



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica

**Documentación de los requerimientos técnicos para la introducción de
telefonía domiciliar vía satélite en la aldea El Naranjo en el municipio
de La Libertad del departamento del Petén.**

César Augusto Montejo Cardona

Asesorado por el Ing. Manuel Alburez Rosales

Guatemala, mayo de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA
INTRODUCCIÓN DE TELEFONÍA DOMICILIAR VÍA SATÉLITE EN LA
ALDEA EL NARANJO EN EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD DEL
DEPARTAMENTO DEL PETÉN.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CESAR AUGUSTO MONTEJO CARDONA

ASESORADO POR ING. MANUEL ALBUREZ ROSALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Edwin Efraín Segura Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE TELEFONÍA DOMICILIAR VÍA SATÉLITE EN LA ALDEA NARANJO EN EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DEL PETÉN,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 12 de septiembre de 2005.

César Augusto Montejo Cardona



Guatemala, 8 de mayo del 2006.

Ingeniero
Ángel Roberto Sic García
Coordinador Unidad EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Sic:

Por este medio le informo que como asesor del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) del estudiante de la carrera de ingeniería electrónica CESAR AUGUSTO MONTEJO CARDONA, procedí a revisar el informe final de la practica de EPS, titulado **DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE TELEFONIA DOMICILIAR VÍA SATÉLITE EN LA ALDEA EL NARANJO EN EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DEL PETÉN**, habiéndolo encontrado satisfactorio.

Cabe mencionar que los puntos planteados en este trabajo contribuyen un valioso aporte a la Universidad de San Carlos de Guatemala, a la empresa Teléfonos del Norte y en general a la republica de Guatemala.

En tal virtud, lo doy por aprobado, solicitando dar el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,


Ing. Manuel Estuardo Alburez Rosales
Coordinador de Operaciones
Colegiado 3384
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS
Tel. 24423509

Guatemala, 12 de mayo de 2006
Ref. FPS. C. 245.05.06

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
Coordinadora Unidad de EPS, a.i.
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **CÉSAR AUGUSTO MONTEJO CARDONA**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, cuyo título es titulado **"DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE TELEFONÍA DOMICILIAR VÍA SATÉLITE EN LA ALDEA EL NARANJO EN EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN"**.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Fé y Obediencia a Dios"

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica - Eléctrica



cc. Archivo
KIER/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS
Tel. 24423509

Guatemala, 12 de mayo de 2006
Ref. EPS. C. 245.05.06

Ing. Renato Escobedo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Escobedo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE TELEFONÍA DOMICILIAR VÍA SATÉLITE EN LA ALDEA EL NARANJO EN EL MUNICIPIO DE LA LIBERTAD DEL DEPARTAMENTO DE PETÉN".

Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario, CÉSAR AUGUSTO MONTEJO CARDONA, quien fue asesorado por el Ing. Manuel Albúrez Rosales y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la APROBACION DEL MISMO por parte del asesor y supervisor, ESTA COORDINACION TAMBIEN APRUEBA SU CONTENIDO; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Dad y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena
Coordinadora Unidad de EPS, a.i.



cc. Archivo
NISZ/jm

ACTO QUE DEDICO A

- DIOS** Por darme la sabiduría para realizar este trabajo
- MIS PADRES** Tomás Montejo Díaz y Herlinda Cardona Estrada, por darme el don de la vida, dedicación, apoyo y amor necesario para obtener este logro.
- MIS HERMANOS** Antonia Herlinda
Elva Marina
Julio César
Por su apoyo y cariño.
- MI NOVIA** Ingrid Batres España, por brindarme siempre su apoyo y amor.
- MIS AMIGOS**

AGRADECIMIENTOS A

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La facultad de ingeniería

El Ing. Manuel Alburez

Lorenzo Mota

Teléfonos del Norte y todo su personal con quienes inicie mi vida laboral

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.1.1. Reseña histórica	1
1.1.2. Misión de la empresa	1
1.1.3. Visión de la empresa	3
1.2. Servicios de telecomunicaciones que brinda la empresa.....	3
1.2.1. Telefonía comunitaria vía satélite	3
1.2.2. Telefonía domiciliar vía satélite	4
1.2.3. Transmisión de datos vía satélite	4

2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES

2.1. Sistemas de comunicación.....	5
2.1.1 Medios de transmisión.....	5
2.1.1.1 Medios guiados.....	6
2.1.1.2 Medios no guiados.....	8
2.1.2 Ondas electromagnéticas.....	9
2.1.2.1 Frecuencia	10
2.1.2.2 Ancho de banda.....	12

2.1.2.3	Espectro electromagnético	12
2.1.3	Ruido.....	13
2.1.4	Relación señal a ruido	15
2.2.	Teléfono	16
2.2.1	Historia y evolución.....	16
2.2.2	Funcionamiento	17
2.2.3	Central telefónica	18
2.2.3.1	Unidad de conmutación	18
2.2.3.2	Unidad de control	19
2.2.4	Redes telefónicas	20
2.3	Transmisiones satelitales.....	21
2.3.1	Satélites y su clasificación	21
2.3.1.1	Satélites geoestacionarios (GEO)	22
2.3.1.2	Satélites no geoestacionarios.....	23
2.3.1.2.1	Satélites MEO.....	23
2.3.1.2.2	Satélites LEO.....	24
2.3.2	Estructura del satélite	24
2.3.3	Parámetros de los sistemas satelitales	26
2.3.3.1	Frecuencia	26
2.3.3.2	Modulación.....	27
2.3.3.2.1	FSK.....	28
2.3.3.2.2	ASK.....	28
2.3.3.2.3	PSK.....	29
2.3.3.3	Técnica de acceso múltiple.....	30
2.3.3.3.1	TDM.....	30
2.3.3.3.2	FDM	31
2.3.3.3.3	CDMA	31
2.3.3.4	Control de errores	31
2.3.3.4.1	Detección de errores	32

2.3.3.4.2	Corrección de errores.....	32
2.3.4	Ventajas y desventajas de los sistemas satelitales.....	34
3.	DATOS GENERALES DE LA ALDEA EL NARANJO	
3.1.	Ubicación geográfica	35
3.2.	Datos de población	35
3.3.	Datos de habitación	36
3.4.	Principales actividades económicas.....	37
3.5.	Actuales servicios de comunicación.....	37
3.6.	Demanda del servicio de telefonía comunitaria	38
4.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE SATELITAL	
4.1.	Datos necesarios para realizar el cálculo.....	39
4.2.	Cálculos iniciales	40
4.2.1	Apuntamiento de las antenas	40
4.2.2	Distancia entre la estación terrena y el satélite.....	43
4.2.3	Ancho de banda.....	44
4.3.	Enlace ascendente	46
4.4.	Enlace descendente	50
4.5.	Enlace total	54
4.6.	Evaluación del enlace.....	59
5.	EQUIPOS A UTILIZAR	
5.1.	ISAT (integrated systems access terminal)	
5.1.1	Configuración de red.....	64
5.1.2	Beneficios de frame relay	66
5.1.3	Procesamiento y enrutamiento de datos	67
5.1.4	SIU (station interface unit)	68

5.1.5	Transmisor digital.....	72
5.1.6	Receptor digital	73
5.1.7	CX950e	76
5.1.8	CX2000	77
5.2.	DSCO eagle.....	79
5.3.	Antena.....	82
5.3.1	LNB	83
5.3.2	Transmisor	85

6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE TELECOMUNICACIONES

6.1.	Alimentación de los equipos de telecomunicaciones	87
6.1.1	Valores de las tensiones continuas	88
6.1.2	Tolerancias de las tensiones continuas.....	88
6.1.3	Clases de servicio de alimentación para equipos de telecomunicaciones	89
6.1.3.1	Servicio con rectificadores	89
6.1.3.2	Servicio en paralelo.....	89
6.1.3.2.1	Servicio tampón	90
6.1.3.2.2	Servicio con disponibilidad inmediata.....	90
6.1.3.3	Servicio de conmutación.....	91
6.1.3.3.1	Con interrupción.....	91
6.1.3.3.2	Sin interrupción	91
6.2.	Interferencias eléctricas	92
6.2.1	Concepto.....	92
6.2.2	Susceptibilidad electromagnética	92
6.3.	Sistema de tierra física	92
6.3.1	Cableado de puesta a tierra y conectores	94
6.3.2	Normativa para el diseño de puesta a tierra.....	96

6.3.2.1	Aterrizaje de la antena	96
6.3.2.2	Barra de aterrizaje.....	98
6.3.2.3	Aterrizaje de equipos de RF, antenas y líneas de transmisión.....	99
6.3.2.4	Aterrizaje de interiores.....	100
6.3.2.4.1	Anillo de aterrizaje.....	100
6.3.2.4.2	Barra de aterrizaje.....	101
6.3.2.5	Aterrizaje de los racks.....	101
6.3.2.6	Aislamiento de fallas a tierra.....	102
6.4.	Instalación de sistemas de protección.....	103
6.4.1	Protección contra descargas electroatmosféricas.....	103
6.4.1.1	Tubo de descarga de gas (GDTs).....	104
6.4.1.2	Varistores de oxido de metal (MOVs).....	105
6.4.1.3	Diodos supresores de avalancha de silicio.....	105
6.4.1.4	Circuito hibrido en serie.....	106
CONCLUSIONES.....		109
RECOMENDACIONES.....		111
BIBLIOGRAFÍA.....		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de comunicacion.....	5
2.	Cable multipar.....	6
3.	Estructura de un cable coaxial	7
4.	Estructura de la fibra óptica.....	8
5.	Ondas a baja y alta frecuencia.....	11
6.	Grafico potencia vrs. frecuencia.....	15
7.	Clasificación de los satélites.....	22
8.	Satélite MEO	23
9.	Satélite LEO.....	24
10.	Estructura básica del satélite	26
11.	Técnicas de modulación.....	30
12.	Huella del satélite satmex 5 en banda C	51
13.	Red de servicios ISAT	64
14.	Red ISAT con estación maestra	65
15.	Elementos básicos en una red ISAT	67
16.	Conexiones al equipo SIU	69
17.	Conexión del equipo SIU en un sistema ISAT	70
18.	Diagrama de bloques de la SIU	71
19.	Diagrama de bloques del transmisor digital	72
20.	Diagrama de bloques del receptor digital.....	75
21.	Equipo memotec CX950e.....	76
22.	Equipo memotec CX2000.....	78
23.	Módulos de tarjetas y de alimentacion del DSCO eagle.....	80
24.	Antena prodelin.....	83

25.	LNB norsat.....	84
26.	Transmisor norsat.....	85
27.	Anillo de aterrizaje externo.....	97
28.	Barra de tierra.....	98
29.	Anillo de aterrizaje interno.....	100
30.	Anillo de tierra de los gabinetes conectados al anillo principal.....	101
31.	Tubo de descarga de gas.....	104
32.	Esquema de un MOV y su comportamiento.....	105
33.	Esquema de un SASD y su comportamiento.....	106
34.	Circuito supresor hibrido en serie.....	107

TABLAS

I.	Bandas de frecuencia utilizadas en transmision satelital.....	27
II.	Datos de las estaciones terrenas.....	43
III.	Características de la antena.....	82
IV.	Características del LNB.....	84
V.	Características del transmisor.....	85
VI.	Capacidad de corriente para distintos calibres de cable.....	94

LISTA DE SÍMBOLOS

A	azimut
APU	unidad de procesamiento avanzado – <i>advanced processor unit board</i>
ARQ	petición automática para retransmisión
ASC	ascendente
ASC1	enlace ascendente entre la estación terrena ubicada en la ciudad de Guatemala hacia el satélite
ASC2	enlace ascendente entre la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo hacia el satélite
ASK	modulación por desplazamiento de amplitud - <i>amplitude-shift keying</i>
AWG	<i>american wire gauge</i>
BER	proporción de bits erróneos - <i>bit error rate</i>
BPSK	modulación binaria por desplazamientos de fase

BOO	<i>output back off</i>
CA	corriente alterna
C/I	intermodulación ascendente
C/No	relación portadora a densidad de ruido
C/N	relación portadora a ruido
C/Xpol	polarización cruzada ascendente
C/Xsatady	satélite adyacente ascendente
CDMA	acceso múltiple por división de código
DAMA	<i>demand access multiple access</i>
DC	corriente directa
DESC	descendente
DESC1	enlace descendente entre el satélite y la estación terrena ubicada en la ciudad de Guatemala
DESC2	enlace descendente entre el satélite y la estación terrena ubicada en aldea El Naranjo

DHLC	<i>digital hybrid line circuit</i>
DSB	<i>device serial bus</i>
Eb/No	relación señal a ruido a la salida de los equipos
EMI	interferencia electromagnética
E/T	estación terrena
FADE	<i>federal aviation administration /airline data exchange</i>
FDM	acceso múltiple por división de frecuencia
FEC	seguimiento de corrección de error - <i>forward error correction</i>
FM	modulación de frecuencia
FSK	modulación por desplazamiento de frecuencia - <i>frequency shift keying</i>
FUD	<i>framed user data</i>
GEO	órbita terrestre geosíncrona
IDU	equipo electrónico diseñado para interiores

IEEE	<i>institute of electrical and electronics engineers</i>
IF	frecuencia intermedia
IFL	<i>inter facility link</i>
IP	protocolo internet
ISAT	<i>integrated systems access terminal</i>
ME	margen del enlace
MEO	satélites de órbita terrestre media
MCPC	<i>multiple channel per carrier</i>
MODEM	modulador-demodulador - <i>modulator-demodulator</i>
MOVs	varistores de óxido de metal
NCS	procesador de control de la red - <i>network control system</i>
NMS	<i>network management system</i>
LEO	satélites de órbita terrestre baja
LNB	banda de bajo ruido - <i>low noise band</i>
LS_{des}	pérdidas en el espacio libre descendente

LSI	escala de integración grande
ODU	equipo electrónico de radiofrecuencia diseñado para exterior
PIRE	potencia isotrópica radiada efectiva
PIRE_{E/T}	potencia isotrópica radiada efectiva desde la estación terrera.
PSK	modulación por desplazamientos de fase o modulación en fase
QPSK	modulación en cuadratura por desplazamiento de fase - <i>quadrature phase shift keying</i>
RCVR	receptor
RF	radiofrecuencia
SASDs	diodos supresores de avalancha de Silicio
SATMEX	satélites mexicanos
SCPC	<i>single channel per carrier</i>
SIU	unidad de supervisión de estación - <i>station interface unit</i>

SLI	tarjeta de interfase a subscriptores
SNR o S/N	relación señal/ruido - <i>signal to noise ratio</i>
TDMA	acceso múltiple por división de tiempo
THW	<i>thermoplastic heat and moisture (water) resistant</i>
THHW	<i>thermoplastic high heat moisture (water) resistant</i>
TWTA	amplificador de ondas progresivas
VoIP	voz sobre protocolo de Internet
VSAT	terminales de muy pequeña abertura

GLOSARIO

Azimut	Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.
Amplificador	Dispositivo que aumenta el nivel de las señales.
Amplificador de alta potencia HPA	Elemento del transpondedor del satélite encargado de entregar señales con suficiente nivel para que puedan ser recibidas en la tierra a partir de señales de entrada con niveles bastante bajos.
Amplificador de bajo ruido LNA	Es un amplificador de bajo ruido, dispositivos que aumentan el nivel de señales muy débiles, adicionándoles muy poco ruido.
Analógico (a)	Señal, sistema, equipo o método que maneja valores eléctricos continuos en el tiempo.
Ancho de banda	Anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información de una emisión determinada a la velocidad de transmisión y con la calidad requerida en condiciones específicas.
Antena	Elemento encargado de emitir y captar señales, convierte energía eléctrica en electromagnética y viceversa.

Antena isotr3pica	Antena que radia se1ales con igual intensidad en todas direcciones.
Apogeo	Distancia mayor entre dos cuerpos cuando uno de ellos describe una 3rbita el3ptica alrededor del otro.
Atenuaci3n	Es la reducci3n en la densidad de potencia con la distancia.
Banda base	Se1al de informaci3n que modula la portadora principal.
Banda de frecuencia	Es una porci3n continua del espectro radioel3ctrico comprendida entre una frecuencia m3nima o l3mite inferior y una frecuencia m3xima o l3mite superior.
Banda de guarda	Banda de frecuencia sin ocupar que aparece entre dos se1ales que ocupan anchos de banda adyacentes.
Canal	Agrupaci3n de un conjunto de frecuencias que son utilizadas para el mismo fin, por ejemplo un canal telef3nico.
Codificar	Modificar una se1al de acuerdo a ciertas normas con el objeto de reducir los errores en la recuperaci3n de la misma.
Comunicaci3n <i>full duplex</i>	Esta se da cuando es posible recibir y transmitir informaci3n al mismo tiempo a trav3s de un canal.
Convertidor de bajada <i>downconverter</i>	Equipo de la estaci3n terrena encargado de convertir la se1al de RF proveniente del sat3lite en una se1al de frecuencia intermedia.

Convertidor de subida <i>upconverter</i>	Equipo de la estación terrena encargado de convertir una señal de frecuencia intermedia a una frecuencia superior para que dicha señal pueda ser transmitida a través del espacio.
Decodificación	Recuperar una señal que ha sido modificada de acuerdo a ciertas normas.
Demodulación	Recuperar una señal que ha sido previamente combinada con otra de mayor frecuencia para facilitar su transmisión a través del espacio.
Directividad de antena	Es la máxima ganancia en una dirección específica de acuerdo al patrón de radiación de una antena.
Duplexor	Elemento utilizado para poder separar las señales de transmisión y recepción con el objeto de utilizar la misma antena para los dos propósitos.
Enlace	Comunicación entre dos o más puntos. Un enlace satelital es la comunicación entre dos estaciones terrenas utilizando un satélite como repetidor.
Enlace descendente	Comunicación en la que el satélite actúa como transmisor hacia la estación terrena que actúa como receptor.
Enlace ascendente	Comunicación en la cual la estación terrena actúa como transmisor y el satélite como receptor.
Espectro	Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa.

Estación terrena	Estaciones que se encuentran ubicadas en la tierra y se comunican con un satélite, incluyen una antena, una parte de transmisión y otra de recepción.
Filtro	Elemento utilizado para dejar pasar rangos de frecuencia deseados y bloquear rangos de frecuencia no deseados.
Frecuencia	Número de ciclos que por segundo efectúa una onda del espectro radioeléctrico.
Frecuencia intermedia	Frecuencia inferior a la frecuencia útil para ser radiada a través del espacio libre, se utiliza en equipos que emplean el principio superheterodino.
Ganancia	Capacidad o medida de amplificación de señales,
Geoestacionario	Elemento que permanece fijo con respecto a un punto sobre la superficie de la tierra.
Huella satelital	Forma del área de la superficie de la tierra cubierta por la señal transmitida desde la antena del satélite.
Interferencia	Señal indeseable que degrada o perjudica una señal de interés.
Intermodulación	Resulta de una combinación de transmisores y emisiones espurias no deliberadas.
Ionizante	Flujo de partículas o fotones con suficiente energía para producir ionizaciones al atravesar una sustancia.

Ionosfera	Conjunto de capas de la atmósfera que están por encima de los 80 km. Presentan fuerte ionización causada por la radiación solar y afectan, de modo importante, a la propagación de las ondas radioeléctricas.
Módem	Equipo que integra un modulador para la transmisión y un demodulador para la recepción.
Modulación	Variar el valor de la amplitud, frecuencia o fase de una onda portadora en función de una señal.
Multiplexación	Combinar varias señales en una sola utilizando ciertos normas para luego poder recuperarlas en forma independiente.
Omnidireccionales	Antena que tiene un patrón de radiación con ganancia equivalente en un círculo de cobertura de 360°.
Órbita	Patrón que sigue un cuerpo cuando gira alrededor de otro.
Perigeo	La distancia menor entre dos cuerpos cuando uno de ellos describe una órbita elíptica alrededor de otro.
Polarización	Dirección con la que una antena radia el campo eléctrico de una señal electromagnética, existen polarizaciones lineales (horizontal y vertical) y polarizaciones circulares (izquierda y derecha).
Portadora	Señal que facilita el transporte de otra señal de menor frecuencia al combinarse adecuadamente
Ruido	Señales indeseables de distintas frecuencias que perjudican a una señal de interés.

Satélite	Cuerpo secundario que orbita alrededor de otro cuerpo mayor, denominado principal, puede ser natural o artificial.
Sincronización	Coordinación adecuada en el tiempo de una o mas señales.
Técnica de acceso	Forma en la que las diferentes estaciones terrenas hacen uso del transpondedor del satélite siguiendo un conjunto de normas para administrar adecuadamente el ancho de banda.
Topología	Forma en la que un conjunto de estaciones se encuentran interconectadas.
Transpondedor	Equipo del satélite que se encarga de recibir las señales que han sido transmitidas por estaciones terrenas, las amplifica, las traslada en frecuencia y las retransmite de vuelta hacia la tierra para que sean captadas por otra estación terrena.

