
- La pantalla de visualización utiliza la mayoría de caracteres del código ASCII.
- Los símbolos direccionables para ROAM en modo celular de servicio A/B.
- Indicador de potencia de señal de recepción, así como también de disponibilidad de servicio.
- Un indicador de servicio "ù ", el cual muestra la disponibilidad del servicio para uso en caso de emergencia.

La figura 4.7 muestra las partes que conforman a un auricular:

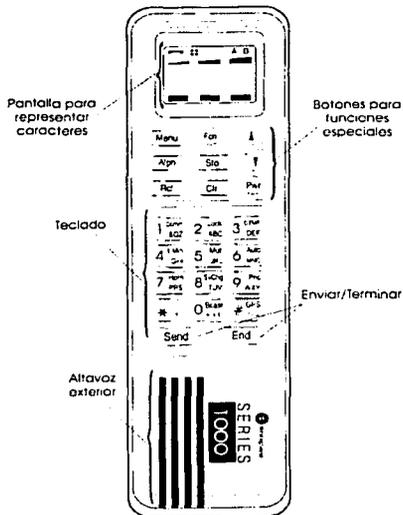


Figura 4.7.

El teclado numérico del auricular incluye:

- Teclado numérico con las teclas * y #.
- Las teclas SEND y END.
- Ocho teclas de funcionamiento adicionales para:
 - Borrar (Clear) Alfanumérico (Apl.)
 - Remarcar (Cl) Función (Fin)
 - Fijar (Esto) Menú (Menu)
 - Navegación (Flecha Arriba o Izquierda) Navegación (Flecha Abajo o Derecha)

El diseño del auricular es similar en tamaño y función al del servicio telefónico portátil e incluye una pantalla para visualización.

Especificaciones Generales de la Terminal Móvil:

Frecuencia de Recepción: 1525-1559 MHz

Frecuencia de Transmisión:	1626.5-1660.5 MHz
Duplexidad:	Total
Espaciamiento de Canal:	6 kHz
Incremento de sintonización:	500 Hz.
Modulación:	QPSK 60% filtrada
Demodulación:	Local coherente, Algoritmo de detección QPSK
Codificación Decodificación de Voz:	400 bps. Algoritmo de Excitación Multibanda (IMBE, <i>Improved Multi Band Excitación</i>)
Codificación de Datos:	velocidad de 0.5 y 0.75 bps
Decodificación de Datos:	Decodificación Viterbi (Forward Error Correction)
Velocidad de Transmisión de Datos	2400 bps/4800 bps
Consumo de Potencia:	30 Watts recepción, 100 Watts transmisión, en 12 VDC
Peso/ Tamaño Terminal:	3.4 kg/5 cm x 17 cm x 30 cm
Unidad Electrónica de Antena:	3.75 kg/6.35 cm x 18 cm los x 22.6 cm

Ya que se ha hecho mención de las características de la Terminal Móvil, es importante señalar algunos aspectos generales de la instalación de las mismas, dependiendo del sitio o usuario que va a hacer uso de ellas.

4.6.2. Unidad Transreceptora

La Unidad Transreceptora (TU) contiene el receptor de Radio Frecuencia, el modulador-demodulador (modem), la tarjeta del fax y la fuente de alimentación principal. La TU proporciona la interfaz central para otros componentes y la inteligencia del sistema. Es el corazón de la serie 1000 de Westinghouse, conteniendo toda la electrónica requerida para recibir y transmitir voz, datos y llamadas de fax, hacia y desde el satélite, además permite controlar y vigilar la operación de la terminal.

En la figura 4.8 podemos observar una fotografía de la Unidad Transreceptora.



Figura 4.8.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Así mismo, contiene las conexiones eléctricas para el auricular, un jack para conector RJ-11 que corresponde al fax, un puerto de datos, un micrófono de manos libres, un altavoz remoto, la fuente de poder y la interfaz a la AEU. Adicionalmente, contiene una ranura interna para servicio de fax (opcional). Otras facilidades tal como telefonía celular y localización GPS se pueden agregar instalando los módulos apropiados.

A continuación se describen las interfaces o puertos que contienen las Unidades Transreceptoras de la terminal satelital Series 1000 de Westinghouse:

Interfaz del Auricular: Está formado por un transmisor receptor de voz y datos y las conexiones de potencia para el auricular. El conector es un RJ-45 estándar.

Interfaz Del Fax: Consiste en un jack estándar para la conexión de fax a 2400 bps. Para enviar un fax se marca el número y se presiona la tecla ENVIAR (SEND), en la máquina del fax no se requiere ningún auricular. Requiere la instalación de la tarjeta opcional del fax dentro de la Terminal.

Puerto de Datos DB-25: Esta interfaz es para conectar equipo terminal de datos externo (DTE) por ejemplo una PC. Un DTE que tiene un teclado numérico y una pantalla de visualización podrá enviar y recibir X.25 y Triples-X PAD (X.28, X.29, X.3) y circuito conmutado emulado Halles, sobre el canal satelital utilizando este puerto.

Interfaz DB-15: El puerto DB-15 tiene dos propósitos: La conexión a un módulo externo de GPS y la interfaz a una pantalla remota de control principal. Esta última utiliza las funciones de un auricular (control y visualización) en un formato no-propietario. La terminal Series 1000 puede ser controlado a través de esta interfaz en lugar del auricular. Esto es útil para aplicaciones de datos que no requieren un auricular para la comunicación de voz.

Alimentación: En este conector se encuentra el Voltaje de alimentación (12 VDC), la conexión a tierra, una alarma de alerta y el sensor de encendido.

Interfaz de Radio Frecuencia de la Antena: Proporciona el control de Radio Frecuencia desde la HPA para la antena y entrega la señal recibida de la antena al LNA Amplificador de Bajo Ruido, *Low Amplifier Noise*).

Interfaz Unidad Transreceptora: Módulo Integrado que consiste en cables de recepción y transmisión de Radio Frecuencia, y que contiene las funciones del control y estado, potencia en DC y conexión a tierra.

En la figura 4.9 podemos apreciar un esquema de las interfaces de una unidad transreceptora, que nos sirven para la conexión de fax, altavoz y celular. Cabe señalar que estos servicios no están disponibles en México, Sin embargo, el estándar los puede manejar.

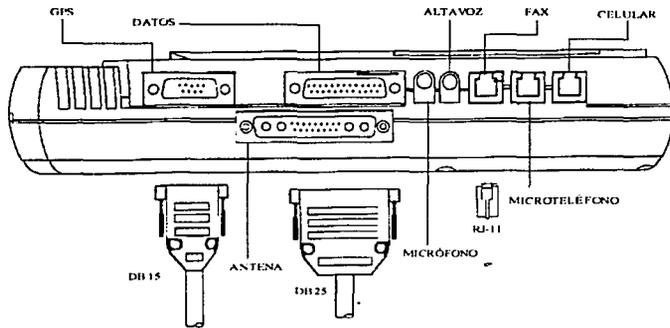


Figura 4.9.

4.6.3. Unidad Electrónica de Antena (AEU)

La AEU Se ubica entre la TU y la Antena, contiene electrónica común de Radio Frecuencia a todas las antenas. Consiste en un amplificador de alta potencia (HPA) para transmitir, el amplificador de bajo ruido (LNA) para recibir, y un diplexor que permite operación full duplex de voz y datos. La potencia de la salida de HPA se puede ajustar mediante programación desde la TU en intervalos de 2 dB hasta 10 dB por debajo de la potencia máxima. Esta característica se puede utilizar para ajustar diversas configuraciones de la antena o mediante ajuste automático dependiendo del modo del sistema o del comando programado desde la estación terrena.

La AEU está diseñada para realizar la interconexión con las unidades externas del GPS (siempre y cuando se cuente con una unidad GPS activa), de esta forma, podrá visualizar la posición actual del usuario por medio de la pantalla del auricular. Para usuarios del sistema MOVISAT que están operando en modo de datos, la AEU podrá consultar sobre su posición, además, soporta la transmisión de datos proporcionando un circuito virtual de extremo a extremo entre equipo terminal de datos (DTE) asociada a la AEU y otros DTE's. Las categoría de servicio soportadas son CCITT Rec. X.25, el CCITT Rec.'s X.3/x.28/x.29., todos estos servicios pueden ser utilizados por medio del puerto DB-25 en la unidad transmisora (no disponibles en México).