RESUMEN

En la actualidad la comunicación telefónica es una necesidad dentro de la sociedad, ya que nos permite acortar distancias y reducir tiempos. En muchas comunidades del área rural de Guatemala la necesidad de telefonía es cada vez mayor y no se cuenta con una forma para satisfacer dicha demanda.

La telefonía satelital es una buena alternativa para cubrir la demanda de comunicación de ciertas comunidades ofreciendo un servicio de gran calidad a un precio razonable.

Para la implementación de un proyecto de telefonía domiciliar vía satélite se realizan estudios de factibilidad y rentabilidad para la determinación del sitio de instalación, una vez determinado el sitio se procede a realizar los cálculos del enlace satelital y a determinar la capacidad de tráfico que el equipo a instalar deberá manejar tomando en cuenta incrementos de demanda en el futuro.

Para la instalación del equipo de telecomunicaciones se deben cumplir con normas específicas para el sistema de alimentación y para dispositivos de protección, además de tener una eficiente red de tierra, tanto en el interior como en el exterior de la sala de equipo, para resguardar la integridad de los equipos.

OBJETIVOS

General

- Analizar y documentar los requerimientos técnicos para la introducción de telefonía domiciliar en la aldea El Naranjo del municipio de La Libertad del departamento del Petén.

Específicos

1. Desarrollar conceptos elementales para la comprensión de los conceptos de telefonía y transmisiones satelitales.
2. Describir el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones utilizados para redes telefónicas y para enlaces satelitales de transmisión de voz.
3. Documentar los cálculos necesarios para la implementación de un enlace satelital.
4. Documentar las características técnicas, lineamientos y procedimientos para el desarrollo del proyecto de telefonía domiciliar vía satélite.
5. Documentar las características técnicas de alimentación de energía y protección que requieren los equipos de telecomunicaciones instalados en un área rural.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las telecomunicaciones son parte de la vida cotidiana, permitiéndonos comunicarnos de múltiples formas de las cuales figura como la más común el teléfono. En Guatemala aún existen zonas en el área rural que no cuentan con un servicio adecuado de telefonía y en algunos lugares no se cuenta con dicho servicio.

El Petén es el departamento con menor cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado y el de mayor extensión territorial de Guatemala, estas características permiten que existan grandes distancias entre comunidades habiendo de esta forma comunidades bastante aisladas y con medios de comunicación deficientes o nulos.

El propósito de este trabajo de graduación, es documentar los requerimientos técnicos para la implementación de un sistema de telefonía domiciliar vía satélite en la aldea El Naranjo del municipio La Libertad del departamento de El Petén.

En este trabajo se incluye definiciones de conceptos concernientes a redes telefónicas y enlaces satelitales, cálculo del enlace satelital, características técnicas para la instalación de equipos y una descripción de equipos utilizados en enlaces satelitales y en redes de telefonía.

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes de la empresa

1.1.1. Reseña histórica

Teléfonos del Norte, S.A. inicia operaciones a mediados del año 1999 a raíz de la necesidad de sistemas de comunicación fiables y con altas prestaciones en las áreas rurales de Guatemala ofreciendo el servicio de Telefonía Satelital para dichas zonas, naciendo así el servicio de telefonía comunitaria que Teléfonos del Norte, S.A. presta en la actualidad. Inicialmente con cobertura en los departamentos de Totonicapán, Chimaltenango, Jutiapa, Jalapa, Zacapa y Chiquimula; en la actualidad se tienen estaciones remotas en casi todos los departamentos del país.

En el año 2000 se introdujo el servicio de transmisión de datos vía satélite, dando con este servicio enlaces de datos seguros y con un alto grado de calidad de servicio. En el año 2002 se introdujo el servicio de telefonía domiciliar en los municipios de Monjas en el departamento de Jalapa y en el municipio de San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. Proporcionando con estos proyectos telefonía domiciliar de alta calidad a comunidades completas. Actualmente Teléfonos del Norte S.A. cuenta con redes de telefonía domiciliar en 30 comunidades en el interior de Guatemala.

1.1.2. Misión de la empresa

Teléfonos del Norte, S. A., es una empresa fundada con el objetivo de proponer soluciones inalámbricas en el mercado de las telecomunicaciones en Guatemala. Nuestro escenario de operaciones se ha centrado inicialmente en soluciones de difícil acceso, donde las tecnologías

tradicionales (cables, fibras ópticas, radios) no son capaces de prestar servicios. Teniendo en consideración las condiciones mencionadas Teléfonos Del Norte, S. A. emplea, para lograr su objetivo, la más moderna tecnología digital satelital disponible en el mercado.

La tecnología satelital con que contamos además de permitir prestar servicios en cualquier punto del territorio nacional permite una rápida instalación, un alto grado de calidad de servicio (99.95 % disponibilidad anual), precio competitivo versus otras tecnologías. En la actualidad Teléfonos del Norte ha instalado y puesto en operación alrededor de 800 antenas satelitales VSATs distribuidas en todos los departamentos del país.

En teléfonos del Norte, S.A. creemos y perseguimos cumplir con:

Calidad:

En todos nuestros servicios y productos, para lograr la satisfacción de nuestros clientes.

Responsabilidad:

De la inversión de nuestros accionistas y clientes; apoyando el mejor aprovechamiento de sus recursos

Respeto:

Por nuestros colaboradores y clientes, dando reconocimiento a sus esfuerzos y servicios

Competitividad:

Ofreciendo no solo planes tarifarios atractivos al mercado, sino que también servicios agregados y atención personalizada.

1.1.3. Visión de la empresa

Teléfonos del Norte, S.A. busca ser la empresa numero uno en telecomunicaciones satelitales en el mercado guatemalteco, prestando una diversa cantidad de servicios para poder ofrecer a nuestros clientes la solución que mejor se ajuste a sus requerimientos. Además Teléfonos del Norte S.A. pretende brindar servicios de telecomunicaciones a cualquier entidad o persona que las requiera y cuya limitante sea residir en lugares de difícil acceso en el país.

Actualmente Teléfonos del Norte S.A. cuenta con más de 4500 líneas telefónicas comunitarias en 800 sitios en el interior del país y 200 enlaces de transmisión de datos en todo el país, además de prestar el servicio de telefonía domiciliar a 30 comunidades en el interior del país.

Creemos en la comunicación con los seres queridos, Acercamos a las comunidades de Guatemala y el resto del mundo. Acortamos distancias. Propiciamos negocios y mejoramos la economía de nuestro cliente.

1.2. Servicios de telecomunicaciones que brinda la empresa

Teléfonos del Norte, S. A. tiene a disposición los siguientes servicios:

1.2.1 Telefonía comunitaria vía satélite

El objetivo principal de este servicio es satisfacer la necesidad de comunicar las comunidades rurales donde otras empresas de telefonía no prestan servicio. Se instala un equipo de comunicaciones satelital, con lo que se ofrecen hasta tres líneas de teléfono, interconectadas a la red nacional de telefonía.

1.2.2 Telefonía domiciliar vía satélite.

Por medio de este servicio se provee de servicio telefónico a una comunidad completa, con un máximo de hasta 500 usuarios por comunidad, aunque se puede incrementar esta cantidad con módulos de expansión. Se instala un equipo de comunicaciones satelital, una planta telefónica y se llega hasta el cliente final por medio de cables de cobre cuyo origen es la planta telefónica.

1.2.3 Transmisión de datos vía satélite.

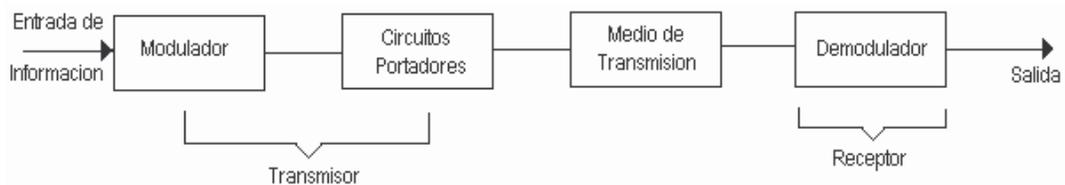
Servicio diseñado para satisfacer las necesidades y exigencias de nuestros clientes para aplicaciones transaccionales; como la banca, actualización de inventarios, etc. Configuración del sistema punto-multipunto. Protocolo de transporte IP.

2 CONCEPTOS Y DEFINICIONES ELEMENTALES

2.1 Sistemas de comunicación

Generalmente, un sistema de comunicaciones completo incluye un transmisor, un medio de transmisión (sobre el cual la información se transmite) y un receptor, el cual debe producir a su salida una replica reconocible de la información de la entrada. En la mayor parte de los sistemas de comunicaciones la transmisión de información esta estrechamente relacionada con la modulación o la variación que sufre en el tiempo una señal senoidal especial, llamada portadora.

Figura1. Un sistema de comunicaciones



2.1.1 Medios de transmisión

Por medio de transmisión, se entiende el material físico cuyas propiedades de tipo electrónico, mecánico, óptico, o de cualquier otro tipo se emplea para facilitar el transporte de información entre terminales distante geográficamente.

Entre los diferentes medios utilizados se puede mencionar: el cable de par trenzado, el cable coaxial, la fibra óptica y el espectro electromagnético (en transmisiones inalámbricas). Su uso depende del tipo de aplicación

particular ya que cada medio tiene sus propias características de costo, facilidad de instalación, ancho de banda soportado y velocidades de transmisión máxima permitidas.

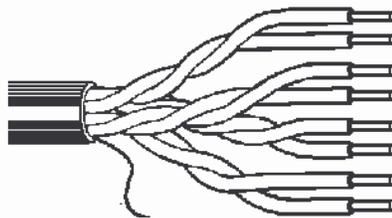
2.1.1.1 Medios guiados

Se conoce como medios guiados a aquellos que utilizan componentes físicos y sólidos para la transmisión de datos. También conocidos como medios de transmisión por cable.

Cable de pares / Par Trenzado:

Consiste en hilos de cobre aislados por una cubierta plástica y torzonada entre sí. La utilización del trenzado tiende a disminuir la interferencia electromagnética.

Figura 2. Cable multipar



Este tipo de medio es el más utilizado debido a su bajo costo pero su inconveniente principal es su poca velocidad de transmisión y su corta distancia de alcance. Se utilizan con velocidades inferiores al MHz (de aprox. 250 KHz). Se consiguen velocidades de hasta 16 Mbps. Con estos cables, se pueden transmitir señales analógicas o digitales. Es un medio muy susceptible a ruido y a interferencias. Para evitar estos problemas se suele trenzar el cable con distintos pasos de torsión y se suele recubrir con una malla externa para evitar las interferencias externas.

Cable coaxial:

Consiste en un cable conductor interno separado de otro cable conductor externo por anillos aislantes o por un aislante macizo. Todo esto se recubre por otra capa aislante que es la funda del cable. Este cable, aunque es más caro que el par trenzado, se puede utilizar para distancias más largas, velocidades de transmisiones mayores y con menores niveles de interferencia. Sus inconvenientes principales son: atenuación, ruido térmico, ruido de intermodulación. Para señales analógicas se necesita un amplificador cada pocos kilómetros y para señales digitales un repetidor cada kilómetro.

Figura 3. Estructura de un cable Coaxial



El cable coaxial es más resistente a interferencias y atenuación que el cable de par trenzado.

La malla de hilos protectora absorbe las señales electrónicas pérdidas, de forma que no afecten a los datos que se envían a través del cable de cobre interno. Por esta razón, el cable coaxial es una buena opción para grandes distancias y para soportar de forma confiable grandes cantidades de datos con un equipamiento poco sofisticado.

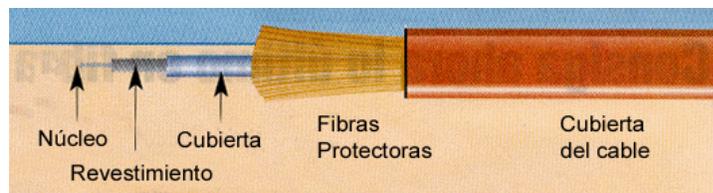
Fibra óptica:

Es el medio de transmisión más novedoso dentro de los guiados y su uso se esta masificando en todo el mundo reemplazando el par trenzado y el cable coaxial en casi todo los campos. En este medio los datos se

transmiten mediante una haz confinada de naturaleza óptica, es mucho más caro y difícil de manejar pero sus ventajas sobre los otros medios lo convierten muchas veces en una muy buena elección al momento de observar rendimiento y calidad de transmisión.

Físicamente un cable de fibra óptica esta constituido por un núcleo formado por una o varias fibras o hebras muy finas de cristal o plástico; un revestimiento de cristal o plástico con propiedades ópticas diferentes a las del núcleo, cada fibra viene rodeada de su propio revestimiento y una cubierta plástica para protegerla de humedades y el entorno.

Figura 4. Estructura de una fibra óptica



En el cable de fibra óptica las señales que se transportan son señales digitales de datos en forma de pulsos modulados de luz. Esta es una forma relativamente segura de enviar datos debido a que, a diferencia de los cables de cobre que llevan los datos en forma de señales electrónicas, los cables de fibra óptica transportan impulsos no eléctricos. El cable de fibra óptica es apropiado para transmitir datos a velocidades muy altas y con grandes capacidades debido a la carencia de atenuación de la señal y a su pureza.

2.1.1.2 Medios no guiados

Los medios no guiados o sin cable han tenido gran aceptación por ser un medio capaz de cubrir grandes distancias y hacia cualquier dirección, su

mayor logro se dio desde la conquista espacial a través de los satélites y su tecnología no para de cambiar.

Microondas:

En un sistema de microondas se usa el espacio como medio físico de transmisión. La información se transmite en forma digital a través de ondas de radio de muy corta longitud.

Microondas terrestres: Suelen utilizarse antenas parabólicas. Para conexiones a larga distancia, se utilizan conexiones intermedias punto a punto entre antenas parabólicas.

Se suelen utilizar en sustitución del cable coaxial o las fibras ópticas ya que se necesitan menos repetidores y amplificadores, aunque se necesitan antenas alineadas.

Microondas por satélite: El satélite recibe las señales, las amplifica y las retransmite en la dirección adecuada. Para mantener la alineación del satélite con los receptores y emisores de la tierra, el satélite debe ser geoestacionario.

2.1.2 Ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas son una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.

Maxwell desarrolló sus ecuaciones de las que se desprende que un campo eléctrico variante en el tiempo genera un campo magnético y viceversa, la variación temporal del campo magnético genera un campo eléctrico. Se puede visualizar la radiación electromagnética como dos

campos que se generan mutuamente, por eso no necesitan ningún medio material para propagarse. Las ecuaciones de Maxwell también predicen la velocidad de propagación en el vacío (que se representa c y tiene un valor de 299,792 Km/s), y su dirección de propagación (perpendicular a las oscilaciones del campo eléctrico y magnético, que a su vez son perpendiculares entre sí).

Dependiendo del fenómeno estudiado, la radiación electromagnética se puede considerar no como una serie ondas, sino como un chorro de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-corpúsculo hace que cada fotón tenga una energía proporcional a la frecuencia de la onda asociada, dada por la relación de Planck: $E = h \cdot \nu$, donde E es la energía del fotón, h es la Constante de Planck y ν es la frecuencia de la onda.

Así mismo, considerando la radiación electromagnética como onda, la longitud de onda λ y la frecuencia de oscilación ν están relacionadas por una constante, la velocidad de la luz en el medio (c en el vacío):

$$c = \lambda \cdot \nu$$

A mayor longitud de onda menor frecuencia (y menor energía según la relación de Plank).

2.1.2.1 Frecuencia

La frecuencia es la magnitud física que mide las veces por unidad de tiempo en que se repite un ciclo de una señal periódica. . Se define como el número de veces que se repite un fenómeno en la unidad de tiempo.

La unidad de medida es el hercio (Hz), en honor al físico alemán Heinrich Rudolf Hertz, donde 1 Hz es un evento que tiene lugar una vez por segundo.

Alternativamente, se puede medir el tiempo entre dos ocurrencias del evento (periodo) y entonces la frecuencia es la inversa de este tiempo:

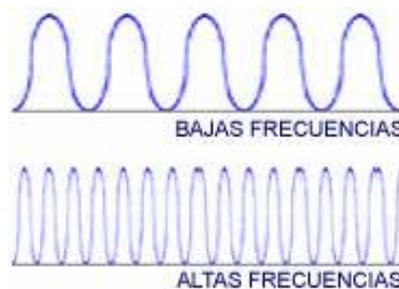
$$f = \frac{1}{T},$$

Donde T es el período, medido en segundos (s).

En mecánica ondulatoria, la frecuencia se define como el número de oscilaciones por segundo.

Si se producen muchas oscilaciones en un segundo estaremos hablando de altas frecuencias, si, por el contrario, son pocas, hablamos de bajas frecuencias.

Figura 5. Ondas a baja y alta frecuencia



La frecuencia se representa con la letra (f) y se expresa en hercios.

- 1 Hz equivale a 1 ciclo/s
- 1 Kilohercio (kHz) = 1.000 Hz.
- 1 Megahercio (MHz) = Un millón de hercios.
- 1 Gigahercio (GHz) = Mil millones de hercios.

La frecuencia esta relacionada con la longitud de onda. De hecho, la velocidad de propagación se define como el producto de la longitud de onda por la frecuencia. Lo que significa que a longitudes de onda más pequeñas mayor frecuencia y viceversa.

2.1.2.2 Ancho de banda

El ancho de banda es la anchura medida en hertz, del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Puede ser calculado a partir de una señal temporal mediante el análisis de Fourier. También son llamadas frecuencias efectivas las pertenecientes a este rango.

Una señal periódica de una sola frecuencia tiene un ancho de banda mínimo. En general, si la señal periódica tiene componentes en varias frecuencias, su ancho de banda es mayor, y su variación temporal depende de sus componentes de frecuencia.

Normalmente las señales generadas en los sistemas electrónicos, ya sean datos informáticos, voz, señales de televisión, etc., son señales que varían en el tiempo y no son periódicas, pero se pueden caracterizar como la suma de muchas señales periódicas de diferentes frecuencias.

Es común denominar ancho de banda digital a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo, esta cantidad dependerá, de la potencia de la señal, de la potencia del ruido y de la codificación de canal.

2.1.2.3 Espectro electromagnético

Dependiendo de la frecuencia de la onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres. Desde los energéticos rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros) hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de varios kilómetros) pasando por la luz visible cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micra. El rango completo de longitudes de onda forma el espectro electromagnético, del cual la luz visible no es más que un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al violeta hasta la longitud de onda del rojo. Si

hablamos de luz en sentido estricto nos referimos a radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda es capaz de captar el ojo humano, pero técnicamente, el ultravioleta, las ondas de radio o las microondas también son luz, pues la única diferencia con la luz visible es que su longitud de onda queda fuera del rango que podemos detectar con nuestros ojos; simplemente son colores que nos resultan invisibles, pero podemos detectarlos mediante instrumentos específicos.

2.1.3 Ruido

En cualquier dato transmitido, la señal recibida consistirá en la señal transmitida modificada debido a las distorsiones introducidas por el sistema de comunicación y a las señales no deseadas que se insertarán entre algún punto entre el emisor y el receptor. A estas últimas señales no deseadas se les denomina ruido, es decir, el ruido es toda aquella señal que se inserta entre el receptor y el emisor y que no es deseada. El ruido es el factor de mayor importancia cuando se limitan las prestaciones del sistema de transmisión.

El ruido se puede clasificar en cuatro categorías:

1. **Ruido térmico:** Es producido por la agitación térmica de electrones dentro del medio conductor.
2. **Ruido de intermodulación:** Consiste en que cuando distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión provocan entre sí señales de ruido.
3. **Diafonía:** Se produce cuando hay un acoplamiento entre líneas que transportan las señales.
4. **Ruido impulsivo:** Se trata de impulsos discontinuos de poca duración y de gran amplitud que afectan a la señal.

El ruido térmico está presente en todos los medios electrónicos utilizados para transmitir señales, como su nombre lo indica, es función de la

temperatura y está uniformemente distribuido en el espectro de frecuencias y por ello en ocasiones se le denomina ruido blanco.

El ruido térmico no se puede eliminar y por esa razón impone un límite superior en las prestaciones de los sistemas de comunicaciones. La cantidad de ruido térmico en un ancho de banda de 1Hz en cualquier dispositivo o conductor es:

$$N_o = KT \cdot [\text{Vatios} / \text{Hz}]$$

Donde:

No = Densidad de potencia del ruido, en vatios por 1Hz de ancho de banda.

K = Constante de Boltzmann = 1.3803×10^{-23} J/°K.

T = Temperatura en grados Kelvin (°K).

Cuando señales de distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión puede producirse el denominado ruido de intermodulación. El efecto que causa este ruido es la aparición de señales a frecuencias que sean suma o diferencia de las dos originales o múltiplos de estas, por ejemplo, la mezcla de las señales de frecuencias f_1 y f_2 pueden producir energía a frecuencias $f_1 + f_2$, estas componentes podrían interferir con algunas otras.