La AEU Series 1000 MOVISAT se puede mejorar para ser inter operable con el servicio de MSAT o el servicio de Skycell de AMSC. Con esta propiedad, el usuario presiona simplemente una secuencia de teclas en el auricular para cambiar entre servicios MSAT

o Skycell. Al utilizar un sistema alternativo, todas las llamadas entonces se remiten automáticamente al modo de operación del sistema.

La figura 4.10 nos muestra como es una unidad electrónica de antena.

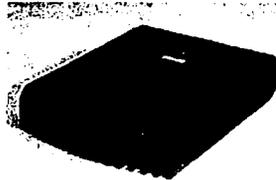


Figura 4.10.

4.6.4. Antena

Para aplicaciones móviles terrestres se tienen disponibles tres tipos de antenas: La antena de Bóveda de alta ganancia, la antena bóveda de media ganancia y la antena mástil, todas están diseñadas para funcionar con el vehículo en movimiento. La antena bóveda de alta ganancia y la antena bóveda de media ganancia funcionan radiando de tal manera que se mantenga siempre la orientación hacia el satélite. La posición del haz de la antena es controlada por un pequeño procesador que permite orientarla automáticamente. La antena mástil es la alternativa menos costosa, ya que permite un posicionamiento omni-direccional en el plano horizontal y su elevación se ajusta manualmente. Las antenas son polarizadas de forma Hand-Right-Circular (esto es, que giran únicamente hacia la derecha en forma circular).

Para el sitio fijo, que es el caso del Servicio Universal, se ha seleccionado un plato parabólico inmóvil de 1.2 m, la cual permitirá transmitir en banda Ku.

En la tabla 4.7 se presentan las ganancias de los diferentes tipos de antena:

Tipo de Antena	Ganancia (G/T [dB/°K])
Marítima	-14
Domo	-17.5
Mástil	-17.7
Semi Fija	-4

Tabla 4.7.

La antena Marítima móvil es diseñada para tolerar el ambiente marino, permite la flexibilidad en su instalación, el Amplificador de Bajo Ruido instalado dentro de la antena se mueve junto con ella.

Para el caso de una terminal semi fija se recomienda instalar una antena 1.2 m con 23 dB de ganancia, lo cual asegura el óptimo uso de los recursos del satélite. Cuando la antena sea instalada, será orientada con línea de vista hacia el satélite. Esta es una antena de plato parabólico que se pueden instalar en cualquier superficie horizontal.

La figura 4.11 nos muestra los principales tipos de antenas: (a) de bóveda, (b) semifija, (c) domo marítimo y (d) mástil.

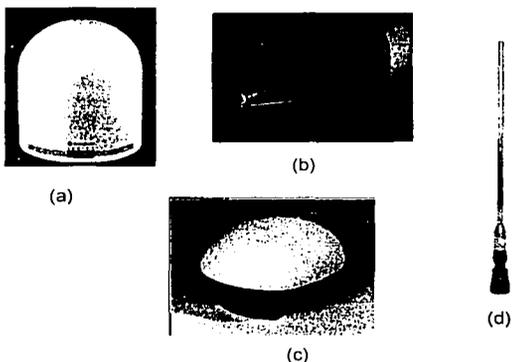


Figura 4.11.

4.7. Instalación de Terminales Móviles

Es necesario mencionar que, dependiendo del usuario final, las Terminales Móviles pueden ser instaladas con una antena Mástil, con una antena Semi-Fija o por medio de una antena de Domo Marítimo.

Sea cualquier aplicación específica, deberá mantener el estándar de instalación general para todos los tipos de configuración de antena existentes (conexiones seguras, evitar falsos contactos y variaciones de corriente); para llevar a cabo la instalación adecuada del dispositivo de comunicación se deben observar las siguientes recomendaciones:

- Siempre revise cuidadosamente cada unidad antes de su instalación. Verifique si existen terminales con hendiduras, torceduras o roturas, en el conector de las unidades, así como en el conector de las interfaces.
- Deberá tener cuidado al determinar el lugar de instalación de las unidades, tomando en cuenta que la Unidad Transreceptora así como la Unidad Electrónica de Antena requieren de la circulación del aire, para evitar sobrecalentamientos durante la operación y de ninguna manera deberán colocarse en sitios donde el flujo de aire sea reducido. Además, a pesar de que las unidades se encuentran selladas, la finalidad de este hermetismo es proteger las unidades contra polvo y humedad normales y no para su uso en intemperie.
- Evite colocar los cables de interfaz y alimentación cerca de algún equipo generador de ruido y/o sistemas electrónicos sensibles.
- Las conexiones de alimentación principal a través de un cable de alimentación (positivo y negativo), deberán ser realizadas directamente a la batería del vehículo o una fuente de poder de 12VDC. Así mismo deberá instalar un fusible de 15A al cable rojo de alimentación y uno de 3A al cable blanco sensor de ignición (para el caso de instalación en vehículos de combustión interna). Se recomienda conectar el cable rojo a la terminal positiva de la batería (+12VDC) y el cable negro a la terminal negativa de la batería.

PRECAUCION : Deberá tener especial cuidado en la conexión correcta del cable de alimentación, pues una indebida polarización en la batería o fuente ocasionan daños irreversibles a la Terminal Móvil.

Posterior a la descripción general de las medidas de seguridad en la instalación de las Terminales Móviles, describiremos de forma global la colocación de cada tipo de terminal, según el usuario final.

4.7.1. Antena Mástil

Este tipo de Terminal con antena Mástil se recomienda para vehículos terrestres en constante movimiento.

La antena mástil puede ser instalada en la cajuela o en su defecto, en el cofre de un vehículo, sin la necesidad de perforar la estructura del mismo; se utiliza una base magnética con forma de gancho conservando una línea de vista directa al satélite de 360° a un ángulo no inferior de 15° respecto de la horizontal.

La Unidad Electrónica de Antena proporciona la potencia de Radio Frecuencia (RF) necesaria para transmitir señales al satélite, lo que genera una gran cantidad de calor

que necesita ser disipado, por lo que el Amplificador deberá ser colocado en un área con ventilación suficiente y permanente.

El dispositivo anterior así como y la Unidad transreceptora deberán ser montados cada uno en su base correspondiente, dichos dispositivos no están diseñados para operar en condiciones ambientales extremas, por lo que se deberá tener precaución respecto al lugar de instalación de dichas unidades.

Observe la figura 4.12 como se fijan las antenas de mástil y sus conexiones a los transceptores.

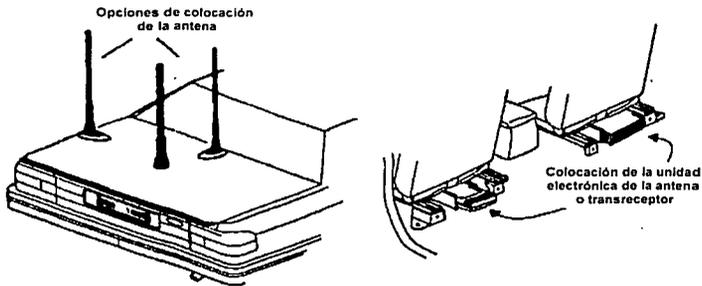


Figura 4.12

4.7.2. Antena Semi-Fija

Este tipo de terminales con antena Semi-fija es recomendable para usuarios de poca movilidad como es el caso del Servicio Universal. Es importante seleccionar el sitio de instalación correcta para la antena. La línea de vista hacia el satélite deberá estar libre de cualquier obstrucción como los árboles o edificios.

Para dirigir la antena hacia el satélite, se deberá girar la antena en azimuth utilizando una brújula para determinar la dirección correcta. (en el caso del sistema Movisat Voz las antenas deberán estar orientadas hacia el Sur), girando lentamente en azimuth hacia el oeste hasta que la señal sea encontrada en el indicador del Auricular. Si la señal deseada no es encontrada, tal vez sea necesario modificar el ángulo de elevación y repetir el procedimiento anterior. (Angulo de elevación aproximado entre 50° y 60°, para la República Mexicana).

La figura 4.13 muestra como la antena deberá ser fijada propiamente al suelo sobre una base de metal o concreto y como se podrá orientar.

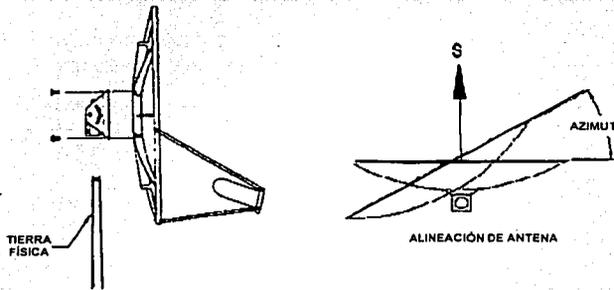


Figura 4.13

4.7.3. Antena de Domo Marítimo

Esta terminal se instalará en las embarcaciones que son propiedad de las instancias que se encargarán de cuidar las 200 millas de mar patrimonial. La antena deberá estar localizada tan cerca como sea posible de la proa o la popa del barco y a las líneas centrales de babor a estribor. Es muy importante evitar colocar la Antena a distancias menores de 1 m de cualquier objeto de metal ferroso o grupo de cables, para prevenir que la operación de la brújula interna se vea afectado por este material.

La antena deberá ser instalada sobre un plato de montaje tipo pedestal. La base y el mástil sobre el que será montada la antena de domo, deberá ser construido de un material no ferroso como el aluminio, madera, fibra de vidrio, etc., para fines de aislamiento.

Para alcanzar la mejor exactitud del módulo de brújula interno de la antena, se deberá alinear la flecha; con el cual se encuentra etiquetado dicho módulo, con la línea central del barco y apuntar en dirección de proa.

La figura 4.14 nos muestra el esquema de una antena de domo.

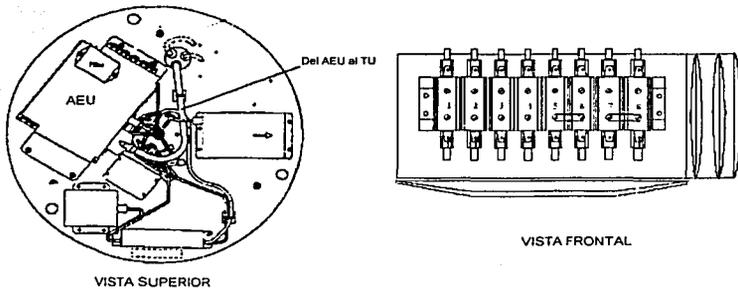


Figura 4.14.

En el presente capítulo se explicó la metodología a seguir para el diseño de la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal (cálculos de enlaces, ángulos de elevación, posicionamiento, etc) así como los diferentes tipos de antenas (Móviles, Fijas y Semifijas) que permitirán la comunicación a lo largo del Territorio Nacional, una breve explicación de las partes que contiene una Terminal Móvil, su instalación y cuidados.

En el siguiente capítulo se describirán algunas pruebas de aceptación del sistema, para garantizar el correcto funcionamiento de nuestro sistema de comunicación para formar la Red de Seguridad Nacional y Servicio Universal.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describirán algunas pruebas de comunicación que garantizarán el correcto funcionamiento del sistema. Para tal efecto, es necesario contar con el funcionamiento óptimo de cada uno de los módulos interactúan en nuestra Estación Terrena.

Es de vital importancia mencionar que el sistema ubicado en la Estación Terrena cuenta con dos equipos tipo Vax, la Vax Tiempo Real y la Vax NOC, los cuales controlan los procesos en tiempo real y la administración del mismo. La Vax Tiempo Real controla todas y cada una de las funciones de los módulos de la Estación Terrena, garantizando la comunicación entre usuarios. Por su parte la Vax NOC se encarga de toda la administración (alta o baja de terminales, cambios de estado, planes de marcación, etc). Es importante señalar que el servicio estará disponible si la máquina Tiempo Real esta en operación, esto tiene su razón de ser por la naturaleza del sistema, ya que brinda servicios de comunicación a la Red de Seguridad Nacional.

Existen diferentes protocolos de prueba que demuestran el funcionamiento correcto del sistema, los cuales se mencionan a continuación:

- Inicio y paro del Sistema de Control Terrestre
- Regresión del Net Radio
- Emulador de Terminal Móvil
- Enlace de eventos del CMIS

Año 2000 y sincronización de tiempo
Pruebas de procesamiento de llamadas
Pruebas de ciclo de vida de las Terminales Móviles
Verificación del mapeo de nodo en México
Verificación del sistema de herramientas de monitoreo en México
Sincronización de tiempo en México
Pruebas de calidad de voz sobre circuitos conmutados
Pruebas de transmisión de datos a 2400 y 4800 bits por segundo
Pruebas de calidad de voz en el servicio Net Radio

Debido a que dichos protocolos de prueba son demasiado extensos y la cantidad de información es considerable para incluirla dentro del presente trabajo de tesis, aunado a que la inclusión y explicación de ellos no forman parte de los objetivos planteados en el inicio del presente trabajo, sólo se presentarán los procesos más relevantes.

5.1. Inicio y Paro del Sistema de Control Terrestre

Los objetivos de esta prueba son verificar los dos métodos de arranque (manual y automático), para asegurarse de que el sistema está listo para entrar en operación y verificar el procedimiento de apagado o cierre del mismo.

Debido a lo explicado anteriormente y tomando en cuenta de que los procesos de inicio y cierre en ambos equipamiento tipo Vax son exactamente iguales, únicamente se explicara el procedimiento a seguir para la Vax NOC, que es, desde nuestro punto de vista, de gran importancia por ser el equipo que controla las cuestiones administrativas.

Dichos procedimientos son los siguientes:

Inicio del Sistema NOC
Inicio manual del Sistema NOC
Configuración del sistema NOC a modo automático de arranque
Carga manual de la interfaz de comunicación entre el equipo NOC y el equipo Tiempo Real
Arranque exitoso del NOC
Verificación de la existencia de enlaces de comunicación hacia el CMIS
Arranque automático de la terminal MMI de tiempo real
Cierre de la aplicación NOC

5.1.1 Iniciando el Sistema NOC:

Este procedimiento muestra los pasos a seguir a partir del encendido del equipo de cómputo.

Encienda la consola y espere que despliegue en pantalla el cursor:

>>>

Posteriormente arranque la aplicación por medio del comando:

>>>B ; presione la tecla enter.

Este comando permite ejecutar el sistema operativo y automáticamente iniciara los procesos del NOC, por otra parte, en la terminal MMI (Man Machine Interface) aparecerán ventanas e iconos que nos indican que el arranque se está efectuando. Dichas ventanas e iconos son:

Ventana de eventos

Icono de acceso directo al administrador de programa (*Program Manager, PM*)

Ventana de administrador de procesos

Ventana MCC

Ventana de diálogo NOC

Ventana de administración conteniendo las siguientes aplicaciones:

- Administración de sesión NOC
- Dominio de NOC
- Ventana de notificaciones

Después del despliegue de las ventanas e iconos referidos, continúe con el siguiente procedimiento.

5.1.2. Carga manual del Sistema Operativo en el sistema NOC

Como se mencionó anteriormente, es posible levantar el sistema de forma manual y automática, describirémos la forma manual de hacerlo:

Desde el cursor ">>>" en la consola del sistema NOC, entre a la utilería SYSBOOT:

>>> B/1

con la ejecución del comando anterior, aparecerá el cursor

SYSBOOT>

Ejecute la carga del sistema por medio de la configuración manual con el comando:

SYSBOOT> SET USER4 1

Digite la letra "C" para continuar con la carga:

SYSBOOT> C

Una vez dentro del sistema, verifique el Sistema Operativo está operando. Ya que se tiene la aplicación de sistema operativo corriendo en nuestro dispositivo de cómputo, continúe con el siguiente paso.

5.1.3. Inicio manual de las aplicaciones del sistema NOC

Este procedimiento permite la ejecución de las aplicaciones del equipo NOC hacia los demás módulos involucrados en la administración.

Desde la consola de la terminal NOC entre al sistema por medio de una cuenta activa.