El ruido de intermodulación se produce cuando hay alguna falta de linealidad en el transmisor, receptor o en el propio sistema de transmisión. Normalmente estos sistemas se comportan de forma lineal, es decir, la salida es igual a la entrada multiplicada por una constante. En los sistemas no lineales la salida es una función más compleja que la entrada. Estas componentes pueden aparecer debido al funcionamiento incorrecto de los sistemas o por el uso excesivo de energía en la señal. Bajo estas

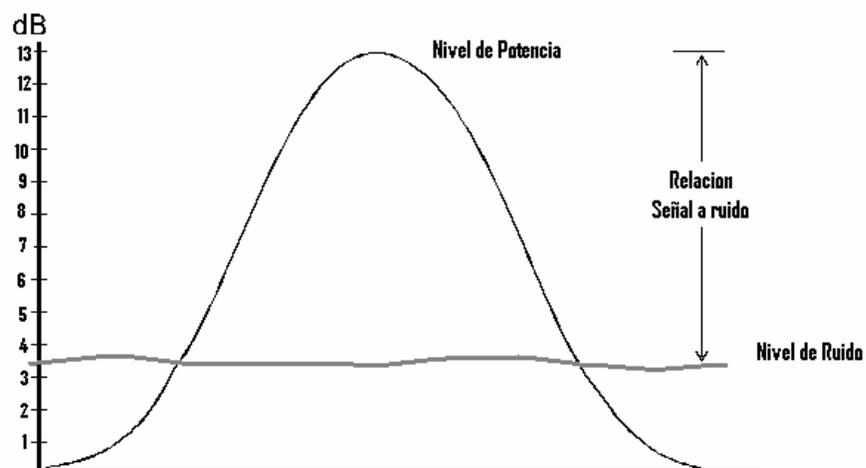
circunstancias aparecen términos o diferencias, es decir, ruido de intermodulación.

El ruido impulsivo es no continuo y esta constituido por pulsos ópticos, irregulares de corta duración y de amplitud relativamente grande; se genera por una gran diversidad de causas, por ejemplo, por perturbaciones electromagnéticas exteriores producidas por tormentas atmosféricas o fallos y defectos en los sistemas de comunicación.

2.1.4 Relación señal a ruido

La relación señal a ruido (en inglés *Signal to noise ratio* SNR o S/N) se define como el margen que hay entre el nivel de referencia o información significativa y el ruido de fondo de un determinado sistema. Este margen es medido en decibelios.

Figura 6. Gráfica potencia vrs. frecuencia



2.2 Teléfono

El teléfono es un dispositivo de telecomunicación diseñado para transmitir conversaciones entre dos puntos físicamente separados, por medio de señales eléctricas.

2.2.1 Historia y evolución

El primer teléfono surgió a través de una serie de experimentos de telegrafía. En 1873, Alexander Graham Bell, profesor de filosofía vocal de la Universidad de Boston, comenzó a interesarse en el estudio de la telegrafía múltiple. Concibió la idea de lo que llamo un telégrafo armónico, capaz de enviar simultáneamente distintos mensajes por un solo cable, utilizando para ello varios pares de resortes de acero. El 14 de Febrero de 1876 Alexander Graham Bell presentó la petición de patente del primer teléfono.

Los primeros teléfonos incluían su propia batería para alimentar el circuito, pero en 1894 se impuso la batería central con un voltaje de 48 V, en uso desde entonces. Al descolgar el auricular se produce el cierre del circuito y pasa por él una corriente continua, indicando a la central que se requiere servicio.

En las primeras centrales telefónicas las conexiones entre usuarios se realizaban directamente por los operarios de la central, lo cual era muy limitado, pues en cuanto crecía el número de abonados el número de conexiones era inmanejable. En 1889 Almon B. Strowger, inventó un sistema automático para la selección del destinatario. Este principio se ha utilizado muchos años, hasta la aparición de las centrales electrónicas.

En un principio, y durante un tiempo relativamente largo, las redes telefónicas públicas fueron totalmente analógicas. Tanto en la última milla (par de cobre que accede al usuario desde la central pública), como la infraestructura de conmutación (centrales telefónicas), utilizaron medios

electromecánicos. La aparición de la tecnología digital en los años setenta revolucionó el concepto de telefonía. Este cambio tecnológico trajo consigo la sustitución de casi la totalidad de la base instalada de centrales públicas así como de las troncales (líneas de comunicación entre centrales). Lo que hemos llamado última milla, sin embargo, no ha cambiado. Cada abonado a la red telefónica aún recibe un par de hilos de cobre para proveerle el servicio, y la terminal (el aparato telefónico) es normalmente analógica. La digitalización es entonces efectiva desde el momento en que la línea es conectada en la central pública.

2.2.2 Funcionamiento

El micrófono o transmisor convierte la energía acústica de la voz del usuario en señales eléctricas por medio de unas placas metálicas entre las cuales se hayan unas partículas de carbón, las cuales se comprimen poco o mucho dependiendo de la intensidad y frecuencia que tenga la voz de quien habla. Esta compresión modifica la corriente que pasa por el micrófono, lo que da como resultado que la señal eléctrica varíe constantemente mientras habla el usuario. Dicha señal llega a la central telefónica y ésta la envía al teléfono de su interlocutor. Cuando éste responde, su voz repite el proceso descrito, de modo que al primer aparato llegará la señal eléctrica originada en el segundo.

El auricular o receptor consiste en un arrollado eléctrico sobre un imán permanente, al frente del cual se halla una membrana metálica. La corriente que pasa por el auricular varía en intensidad y frecuencia según la modifique la voz del interlocutor, igual a lo que ocurre con el usuario que inició la llamada. Esta variación produce una fluctuación de la intensidad, la que a su vez hace variar el campo magnético del imán, el cual atrae o repela a la membrana metálica, la que convierte la señal eléctrica en ondas acústicas que corresponden a la señal del usuario que la originó. Es decir, se reproduce su voz.

2.2.3 Central telefónica

Se ubica dentro de un edificio e incluye los equipos que llevan a cabo las funciones de comunicación, tales como identificación, selección e interconexión. Las funciones de la central telefónica convencional se dividen teóricamente en cinco bloques funcionales:

- a.- señalización entrante
- b.- procesamiento de señales
- c.- conmutación
- d.- señalización saliente, y
- e.- desconexión

Las dos partes principales de la central telefónica son:

2.2.3.1 La unidad de conmutación

Lleva a cabo la conexión a través de la central para enlazar al cliente origen con el cliente destino. La red de conmutación consiste de una serie de contactos en forma de selectores o conmutadores para la conexión de trayectos de conversación desde cualquier línea que llama a cualquier línea deseada. Su red de contactos sirve como punto de conexión entre los cables que salen al exterior con los cables de la central. Para cada llamada, la unidad cierra un trayecto específico de contactos a través de la red. El lado de la central del distribuidor principal se conecta a los selectores, registros y otros componentes de la central.

La unidad de conmutación efectúa la conmutación y la desconexión de los selectores. A su vez, ella se desconecta después de que se cuelga el teléfono de alguno de los clientes que estaban comunicados.

2.2.3.2 La unidad de control

Es la que controla todo el proceso para enlazar a los clientes entre sí. Cada vez que el cliente llamado pertenece a otra central, inicia el enlace con ésta. Esta unidad decide cómo debe pasar cada conexión por la red de conmutación, de modo que ésta pueda operar los contactos correctos. La unidad de control recibe las señales entrantes, las procesa, envía o inicia las señales salientes y desconecta sus propios circuitos. La primera función de la central para establecer una llamada telefónica es la señalización entrante, lo cual consiste en recibir una llamada del cliente que va a llamar, enviar al teléfono de éste el tono de discar y recibir los dígitos que marca el cliente. Cuando la unidad de control recibe las señales entrantes, las procesa. Este procesamiento conduce a dos resultados principales: primero, queda establecido el trayecto de la señal a través de la unidad de conmutación y comienza la etapa de conmutación. En segundo lugar, quedan establecidas las señales salientes que deben enviarse, con lo cual la unidad de conmutación procede a cerrar el trayecto. La unidad de control controla a la de conmutación. La unidad de control tramita la señal para establecer la conexión con el cliente llamado y de inmediato se libera para quedar lista y repetir el proceso con la siguiente llamada que entre. La desconexión de los selectores después de que ha concluido la conversación y de que los dos clientes han colgado, se hace sin la intervención de la unidad de control.

Existen centrales telefónicas de varios tipos:

a.- Analógicas: en ellas se utilizan dispositivos electromecánicos para realizar la conmutación. Su uso tiende a desaparecer en la actualidad.

b.- Electrónicas analógicas: en ellas se emplean circuitos integrados y convertidores analógicos-digitales. Se les llama centrales de segunda generación.

c.- Digitales: se basan en la electrónica digital para realizar la conmutación, casi la totalidad de los componentes utilizados en esta son circuitos integrados.

2.2.4 Redes telefónicas

En la actualidad la red más grande hecha por el ser humano es la red telefónica, esta red es un enlace entre centrales telefónicas distribuidas en todo el mundo. Si la señal debe enviarse a una central distinta de aquella a la cual está conectado el teléfono de quien originó la llamada, las posibilidades de enlazar ambas centrales son:

Cables de cobre

Son los enlaces más antiguos y comunes, en los cuales se emplean líneas de cobre que permiten un enlace punto a punto entre dos o más centrales telefónicas.

Radio enlace

Es un enlace en el que la señal de los equipos de conmutación pasa a un equipo de radiocomunicación y el receptor invierte el proceso, de modo que la señal vuelve a ingresar a la línea de cobre que la envía a la central, que a su vez la dirige al aparato de destino.

Antenas y repetidoras de microondas

Estos equipos concentran una gran cantidad de señales telefónicas y las convierten en microondas, las cuales son enviadas de antena a antena en un recorrido rectilíneo, permitiendo el envío a distancias de hasta 120 kilómetros en forma eficiente y sin requerir de complicadas y costosas redes de cables de cobre. Dichas antenas se colocan sobre torres de hierro o sobre las azoteas de edificios altos.

Fibra óptica

La fibra óptica consiste en un finísimo hilo de vidrio, de un grosor similar al de un cabello humano, protegido por una serie de capas para impedir su ruptura. La ventaja de la fibra óptica estriba en que permite la transmisión de

hasta 10,000 señales telefónicas en simultáneo y sin posibilidad de interferencia, lo cual le da una gran confiabilidad.

Estaciones terrenas

Las estaciones terrenas son empleadas para las telecomunicaciones internacionales; son estaciones emisoras y receptoras de microondas que reciben las señales de telefonía las amplifican y envían a los satélites de telecomunicaciones con los que están enlazadas. De igual manera, las estaciones terrenas reciben la señal de sus respectivos satélites, la amplifican y envían por la red en terrestre.

Enlace submarino

Este tipo de enlace es internacional, principalmente intercontinental. Puede ser de dos clases: por cables de cobre o por fibra óptica.

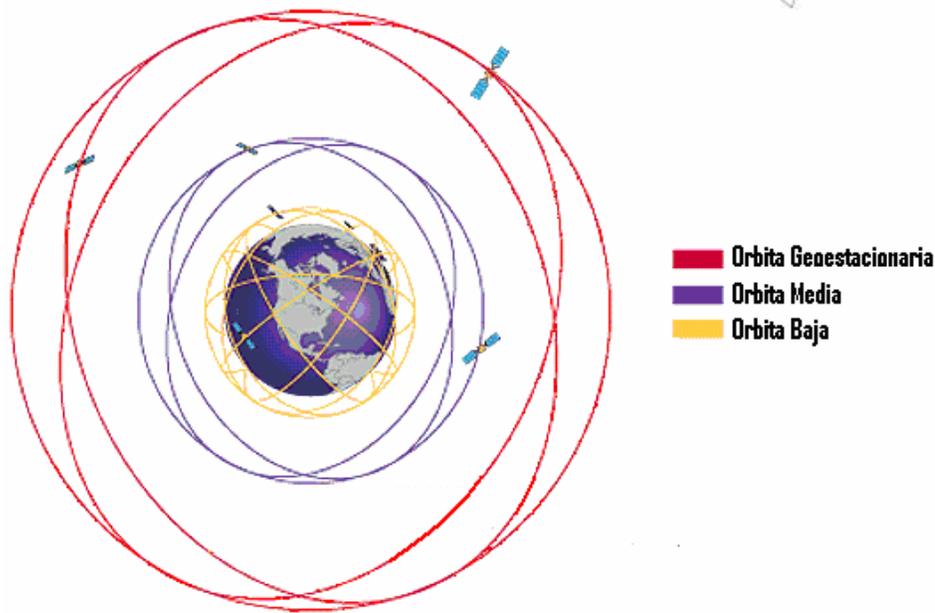
2.3 Transmisiones satelitales

Un sistema de comunicaciones satelitales consiste de un repetidor (satélite), una estación basada en tierra para controlar el funcionamiento de este y una red de usuarios, los cuales son los encargados de generar el tráfico de información que pasara a través del satélite.

2.3.1 Satélites y su clasificación

Estrictamente hablando un satélite es cualquier objeto que se encuentra en orbita alrededor de otro objeto, un satélite de comunicaciones se define como un objeto puesto en orbita alrededor de la tierra por el ser humano con gran variedad de fines, científicos, tecnológicos y militares. Esencialmente un satélite de comunicaciones es un repetidor de radio suspendido en el cielo cuya función es recibir señales desde la tierra procesarlas, amplificarlas y reenviarlas hacia la tierra. Los satélites se pueden dividir por el tipo de orbita entre los cuales tenemos:

Figura 7. Clasificación de los Satélites



2.3.1.1 Satélites geostacionarios (GEO)

Abreviatura de Orbita Terrestre Geosincrona, estos satélites orbitan a 35,848 kilómetros de altura sobre el nivel del mar sobre el ecuador terrestre. A esta altura el periodo de rotación del satélite es exactamente 24 horas y por lo tanto parece estar siempre sobre el mismo lugar de la superficie del planeta. Una ventaja de esto es que el satélite siempre está a la disposición para su uso con lo que es posible cubrir a toda la tierra utilizando solo tres satélites este tipo de satélites son utilizados para la transmisión de datos, voz y video, sin embargo tienen una desventaja, debido a la gran separación entre el satélite y la tierra se tiene un retraso o latencia considerable para las telecomunicaciones. En la actualidad la mayoría de satélites son de este tipo.

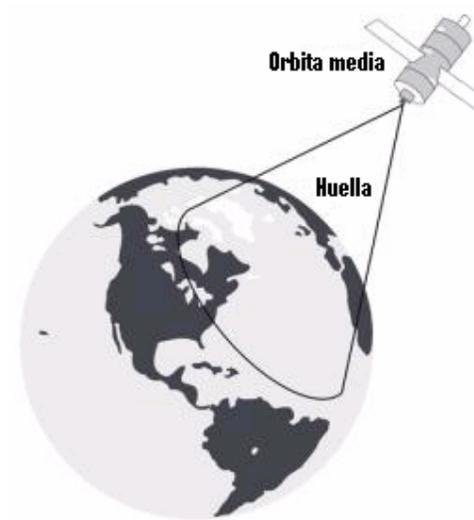
2.3.1.2 Satélites no geoestacionarios

Estos satélites tienen un periodo de rotación distinto al de la tierra. A diferencia de los GEO, su posición relativa respecto a la superficie no es fija, estos se dividen de acuerdo a la distancia de la orbita.

2.3.1.2.1 Satélites MEO

Los satélites de órbita terrestre media se encuentran a una altura de entre 10,075 y 20,150 kilómetros. Al estar a una altitud menor, se necesita un número mayor de satélites para obtener cobertura mundial, pero la latencia se reduce considerablemente. En la actualidad no existen muchos satélites MEO, y se utilizan para posicionamiento. Debido a la distancia de orbita la huella o patrón de radiación de este satélite es menor que la de un satélite geosincrono.

Figura 8. Satélite MEO



2.3.1.2.2 Satélites LEO

Los LEO orbitan generalmente por debajo de los 5,035 kilómetros, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 600 y los 1,600 kilómetros. A tan baja altura, la latencia adquiere valores casi despreciables de unas pocas centésimas de segundo, lo cual es conveniente para las telecomunicaciones, se emplean para servicios de percepción remota, telefonía y otros, debido a su corta distancia de orbita la huella o patrón de radiación de este tipo de satélite es mucho menor que la de los satélites geosincronos y se necesitan una cantidad considerable de estos para dar cobertura a todo el mundo.

Figura 9. Satélite LEO



2.3.2 Estructura del satélite

Independientemente de la misión a realizar o de los usos para los que sean diseñados los satélites están formados por varios módulos, entre los principales podemos mencionar los siguientes:

El módulo de propulsión: agrupa el motor de estabilización con sus tanques de ergoles y sus toberas de tres ejes.

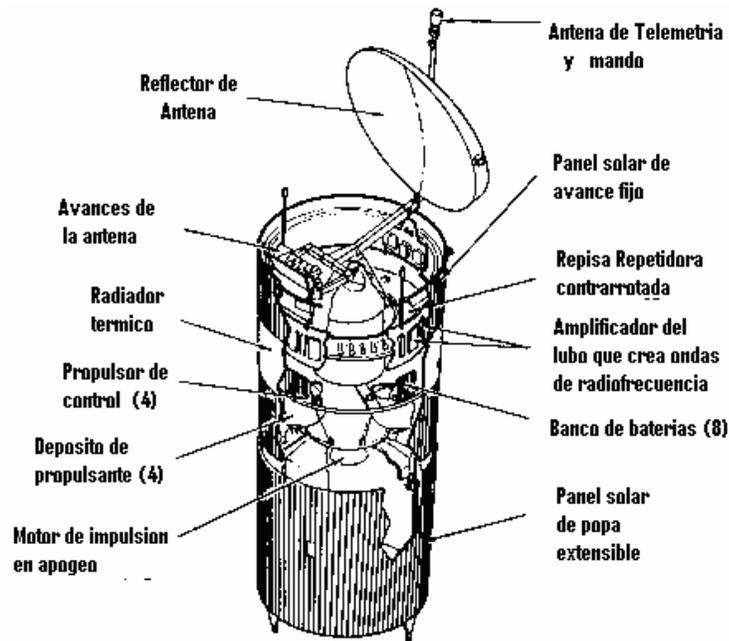
El módulo de servicio: asegura la telemetría, la teledirección y el control de altitud y de la órbita por medio de enlace de radio con una estación terrena. Orienta los paneles solares para obtener la máxima potencia de alimentación. Incluye la batería para la teledirección y la alimentación durante los eclipses de sol. Controla la instalación eléctrica y la temperatura de los componentes principales.

El generador solar: agrupa a un gran número de células de silicio en función de la potencia del satélite. Las células reciben el impacto de las micropartículas de alta energía que provienen del espacio y hacen disminuir su rendimiento.

El módulo de comunicaciones: recibe la señal de la Tierra, la demodula, la amplifica, la remodula en frecuencias diferentes y la dirige hacia la antena de emisión.

El módulo de antenas: se establece en función de las zonas en las que ha de prestarse el servicio. Comprende la antena de recepción, la o las antenas de emisión y la antena de teledirigida y de teledirección.

Figura 10. Estructura básica del Satélite



2.3.3 Parámetros de los sistemas satelitales

Los parámetros básicos a considerar en una comunicación satelital son:

2.3.3.1 Frecuencia

Las señales en un sistema satelital van de una estación terrena hacia el satélite (haz ascendente) y del satélite son retransmitidas hacia otra estación terrena (haz descendente), para evitar interferencias entre los dos haces, las frecuencias de ambos son distintas; por esto el satélite tiene que convertir la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla, esta tarea la realiza el modulo de comunicaciones del satélite este es llamado transponder. Las frecuencias del haz ascendente son mayores que las del haz descendente, debido a que a mayor frecuencia se produce mayor atenuación en el recorrido de la señal, y por tanto hay que transmitir con más potencia, y en la tierra se dispone de ella. Entre más alta sea la frecuencia

de la portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica.

Existen bandas de frecuencia específicas para la utilización de transmisiones satelitales, y el uso de determinada banda de frecuencia dependerá de la aplicación.

La siguiente tabla muestra las bandas de frecuencia utilizadas en transmisiones satelitales:

Tabla I. Bandas de frecuencia utilizadas en transmisiones satelitales

Nombre	Rango de Frecuencia
Banda P	200 - 400 MHz .
Banda L	1530 - 2700 MHz .
Banda S	2700 - 3500 MHz .
Banda C	3700 - 4200 MHz . 4400 - 4700 MHz . 5725 - 6425 MHz .
Banda X	7900 - 8400 MHz .
Banda Ku1	10.7 - 11.75 GHz .
Banda Ku2	11.75 - 12.5 GHz .
Banda Ku3	12.5 - 12.75 GHz .
Banda Ka	17.7 - 21.2 GHz .
Banda K	27.5 - 31.0 GHz .