USERNAME: NOC

PASSWORD: *****

Inicie la aplicación por medio del siguiente comando:

SY0002_NOC> @START_CGS

La acción anterior iniciará la aplicación y desplegará las siguientes opciones en la consola NOC MMI:

- Ventana MMC
- Ventana con el cursor **SY0002_NOC>**
- Ventana de registro de eventos, conteniendo a su vez las siguientes ventanas
 - Ventana de Sesión de administración del NOC
 - Ventana de Dominio NOC
 - Ventana de Notificaciones

Finalmente salga del comando de inicio del sistema, mediante el comando:

SY0002_NOC> LOGOUT

Posterior al despliegue de las diferentes ventanas mencionadas, continúe con los procedimientos.

5.1.4. Configuración del sistema NOC a modo automático de arranque

Las siguientes acciones permiten configurar la opción de arranque automático en el sistema.

Cuando el sistema Operativo ha concluido la carga, desde la consola NOC ingrese al sistema por medio del usuario SYSTEM y complete la información:

USERNAME: SYSTEM

*PASSWORD: ******

SY0002_SYSTEM>

Desde el cursor anterior, verifique que sólo se este ejecutando el Sistema Operativo, por medio del comando:

SY0002_SYSTEM> Show system

Después cargue la utilería SYSGEN:

SY0002_SYSTEM> MC SYSGEN

SYSGEN> USE CURRENT

SYSGEN> SET USER 4 0

SYSGEN> WRITE CURRENT

SYSGEN> EXIT

SY0002_SYSTEM> LOGOUT

Debido a la ejecución de las órdenes anteriores, el equipo NOC está listo para reiniciar automáticamente en la siguiente ocasión que así se requiera.

5.2. Carga manual de la interfaz de comunicación entre el equipo NOC y el equipo en Tiempo Real

Para poder realizar las operaciones de administración entre los equipos de Tiempo Real y el NOC, es indispensable contar con una comunicación entre estos dos entes a través de un enlace (canal de comunicación).

Desde la consola NOC entre al sistema por medio de la cuenta OPERATOR:

USERNAME: OPERATOR

PASSWORD: *****

Una vez dentro, inicie la operación por medio del comando: @START_CGS

SY0002_OPERATOR> @START_CGS

El movimiento anterior iniciará la aplicación de interfaz de comunicación entre el NOC y el Tiempo Real, para poder realizar las gestiones administrativas que den a lugar.

5.3. Arranque exitoso del NOC

Para verificar el arranque correcto del sistema NOC, es necesario realizar el siguiente procedimiento:

Aproximadamente 10 o 15 minutos después iniciar la aplicación, debe de activarse la ventana del NOC en la terminal MMI, así como otros procesos de información.

Cerciórese de que la ventana del NOC esté operando apropiadamente, es decir, revise si no existen mensajes de error.

En las pruebas proyectadas usted puede haber visto el siguiente mensaje:

```
@02:15:23.13>>Site Mgr.: Cool Initialization Complete
```

Aproximadamente 5 minutos más tarde usted podrá ver su proceso LAT levantándose (procesos del servidor).

Verifique la existencia de mensajes que indiquen que las conexiones han sido establecidas entre el sistema Tiempo Real (SY0000) y el sistema NOC (SY0002).

5.4. Verificación de la existencia de enlaces hacia el CMIS

Este procedimiento habilita la comunicación entre el sistema NOC y el CMIS para fines estadísticos, de control en la Terminales Móviles, etc.

Utilice la ventana del NOC y entre al sistema utilizando una cuenta activa para uso del NOC:

USERNAME: NOC

*PASSWORD: ******

Utilice el siguiente comando para desplegar los enlaces conectados al CMIS:

SY0002_NOC>> MU SHOW/CONN

El comando anterior desplegará todas las conexiones externas que se tienen con el CMIS, dichas conexiones son 4 las cuales se muestran a continuación:

*SY0002 (5050) SY0021 (****) ESTABLISHED EVENTS*

*SY0002 (5003) SY0021 (****) ESTABLISHED DATAMANAGER*

*SY0002 (5004) SY0021 (****) ESTABLISHED NOC CLIENT*

*SY0002 (5006) SY0021 (****) ESTABLISHED Call detail record.*

La información anterior demuestra que los enlaces hacia el CMIS están operando correctamente.

5.5. Arranque automático de la terminal MMI de tiempo real

Esta operación permite el acceso a las aplicaciones asociadas a la administración del sistema Tiempo Real.

Desde el modo operador en la consola de tiempo real utilice el siguiente comando:

SY0000_OPERATOR> MMI_STARTUP

El comando anterior habilitará las ventanas asociadas con el sistema de tiempo real. Finalmente salga de la aplicación por medio del comando LOGOUT:

Verifique que las siguientes aplicaciones estén disponibles:

1. Ventana de eventos
2. Acceso directo a la ventana PM
3. Ventana de administración de procesos
4. Ventana de despliegue

5.6. Cierre correcto de la ventana de eventos (Polycenter)

Esta operación, permite el cierre adecuado de la ventana que despliega todos los eventos que se suscitan durante el tiempo de ejecución del sistema NOC y evitar la corrupción de datos.

Abra la ventana de sesión de administración del NOC (NOC Session Manager), desde la barra de menú elija la opción Session y posteriormente Exit. La operación anterior arrojará como resultado un cuadro de diálogo mediante el cual el sistema pregunta si se está seguro de ejecutar la acción.

Elija la opción Yes

La acción anterior finalizará la ejecución de la sesión.

Cierre adecuado del visor de registros de operaciones del sistema (EVENT LOG)

Seleccione la ventana Event Log, presione las teclas Control y C simultáneamente, con lo anterior arrojará como resultado el despliegue del cursor:

```
SY0002_OPERATOR>
```

Digite el comando: *STOP* y posteriormente *LOGOUT*

La aplicación de la ventana de eventos finalizará.

5.7. Paro de la Aplicación NOC

Este procedimiento permite el paro de las aplicaciones del NOC, para evitar corrupción de datos al apagar el equipo sin cerrar las aplicaciones que se encuentran corriendo.

Desde el cursor *SY0002_NOC>>* de la misma terminal, introduzca el siguiente comando:

NOC_DIR y posteriormente @STOPNOC

Después, utilice la utilidad OPTION que se ubica en menú, seleccione "Terminate all Processes", el sistema le preguntará si desea ejecutar la acción, presione OK. Los procesos terminarán en forma correcta.

En caso de que el sistema indique que algún proceso no se cerró adecuadamente, utilice el comando FORCEEXIT, para detener el proceso que continúa en operación.

Como podemos constatar, el levantamiento y puesta en operación del sistema central de control, es un proceso extenso que requiere tiempo para su ejecución, por ende y por lo explicado al inicio del capítulo, se desarrolló de forma únicamente demostrativa.

5.8. Pruebas de Procesamiento de Llamadas

Las pruebas de procesamiento de llamadas son realizadas en el sitio en donde se encuentra nuestro equipo que ha terminado de instalarse, dichas pruebas se realizarán haciendo uso del enlace satelital que se ha descrito anteriormente.

En este proceso de pruebas se debe verificar la capacidad de agregar, eliminar y validar los servicios agregados de una llamada. Deben de funcionar los siguientes servicios para que nuestras pruebas sean aprobadas:

- Desvío de llamada con terminal ocupada
- Desvío de llamada sin respuesta de terminal
- Desvío de llamada incondicional
- Llamada en espera
- Llamada en conferencia

Antes de iniciar nuestras pruebas, primeramente es necesario seleccionar cuatro terminales móviles, las cuales deben cumplir con la información siguiente:

	MT#1	MT#2	MT#3	MT#4
MTID	78838090	78838000	78897456	78897400

Donde :

MTID (*Identification Met*) es el número identificador de la terminal Móvil el cual, es proporcionado por el proveedor (Westinghouse) y comienza con el prefijo 788, el cual es el identificador del fabricante y 5 dígitos más.

Con la información anterior y ya que dichas terminales cuentan con el servicio de comunicación activo, se procede a iniciar con las pruebas correspondientes, las cuales se describen a continuación.

5.8.1. Desvío de llamada con terminal ocupada

Esta característica permite al usuario de una MT transferir sus llamadas hacia otra MT en particular o a un número específico de la RTPC, siempre y cuando su terminal se encuentre ocupada.

Para efectuar esta prueba se contemplan dos casos:

- Desvío de llamada con terminal ocupada hacia otras terminales móviles.
- Desvío de llamada con terminal ocupada de una terminal móvil hacia la RTPC

El procedimiento a seguir para efectuar el desvío de llamada con terminal ocupada hacia otras terminales móviles es el siguiente:

1. La MT#1 activa el desvío de llamada con terminal ocupada utilizando el código para esta característica (*78#), la llamada es enviada hacia otro número telefónico, el cual puede ser el número de la MT#2.
2. Ahora, la MT#1 realiza una llamada hacia la MT#3 e inician una conversación.
3. Mientras tanto, la MT#4 genera una llamada hacia la MT#1
4. Con el desvío de llamada con terminal ocupada activado, la llamada de la MT#4 se envía a la MT#2.

La MT#2 y la MT#4 inician una conversación, de esta manera, se demuestra que este servicio funciona adecuadamente. Con los datos obtenidos se vacía la información en la tabla 5.1.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1			X	Ok
MT#2	X			Ok
MT#3		X		Ok
MT#4		X		Ok
RTPC	X			Ok

Tabla 5.1.

Como apreciamos en esta tabla nuestras terminales móviles tiene un buen resultado en cuanto a los intentos de lograr el desvío de llamada con terminal ocupada hacia otras terminales móviles.

El procedimiento para efectuar el desvío de llamada con terminal ocupada desde una terminal móvil hacia la RTPC, se presenta a continuación:

1. Desde la MT#1 se activa el servicio de desvío de llamada con terminal ocupada con el código para esta característica (*78#), de esta forma, las llamadas son enviadas hacia otro destino, el cual puede ser el número de otra Terminal Móvil, por ejemplo la MT#2.
2. Ahora, la MT#1 llama a un número de abonado perteneciente a la RTPC e inician una conversación.
3. Mientras tanto, otra terminal por ejemplo la MT#4 marca hacia la MT#1.
4. El desvío de llamada con terminal ocupada es ejecutado, ya que la MT#1 está cursando comunicación con un abonado de la RTPC, la llamada de la MT#4 es enviada hacia la MT#2.
5. La MT#2 y la MT#4 inician una conversación, con lo que queda demostrado el funcionamiento de este servicio, para finalmente cortar la comunicación.
6. Se desactiva el desvío de llamada con terminal ocupada presionando el código para esta característica (*79) y el botón SEND.

Con los datos obtenidos de la presente prueba, se elabora la tabla 5.2.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1	X			Ok
MT#2		X		Ok
MT#4		X		Ok
RTPC#1	X			Ok
RTPC#2			X	Ok

Tabla 5.2.

Como apreciamos en los resultados obtenidos en la tabla anterior, el procedimiento para efectuar el desvío de llamada con terminal ocupada desde una terminal móvil hacia la RTPC es satisfactorio.

Las llamadas entrantes a la MT#1 son enviadas a otro número cuando la terminal móvil está ocupada cursando otra llamada.

5.8.2. Desvío de llamada sin respuesta de terminal

Esta característica permite al usuario de una terminal móvil, solicitar que todas sus llamadas entrantes sean enviadas incondicionalmente a otra terminal móvil específica o a un número de la RPTC.

En la realización de esta prueba se contemplan dos casos:

- Llamada sin respuesta entre terminales móviles.
- Llamada sin respuesta procedente de la RPTC hacia una terminal móvil.

El procedimiento a seguir para efectuar el desvío de llamada sin respuesta de terminal entre terminales móviles es el siguiente:

1. La MT#1 activa el desvío de llamada sin respuesta de terminal por medio del código para este servicio (*76#), y la envía hacia un número telefónico, el cual puede ser el número de la MT#2.
2. La MT#3 llama a la MT#1.
3. La MT#1 no responde al llamado, después de un número específico de timbrados (en este caso dos), el desvío de llamada sin respuesta de terminal es validado y la llamada es enviada a la MT#2.
4. Ya que la MT#1 tiene programado el desvío, se inicia una conversación entre la MT#3 y la MT#2.
5. Para desactivar esta función, se utiliza el código (*77) y el botón SEND.

Con los datos capturados se formula la tabla 5.3.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1	X			Ok
MT#2		X		Ok
MT#3		X		Ok

Tabla 5.3.

Nuestro procedimiento de desvío de llamada sin respuesta de terminal entre terminales móviles, fue satisfactorio teniendo resultados favorables en esta prueba.

El procedimiento para efectuar llamada sin respuesta de terminal de la RPTC hacia una terminal móvil, se presenta a continuación:

1. En la MT#1 se activa dicho servicio por medio del código (*76#), y todas las llamadas entrantes para esta terminal se envían hacia un número telefónico, el cual puede ser el número de la MT#2.
2. Un abonado de la RTPC intenta llamar a la MT#1.
3. La MT#1 no responde al llamado y después de un número específico de timbrados (dos), entonces, el desvío de llamada sin respuesta de terminal es realizado y la llamada se envía a la MT#2.

Comienza una conversación entre la MT#2 y el abonado de la RTPC.

Para desactivar esta función, se hace uso del código (*77) y el botón SEND.

Con los datos recabados se crea la tabla 5.4.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1			X	Ok
MT#2	X			Ok
RTPC			X	Ok

Tabla 5.4.

Como apreciamos nuestros resultados en la tabla anterior, se logra que nuestro procedimiento para efectuar el desvío de llamada sin respuesta de terminal sea correcto.

5.8.3. Desvío de llamada incondicional

Esta característica permite al usuario de una terminal móvil, solicitar que todas las llamadas que reciba, sean enviadas incondicionalmente a una terminal móvil específica o a un número de abonado de la RTPC.

El procedimiento a seguir para efectuar el desvío de llamada incondicional es el siguiente:

1. Desde la MT#1 se activa este servicio, por medio del código (*72#) seguido del número telefónico de la MT#2.
2. La MT#3 marca el número de la MT#1 y como esta tiene activado el desvío de llamada incondicional, la llamada de esta terminal es enviada a la MT#2.

3. La MT#2 responde al llamado e inicia una conversación con la MT#3.
4. Repita los pasos del 1 al 3 exceptuando el desvío hacia la MT#2, ya que ahora debe hacerlo hacia un número de abonado de la RTPC.

Para activar de nuevo el desvío de llamada incondicional introducimos en nuestra terminal móvil el código (*73) y el botón SEND.

Los datos obtenidos anteriormente nos sirven para completar la tabla 5.5 y de esta manera constatar que las pruebas se desarrollaron de manera satisfactoria

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1			X	Ok
MT#2		X		Ok
MT#3		X		Ok
RTPC			X	Ok

Tabla 5.5.

Nuestras pruebas se realizan satisfactoriamente, como se muestra en la tabla, logrando resultados satisfactorios.

Es notable que la MT#1 es capaz de activar el desvío de llamada incondicional y que todas las llamadas entrantes son enviadas hacia otro número de terminal móvil.

5.8.4. Llamada en espera

El propósito de esta característica es permitir a un usuario de una terminal móvil aceptar llamadas entrantes mientras está ocupado con una llamada.

Para efectuar esta prueba se contemplan tres casos:

- Llamada en espera entre terminales móviles.
- Llamada en espera de terminal móvil hacia la RTPC.
- Llamada de espera de la RTPC hacia la terminal móvil.

El procedimiento a seguir para efectuar la llamada en espera entre terminales móviles es el siguiente:

1. La MT#1 llama a la MT#2 e inician una conversación.

2. La MT#3 realiza una llamada hacia la MT#2.
3. La MT#2 escucha una señal de notificación audible indicando que una llamada está esperando respuesta, aún cuando la MT#2 está cursando comunicación con la MT#1.
4. La MT#2 decide contestar la llamada presionando la tecla SEND (mientras retiene la llamada de la MT#1) y la conexión se establece con la MT#3.
5. La MT#2 selecciona entre la MT#1 y la MT#3 presionando la tecla SEND.
6. Para terminar la llamada de forma apropiada, la MT#3 cuelga primero y la MT#2 y MT#1 siguen en comunicación hasta que alguna de las dos Terminales Móviles cuelga.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1	X			Ok
MT#2		X		Ok
MT#3		X		Ok

Tabla 5.6.

Al aplicar los pasos correspondientes nos damos cuenta que la MT#2 es capaz de detectar la señal de llamada en espera y, a su vez, establecer una conversación con la terminal MT#3, mientras retiene la llamada con la MT#1.