2.3.3.2 Modulación

El término modulación abarca el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda senoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo

que permitirá transmitir más información simultánea y/o proteger la información de posibles interferencias y ruidos. Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.

Dependiendo del parámetro de la señal portadora sobre el que se actúe, tenemos distintos tipos de modulación, en transmisiones satelitales los métodos de modulación más utilizados son.

2.3.3.2.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

La Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK, (*Frequency Shift Keying*) es la más simple de las modulaciones digitales y por lo tanto es de bajo desempeño. Es similar a la modulación de frecuencia (FM), pero más sencillo, dado que la señal moduladora es un tren de pulsos binarios que solo varía entre dos valores de tensión discretos.

En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama *bit-rate* y tiene como unidad el bit por segundo (bps). A la relación de cambio a la salida del modulador se le llama *baud-rate*. En esencia el *baud-rate* es la velocidad de símbolos por segundo. En FSK el *bit rate* = *baud rate*. Así por ejemplo un 0 binario se puede representar con una frecuencia f_1 , y el 1 binario se representa con una frecuencia distinta f_2 .

2.3.3.2.2 Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

La modulación por desplazamiento de amplitud, en inglés *Amplitude-shift keying* (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.

La forma más simple y común de ASK funciona como un interruptor que apaga y enciende la portadora, de tal forma que la presencia de portadora indica un 1 binario y su ausencia un 0. Este tipo de modulación por desplazamiento *on-off* es el utilizado para la transmisión de código Morse por radiofrecuencia, siendo conocido el método como operación en onda continua.

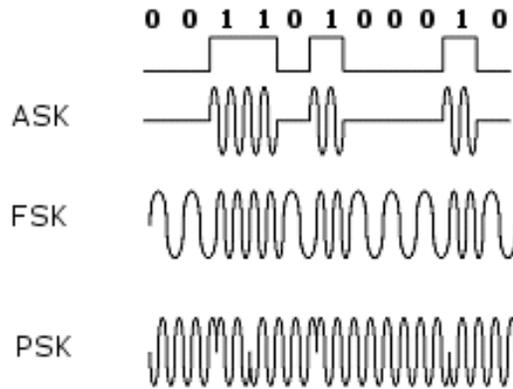
Otros procedimientos más sofisticados de codificación operan sobre la base de utilizar distintos niveles de amplitud, de forma que cada nivel representa un grupo de datos determinado. Por ejemplo, un esquema de codificación que utilice cuatro niveles puede representar dos bits con cada cambio de amplitud; uno con ocho niveles puede representar tres bits y así sucesivamente. Esta forma de operación requiere una alta relación señal/ruido en el medio de transmisión para una correcta recuperación de la información en recepción, por cuanto gran parte de la señal es transmitida a baja potencia.

2.3.3.2.3 Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

La modulación por desplazamientos de fase o modulación en fase, varía la fase de la portadora, en relación a una fase de referencia, en 180° y así representar el paso de un 0 a un 1 para el caso de BPSK.

Si el PSK es no binaria, es decir tiene más de 2 valores posibles, modifica la fase en los n valores posibles, la técnica más conocida de estas es la QPSK la cual tiene 4 distintos cambios de fase para representar las combinaciones de bit 00, 01, 10 y 11.

Figura 11. Técnicas de Modulación



2.3.3.3 Técnica de acceso múltiple

Múltiple acceso esta definido como una técnica donde más de un par de estaciones terrenas pueden simultáneamente usar un transpondedor del satélite.

La mayoría de las aplicaciones de comunicaciones por satélite involucran un número grande de estaciones terrenas comunicándose una con la otra a través de un canal satelital (de voz, datos o vídeo). El concepto de múltiple acceso involucra sistemas que hacen posible que múltiples estaciones terrenas interconecten sus enlaces de comunicaciones a través de un simple transpondedor. Esas portadoras pueden ser moduladas por canales simples o múltiples que incluyen señales de voz, datos o vídeo. Existen muchas implementaciones específicas de sistemas de múltiple acceso entre las más utilizadas tenemos:

2.3.3.3.1 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

El Acceso múltiple por división de tiempo esta caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora. Existen otras variantes de

esta técnica de acceso, la más conocido es DAMA (*Demand Access Multiple Access*), la cual asigna ranuras de tiempo de acuerdo a la demanda del canal. Una de las ventajas del TDMA con respecto a los otros es que optimiza el ancho de banda.

2.3.3.3.2 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDM)

Este tipo de sistemas canaliza el transpondedor usando múltiples portadoras, donde a cada portadora le asigna un par de frecuencias. El ancho de banda total utilizado dependerá del número total de portadoras. Existen dos variantes de esta técnica: SCPC (*Single Channel Per Carrier*) y MCPC (*Multiple Channel Per Carrier*).

2.3.3.3.3 Acceso múltiple por asignación de código (CDMA)

El Acceso múltiple por división de código mejor conocido como *Spread Spectrum* (Espectro esparcido) es una técnica de modulación que convierten la señal en banda base en una señal modulada con un espectro de ancho de banda que cubre o se esparce sobre una banda de magnitud más grande que la que normalmente se necesita para transmitir la señal en banda base por si misma. Es una técnica muy robusta en contra de la interferencia en el espectro común de radio y ha sido usado muy ampliamente en aplicaciones militares. Esta técnica se aplica en comunicaciones vía satélite particularmente para transmisión de datos a bajas velocidades.

2.3.3.4 Control de errores

Un sistema de comunicación vía satélite comunica estaciones geográficamente separadas a varios miles de millas de distancia, por lo tanto debido a las características, no ideales, que están asociadas con cualquier sistema de comunicación, es inevitable que ocurran errores y es necesario desarrollar e implantar procedimientos para el control de errores. El control

de errores puede dividirse en dos categorías generales: detección de errores y corrección de errores.

2.3.3.4.1 Detección de errores

La detección de errores es simplemente el proceso de monitorear la información recibida y determinar cuando un error de transmisión ha ocurrido. Las técnicas de detección de errores no identifican cual bit es erróneo, solamente indica que ha ocurrido un error. El propósito de la detección de errores no es impedir que ocurran errores, pero previene que los errores no detectados ocurran. Como reacciona un sistema a los errores de transmisión, depende del sistema y variara considerablemente. Las técnicas de detección de errores más comunes usados para los circuitos de comunicación son: redundancia, codificación de cuenta exacta, paridad, chequeo de redundancia vertical y longitudinal y chequeo de redundancia cíclica.

2.3.3.4.2 Corrección de errores

Entre los métodos para corrección de errores más utilizados tenemos:

Retransmisión:

La retransmisión, como el nombre lo implica, es volver a enviar un mensaje cuando es recibido un error, y la terminal de recepción automáticamente pide la retransmisión de todo el mensaje. La retransmisión frecuentemente se llama ARQ, el cual es un término antiguo de la comunicación de radio, que significa petición automática para retransmisión. ARQ es probablemente el método más confiable de corrección de errores, aunque no siempre es el más eficiente.

Seguimiento de corrección de error:

El seguimiento de corrección de error (FEC), es el único esquema de corrección de error que detecta y corrige los errores de transmisión, del lado receptor, sin pedir retransmisión.

Con FEC, se agregan bits al mensaje, antes de la transmisión. Un código de corrección de errores popular es el código de *Hamming*. El número de bits en el código de *Hamming* depende del número de bits en el carácter de datos. El número de bits de *Hamming* que debe agregarse a un carácter se determina de la siguiente expresión:

$$2^n \geq m + n + 1$$

en donde: n = Número de bits de *Hamming*

m = Número de bits en el carácter de datos

2.3.3.5 Polarización

La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde esta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical), en forma elíptica, o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente, si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena esta polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, esta polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, esta polarizada circularmente.

2.3.4 Ventajas y desventajas de los sistemas satelitales

Ventajas

- Gran ancho de banda
- Gran cobertura nacional e internacional, incluyendo las zonas rurales.
- Costo insensible a la distancia
- Tiempo de instalación de equipo reducido

Desventajas

- Costo de operación mensual muy alto.
- Retardo de 1/2 segundo
- Inversión inicial en equipo de comunicaciones muy costoso (estaciones terrenas y demás dispositivos).
- Muy sensible a factores atmosféricos
- Sensible a eclipses
- Requiere de personal especializado
- El mantenimiento corre a cargo del usuario
- Hace uso del espectro radioeléctrico

3 DATOS GENERALES DE LA ALDEA EL NARANJO

3.1 Ubicación geográfica

El Naranjo es una aldea de la cabecera municipal de La Libertad, en el departamento del Petén. Esta aldea se encuentra situada al Norte de la sierra La Pita, y en la margen sur del río San Pedro. Se ubica en la latitud 17° 13' 50" este y longitud -90° 48' 45" norte y se encuentra a una altitud de 55 metros sobre el nivel del mar.

3.2 Datos de la población

La población total de la aldea El Naranjo es de 2,526 habitantes los cuales podemos clasificar de las siguientes formas.

Del total de la población en la aldea El Naranjo el 51.82% es de sexo masculino esto es 1,309 habitantes, y 1,217 habitantes son de sexo femenino correspondiente al 48.18%.

Habitantes con edades comprendidas entre 0 y 6 años de vida hay 612 correspondientes al 24.22% de la población total, entre los 7 y 14 años de vida hay 615 habitantes correspondiente al 24.34% de la población total, entre los 15 y 64 años de vida 1,239 habitantes correspondiente al 49% de la población total y de 65 en adelante 60 habitantes correspondientes al 2.44% de la población total.

Del total de la población en la aldea El Naranjo 136 personas son indígenas las cuales constituyen el 5.38% de la población total, y los restantes 2,390 habitantes son no indígenas los cuales constituyen el 94.62%.

De la población total en la aldea El Naranjo 1308 personas son alfabetos mientras que 606 personas son no alfabetos, teniendo el 51.78% por ciento de personas alfabetos.

El nivel de escolaridad de los habitantes se divide de la siguiente forma: 587 habitantes no tienen escolaridad alguna; estos representan el 23.23% de la población total, 19 habitantes tienen solamente educación preprimaria, estos representan el 0.7% de la población total, 1120 habitantes tienen educación primaria, equivalente al 44.34% de la población, 184 habitantes tienen educación a nivel medio equivalente al 7.28% de la población y únicamente 4 personas tienen un nivel de educación superior correspondiente al 0.15%.

Del total de la población 626 habitantes son personas económicamente activas de los cuales 413 son de sexo masculino y 213 habitantes son de sexo femenino.

3.3 Datos de habitación

En la aldea El Naranjo se tiene un total de 650 viviendas las cuales se clasifican de la siguiente forma: 579 viviendas con construcción formal (89.10%), 23 viviendas tipo rancho (3.55%), 7 viviendas de construcción improvisada (1%), 1 vivienda tipo palomar (0.15%) y 40 viviendas de otro tipo (6.20%).

Dentro de los servicios básicos en la aldea El Naranjo tenemos que la mayoría de hogares cuentan con servicio de energía eléctrica, este servicio es prestado por una empresa la cual genera la energía por medio de motogeneradores alimentados por combustible, la aldea cuenta con servicio de agua potable no así de un sistema de drenajes. La densidad de habitantes por vivienda es de 4 habitantes/vivienda. La aldea cuenta con servicio de televisión por cable y gasolinera, actualmente se encuentra en

construcción un mercado el cual esta siendo construido con capital privado con fines de lucro.

3.4 Actividades principales

Debido a la geografía de la aldea El Naranjo un sector de la población se dedica a la ganadería, gracias a las grandes extensiones de tierra propicias para este fin. Debido a la cercanía de la aldea con el río una de las principales actividades es el servicio de transporte en lancha a través del río tanto de personas como de mercadería. Otra de las actividades principales es el comercio de mercadería y el tráfico de personas indocumentadas hacia México.

La mayoría de hogares tiene por lo menos un miembro de la familia en Estados Unidos de los cuales perciben remesas.

3.5 Servicios de comunicación actuales

Hasta hace un par de años la única forma de comunicarse era realizando viajes hasta la comunidad más cercana que disponía de teléfono o por medio de comunicaciones de radio las cuales eran costosas y difíciles de establecer.

Actualmente se cuenta con servicio de telefonía comunitaria vía satélite proporcionada por empresas privadas, una de estas empresas es la empresa de telefonía mexicana Titán la cual cuenta con unas 8 líneas telefónicas en la aldea, además se cuenta con unas 9 líneas telefónicas de la misma naturaleza proporcionadas por Teléfonos del Norte S.A. Estas líneas son para uso comunitario siendo en ocasiones insuficiente para suplir las necesidades de los habitantes de la aldea.

3.6 Demanda del servicio de telefonía en la comunidad

Estudios realizados por personal de Teléfonos Del Norte S.A. en la aldea El Naranjo desplegaron que de los 690 hogares en la aldea alrededor de 400 líderes de familia se mostraron entusiasmados por el proyecto, asumiendo que de estos 400 hogares el 75% adquiriera el servicio, esto da como resultado 300 líneas telefónicas.

Como estadística se tiene estipulado que para tener una pérdida del 10% en el tráfico, se debe tener 1 canal por cada 10 abonados por lo que para la aldea El Naranjo serán necesarios por lo menos 30 canales para prestar un servicio satisfactorio.

4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE SATELITAL.

Un enlace satelital es un enlace entre dos estaciones terrenas utilizando un satélite como repetidor. En el enlace ambas estaciones actúan como transmisora y receptora, por tal razón existe un enlace de subida que va de la estación terrena transmisora al receptor del transpondedor del satélite a este enlace se le conoce como “*Uplink*”, y un enlace de bajada que va desde el transmisor o amplificador del transpondedor del satélite hacia la estación terrena receptora a este se le denomina “*Downlink*”. Para determinar las características de un enlace satelital se toma como dos enlaces independientes el de subida y el de bajada, luego se analiza el enlace total es decir los dos anteriores en conjunto.

4.1 Datos necesarios para realizar el cálculo

Estos son los datos obtenidos de las características del satélite, las estaciones terrenas participante y la señal a transmitir, entre los más importantes tenemos:

- La posición geográfica de las estaciones (latitud y longitud).
- La banda de frecuencia a utilizar para determinar la frecuencia media en el enlace de subida y en el de bajada.
- El ancho de banda a utilizar por la señal, para determinar la utilización del transpondedor en el satélite.
- La velocidad de la señal
- El tipo de modulación utilizado para transmitir la señal
- El factor de *Roll Off* el cual determina el ensanchamiento del espectro debido a las características no ideales de los filtros.

- El FEC (*Forward Error Correction*) que es una característica del MODEM.
- La tasa de bits erróneos BER (*Bit Error Rate*) deseada.
- La relación señal a ruido a la salida de los equipos Eb/No la cual es una característica de los equipos.
- Diámetro de la antena
- La ganancia de la antena receptora y transmisora

4.2 Cálculos iniciales

4.2.1 Apuntamiento de la antena terrestre

El ángulo de azimut y elevación de la antena terrestre esta dada por la distancia entre esta y el satélite y por su ubicación geográfica.

Para encontrar el azimut (A) tenemos:

- Si la estación terrena está en el hemisferio norte y al oeste del satélite:

$$A = 180^\circ - A' \quad (1)$$

- Si la estación terrena está en el hemisferio norte y al este del satélite:

$$A = 180^\circ + A' \quad (2)$$

- Si la estación terrena está en el hemisferio sur y al oeste del satélite:

$$A = A' \quad (3)$$

- Si la estación terrena está en el hemisferio sur y al este del satélite:

$$A = 360^\circ - A' \quad (4)$$

Siendo

$$A' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan |\theta_s - \theta_L|}{\sin \theta_t} \right) \quad (5)$$

En donde θ_s es la longitud del satélite, θ_L es la longitud de la estación terrena y θ_l es la latitud de la estación terrena.

Para la elevación (E), considerando que la tierra es una esfera perfecta con radio $R_e=6,378.155\text{Km}$ y que el radio orbital geostacionario es $r=42,164.2\text{Km}$, se tiene que:

$$E = \tan^{-1} \left(\frac{r - R_e \cos \theta_l \cos |\theta_s - \theta_L|}{R_e \sin [\cos^{-1} (\cos \theta_l \cos |\theta_s - \theta_L|)]} \right) - \cos^{-1} (\cos \theta_l \cos |\theta_s - \theta_L|) \quad (6)$$

Para la estación terrena en la central (Zona 3, Ciudad de Guatemala) tenemos que las coordenadas son: -90.51305 grados longitud este y 14.611389 latitud norte, sabiendo además que se trabajara con el satélite mexicano SATMEX 5 cuya longitud es 116.8 grados podemos encontrar el azimut en el cual debe estar alineada la antena en la estación terrena, sustituyendo datos en la ecuación 5 tenemos:

$$A_G' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(116.8 - 90.51305)}{\sin(14.611389)} \right)$$

Dando por resultado:

$$A_G' = 62.94^\circ$$

Debido que la estación terrena se encuentra en el hemisferio norte y al este del satélite aplicamos la ecuación número 2 dando por resultado:

$$A_G = 180 + A_G' = 180 + 62.94$$

$$A_G = 242.95^\circ$$

Para la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo, municipio La Libertad del departamento de El Petén tenemos que las coordenadas son: -90.8125 grados longitud este y 17.2305 latitud norte, sustituyendo datos en la ecuación 5 tenemos:

$$A_N' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(116.8 - 90.8125)}{\sin(17.2305)} \right)$$

Dando por resultado:

$$A_N' = 58.71^\circ$$

Debido que la estación terrena se encuentra en el hemisferio norte y al este del satélite aplicamos la ecuación número 2 dando por resultado:

$$A_N = 180 + A_N' = 180 + 58.71$$

$$A_N = 238.71^\circ$$

Con lo cual tenemos el acimut a utilizarse en la estación terrena en El Naranjo.

Para encontrar el ángulo de elevación a utilizar por las estaciones terrestres utilizamos la ecuación 6 sustituyendo datos para la estación en Ciudad Guatemala tenemos:

$$E_G = \tan^{-1} \left(\frac{42,164.2 - 6,378.155 \cos(14.61) \cos|116.8 - 90.51|}{R_e \sin[\cos^{-1}(\cos(14.61) \cos|116.8 - 90.51|)]} \right) - \cos^{-1}(\cos(14.61) \cos|116.8 - 90.51|)$$

$$E_G = 60.18^\circ$$

Sustituyendo datos para la estación terrena en El Naranjo tenemos:

$$E_N = \tan^{-1} \left(\frac{42,164.2 - 6,378.155 \cos(17.23) \cos|116.8 - 90.8125|}{Re \sin[\cos^{-1}(\cos(17.23) \cos|116.8 - 90.8125|)]} \right) - \cos^{-1}(\cos(17.23) \cos|116.8 - 90.8125|)$$

$$E_N = 59.15^\circ$$

En resumen tenemos los siguientes datos para las estaciones terrenas.

Tabla II. Datos de las estaciones terrenas

Estación	Latitud	Longitud	Angulo de Acimut	Angulo de Elevación
Ciudad de Guatemala	14.6114° Este	-90.5130° Norte	A _G =242.95°	E _G =60.18°
El Naranjo, Peten	17.2305° Este	-90.8125° Norte	A _N =238.71°	E _N =59.15°

4.2.2 Distancia entre estación terrena y el satélite

La distancia entre la estación terrena y el satélite puede ser encontrada mediante el uso de la ley de cósenos. Dibujando un triángulo con vértices en el centro de la tierra, en la posición de la estación terrena y en el satélite, luego se aplica la ley de cósenos y obtenemos la ecuación:

$$d = \sqrt{r^2 + Re^2 - 2r Re \sin \left(E + \sin^{-1} \left(\frac{Re}{r} \cos(E) \right) \right)}$$

En donde:

d = distancia entre la estación terrena y el satélite

Re = radio promedio de la tierra (6,378.155Km)

r = distancia promedio del centro de la tierra al satélite (42,164.2Km)

E = ángulo de elevación para la estación terrena

Por lo tanto tenemos que la distancia entre la estación en la ciudad de Guatemala y el satélite es:

$$d_{G-S} = \sqrt{(42,164.2)^2 + (6,378.15)^2 - 2(42,164.2)(6,378.15)\sin\left(60.18 + \sin^{-1}\left(\frac{6,378.15}{42,164.2}\cos(60.18)\right)\right)}$$

$$d_{G-S} = 36,511.10Km$$

Sustituyendo los valores para la estación en El Naranjo, tenemos.

$$d_{G-S} = \sqrt{(42,164.2)^2 + (6,378.15)^2 - 2(42,164.2)(6,378.15)\sin\left(59.15 + \sin^{-1}\left(\frac{6,378.15}{42,164.2}\cos(59.15)\right)\right)}$$

$$d_{N-S} = 36,561.43Km$$

4.2.3 Ancho de banda

El ancho de banda esta dado en hertz y puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta B = V \times FEC^{-1} \times F \times (1 + R) \quad (1)$$

En donde:

V = Velocidad de información

FEC = Factor del código de corrección de error, por ejemplo un FEC de $\frac{1}{2}$ indica que de dos bits uno es de información y otro de código de corrección de errores.