El procedimiento para efectuar una llamada en espera de una terminal móvil hacia la RTPC, se presenta a continuación:

1. La MT#2 llama hacia un número de abonado de la RTPC e inician una conversación.
2. Desde la MT#3 se realiza una llamada hacia la MT#2 que está ocupada con un número de abonado de la RTPC.
3. La MT#2 escuchará una señal audible a pesar de que está cursando llamada.
4. La MT#2 contesta la llamada presionando la tecla SEND, mientras retiene la llamada que tiene actualmente con el número de abonado de la RTPC, y la conexión se establece con la MT#3.
5. La MT#2 selecciona que llamada tomar de las opciones que tiene entre el número de abonado de la RTPC y la MT#3 presionando la tecla SEND.

6. La MT#2 termina la llamada.

7. Con los datos sustraídos de las pruebas anteriormente descritas se completa la tabla 5.7.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1		X		Ok
MT#2			X	Ok
MT#3	X	X		Ok
RTPC	X			Ok

Tabla 5.7.

Se concluye tomando en cuenta la información de la tabla 5.7. que el desarrollo de esta prueba es satisfactorio.

Ahora se presenta el procedimiento para efectuar una llamada en espera desde un número de abonado de la RTPC hacia una Terminal Móvil.

1. Un abonado de la RTPC llama hacia la MT#2 e inician una conversación.
2. La MT#3 realiza una llamada hacia la MT#2.
3. La MT#2 escuchará una señal audible a pesar de estar en comunicación con el abonado de la RTPC.
4. La MT#2 contesta la llamada presionando la tecla SEND, mientras retiene la comunicación que inicialmente tiene con el abonado de la RTPC, y la conexión se establece con la MT#3.
5. La MT#2 selecciona una llamada entre el abonado de la RTPC y la MT#3 presionando la tecla SEND.
6. La MT#2 termina la llamada.

Con la información recabada, se completa la tabla 5.8.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#2	X			Ok
MT#3		X		Ok
PSTN#1			X	Ok

Tabla 5.8.

Como nos damos cuenta, la MT#2 es capaz de detectar la señal de llamada en espera y generar una conversación tripartita sin perder la llamada original, no importando el origen ya sea de un abonado de la RTPC o de otra Terminal Móvil.

5.8.5. Llamada en conferencia

Esta característica permite al usuario de una terminal móvil realizar llamadas simultáneas con diferentes terminales en distintos lugares.

Para efectuar esta prueba se contemplan tres casos:

- Llamada en conferencia entre terminales móviles.
- Llamada en conferencia desde una terminal móvil hacia la RTPC.
- Llamada en conferencia desde una RTPC hacia una terminal móvil.

Ahora se presenta el procedimiento para efectuar una llamada en conferencia entre terminales móviles.

1. La MT#2 llama a la MT#1.
2. La MT#1 responde al llamado e inicia una conversación con la MT#2.
3. La MT#2 presiona el botón SEND, la llamada con la MT#1 es retenida, mientras tanto, la MT#2 llama a la MT#3.
4. La MT#3 responde la llamada de la MT#2 y establece una breve conversación con ésta última.
5. Desde la MT#2 se presiona la función (*)SEND y permite a la MT#1 participar en la conferencia.
6. La MT#2 finaliza la llamada; puesto que MT#2 es la que controla la conferencia, las conexiones de llamada con las terminales MT#1 y MT#3 son liberadas.

Con la información arrojada de las pruebas se completa la tabla 5.9.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1		X		Ok
MT#2			X	Ok
MT#3	X			Ok

Tabla 5.9.

Como podemos ver a través de la tabla, los resultados obtenidos desde nuestro punto de vista, son óptimos ya que cumplen con las expectativas planteadas.

Ahora se presenta el procedimiento para efectuar una llamada en conferencia desde una terminal móvil hacia la RTPC.

1. La MT#2 realiza una llamada hacia un número de usuario permitido dentro de la RTPC.
2. El usuario de la RTPC responde la llamada e inicia una conversación con la MT#2.
3. La MT#2, presiona el botón SEND, y retiene la llamada con el usuario de la RTPC y marca el número de la MT#3.
4. La MT#3 responderá el llamado y establece una breve conversación con la MT#2.
5. Posteriormente la MT#2 presiona la función (*) SEND y permite al usuario de la RTPC participar en la conversación.
6. Finalmente la MT#2 finaliza la llamada; ya que la MT#2 controla la conferencia, entonces las llamadas con la MT#3 y con la RTPC son liberadas.

Se completa la tabla 5.10 con los datos obtenidos.

	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#2	X			Ok
MT#3	X			Ok
RTPC			X	Ok

Tabla 5.10.

Nuestros resultados son satisfactorios en esta prueba, como se muestra en la tabla 5.10.

Ahora se presenta el procedimiento para efectuar una llamada en conferencia desde una RTPC hacia una terminal móvil.

1. Un usuario de RTPC llama a la MT#2.
2. La MT#2 responde al llamado e inicia una conversación con la RTPC.
3. La MT#2, presiona el botón SEND y retiene la llamada con el usuario de la RTPC y a su vez inicia una llamada hacia la MT#3.

4. Entonces la MT#3 responderá a la llamada y se establece una breve conversación con la MT#2.
5. La MT#2 presiona de nueva cuenta la función (*) SEND y permite al usuario de la RTPC a participar en la conversación.
6. Finalmente se termina la llamada por cualquier participante y los dos participantes restantes continúan con la conversación hasta que alguno cuelga.

Con los datos obtenidos de las pruebas anteriormente descritas se completa la tabla 5.11.

	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#2		X		Ok
MT#3		X		Ok
RTPC#1			X	Ok

Tabla 5.11.

En esta tabla nos damos cuenta que nuestros resultados son satisfactorios.

Por medio de la presente prueba hacemos notar que la MT#2 es capaz de desempeñar la función de conferencia entre otras terminales móviles y la RTPC.

Después de haber efectuado las pruebas de procesamiento de llamadas, describiremos ahora la jerarquía o preferencia que el sistema brinda a cada una de ellas.

5.9. Orden de preferencia

Esta característica permite al usuario de una terminal móvil tomar preferencia sobre otras aplicaciones.

Para efectuar esta prueba se contemplan dos casos:

- Desvío de llamada incondicional toma preferencia ante el desvío de llamada.
- Llamada en espera de terminal móvil toma preferencia sobre desvío de llamada con terminal ocupada y desvío de llamada sin respuesta de terminal.

Ahora se presenta el procedimiento para efectuar el desvío de llamada incondicional donde toma preferencia ante el desvío de llamada

1. Se encienden las MT#1, MT#2, MT#3, MT#4 y un número de abonado de la RTPC disponible.
2. La MT#1 tiene disponibles los servicios de llamada en espera, desvío de llamada con terminal ocupada, desvío de llamada incondicional y desvío de llamada sin respuesta de terminal.
3. Se activa el desvío de llamada incondicional en la MT#1 con el código (*72#) y se digita el número telefónico de la MT#2, posteriormente se presiona el botón SEND.
4. Se activa el desvío de llamada con terminal ocupada en la MT#1 con el código (*78#) y se introduce el número telefónico de la RTPC, posteriormente presione el botón SEND.
5. Se activa el desvío de llamada sin respuesta de terminal en la MT#1 con el código (*76#) y se introduce el número telefónico de la MT#4, posteriormente presione el botón SEND.
6. La MT#3 inicia una llamada hacia la MT#1.
7. El desvío de llamada incondicional de la MT#1 tomará preferencia sobre la facilidad de llamada en espera, desvío de llamada con terminal ocupada y desvío de llamada, así de esta forma, la llamada de la MT#3 es enviada a la MT#2.
8. Después de que la MT#2 toma la llamada, se establece una comunicación con la MT#3.
9. Para desactivar el desvío de llamada incondicional, se presiona el código (*73) posteriormente la tecla SEND.

Se completa la tabla 5.12 con la información que arrojan las pruebas

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1		X		Ok
MT#2			X	Ok
MT#3	X			
MT#4		X		Ok
RTPC	X			Ok

Tabla 5.12.

Nuestro procedimiento es aceptable como se muestra en la tabla, teniendo resultados favorables.

Ahora se presenta el procedimiento para que la llamada en espera tome preferencia sobre desvío de llamada con terminal ocupada y desvío de llamada sin respuesta de terminal

1. La MT#1 está suscrita en el sistema principal con llamada en espera y tiene programados los servicios de desvío de llamada con terminal ocupada y desvío de llamada sin respuesta de terminal activas.
2. La MT#1 llama a la MT#2.
3. La MT#2 toma la llamada y establece una comunicación con la MT#1.
4. La MT#3 marca a la MT#1.
5. Puesto que llamada en espera toma preferencia sobre desvío de llamada en terminal ocupada y desvío de llamada sin respuesta de terminal, la MT#1 escuchará un tono audible de la llamada en espera.
6. La MT#1 retiene la llamada con la MT#2 presionando la tecla SEND e inicia una conversación con la MT#3.
7. La MT#1 y la MT#3 se encuentren en conversación, si la MT#3 finaliza la comunicación, permanecen en conversación la MT#1 y la MT#2.

Los datos arrojados de la prueba nos permiten completar la tabla 5.13.

Terminal	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Resultado
MT#1		X		Ok
MT#2		X		Ok
MT#3			X	Ok

Tabla 5.13.

Como podemos ver a través de la tabla, los resultados obtenidos son satisfactorios ya que se emplearon en forma adecuada los servicios.

En el presente capítulo se comentaron algunas de las principales pruebas de comunicación entre terminales móviles recomendadas por el fabricante; concluyendo que se desarrollaron en forma satisfactoria, por ende el sistema está listo para operar.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El presente trabajo parte de la necesidad de contar con un sistema de comunicaciones confiable para dar servicios de comunicación de Seguridad Nacional y Servicio Universal.

El problema principal en el desarrollo del presente trabajo fue el proponer una solución para comunicar las unidades móviles y rurales, ya que para el caso de las entidades fijas existen muchas alternativas para comunicarlas.

En el caso de las unidades móviles de Seguridad Nacional se consideraron diversas opciones, obviamente todas inalámbricas, por tratarse de entidades en movimiento. Se consideraron opciones como sistemas de radio, sistemas celulares terrestres, y sistemas satelitales geoestacionarios; sin embargo, no todas cumplían con los requerimientos de movilidad y funcionalidad requeridos. Además, los sistemas de base terrestre no tienen cobertura total y no es factible comunicarse a los móviles.

El presente trabajo de tesis se centró en el sistema satelital de estándar MSAT, el cual, además de ofrecer cobertura total a nivel nacional, ofrece servicios de comunicación de voz, datos, y radio (trunking). También permiten utilizar terminales de fácil operación.

En el diseño e implementación del sistema de comunicación, utilizando el sistema satelital, iniciamos con el estudio de los conceptos fundamentales de las comunicaciones satelitales, centrandó la atención en aquellos aspectos que

podieran resultar relevantes para el análisis y comparación entre los diferentes sistemas de comunicación disponibles. Posteriormente se estudiaron los servicios que ofrecen, así como los medios tecnológicos para lograr estos servicios.

Aunque todos los sistemas presentan ventajas funcionales similares, como el uso de terminales pequeñas, cobertura, nodos de conexión hacia medios terrestres de comunicación distribuidos y alta confiabilidad, hay diferencias en cuanto al enfoque principal o mercado que tiene por objetivo cada uno de ellos.

Los sistemas considerados en nuestro sistema de comunicación fueron: MSAT de Westinghouse, estándar B y estándar d Mini-M de INMARSAT.

Mientras que el estándar de INMARSAT es un sistema más enfocado a dar servicios de comunicación de voz y datos a móviles marítimos, el estándar MSAT se concentra en los servicios que requieren aplicaciones móviles terrestres, marítimas y aéreas, pero también semifijos con terminales más sencillas.

En el análisis inicial del problema se definieron los servicios que eran deseables para cada uno de los dos segmentos, Seguridad Nacional y Servicio Universal, estos servicios deseables abarcaban la transmisión de voz, datos y radio (trunking).

Sin embargo, cuando se analizó con más cuidado las necesidades de servicio de cada segmento, se pudo observar que los servicios de Seguridad Nacional requerían de comunicaciones móviles para los tres servicios principales: voz, datos y radio (trunking). Por otro lado el Servicio Universal requería únicamente del servicio de voz para sitios fijos.

Finalmente, ambos servicios implican intercambio de datos entre las entidades tanto móviles como fijas, por lo que ambos servicios pueden ser cursados sobre el mismo medio o canal de comunicación.

Con lo anterior, no obstante que los servicios requeridos pueden ser provistos por cualquiera de los sistemas satelitales mencionados (INMARSAT y MSAT), MSAT es la opción más atractiva debido a la infraestructura con la que se cuenta (Satélite y Ancho de Banda), y ofrece la posibilidad de configurar las terminales remotas acorde con las necesidades de los usuarios.

Por lo tanto, la solución recomendada está basada en la utilización de un sistema de comunicaciones satelitales de estándar MSAT. Toda la comunicación de las entidades móviles será cursada hacia las entidades de Seguridad Nacional, a través de redes virtuales, donde se procesará toda la información para establecer la principal red de comunicaciones de Seguridad Nacional entre las principales dependencias que la componen.

Para el caso del Servicio Universal las comunicaciones se establecerán entre la PSTN y las comunidades rurales que cuenten con terminal.

Conclusiones

Hemos podido llevar a cabo la implementación de una Red Satelital de comunicaciones móviles para un Sistema de Seguridad Nacional empleando el estándar MSAT, que nos permite la creación de subredes para manejar las comunicaciones de cada una de las dependencias de seguridad, y una red global que interconecte a todos los organismos para dar un servicio de canal privado en caso de una contingencia nacional, como puede ser el Plan de Desastre Nacional (DN-3) de la Secretaría de la Defensa Nacional, invasión extranjera, levantamiento armado, etc.

En forma alterna podemos cubrir las necesidades de Servicio Universal para las comunidades ubicadas en las zonas más extremas y alejadas de la república mexicana, donde no se justifican los gastos de instalación y mantenimiento de sistemas de comunicación convencionales como es el caso de la Telefonía Celular y la Telefonía Fija (Fibra Óptica, Par Trenzado, etc.).

También se incrementó la cobertura y penetración de la telefonía rural para llevarla, con calidad y precios accesibles, a los núcleos de población de entre 100 y 500, habitantes que carecían de este servicio, a fin de abatir su aislamiento y contribuir a la comunicación con el resto del país.

No obstante que los objetivos de comunicación en relación con la Seguridad Nacional y el Servicio Universal se cumplieron, existen algunos inconvenientes para este sistema de comunicación por ejemplo: el soporte técnico, mantenimientos y asesorías son en el extranjero, lo que trae como resultado, que los tiempos de respuesta en caso de falla sean prolongados; otro aspecto es que únicamente existen tres sistemas de este tipo en el mundo y un sólo proveedor de tecnología.

Adicionalmente el sistema está subutilizado, ya que para la aplicación instalada en nuestro país únicamente se ofrecen servicios de voz, datos y radio (trunking).

El estándar MSAT tiene la capacidad de proporcionar servicios de FAX, Interfaz Celular, Localización GPS, etc. Recomendamos que en un futuro, la variedad de servicios ofrecidos en México crezca, y se explote al máximo el alcance del sistema de comunicaciones satelitales.

Finalmente concluimos que la implantación del sistema de comunicaciones cumple con los requerimientos de comunicación eficiente, privada, segura y de movilidad para la Red de Seguridad Nacional y simultáneamente con el objetivo de tener enlace con las comunidades más apartadas del territorio nacional a través del Servicio Universal.

Cabe señalar que el sistema cuenta con la facilidad de expansión, conforme las necesidades con el crecimiento de la población lo amerite.

Bibliografía

Libros:

1. Jagoda, Mobile Communications, Wiley, México, 1993.
2. Freeman L., Manual de Transmisión y Telecomunicaciones, Limusa, México, 1996.
3. Halsall Fred, Comunicación de datos redes de Computadoras y Sistemas Abiertos, Addison Wesley, México, 1998
4. Rodolfo Neri Vela, Satélites de Comunicaciones McGraw-Hill, México, 1989.
5. Sklar B., Comunicación Digital, Limusa, México, 1999.
6. Tomas W., Telecomunicaciones, McGraw-Hill, México, 1991.