F = Es el factor de modulación que por ejemplo para BPSK es 1 y para QPSK es de 0.5.

R = Es el factor de *Roll off* o de ensanchamiento de espectro.

Para determinar el ancho de banda requerido en el enlace debemos determinar la velocidad la cual esta dada por el número de canales proyectados a utilizar en la red telefónica, para la aldea El Naranjo se estima que debe haber por lo menos 30 canales, cada canal es de 8Kbps. Utilizando 32 canales tenemos una velocidad de transmisión de $32 \times 8\text{Kbps} = 256 \text{ Kbps}$, tenemos un FEC=3/4, un factor de Roll off de 14% y utilizando modulación QPSK (F=1) tenemos:

$$\Delta B = 256,000 \times \left(\frac{3}{4}\right)^{-1} \times (0.5) \times (1 + 0.14)$$

Por lo tanto el ancho de banda necesario para este enlace es de:

$$\Delta B = 194.56 \text{ KHz}$$

Es obligatorio en todo enlace satelital dejar siempre una banda de guarda entre portadoras la cual consiste en un rango de frecuencias destinado a evitar interferencias con portadoras adyacentes este regularmente se utiliza de 20KHz. Por lo tanto nuestro ancho de banda será de:

$$\Delta B = 194.56 \text{ KHz} + 20 \text{ KHz}$$

$$\Delta B_{\text{Ocupado}} = 214.56 \text{ KHz}$$

Por lo tanto el ancho de banda asignado será por su proximidad de:

$$\Delta B_{\text{Asignado}} = 256 \text{ KHz}$$

El ancho de banda ocupado es el espacio en frecuencia que utilizaremos para el cálculo de enlace. El ancho de banda asignado es un concepto que utilizamos en la asignación de las frecuencias operativas de los enlaces.

4.3 Enlace ascendente

En este enlace la estación terrena transmisora envía una señal a través de su antena que esta apuntada hacia el satélite, esta señal es captada por la antena receptora del satélite, por lo tanto los parámetros involucrados son el PIRE de la estación terrena ($PIRE_{E/T}$), la característica G/T de la antena del satélite, las pérdidas en el espacio libre, las pérdidas de apuntamiento, pérdidas por polarización y pérdidas por interferencias. Por tratarse de una comunicación con recepción y transmisión en ambos extremos tenemos que calcular un enlace ascendente desde la estación terrena 1 hacia el satélite y un enlace ascendente desde la estación terrena 2 hacia el satélite. Para el enlace ascendente entre la estación terrena ubicada en la ciudad de Guatemala hacia el satélite utilizaremos las siglas ASC1 y para el enlace ascendente entre la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo hacia el satélite utilizaremos las siglas ASC2.

Si analizamos la Relación Portadora a Densidad de Ruido Ascendente de los enlaces de subida podemos determinar el valor de la señal que llega al satélite y esta dado por:

$$\left(\frac{C}{No} \right)_{ASC} = PIRE_{E/T} + (G/T)_{SAT} - K - L_{S_{ASC}} - \mu_{ASC} - L\Delta_{ASC}$$

Donde:

$PIRE_{E/T}$ = Potencia Isotrópica radiada efectiva desde la E/T.

$(G/T)_{SAT}$ = Característica del satélite, para la región de interés el satélite SATMEX 5 en la banda C tiene un valor de 2dB/K.

K = Constante de Boltzman = -228.6 (dBJ/°K)

$L_{S_{ASC}}$ = Pérdidas en el espacio libre ascendentes

μ_{ASC} = Margen de atenuación por lluvia ascendente 0 dB Para la Disponibilidad de 99.98 en la Banda C

$L_{\Delta ASC}$ = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas apuntamiento y polarización, su valor aproximado es de 1 dB.

Potencia isotrópica radiada efectiva desde la E/T ($PIRE_{E/T}$)

Este valor es calculado a partir de la potencia de transmisión de la estación terrena, el porcentaje de utilización del transmisor y la ganancia de la antena. Para la estación terrena en la ciudad de Guatemala y para la estación terrena en la aldea El Naranjo propondremos un $PIRE_{E/T}$ de 56.66 dBW el cual podemos variar aumentando la ganancia de la antena o la potencia del transmisor según lo requiera el diseño.

Pérdidas en el espacio libre ascendente

$$L_{S_{ASC}} = 20 \text{Log} \left(\frac{4\pi * F * D}{C} \right)$$

Siendo:

F = Frecuencia ascendente (Hz)

D = Distancia entre E/T y satélite (m)

C = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

Para el enlace ascendente entre la estación terrena en ciudad de Guatemala y el satélite utilizaremos la frecuencia central 5,988.75 Mhz, de cálculos anteriores obtuvimos que la distancia entre la estación terrena en la ciudad de Guatemala y el satélite es de 36,511.10 Kms sustituyendo estos valores obtenemos:

$$L_{S_{ASC1}} = 20 \text{Log} \left(\frac{(4\pi)(5,988.75 \times 10^6 \text{ Hz})(36,511.10 \times 10^3 \text{ m})}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \right)$$

$$L_{S_{ASC1}} = 199.24 \text{ dB}$$

Para el enlace ascendente entre la estación terrena en la aldea El Naranjo y el satélite utilizaremos una frecuencia central 5,989.400 Mhz, de cálculos anteriores obtuvimos que la distancia entre la estación terrena de la aldea El Naranjo y el satélite es de 36,561.43 Kms sustituyendo estos valores obtenemos las pérdidas por espacio libre del enlace ascendente 2.

$$L_{S_{ASC2}} = 20 \text{Log} \left(\frac{(4\pi)(5,989.400 \times 10^6 \text{ Hz})(36,561.43 \times 10^3 \text{ m})}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \right)$$

$$L_{S_{ASC2}} = 199.25 \text{ dB}$$

Con los valores calculados anteriormente podemos encontrar la relación portadora a densidad de ruido ascendente, para el enlace entre la estación terrena en la ciudad de Guatemala y el satélite (ASC1) tenemos:

$$\left(\frac{C}{N_o} \right)_{ASC1} = 56.66 + 2.0 - (-228.6) - 199.24 - 0 - 1 [dB - Hz]$$

$$\left(\frac{C}{N_o} \right)_{ASC1} = 86.96 \text{ dB} - \text{Hz}$$

De la misma forma para el enlace ascendente entre la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo y el satélite tenemos:

$$\left(\frac{C}{N_o} \right)_{ASC2} = 56.66 + 2.0 - (-228.6) - 199.25 - 0 - 1 [dB - Hz]$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{ASC2} = 86.95dB - Hz$$

La Relación Portadora a Ruido Ascendente esta dada por:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{ASC1} - 10\log(AB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC1} = 86.95 - 10\log(214.56 \times 10^3)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC1} = 33.63dB$$

De la misma forma para el enlace ascendente entre la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo y el satélite tenemos:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC2} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{ASC2} - 10\log(AB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC2} = 86.95 - 10\log(214.56 \times 10^3)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC2} = 33.61dB$$

4.4 Enlace descendente

En el enlace descendente el satélite retransmite la señal que ha recibido de la estación terrena transmisor a través de su antena esta señal es captada por la antena de la estación terrena receptora, por lo tanto los parámetros involucrados son el PIRE del satélite hacia la localidad receptora $PIRE_{SAT}$ la característica G/T de la antena de la estación terrena receptora, las pérdidas en el espacio libre, las pérdidas de apuntamiento, pérdidas por polarización y las pérdidas por interferencias.

Analizaremos la relación portadora a densidad de ruido del enlace descendente sin tomar en cuenta las interferencias (similar al enlace ascendente), la cual esta dada por:

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{DESC} = PIRE_{SAT} + \left(\frac{G}{T}\right)_{E/T} - K - Ls_{DESC} - \mu_{DESC} - L\Delta_{DESC}$$

Donde:

$PIRE_{SAT}$ = Potencia Isotrópica radiada efectiva desde el satélite.

$(G/T)_{E/T}$ = Característica de la estación terrena receptora.

K = Constante de Boltzman = -228.6 (dBK/°K)

Ls_{ASC} = Pérdidas en el espacio libre descendentes.

μ_{ASC} = Margen de atenuación por lluvia ascendente 0 dB Para la disponibilidad de 99.98 en la Banda C

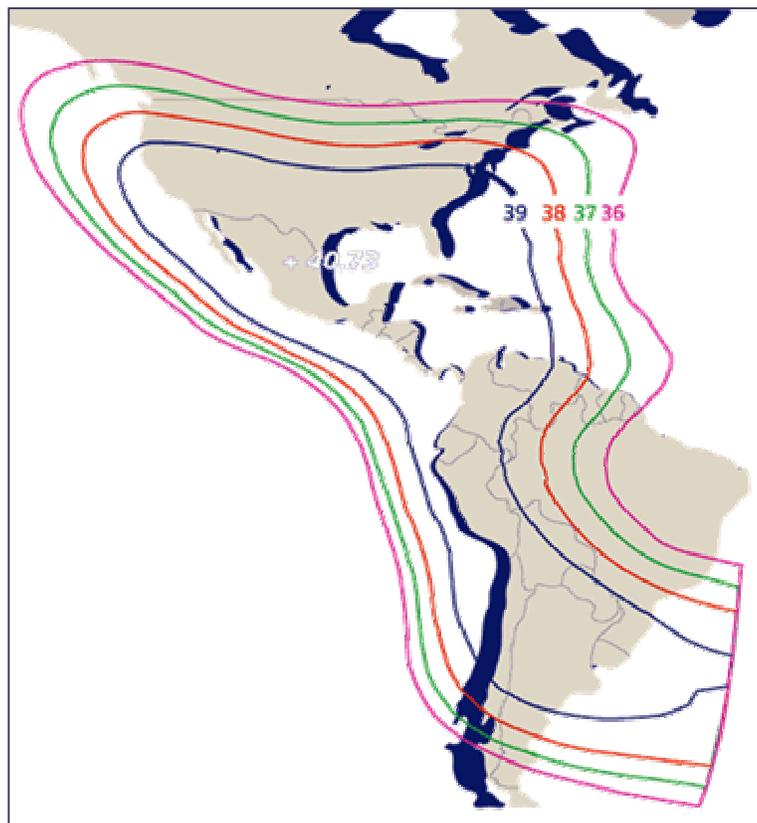
$L\Delta_{ASC}$ = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas apuntamiento y polarización, su valor aproximado es de 1 dB.

Como vemos en la figura siguiente el PIRE del satélite SATMEX 5 para la región de Guatemala es de 39 dBW. La figura de merito de las estaciones terrenas (G/T) esta determinada por características de recepción de las antenas la cual tiene un valor de 20 dB°K para ambas estaciones terrestres.

Los valores de pérdidas por espacio libre del enlace descendente se calculan de la misma forma en que se calcularon las del enlace ascendente únicamente varia la frecuencia de transmisión.

Para el enlace descendente entre el satélite y la estación terrena ubicada en la ciudad de Guatemala utilizaremos el subíndice DESC1 y para el enlace descendente entre el satélite y la estación terrena ubicada en aldea El Naranjo utilizaremos el subíndice DESC2.

Figura 12. Huella satelital para el SATMEX 5 en banda C



PIRE= 39 dBW
SFD= -92 dBW/m2
G/T= -2 dB/K

Pérdidas en el espacio libre descendente

$$L_{S_{DESC}} = 20 \text{Log} \left(\frac{4\pi * F * D}{C} \right)$$

Siendo:

F = Frecuencia descendente (Hz)

D = Distancia entre E/T y satélite (m)

C = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

Para el enlace ascendente entre la estación terrena en ciudad de Guatemala y el satélite utilizaremos la frecuencia central 5,988.75 Mhz, por lo tanto la frecuencia en la que el satélite transmitirá hacia la estación terrena (enlace descendente) será de 2.3 GHz menos teniendo una frecuencia para el enlace descendente de 3,688.75 Mhz, de cálculos anteriores obtuvimos que la distancia entre la estación terrena en la ciudad de Guatemala y el satélite es de 36,511.10 Kms sustituyendo estos valores obtenemos:

$$L_{S_{DESC1}} = 20 \text{Log} \left(\frac{(4\pi)(3,688.75 \times 10^6 \text{ Hz})(36,511.10 \times 10^3 \text{ m})}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \right)$$

$$L_{S_{DESC1}} = 194.87 \text{ dB}$$

Para el enlace ascendente entre la estación terrena en la aldea El Naranjo y el satélite utilizamos una frecuencia central 5,989.400 Mhz, por lo tanto para el enlace descendente entre el satélite y aldea El Naranjo tendremos una frecuencia de 3,689.400 Mhz debido al oscilador local del transpondedor el cual cambia la frecuencia en 2.3 Ghz, de cálculos anteriores obtuvimos que la distancia entre la estación terrena de la aldea El Naranjo y el satélite es de 36,561.43 Kms sustituyendo estos valores obtenemos las pérdidas por espacio libre del enlace descendente 2.

$$Ls_{DESC2} = 20 \text{Log} \left(\frac{(4\pi)(3,689.400 \times 10^6 \text{ Hz})(36,561.43 \times 10^3 \text{ m})}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \right)$$

$$Ls_{DESC2} = 195.04 \text{ dB}$$

Con los valores calculados anteriormente podemos encontrar la relación portadora a densidad de ruido del enlace descendente, para el enlace entre el satélite y la estación terrena en la ciudad de Guatemala (DESC1).

$$\left(\frac{C}{No} \right)_{DESC1} = 39 + 20 - (-228.6) - 194.87 - 0 - 1 [\text{dB} - \text{Hz}]$$

$$\left(\frac{C}{No} \right)_{DESC1} = 91.73 \text{ dB} - \text{Hz}$$

De la misma forma para el enlace descendente entre el satélite y la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo tenemos:

$$\left(\frac{C}{No} \right)_{DESC2} = 39 + 20 - (-228.6) - 195.04 - 0 - 1 [\text{dB} - \text{Hz}]$$

$$\left(\frac{C}{No} \right)_{DESC2} = 91.56 \text{ dB} - \text{Hz}$$

La relación portadora a ruido descendente esta dada por:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC1} = \left(\frac{C}{No}\right)_{DESC1} - 10\log(AB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC1} = 91.73 - 10\log(214.56 \times 10^3)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC1} = 38.41dB$$

De la misma forma para el enlace descendente entre el satélite y la estación terrena ubicada en la aldea El Naranjo.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC2} = \left(\frac{C}{No}\right)_{DESC2} - 10\log(AB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC2} = 91.56 - 10\log(214.56 \times 10^3)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC2} = 38.24dB$$

4.5 Enlace total

Para obtener el enlace total tomamos en cuenta todas las interferencias posibles, a continuación se mencionan los tipos de interferencia más

importantes en los enlaces satelitales con el fin de estudiar sus consecuencias y la forma de atenuar sus efectos.

Interferencia de satélites adyacentes

Esta es provocada por los lóbulos laterales de las antenas, tanto de las estaciones terrenas como de los satélites. En el caso del enlace ascendente la interferencia es provocada por una estación terrena ajena que apunta su haz principal hacia otro satélite pero su lóbulo lateral tiene cierto nivel que se manifiesta en el satélite del enlace de interés, es decir, afecta el enlace ascendente. La potencia de esta señal de interferencia en el satélite viene dada por:

$$I_u = \frac{(PIRE^*)Gu^*}{Lu^*}$$

En donde:

PIRE* es el PIRE de la estación terrena que esta causando la interferencia en la dirección del satélite de interés (que esta siendo interferido).

Gu* es la ganancia del satélite de interés pero en la dirección de la estación que esta causando la interferencia

Lu* son las pérdidas de espacio libre.

Interferencias por polarización cruzada

Esta se produce cuando se utilizan polarizaciones ortogonales y no existe una adecuada discriminación entre un tipo de polarización y otro, por tal razón su efecto puede ser disminuido utilizando antenas de buena calidad. La discriminación de polarización cruzada de una antena es la relación entre la potencia recibida con la polarización elegida para utilizarla y la potencia recibida colocando esta misma antena con la polarización ortogonal a la elegida y sin variar la fuente de láxenla, el valor mínimo de la discriminación de polarización para el caso de un enlace satelital esta dado por:

$$X_{\min} = \frac{1}{2} (X_e^{-1} + X_s^{-1})^{-1}$$

En donde X_e es la discriminación de polarización cruzada de la antena de la estación terrena y X_s es la discriminación de polarización cruzada de la antena del satélite.

Interferencia de intermodulación

Esta interferencia se produce cuando el TWTA (Amplificador de ondas progresivas) del satélite amplifica múltiples portadoras a la vez como en el caso de la técnica de acceso FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia) y el TWTA se utiliza cerca del punto de saturación. Se minimiza utilizando el Boo (Output Back off) del TWTA o utilizando solo una portadora por transpondedor como puede ser el caso con la técnica de acceso TDMA (acceso múltiple por división de tiempo).

Interferencia terrestre

Es producida por los enlaces terrestres que operan en la banda del enlace satelital como sucede cuando se utiliza la banda C, depende de la potencia y la densidad espectral de la portadora. Este tipo de interferencia se puede reducir realizando una adecuada selección del sitio de la estación terrena, utilizando un blindaje adecuado a la estación terrena o bien utilizando otra banda de frecuencia como la banda Ku la cual tiene como contraparte el inconveniente de atenuación por lluvia.

Considerando todas las posibles fuentes de interferencia en el enlace ascendente la relación portadora a ruido ascendente total esta dada por la ecuación:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC}}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{I}\right)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{X_{pol}}\right)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{X_{satady}}\right)}{10} \right)}} \right]$$

Para el satélite Satmex 5 tenemos los siguientes valores constantes

$$C/I \text{ Intermodulación ascendente} = C/I = 35.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Polarización cruzada ascendente} = C/X \text{ pol} = 29.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Satélite adyacente ascendente} = C/X_{satady} = 39.00 \text{ dB}$$

Sustituyendo los valores constantes y los resultados anteriormente obtenidos tenemos que la relación portadora a ruido ascendente total es:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{33.63}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{35}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{29}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{39}{10} \right)}} \right]$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASCTOTAL} = 26.70 \text{ dB}$$

Debido a que ambas estaciones terrenas tienen las mismas características y a que la distancia entre el satélite y cada una de las estaciones terrenas es casi la misma los valores de la relación portadora a

ruido ascendente en ambos enlaces es casi la misma, al sustituir cualquiera de las dos en la ecuación del enlace ascendente total el valor resultante es de 26.70 dB por lo tanto este será el valor que utilizaremos como resultado para ambos enlaces.

De la misma forma tenemos para el enlace descendente total:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC}}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{I}\right)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{Xpol}\right)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{Xsatady}\right)}{10} \right)}} \right]$$

Para el satélite Satmex 5 tenemos los siguientes valores constantes

$$C/I \text{ Intermodulación descendente} = C/I = 18.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Polarización cruzada descendente} = C/X \text{ pol} = 30.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Satélite adyacente descendente} = C/Xsatady = 28.00 \text{ dB}$$

Sustituyendo los valores constantes y los resultados anteriormente obtenidos tenemos que la relación portadora a ruido descendente total es:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{(38.24)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{(18)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{(30)}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{(28)}{10} \right)}} \right]$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESCTOTAL} = 17.31dB$$

Debido a que ambas estaciones terrenas tienen las mismas características y que la distancia entre el satélite y cada una de las estaciones terrenas es casi la misma los valores de la relación portadora a ruido descendente en ambos enlaces es casi la misma, al sustituir cualquiera de las dos en la ecuación del enlace descendente total el valor resultante es de 17.31 dB por lo tanto este será el valor que utilizaremos como resultado para ambos enlaces.

4.6 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 C/N REQUERIDA $(C/N)_{REQ}$ que depende de las características del módem y de la señal de comunicaciones. Al comparar a la C/N TOTAL con 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 enlace.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{ASCTOTAL}}{10} \right)} + \frac{1}{a \log \left(\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{DESCTOTAL}}{10} \right)}} \right]$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log\left(\frac{26.70}{10}\right)} + \frac{1}{a \log\left(\frac{17.31}{10}\right)}} \right]$$

Obteniendo de esta forma que la relación portadora a ruido total es:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TOTAL} = 16.83dB$$

Relación de portadora a ruido requerido

Se refiere al valor de relación portadora a ruido requerido para que el enlace satisfaga sus requerimientos y es función del ancho de banda, la velocidad de información y la relación señal a ruido, esta dada por:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = \frac{Eb}{No} + 10 \log(Vel_{inf}) - 10 \log(AB)$$

Sustituyendo datos tenemos que la relación portadora a ruido requerida para este enlace es de:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = 10 + 10 \log(256,000) - 10 \log(214,560Hz)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = 10.76dB$$

Margen del enlace

El margen del enlace es la diferencia entre la señal propuesta para el enlace y la señal requerida por el sistema. El margen del enlace debe ser mayor o cuando menos igual 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 recalcularemos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace que nosotros hayamos fijado como condición del diseño del enlace.

Y esta dada por:

$$ME = \left(\frac{C}{N} \right)_{TOTAL} - \left(\frac{C}{N} \right)_{REQ}$$

Sustituyendo tenemos:

$$ME = 16.83dB - 10.76dB$$

$$ME = 6.07dB$$

Este valor nos indica que según nuestros cálculos el enlace se puede llevar a cabo y satisfacer las necesidades para las cuales fue diseñado.

5. EQUIPOS A UTILIZAR

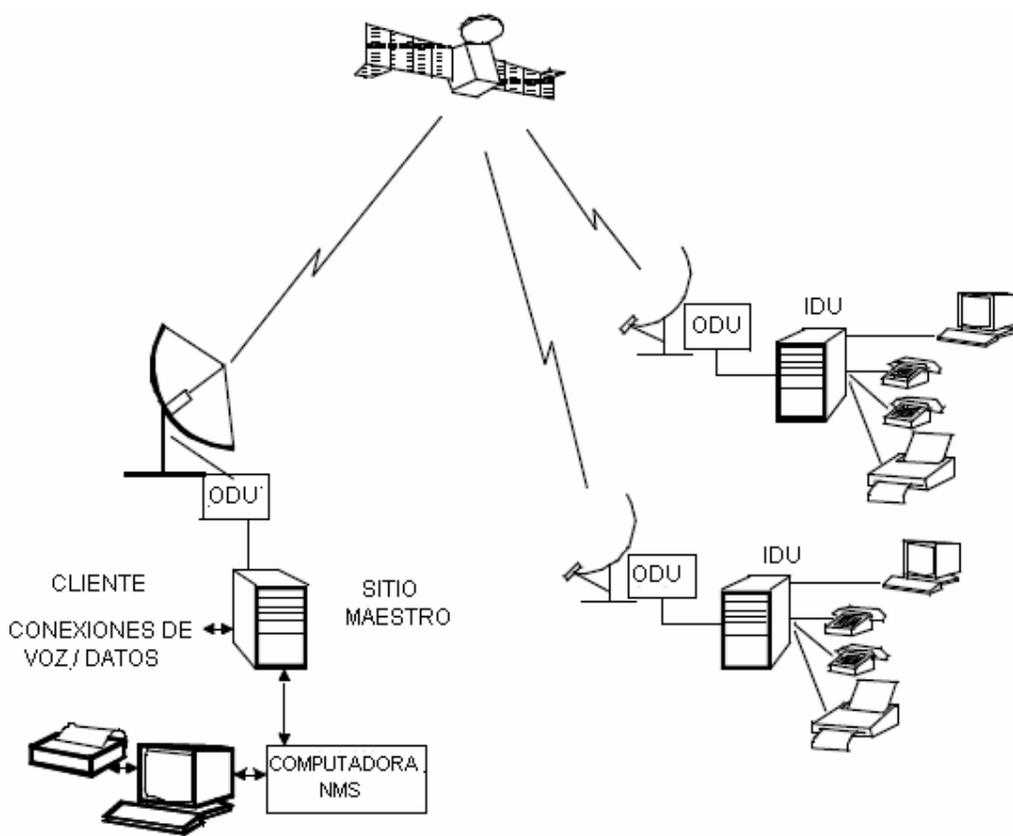
Para la implementación de una red de telefonía domiciliar vía satélite se necesitan equipos que realicen distintas funciones como lo son, plantas telefónicas, transmisores, receptores, procesadores de datos entre otros. En este capítulo se detallaran los equipos a utilizarse en la implementación del proyecto.

5.1 ISAT (*Integrated Systems Access Terminal*)

Es una red satelital de doble vía para redes con altos niveles de tráfico que pueden ser controlados con redes TDM y TDMA. ISAT usa *frame relay* como protocolo digital para viajar por el espacio. *Frame Relay* (FR) es una forma de transmisión de paquetes que puede ser usado por casi todo tipo de medio de comunicación datos digitales, voz, facsímiles o imágenes, FR es simple y rápido, es uno de los más eficientes protocolos de transmisión disponibles. La conmutación y enrutamiento a alta velocidad de los paquetes hace a FR sea totalmente compatible con sistemas de alta calidad de voz y permite una fácil combinación en circuitos de datos y voz. FR permite cambio flexible en la red como: número y tipo de puertos, tasa de transmisión, protocolos etcétera.

control y administración de la red. Esta estación tendrá probablemente más conexiones de usuario que las otras estaciones de red, igualmente si esta no es una red con configuración de estrella. Una configuración típica es mostrada en la figura siguiente.

Figura 14. Red ISAT con estación maestra



En la configuración estándar ISAT, el flujo de tráfico es independiente de la NMS, La NMS provee monitoreo y control de la red completa.

Cada estación de red abarca una antena con equipo electrónico de radiofrecuencia diseñado para exterior (ODU), y equipo electrónico diseñado para interiores (IDU). La IDU combina varias unidades, incluyendo equipo de MODEM, equipo de interfase de radiofrecuencia, y el Procesador Multimedia ISAT.

5.1.2 Beneficios de *Frame Relay*

Frame Relay (FR) ha logrado un papel importante en el campo de la comunicación de datos, y se define, oficialmente, como un servicio portador RDSI de banda estrecha en modo de paquetes, y ha sido especialmente adaptado para velocidades de hasta 2.048 Mbps, aunque nada le impide superarlas. Trabaja en el nivel de enlace de datos del modelo OSI, aunque también posee funcionalidad de nivel de red. Es utilizado para conectar distintas LANs entre sí de una manera rápida y eficiente. *Frame Relay* proporciona conexiones entre usuarios a través de una red pública, del mismo modo que lo haría una red privada con circuitos punto a punto, esto quiere decir que es orientado a la conexión.

El uso de conexiones implica que los nodos de la red son conmutadores, y las tramas deben de llegar ordenadas al destinatario, ya que todas siguen el mismo camino a través de la red, puede manejar tanto tráfico de datos como de voz. *Frame Relay* realiza control de congestión de la red, mientras que no lleva a cabo ningún tipo de control de errores o flujo, ya que delega ese tipo de responsabilidades en capas superiores, obteniendo como resultado una notable reducción del tráfico en la red, aumentando significativamente su rendimiento. Esta delegación de responsabilidades también conlleva otra consecuencia, y es la reducción del tamaño de su cabecera (un menor *overhead*) consiguiendo de nuevo una mayor eficiencia. Esta delegación de control de errores en capas superiores es debido a que *Frame Relay* trabaja bajo redes digitales en las cuales la probabilidad de error es muy baja.

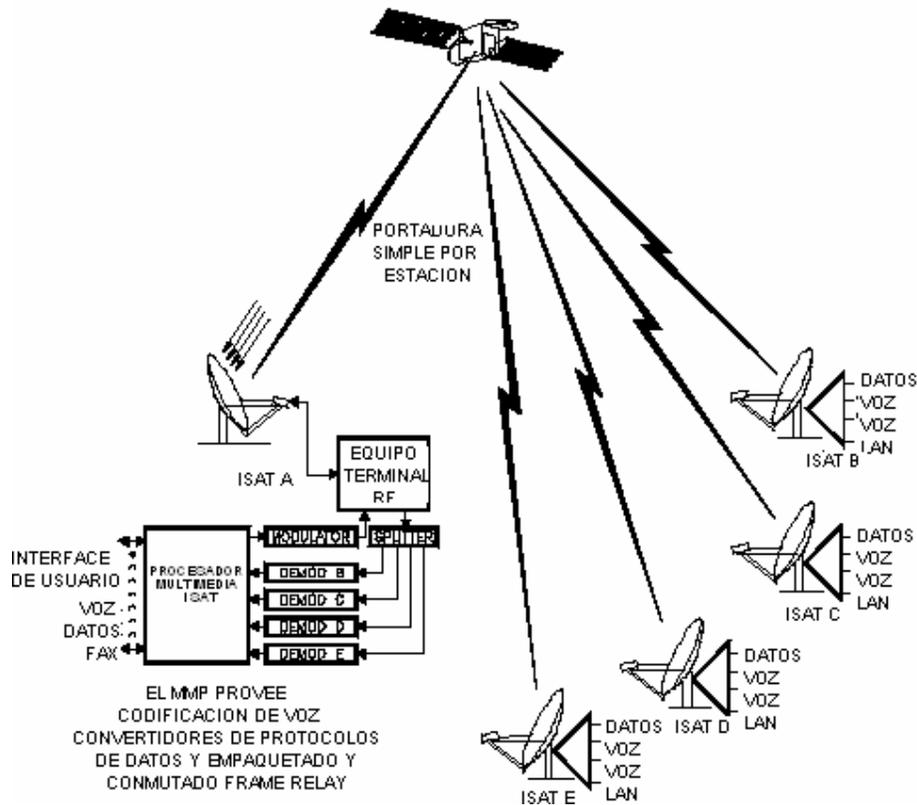
Multiplexación de ancho de banda compartido. El sistema ISAT provee muy alta eficiencia para transmisión de datos. Esto es debido a las características de *Frame Relay* entre las que destacan una reducida cantidad de bits de cabecera, tramas de longitud variable con lo cual se

elimina la transmisión de espacios vacíos en la trama, y los puertos inactivos no generan tramas.

5.1.3 Procesamiento y enrutamiento de la información

Cada estación en la red transmite solo una portadora, en una frecuencia discreta asignada. Esta portadora es transmitida continuamente. Toda la información entendida por otras estaciones de la red es multiplexada en la portadora. multiplexación de mensajes, demultiplexación y enrutamiento es desarrollado por el procesador multimedia ISAT. Debido a que la portadora es transmitida continuamente, los circuitos de comunicación en la portadora están disponibles de forma inmediata para su uso, sin contención o retrasos, solo en el caso de redes con un tráfico excesivamente alto puede requerir de múltiples portadoras para la transmisión.

Figura 15. Elementos básicos en una red ISAT



En cada estación, paquetes de salida son multiplexados dentro de una simple ráfaga de datos por el procesador multimedia ISAT. Esta ráfaga de datos contiene una secuencia de mensajes empaquetados por cualquiera o por todas las terminales en la red. La ráfaga de datos es entonces convertida en una portadora simple modulada y transmitida al satélite para la repetición.

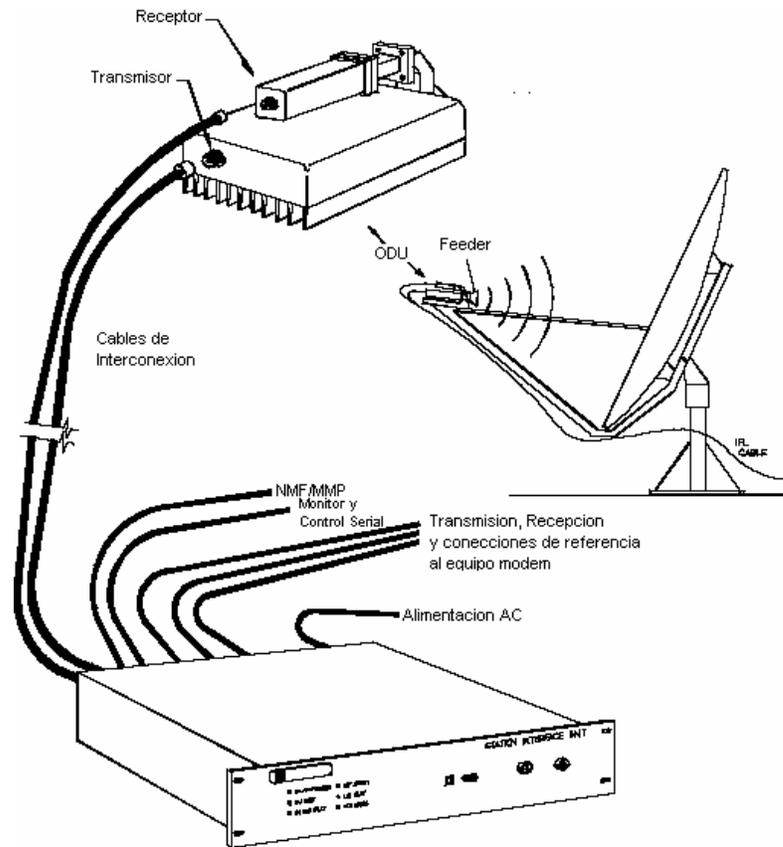
El procesador multimedia ISAT chequea y compara la cabecera de los paquetes entrantes contra una tabla de direcciones de enrutamiento guardadas internamente. Si un paquete no es entendido por esta Terminal, este es descartado.

5.1.4 SIU (*Station Interface Unit*)

Descripción: El SIU es una unidad de supervisión de estación, es una conectividad de interfase completa entre equipo de interior (IDU) y equipo de exterior (ODU). Toda la conexión entre equipo interior y de exterior esta hecha a través de la SIU, como se muestra en la figura siguiente. Los puertos en el panel posterior del equipo proveen conexión para señales de transmisión y recepción, control y monitoreo de la red, señales de referencia, sensado y control remoto.

La SIU provee puertos de entrada y salida para conexión a una computadora para la realización de redes de monitoreo NMS (*Network Management System*) o NCS (*Network Control System*). La mayoría de instalaciones usan este programa, el cual combina todas las configuraciones de operación esencial con una red de monitoreo y control. La NMS/NCS puede comunicarse vía módem o por comunicación de red.

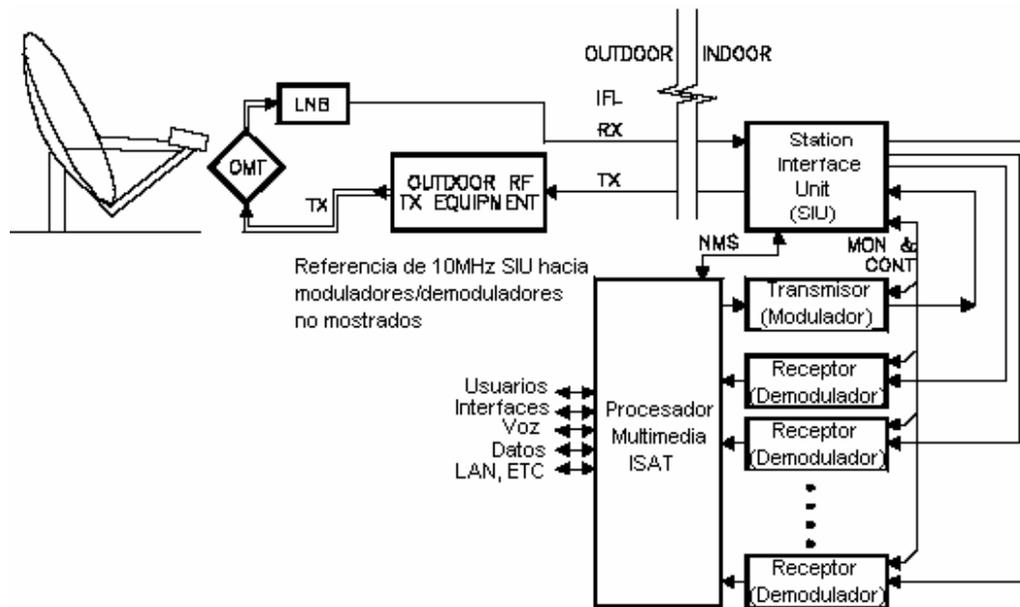
Figura 16. Conexiones de la SIU



Los dispositivos son normalmente conectados a la SIU a través de un DSB (Device Serial Bus). Un DSB es un bus multi acceso al cual múltiples unidades de equipo pueden ser conectados. En esta es utilizado un simple protocolo asíncrono.

Principios de operación: La figura siguiente es un diagrama de bloques simplificado de la SIU modelo 5073, note que la unidad consiste de una tarjeta de interfase RF, una tarjeta de interfase digital, el procesador SIU, dos tarjetas con leds de indicación, y una fuente de alimentación.

Figura 17. Conexión de la SIU en un sistema ISAT



Las señales de transmisión en banda L son aplicadas al puerto de entrada de transmisión y a través de un atenuador, controlado por el procesador SIU, el cual establece el nivel de transmisión. El atenuador es usado para establecer los niveles, compensado por pérdidas IFL y provee control de potencia.

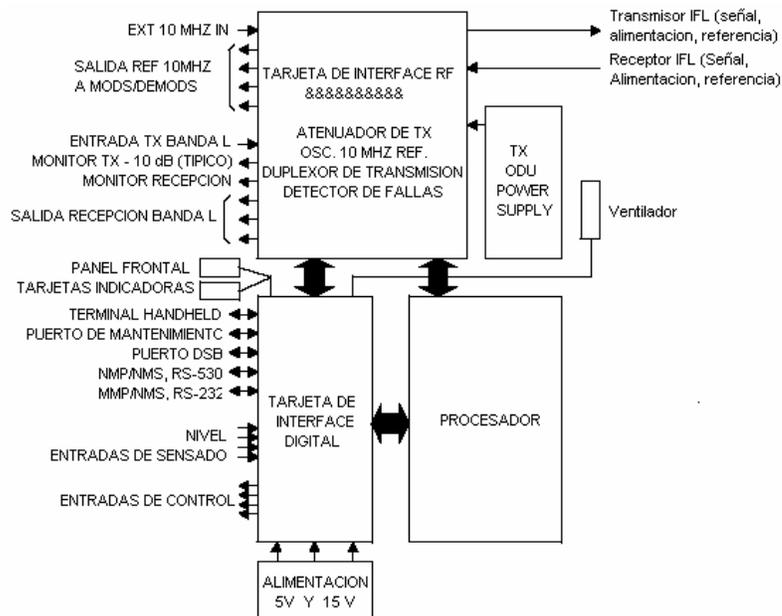
Seguido de la atenuación, la señal es amplificada, muestreada para monitoreo de transmisión, y alimentada al duplexor. El duplexor combina la señal de transmisión con la señal de referencia de 10 MHz y la fuente de alimentación de DC para las unidades de exterior (ODU). La señal combinada es entonces aplicada a la interfase ODU para transmisión vía la IFL.

La SIU monitorea la ODU para fallas de voltaje y corriente. Si el voltaje de la ODU no esta presente, o si la ODU no esta requiriendo corriente, una señal de falla de transmisión será enviada al procesador SIU. Esta señal de falla debe ser también codificada, por el software de control. La señal de referencia es generada por un oscilador a 10 MHz y dividida a la salida de

moduladores, demoduladores, la ODU y el LNB para transmisión vía el IFL. Por medio de *jumpers* (seleccionadores internos) se puede establecer el uso de una señal de 10MHz interna o externa.

En el lado del receptor, la señal en banda L proveniente del LNB es alimentado a través del duplexor, amplificado, y entonces dividido a la salida y monitoreo. Note que la alimentación del LNB y la señal de referencia opcional de 10 MHz son multiplexadas con la señal de recepción. Una falla de corriente detectada indica cualquier anomalía en la condición de la corriente en la IFL y/o el LNB y reporta esta al procesador del SIU. Los puertos de sensado pueden ser usados para reportes de condiciones externas (por medio de un manejador con relés) para proveer monitoreo para alarmas de intrusos, alarmas de sobret temperatura y otras condiciones. Seis indicadores en el panel frontal, manejados por dos tarjetas de leds, dan información visual sobre el estatus actual relacionado a la actividad de bus y alarmas.

Figura 18. Diagrama de bloques de la SIU



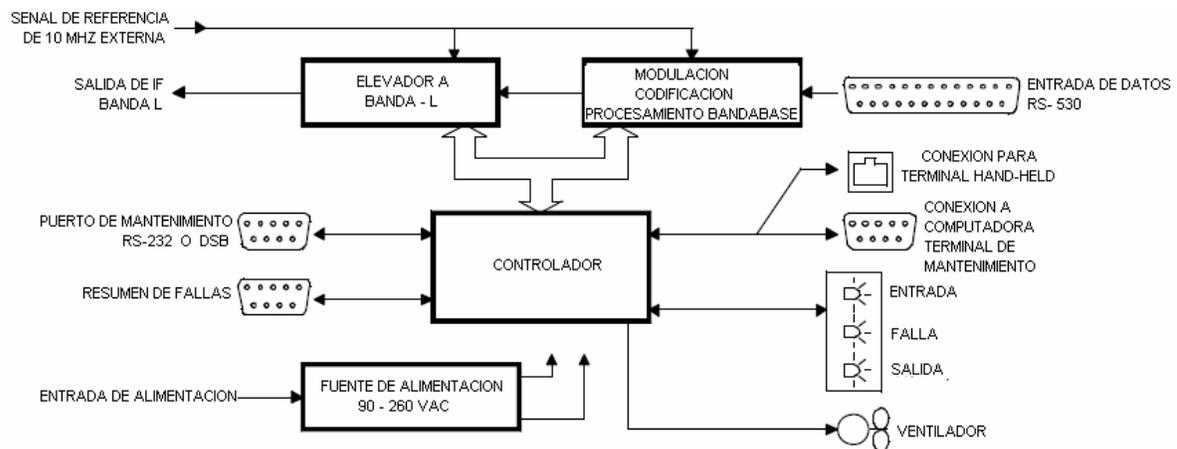
5.1.5 Transmisor digital 8372

Descripción: El transmisor digital modelo 8372 emplea paquetes de circuitos integrados que utilizan toda la lógica digital y son construidos en escala de integración grande (LSI), estos son diseñados para uso en enlaces de dos vías y aplicaciones de datos. Se encuentran en opciones de modulación QPSK o BPSK con codificación para corrección de errores convolucional progresiva (FEC) de 1/2, 3/4 o 7/8.