Manuales:

1. CGS_CUS Installation and Operation Manual.
2. COTS Hardware Equipment.
3. MSAT Mobile Satellite Communications.
4. NOC User's Manual
5. Operation and Maintenance Manual.
6. Operation and Maintenance Manual for INMARSAT Ku-Band land Earth Station for WEC/Telecommunications de México MOVISAT Data Service. Vols. I and II
7. Operation and Maintenance Manual for the Frame Timing Unit.
8. RMS User's Manual.
9. SATMEX Tabla de Parámetros satelitales.

10. Westinghouse Series 1000 Mobile Satellite Telephone System User's Guide.
11. Westinghouse Series 1000 Service Manual.

Direcciones de Internet:

1. <http://www.satmex.com.mx>
2. http://www.sct.gob.mx/prograb2000/comu_via_satelite.html
3. <http://www.cft.gob.mx/>
4. http://www.telecomm.net.mx/satelites/movisat_voz.html
5. <http://www.westinghouse.com>
6. <http://www.vissionpro.com/>
7. <http://www.intsal.com/news/viasatelite.asp>
8. <http://www.tt.dk/products/landmobile>
9. <http://www.msat.tmi.ca/>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Glosario de términos

Amplificador

Dispositivo diseñado para aumentar el nivel de potencia, voltaje o corriente de señales eléctricas o electromagnéticas

Amplificador de Alta Potencia (HPA)

Dispositivo que incrementa el nivel de potencia de la señal en la etapa final para ser transmitida al satélite.

Amplificador de Bajo Ruido (LNA)

Dispositivo que tiene como función amplificar la señal recibida del satélite a través de una antena con una contribución mínima de ruido.

Amplitud Modulada (AM)

Técnica de modulación mediante la cual la amplitud de una onda portadora de radio varía de acuerdo a la amplitud de la señal de entrada.

Ancho de banda

Es la diferencia entre dos frecuencias dadas. Rango de frecuencias ocupado por una señal.

Angulo de azimut

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

Angulo de elevación

Angulo de apuntamiento de una antena con respecto al plano horizontal.

Atenuación

Término general para denotar una disminución en la magnitud de una señal en una transmisión de un punto a otro. Puede ser expresada como la relación entre la magnitud de entrada y la magnitud de salida, o en decibeles.

Atenuación por lluvia

Pérdida o reducción de las características de potencia y polarización de las ondas radioeléctricas debido a la lluvia o a nubes muy densas. Varía de región a región de acuerdo a la tasa de pluviosidad.

Back off

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

Banda de frecuencias

Conjunto de frecuencias comprendidas entre límites determinados.

Banda ancha

De manera general, es un equipo o sistema a través del cual se transmite información a muy alta velocidad. Un sistema de comunicación de banda ancha puede incluir la transmisión simultánea de varios servicios como video, voz y datos.

Banda base

Banda de baja frecuencia que ocupan las señales antes de modular la señal portadora de transmisión.

Banda Ku

Rango de frecuencias que va de 11 a 18 GHz utilizada para la transmisión/recepción de señales del Servicio Fijo por Satélite.

Banda L

Rango de frecuencias ubicado entre 1 y 2 GHz. Se emplea para comunicaciones móviles por satélite.

BPSK

Técnica de modulación digital por corrimiento de fase binario. La información digital se transmite cambiando la fase de la portadora 180°.

Broadcast

Transmisión unidireccional a múltiples puntos receptores. Radiodifusión.

CCITT

Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía. Actual Sector de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T).

CCIR

Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicación. Actual Sector de Radiocomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R).

CDMA

Acceso Múltiple por División de Código; también conocida como Acceso Múltiple de Espectro Disperso. Técnica de acceso al satélite mediante la cual la señal es transmitida dentro de un determinado ancho de banda en ciertos periodos de tiempo a través de un código de transformación.

CW

Portadora limpia. Señal sin modular

Centro de control

Instalación integrada por sistemas y equipos para el control del satélite, recepción de telemetría y transmisión de comandos.

Cobertura

Región de tierra que es alcanzada por la radiofrecuencia emitida por un satélite. También se le denomina área de servicio.

Cobertura configurable

Capacidad del satélite para cambiar su área de servicio.

DAMA

Acceso Múltiple de Asignación por Demanda. Técnica de acceso al satélite en la que varias estaciones comparten un determinado ancho de banda en diferentes intervalos de tiempo en función de una solicitud de transmisión y dejándolo disponible para el uso de otras estaciones del sistema.

dB

Unidad estándar para expresar la relación entre dos parámetros utilizando logaritmos de base 10. Se utiliza debido a que facilita los cálculos cuando intervienen cantidades muy grandes y muy pequeñas como en el caso de los enlaces vía satélite.

dBW

Decibeles referidos a la potencia expresada en Watts. La potencia de los satélites se expresa en dBW.

Densidad de potencia de ruido

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

Eb/No

Relación de energía por bit a densidad espectral de ruido en Watts por Hertz.

Estación terrestre

Estación situada en un punto fijo en la Tierra destinada a establecer comunicación con una o varias estaciones espaciales, puede ser transmisora, receptora o transreceptora.

FDMA

Acceso Múltiple por División de Frecuencia. Técnica de acceso al satélite en la que cada portadora se transmite de manera constante en una frecuencia exclusiva durante todo el tiempo.

Figura de Mérito (G/T)

Es un indicador de la sensibilidad del sistema de recepción. Se define como la relación de la ganancia de la antena a la recepción con respecto a la temperatura de ruido del sistema a la recepción; sus unidades normalmente son dBi/K.

Guía de onda

Dispositivo para conducción de ondas electromagnéticas.

Modulación por Código de Pulsos (PCM)

Técnicas de modulación a través de la cual una señal analógica puede ser transmitida de manera digital mediante un proceso de muestreo, cuantificación y codificación. Tiene la ventaja de poder regenerar su señal digital en puntos intermedios del medio de transmisión, sin embargo requiere mayor ancho de banda.

Portadora

Señal de frecuencia fija generalmente, que es modulada por la señal de información a fin de transportarla.

Portadora limpia (CW)

Señal sin modular, onda continua.

Portadora modulada

Señal que variará su amplitud, fase o frecuencia con respecto a una referencia conocida de acuerdo a la técnica de modulación utilizada en la transmisión.

Posición orbital

Es la ubicación de un satélite en el arco orbital. Se expresa en grados (Este / Oeste) a partir del meridiano de Greenwich.

PSK

Modulación por Corrimiento de Fase. Técnica de modulación digital.

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE ó EIRP)

Es el resultado de la combinación de la potencia del transmisor con la ganancia de la antena en una dirección determinada: hacia el satélite o del satélite hacia la estación receptora. Se expresa en dBW. :

Rango

Es el proceso a través del cual se determina la ubicación exacta del satélite.

Relación portadora a densidad de ruido (C/No)

Relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz. Se expresa en dB/Hz.

Relación portadora a ruido (C/N)

Relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa. Se expresa en dB.

Relación señal a ruido

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

Ruido

Señales indeseables en un circuito de comunicaciones. Se expresa en dB.

Ruido térmico

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

Ruido de intermodulación

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

Satélite

Cuerpo que gira alrededor de otro y cuyo movimiento está determinado principal y permanentemente por la fuerza de atracción de éste último. En comunicaciones, artefacto puesto alrededor de la Tierra como repetidor de señales de radiofrecuencia.

Satélite geoestacionario

Satélite geosincrónico cuya órbita circular se encuentra sobre el plano ecuatorial y que aparentemente permanece fijo con respecto a un punto determinado sobre la Tierra. La altura de la órbita geoestacionaria es de aproximadamente 36,000 kms.

TDMA

Acceso Múltiple por División de Tiempo. Técnica de acceso al satélite en la que un determinado ancho de banda es utilizado por múltiples estaciones en diferentes intervalos de tiempo.

Transpondedor

Parte esencial del subsistema de comunicaciones de un satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla nuevamente a una estación terrena ubicada dentro de su área de cobertura.

UIT

Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union).

Vida útil de un satélite

Periodo de tiempo en el que un satélite presta servicios.