El transmisor opera con datos del usuario en velocidades comprendidas entre 9.600 a 4,096 Kilo bits por segundo (kbps). Esta diseñado principalmente para uso con sistemas ISAT (*Integrated Services Acces Terminal*) aunque la unidad puede operar en otras múltiples aplicaciones de alto desempeño. El Standard de rango automático de fuente de alimentación de AC opera en un rango de 90 a 260 VAC, 47-400 Hz de entrada. Este equipo puede ser montado en un rack convencional.

Principios de operación: La figura siguiente muestra un diagrama de bloques simplificado del transmisor digital modelo 8372.

Figura 19. Diagrama de bloques del transmisor digital



La entrada de datos de usuario se lleva a cabo en interfase con niveles RS-232 o en RS-485 en un conector tipo "D" de 25 pines (marcado DATA). Internamente, los datos son codificados diferencialmente, mezclados y en procesados en bandabase. Los datos codificados son entonces alimentados a la circuiteria del modulador donde estos son modulados en una portadora de frecuencia intermedia (IF). La señal IF modulada resultante es elevada a una banda L de frecuencia de salida en el rango de 950 a 1,530 MHz.

Una señal de referencia externa de 10 MHz es aplicada al puerto 10 MHz IN, esta señal es usada como una referencia para temporizacion y para generar la frecuencia intermedia.

El controlador es un microcomputador con memoria externa de tipo RAM y ROM. Adicionalmente a otras funciones, este componente procesa toda la configuración, comandos y provee la salida a los tres leds indicativos en el panel frontal. Estos indicadores están marcados como ENTRADA (*INPUT*), *FAULT* (FALLA) y SALIDA (*OUTPUT*), dados convenientemente como monitoreo visual para el estatus y la detección de fallas.

En el panel trasero se encuentra un conector tipo "D" de 9 pines, marcado *FAULT* (FALLA), este puerto provee conectividad de salida para un relé de alarma formando contactos. Esta salida puede ser usada como actuador en alarmas externas a cualquier señal detectada como condición de falla.

5.1.6 Receptor digital

Descripción: El receptor digital de datos (demodulador) emplea dispositivos electrónicos de lógica digital completa y una escala de integración grande (LSI). La unidad provee los siguientes modos de operación:

- Modulación QPSK (con FEC de 1/2, 3/4 o 7/8)

- Modulación BPSK (con FEC de 1/2)

El receptor puede ser usado para aplicaciones de enlaces de dos vías y en aplicaciones de datos. No son requeridos cambios internos de hardware para reconfigurar la unidad; todas las operaciones son administrables enteramente por medio de software de mantenimiento proporcionado por el proveedor. El modelo 8471 puede ser reconfigurado remotamente desde la central a través del enlace satelital, usando el software de mantenimiento. El control remoto permite cambiar los parámetros operativos del receptor y cargarle software. Existen dos formas de control remoto las cuales son:

- Framed User Data (FUD) el cual no interfiere el tráfico del usuario.
- Clear Channel (con palabra única), la cual inhabilita el tráfico del usuario.

Principios de operación: La figura siguiente es un diagrama de bloques simplificado del receptor digital modelo 8471. Señales entrantes recibidas en la antena son convertidas por un LNB estable a frecuencias de Banda-L y alimentadas vía la interfase (IFL) a los circuitos de recepción. Las señales son entonces adicionalmente convertidas a una frecuencia intermedia (IF), amplificada, remodulada, decodificada, ordenada, decodificada diferencialmente y convertida a alguno de los niveles RS-232 o RS-422. La señal de salida es entonces enviada al puerto de datos de salida en la parte posterior del equipo, este puerto es un conector tipo “D” de 25 pines.

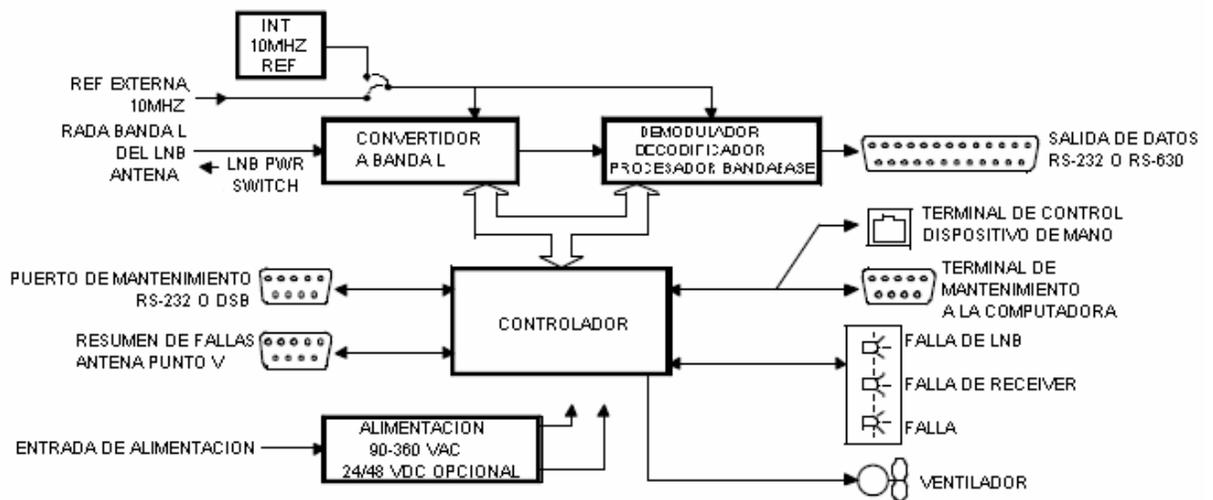
Las entradas de control y las salidas de estado están disponibles en dos puertos físicos. El panel posterior soporta interfaces RS-232 o DSB RS-485 (seleccionables por medio de un DIP switch de dos estados en la parte posterior del equipo), en un conector tipo D de 9 pines. La interfase lógica (protocolo) es siempre DSB (Devise Serial Bus). Un segundo puerto físico en el panel frontal consiste de dos conectores en paralelo; un RJ-11 el cual

soporta al dispositivo de control modelo 5040 y un conector tipo D el cual soporta una computadora personal corriendo el programa de mantenimiento.

La unidad controladora es un microcomputador con memoria ROM y memoria RAM externas. Adicionalmente a otras funciones, estos componentes procesan todos los comandos de configuración y proveen salidas a los tres indicadores lumínicos de fallas localizados en la parte frontal del equipo LNB, RCVR, y FADE (falla del LNB, falla del receptor, y falla de condición respectivamente). Prioritariamente, conexiones internas pueden ser modificadas para configurar la unidad al uso de una señal de referencia de 10MHz interna o alternativamente una señal de referencia externa.

La alimentación de operación del LNB puede ser proporcionada por el receptor o por una fuente externa. Por medio de un DIP switch en la parte trasera del equipo se puede configurar si la alimentación del LNB es proporcionada por el receptor.

Figura 20. Diagrama de bloques del Receptor Digital



5.1.7 CX950e

El CX950e es una plataforma de acceso multiservicios de alto desempeño, por medio de la cual se obtiene un ahorro de ancho de banda superior utilizando avanzados sistemas tecnológicos para la compresión y multiplexación de voz y datos. El CX950e preserva la integridad del servicio y compensa los *delays* causados por enlaces satelitales.

El CX950e soporta capacidades grandes de voz digital y una alta densidad de datos, con lo cual se puede lograr un gran desempeño en centrales satelitales. En particular, el CX950e genera eficiencia adicional al ancho de banda reduciendo costos de mantenimiento y soporta enlaces satelitales asimétricos con *frame relay* a velocidades hasta 8 Mbps.

El CX950e soporta una arquitectura modular elevada, ofreciendo 8 puertos de entrada salida en un compacto chasis de 5 pulgadas de alto. Este provee encriptado 3DES y compresión de datos LZO con acelerador de hardware contribuyendo de esta forma a un rápido y seguro desempeño en la transmisión de datos.

Figura 21. Equipo Memotec CX950e



El CX950 proporciona características innovadoras para transmisión de voz y datos. Entre las características innovadoras se incluyen:

- Compresión de voz analógica y digital concurrente con VoIP
- Canales abiertos para voz analógica y digital
- Emulación de circuitos seriales y digitales
- Alto nivel de encriptación en el enlace
- Enrutamiento IP

Las interfaces incluyen:

- T1/E1 digital: sin trama, fraccional, canalizados, voz, datos, TDM
- Puertos seriales V.24, X.21, V.35/V.35H hasta 8 Mbps
- ISDN PRI (Q.931)
- ISDN BRI S/T Voz y datos (I.606, I.122)
- Voz analógica FXO, FXS, E&M (Tipo 1-V 2 y 4 cables)
- Ethernet 10/100 Mbps

Capacidad:

- 8 T1/E1s (voz/datos/TDM)
- 40 Puertos seriales
- 3 10/100 Mbps puertos ethernet
- 16 puertos de voz analógica
- Hasta 120 canales de voz digital
- Hasta 120 canales de VoIP

5.1.8 CX2000

El CX2000 es un equipo con las mismas características que el CX950, pero de mayor capacidad, este es el encargado de modular las señales provenientes de la central telefónica y entregarla modulada, encriptada y multiplexada al equipo de transmisión satelital. Este es utilizado en estaciones centrales con múltiples puntos remotos en los que se encuentran equipos CX950.

Figura 22. Equipo Memotec CX2000 usado en estaciones centrales



Las interfaces incluyen:

- T1/E1 digital: sin trama, fraccional, canalizados, voz, datos, TDM
- Puertos seriales V.24, X.21, V.35/V.35H hasta 8 Mbps
- ISDN PRI (Q.931)
- ISDN BRI S/T Voz y datos (I.606, I.122)
- Voz analógica FXO, FXS, E&M (Tipo 1-V 2 y 4 cables)
- Ethernet 10/100 Mbps

Capacidad:

- 64 T1/E1s (voz/datos/TDM)

- 160 Puertos seriales
- 12 10/100 Mbps puertos ethernet
- 64 puertos de voz analógica
- Hasta 960 canales de voz digital
- Hasta 480 canales de VoIP

5.2 DSCO EAGLE

El sistema DSCO Eagle es un switch digital de telefonía de 256/640/1024 puertos, que ha sido diseñado para proveer servicio simultaneo de voz y/o datos hasta 992 suscriptores con una tarjeta de E1.

El *switch* DSCO Eagle es un sistema completamente digital. Este tiene inteligencia basada en microprocesadores con la disponibilidad a interfase con múltiples servicios avanzados. Esta emplea una interfase de instalación avanzada y paquete de diagnostico. El gabinete del equipo DSCO es un gabinete compacto diseñado para un montaje fácil en el suelo. Este gabinete alberga todos los circuitos del sistema. El sistema de interconexión de los abonados es simplificado por el uso de conectores tipo *amphenol* macho. El *switch* digital Eagle se compone de un gabinete de forma modular de los cuales existen tres módulos diferentes: la sección de ventilación, la sección de tarjetas y una sección de distribución de energía.

El estante principal del sistema esta equipado con una tarjeta madre que cuenta con *backplane* el cual interconecta las 8 posiciones disponibles para insertar tarjetas ya sea del tipo *plug in trunk* y/o tarjetas de suscriptores, dependiendo de la configuración del *switch*. Este estante también alberga dos unidades de procesamiento avanzado (APU) con dos *slots* disponibles para posibles ampliaciones.

Los módulos de expansión son interconectados por medio de cables a través del backplane, por medio de los cuales se conectan los estantes para la comunicación entre las tarjetas y para la distribución de la alimentación.

Figura 23. Módulo de tarjetas y módulo de alimentación del DSCO Eagle



El *backplane* maestro tiene dos tarjetas APU, dos *slots* disponibles para expansiones y 8 tarjetas de suscriptores para un total de 256 puertos. Cuando se necesite realizar ampliaciones a 640 puertos puede adherirse un segundo *backplane* con el cual tendrán dicha capacidad, de la misma forma para aumentar el sistema a 1024 puertos pueden adherir un tercer *backplane*.

La tarjeta de distribución de energía interconecta el sistema con la fuente de alimentación, posee entrada principal de 220 VAC, y conecta el sistema de baterías de backup a -48 VDC.

Sistema de buses: La APU (*system processor card*) envía mensajes de control a las tarjetas y recibe información del estatus de estas a través del bus multi drop. Este es un bus serial *full duplex* el cual utiliza un estándar RS-422. El bus serial transmite y recibe datos empaquetados a una tasa de

128 kilo baudios. Los paquetes son similares al protocolo DHLC. Todos los paquetes son chequeados de errores y retransmitidos si es necesario.

El bus de distribución de energía de la DSCO Eagle, alimenta las tarjetas por medio del *backplane* el cual es conectado por cables al bus de distribución. Este bus distribuye -48VDC y voltaje de *ring* a todas las líneas de alimentación para las tarjetas en el sistema de distribución de energía.

El sistema esta diseñado con una arquitectura distribuida computarizada. La tarjeta de procesamiento principal, la APU controla funciones globales como la matriz de switcheo, interfaces cliente / servidor, control de comunicación entre tarjetas, etc.

APU (*Advanced Processor Unit Board*): La tarjeta APU es la tarjeta de circuitos del sistema operativo, en esta se tiene la información general del sistema, configuraciones, programas, en resumen es el corazón del *switch*. El sistema DSCO puede ser configurado con dos tarjetas APU para operación redundante.

Tarjeta de interface E-1: La tarjeta E1 es una tarjeta de troncal digital la cual realiza una interfaz predefinida a circuitos de troncal digital. Por lo tanto es la interconexión entre la red telefónica externa y la red telefónica interna.

Tarjeta de interfase a subscriptores (SLI): La tarjeta de interfase a subscriptores de línea es una tarjeta con capacidad de proporcionar 32 puertos para subscriptores de línea. Esta puede prestar servicio de telefonía y aplicaciones especiales del sistema a los usuarios que ella alberga. Los subscriptores de línea salen de esta por medio de dos conectores tipo *Amphenol* macho los cuales proveen 16 pares (líneas telefónicas) cada uno. Para realizar expansiones de usuarios en esta clase de *switch* es necesario aumentar la cantidad de tarjetas SLI del sistema.

5.3 Antena

En este proyecto se utilizaran antenas marca Prodelin de la serie 1251, esta es una antena construida de fibra de vidrio, con un diámetro de 2.4 metros que opera en la banda C y en la banda KU, y es útil como receptora y transmisora. Entre sus características principales tenemos:

- Reflector de dos piezas
- Aprobada por INTELSAT en banda C
- Reducido tiempo de instalación por su diseño de montura
- Fácil traslado
- Kits de interfase para todas las bandas de radiofrecuencia
- Configuración de doble eje de tracción.

La siguiente tabla muestra los parámetros de operación de dicha antena:

Tabla III. Características de la antena

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD
Frecuencia de Operación	Recepción: 3.625 – 4.2 GHz Transmisión: 5.850 – 6.425 GHz
Ganancia Media (± 2 dB)	Recepción: 38.0 dBi Transmisión: 42.0 dBi
Tipo de Montura	Elevación sobre azimut
Peso	385 Libras
Rango de Ajuste de Elevación	5° a 90° ajuste fino continuo
Rango de Ajuste de Azimut	$\pm 45^\circ$ Ajuste fino, 360° continuo
Carga de Viento	Operación: 80 Km./h Sobrevivencia: 201 Km./h
Temperatura	Operación -40° C a 60°C Sobrevivencia: -46° C a 71°C
Lluvia	Operación : 1/2"/hr Sobrevivencia: 2"/hr

Figura 24. Antena Prodelin



5.3.1 LNB

Este es el receptor ubicado en la antena, es un equipo diseñado para trabajar en condiciones climáticas adversas y con características para dar un alto desempeño durante mucho tiempo en intemperie (ODU), este equipo esta conectado al SIU y es alimentado por medio del cable de IFL por medio del cual también se transmiten los datos provenientes del satélite al SIU multiplexados.

Entre las principales características de este LNB tenemos:

Tabla IV. Características del LNB

CARACTERÍSTICA	VALOR
Máxima temperatura de ruido	20°K
Máxima estabilidad del Oscilador Local.	±5 kHz
Ruido de fase	-73 dBc/Hz en 1kHz
Ganancia de Conversión	55dB mínima / 70dB máxima
Salida P1dB mínima	9 dBm
Fuente de Alimentación requerida	+15 a +24 V Provistos a través del conductor del centro del cable de IF.
Conector	Tipo "N" de 50 ohmios
Máxima corriente de drenaje	350 mA
Dimensiones	180 X 100 X 70 mm
Peso	700 g ramos / 25 onzas
Frecuencia de entrada (GHz)	3.40 a 4.20 GHz
Frecuencia del oscilador local (GHz)	5.15 GHz
Frecuencia de salida (MHz)	950 a 1750 MHz

Figura 25. Figura del LNB a utilizar



5.3.2 Transmisor

Este es el equipo encargado de radiar las señales recibidas por medio del equipo SIU hacia el satélite, es un transmisor de 5 watts de potencia el cual esta diseñado para trabajar en intemperie por periodos de tiempo largos. Entre las principales características de este transmisor tenemos:

Tabla V. Características del transmisor

CARACTERÍSTICA	VALOR
Frecuencia de Salida	5.850 a 6.425 GHz
Frecuencia de Entrada	950 a 1525 MHz
Salida P1dB mínima	37 dBm
Frecuencia del Oscilador Local	7.375 GHz
Ganancia Incluyendo variaciones sobre temperatura y frecuencia	57 dB mínima 67 dB máxima
Frecuencia de referencia externa	10 MHz
Requisitos de Alimentación	+15 a +24 V Provistos a través del conductor del centro del cable de IF.
Consumo de potencia máximo	60 W
Dimensiones	300 X 170 X 58 mm
Peso	3.5 Kg / 7.7 Libras
Conector	Tipo "N" de 50 ohmios

Figura 26. Transmisor a utilizar



6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE TELECOMUNICACIONES

6.1 Alimentación de los equipos de telecomunicaciones

La fuente de alimentación es el nexo entre los sistemas de telecomunicaciones y la red pública de energía eléctrica. Por lo tanto debe no solo adaptarse a las características de la red sino cumplir, además, con todas las exigencias de los sistemas de telecomunicaciones y de sus acumuladores de energía (banco de baterías). Ello se logra convirtiendo las tensiones de la red (o del equipo que la reemplaza) en tensiones adecuadas a la alimentación de los sistemas de telecomunicaciones respetando, especialmente, sus exigencias en lo referente a niveles, tolerancias, pureza, etc.

La fuente de alimentación para un equipo de telecomunicaciones debe tener las siguientes características:

- Debe mantener las respectivas tolerancias de la tensión de alimentación a los equipos cuando:
 - Se producen sobrecargas instantáneas
 - Varía la frecuencia de red
 - Varía la tensión de red
- Debe mantener la pureza de la tensión continua dentro de los valores establecidos por los reglamentos.
- Debe evitar, en todo lo posible, las interrupciones del suministro de energía.
- Debe poseer suficientes elementos de supervisión, protección, limitación y señalización

- Debe ser fácilmente ampliable
- Debe resultar rentable
- Debe ser de reducidas dimensiones y poco peso
- Debe resultar fácil su montaje y mantenimiento.

Un sistema de alimentación para equipos de telecomunicaciones debe cumplir con los siguientes requisitos y características:

6.1.1 Valores de las tensiones continuas

La mayoría de equipos de telecomunicaciones se alimentan con 24, 48 y 60V. Los sistemas actuales se construyen mayormente para tensiones de alimentación de 48V o 60V. El polo positivo se conecta generalmente a tierra. Aunque también hay equipos que se alimentan con 110V de corriente alterna y poseen un sistema de conversión AC-DC dentro de su estructura.

6.1.2 Tolerancias de las tensiones continuas

La tolerancia es el margen de cambio en el voltaje de alimentación que puede soportar el equipo sin sufrir daños. La tensión inferior permanente admisible se determina en base a la seguridad requerida para evitar conexiones erróneas al establecer la comunicación y su mantenimiento. La tensión superior permanente admisible la determina el calentamiento de los componentes (relés, selectores, etc.).

La tensión límite superior no debe ser excedida ni siquiera brevemente, debido al peligro de destrucción de los componentes (en especial semiconductores).

6.1.3 Clases de servicio de alimentación para equipos de telecomunicaciones

6.1.3.1 Servicio con rectificadores

En el servicio con rectificadores también llamado de alimentación directa el sistema de telecomunicaciones es alimentado con corriente continua mediante rectificadores directamente conectados a la red. La alimentación se interrumpe durante una falla de la red o del rectificador. Cuando retorna la tensión de red, el rectificador se reconecta automáticamente. Se utiliza esta clase de servicio en sistemas de telecomunicaciones pequeños a medianos, cuando ocasionales interrupciones de este servicio son aceptables.

6.1.3.2 Servicio en paralelo

Si se requiere que en el caso de faltar energía de la red o de otras perturbaciones, el sistema de telecomunicaciones siga funcionando sin restricciones, se debe prever una reserva de energía como lo es una batería de plomo. En la modalidad de servicio en paralelo el rectificador, la batería y el sistema de telecomunicaciones se encuentran permanentemente conectados en paralelo. Al fallar la alimentación del rectificador, la batería sigue suministrando energía al sistema de telecomunicaciones sin interrupciones hasta que el rectificador vuelva a funcionar, cuando retorna la energía de la red. Cuando queda restablecido su servicio no solo alimenta al sistema de telecomunicaciones sino que también carga la batería.

Las ventajas de servicio en paralelo residen en el ya mencionado cambio de suministro sin interrupciones ni elementos adicionales para la conmutación, además la batería absorbe en este caso los picos de carga. Este tipo de servicio se puede dividir en dos tipos: Servicio tampón y servicio en paralelo con disponibilidad inmediata.

6.1.3.2.1 Servicio tampón

En este servicio, si bien el rectificador cubre el consumo promedio del sistema de telecomunicaciones, no puede hacerlo con los picos de carga. En este caso, la batería suministra la corriente que excede a la nominal del rectificador ($I_v > I_n$). Cuando se reduce el consumo (fuera de las horas de mayor tráfico) el rectificador suministra a la batería una corriente de carga (o compensación); o sea que se utiliza a la batería en forma alternada, ya sea para suministrar la corriente adicional requerida o para cargarla. En esta clase de servicio puede suceder que no se disponga de la plena capacidad de la batería, lo cual significa menor tiempo de reserva en caso de falla de la red, salvo que se instale una batería de mayor capacidad, adecuada al tiempo de reserva requerido. Con servicio tampón se acorta la vida útil de la batería; por eso se prefiere en la actualidad la segunda variante la cual se enuncia a continuación.

6.1.3.2.2 Servicio en paralelo con disponibilidad inmediata

En el servicio en paralelo con disponibilidad inmediata, el rectificador suministra siempre toda la energía requerida por el sistema de telecomunicaciones además le suministra a la batería una “corriente de carga de mantenimiento”. Por eso, ante una falla de la red o del rectificador, la batería dispone de su plena capacidad –siempre que el tiempo transcurrido entre su anterior utilización y posterior nueva descarga hubiese alcanzado para cargarla.

Cuando, en casos excepcionales, el sistema de telecomunicaciones requiere repentinamente una corriente mayor que la nominal del rectificador, esta es suministrada por la batería. En tal caso, la clase de servicio en paralelo con disponibilidad inmediata pasa, transitoriamente, al servicio tampón.

6.1.3.3 Servicio de conmutación

Un rectificador alimenta al sistema de telecomunicaciones y otro a la batería. La batería se conecta con el sistema de telecomunicaciones solo cuando ocurre una falla de la red, en cuyo caso esta batería suministra la energía al sistema, esta se puede dividir en.

6.1.3.3.1 Servicio de conmutación con interrupción

Servicio de conmutación con interrupción significa que la alimentación del sistema de telecomunicaciones se interrumpe brevemente tanto cuando se conmuta a la alimentación por batería como cuando se pasa nuevamente a la alimentación por la red. Esta clase de servicio se utiliza rara vez en la práctica debido a que en la mayoría de los casos no es admisible una interrupción.

6.1.3.3.2 Servicio de conmutación sin interrupción

Por las razones señaladas anteriormente se utiliza en las instalaciones de alimentación para telecomunicaciones, la clase de servicio de conmutación sin interrupciones.

6.2 Interferencias eléctricas

6.2.1 Concepto de interferencias eléctricas

Las interferencias pueden definirse como cualquier cosa que provoque molestias. Por ejemplo, puede ser ocasionado por frecuencias que causen interferencia o por inducción electromagnética. Siempre que una corriente eléctrica, por pequeña que sea, fluye por un cable u otro conductor existe un campo magnético externo. De igual manera un campo cambiante en el tiempo hará que fluya una corriente en cualquier conductor que se encuentre en sus inmediaciones. Si esta corriente inducida se convierte en una molestia, entonces existe una interferencia electromagnética (EMI) y el

segundo conductor ubicado en las inmediaciones se convierte en una víctima por inducción, mientras que el conductor interferente es llamado fuente electromagnética.

6.2.2 Susceptibilidad electromagnética

Susceptibilidad es el grado hasta el que un equipo o sistema es vulnerable a los efectos de interferencias electromagnéticas o interferencias de radiofrecuencia, en otras palabras es el punto en el que una interferencia se convierte en una molestia.

El grado de susceptibilidad puede estar relacionado con la sensibilidad, frecuencia, ancho de banda y distancias. Los efectos pueden variar desde la irritación hasta la destrucción. Generalmente tiende a preferirse el término inmunidad frente al de susceptibilidad, ya que el primero es un atributo positivo mientras que el último es un atributo negativo.

6.3 Sistema de tierra física

Por puesta a tierra generalmente entendemos una conexión eléctrica a la masa general de la tierra, siendo esta última un volumen de suelo, roca etc., cuyas dimensiones son muy grandes en comparación al tamaño del sistema eléctrico que está siendo considerado.

La definición de la IEEE de puesta a tierra es:

Tierra (sistema de tierra). “Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra”.

Es importante mencionar ciertas razones que más frecuentemente se citan para tener un sistema bien aterrado:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de falla (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de los aisladores.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.
- Para eliminar fallas a tierra con arco eléctrico persistente.
- Proporcionar una trayectoria alternativa para las corrientes inducidas y de tal modo minimizar el ruido eléctrico en cables.
- Proporcionar una plataforma equipotencial sobre la cual pueda operar equipo electrónico.

De acuerdo a procedimientos físicos establecidos, la resistencia ohmica es posible determinarla teóricamente, por medio de la formula:

$$R = \frac{\rho_o \times L}{A}$$

Donde:

ρ_o es la resistividad del terreno

R la resistencia de la porción de terreno

L el largo de la porción de terreno

A la altura de la porción de terreno

Sin embargo, para el caso de medir la resistencia del terreno de un sistema, no es posible aplicar directamente esta expresión, debido a que la resistividad del suelo no es uniforme y tiene múltiples variantes de acuerdo a las capas heterogéneas que lo componen. La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra, y resulta de interés

importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra.

6.3.1 Cableado de puesta a tierra y conectores

El conductor de puesta a tierra debe estar aislado con chaqueta de color verde o verde con una o más franjas amarillas además debe ser retardante de las llamas, resistentes a la humedad y altas temperaturas. Se recomienda el uso de cables de tipo THW, THHW.

Tabla VI. Capacidad de corrientes para distintos tipos de cable

<i>Máxima capacidad de corriente de la planta (A)</i>	<i>Cable de Cobre N° AWG</i>
15	14
20	12
30	10
40	10
60	10
100	8
200	6
300	4
400	3
500	2
600	1
800	1/0
1000	2/0
1200	3/0
1600	4/0
2000	250 Kcmil
2500	350 Kcmil
3000	400 Kcmil
4000	500 Kcmil
5000	700 Kcmil
6000	800 Kcmil

El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre u otro material adecuado resistente a la corrosión, sólido o trenzado. El camino a tierra desde circuitos, equipos y canalizaciones de conductores debe:

- Ser permanente y efectivamente continuo.
- Debe tener suficiente capacidad de corriente para transportar con toda seguridad cualquier corriente de falla que pueda circular por él.
- Tener impedancia suficientemente baja para limitar el potencial respecto a tierra.

- Asegurar el funcionamiento de los dispositivos de sobrecorriente del circuito.

Tramo en línea recta: El conductor de puesta a tierra se debe instalar en línea recta, tanto como sea factible, hasta el electrodo de tierra. Las curvaturas fuertes deben ser evitadas.

Radio mínimo de curvatura: El radio mínimo de curvatura de los conductores de tierra es de 15,24 cm (6 pulgadas) y todas las curvas deben estar dirigidas hacia el punto final de aterrizaje para ese conductor.

Longitud: Todos los conductores de tierra deben ser lo más cortos posible. Para el momento de la instalación debe tomarse en cuenta la ruta más corta y con el menor número de curvaturas, siempre que esto no interfiera con otro equipo o la seguridad personal.

Daños físicos: Cuando sea necesario, el conductor de puesta a tierra se debe proteger contra daños físicos, esto se logra colocándolo dentro de tuberías metálicas o de PVC. Si el conductor de tierra está colocado en una tubería metálica, ambos extremos de la misma deben estar conectados al conductor de tierra o al mismo terminal o punto al que se conecte dicho conductor.

Conexiones: El conductor de puesta a tierra se debe conectar al punto más cercano a:

- El electrodo de puesta a tierra de la instalación.
- Las tuberías metálicas de agua (fría) del interior del edificio.
- Un medio accesible de la acometida del servicio de energía, fuera de los armarios que pudiera haber.
- A una canalización metálica del servicio de energía.
- Al armario de los equipos de la acometida.

Este conductor deberá llevarse sin ningún empalme a cualquiera de los puntos anteriores y será dimensionado tomando el calibre del cable que soporte la cantidad de corriente que pueda pasar en caso de alguna falla.

Uniones de cables de tierra: Todas las uniones entre conductores de tierra a anillos o buses deben ser de cobre o cualquier material resistente a la corrosión y deben estar conectadas mediante una soldadura exotérmica (Cadweld) o sujetadas mediante abrazaderas a presión tipo C-Tab.

Conexión a los electrodos: Los electrodos del sistema de aterrizaje consisten en varillas de cobre o un material similar, de una longitud no menor a 2,40 metros y 5/8 mínimas de diámetro, los cuales deben estar enterrados a una profundidad no menor a 2.40 metros, en caso de encontrar rocas en el terreno las barras de los electrodos pueden enterrarse en forma oblicua con un ángulo no mayor a $\pm 45^\circ$ de la vertical.

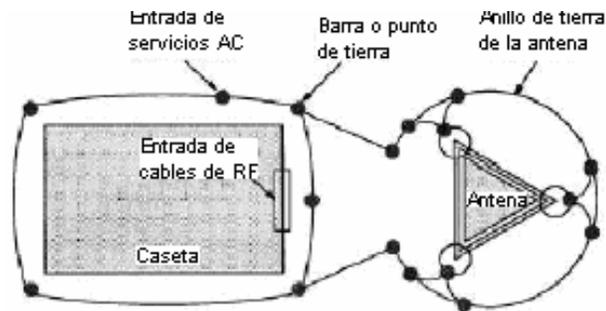
6.3.2 Normativas para el diseño de sistemas de puesta a tierra

A continuación se presenta como se realiza un sistema de puesta a tierra con sus normas. Las antenas y sus estructuras deben estar unidas al anillo de aterrizaje de la antena (un anillo que bordee la antena) el cual debe estar conectado al menos en un punto al anillo externo de la instalación.

6.3.2.1 Aterrizaje de la antena

Las antenas deben estar unidas al anillo de aterrizaje de la antena (un anillo que bordee la antena) el cual debe estar conectado al menos en un punto al anillo externo de la instalación. Una configuración recomendada para el anillo externo de la instalación es la siguiente:

Figura 27. Anillo de aterrizaje externo



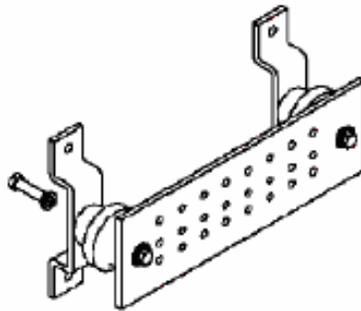
El anillo de la antena debe estar conectado al anillo de la caseta justo debajo del trayecto de las guías y se realizará una segunda conexión entre anillos en caso de querer tener redundancia en el sistema de aterrizaje. Con esta configuración la instalación está protegida con un sistema perimetral de tierra que forma un plano equipotencial.

Todas las piezas metálicas que se encuentran en la instalación como escalerillas, soportes, guías, aires acondicionados, rejillas, cobertores de ventanas, generador, así como también la barra de aterrizaje interna deben estar conectadas por lo menos en algún punto al anillo exterior de aterrizaje. En todas las roscas, puntas y superficies de contacto, toda pintura, esmalte o revestimiento similar que no sea conductivo se retirará o las uniones se realizarán por medio de accesorios diseñados para no requerir tal remoción. En caso que los soportes de las antenas sean secciones telescópicas, todas las secciones deben hacerse eléctricamente continuas mediante puentes de unión u otros medios.

6.3.2.2 Barra de aterrizaje

La barra de aterrizaje es el área donde terminan todas las conexiones a tierra provenientes de los equipos, guías, etc. Físicamente es una barra de cobre con huecos que permite realizar conexiones del tipo doble ojo.

Figura 28. Barra de tierra



En exteriores, es necesaria una barra de aterrizaje colocada en el punto donde las guías entren a las instalaciones donde se encuentra el equipo. Esta barra debe ubicarse lo más cerca posible a la ventana de acceso de manera que permita la conexión de las líneas de transmisión que se encuentren en la parte superior de la misma. Esta barra estará conectada a un punto de tierra del anillo exterior con un conductor No. 2 AWG o mayor de cobre que posea una chaqueta de color verde, además de ir por una tubería PVC, con pintura de revestimiento color verde.

Cada conexión a la barra de tierra debe estar cubierta en los puntos de contacto con grasa antioxidante y no se debe colocar más de un conector en cada hueco de la barra. En caso de que no exista espacio disponible en la existente, se debe colocar otra barra la cual debe estar eléctricamente conectada al anillo exterior y a la barra principal mediante un conductor de cobre calibre No. 2 AWG o mayor. Esta barra debe estar aislada mediante accesorios que no permitan que exista continuidad eléctrica entre ella y su soporte. Las medidas de la barra externa y su distancia de los soportes deben ser las que se muestran a continuación:

El largo de la barra varía en función del número de conexiones que se estiman realizar y posibles expansiones, por lo general, las barras instaladas en exteriores tienen una longitud de 20 pulgadas lo que permite un total de

14 conexiones (doble ojo); este tamaño puede variar dependiendo del tamaño de la caseta y la cantidad de equipos que van a alojar. Las barras expuestas a la intemperie, al igual que las conexiones a las mismas, deben ser protegidas contra la corrosión cubriéndolas con grasa, evitando así que los agentes corrosivos la afecten.

6.3.2.3 Aterrizaje de los equipos de RF, antenas y líneas de transmisión

Todos los equipos ubicados en una antena o soporte deben estar correctamente conectados al sistema de tierra, esta conexión debe realizarse a la barra de tierra que se encuentre más cerca por debajo del equipo. No están permitidas las conexiones al sistema de tierra que tengan recorridos verticales ascendentes. En caso que las barras no existiesen en la instalación, las mismas deberían ser colocadas y conectadas al sistema de aterrizaje como se describió anteriormente. La conexión debe hacerse utilizando un conductor resistente a la intemperie (THW o THHW), de calibre No. 6 AWG y chaqueta color verde usando conectores de dos ojos para la conexión en la barra. Las líneas de transmisión deben estar aterradas con sus respectivos kits de aterrizaje y conectadas en todas las barras de tierra que existan durante su recorrido.

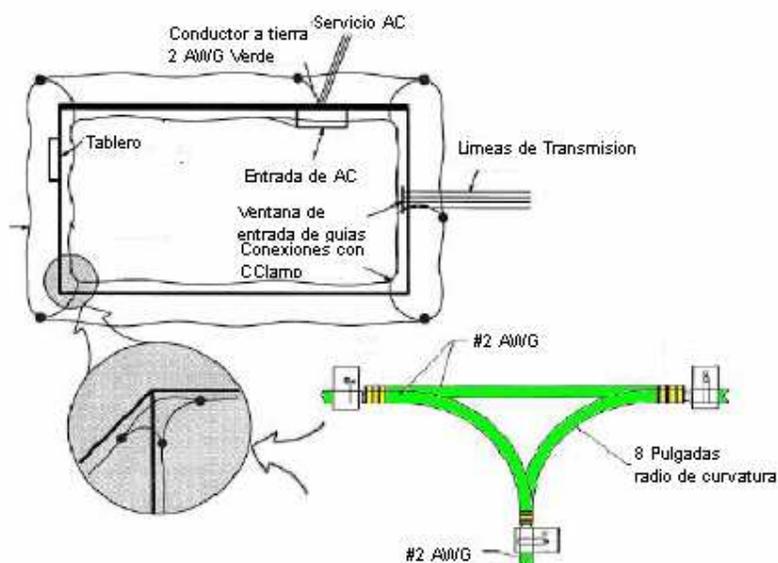
Todas las conexiones a tierra de las líneas de transmisión (*grounding kits*) deben estar debidamente selladas y protegidas contra el agua, su recorrido debe ser en línea recta tratando de ser el más corto posible y hacia abajo, evitando curvaturas agudas y lazos.

6.3.2.4 Aterrizaje en interiores

6.3.2.4.1 Anillo de aterrizaje

El propósito principal del anillo es proveer un trayecto de aterrizaje para periféricos o aparatos de soporte dentro del sistema de comunicaciones o áreas de equipos. Esta formado por un conductor calibre No. 2 AWG o mayor con chaqueta de color verde, y debe instalarse de tal manera que rodee el interior del *shelter* o caseta donde estén instalados los equipos. Ambas puntas del anillo deben conectarse a la ventana o barra de aterrizaje interna. Este anillo debe estar instalado por lo menos a 2,43 metros (8 pies.) desde el piso y 15,24 cm (6 pulgadas) debajo del techo. Adicionalmente, debe realizarse una conexión a tierra en cada esquina de la instalación, la cual debe estar conectada al anillo exterior de la instalación mediante un conductor de calibre No. 2 AWG o mayor el cual debe atravesar las paredes con un ángulo de 45 grados. El anillo debe estar sujetado a las paredes de la instalación cada 61cm (24 pulgadas) y, cuando sea necesario, en los puntos de cambio de dirección (esquinas).

Figura 29. Anillo de aterrizaje interno.



Al anillo se deben conectar todas las piezas metálicas de equipos secundarios que se encuentren en el interior de la instalación, como son: puertas y marcos metálicos, tableros de *breakers*, soportes de aires acondicionados, etc. Todas estas conexiones deben hacerse con un conductor calibre No. 6 AWG, e igualmente con chaqueta de color verde.

6.3.2.4.2 Barra de aterrizaje

La barra de aterrizaje es el área donde terminan todas las conexiones a tierra provenientes de los equipos, guías, etc. Físicamente es una barra de cobre con huecos que tengan una configuración que permita soportar conexiones del tipo doble ojo. En interiores, esta barra debe estar ubicada en un lugar de fácil acceso para los conductores y desde donde pueda conectarse a un punto del anillo externo con conductor No. 2 AWG o mayor. El cableado hasta ésta barra debe ser el más corto posible evitando curvaturas agudas e innecesarias.

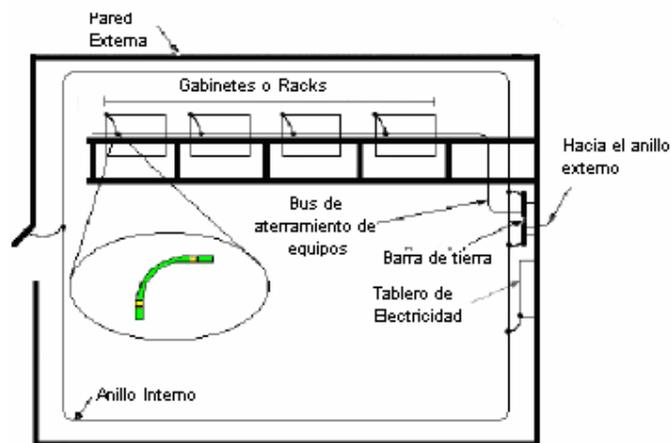
6.3.2.5 Aterrizaje de los racks

Todos los *racks* o bastidores que se encuentren en una instalación deben estar aislados del suelo y tener una barra de cobre la cual servirá de referencia a todos los equipos que se encuentren en ese *rack*. Esta barra deberá estar aislada por materiales no conductores del *rack* que la soporta, y estarán conectadas a la barra principal de aterrizaje mediante un anillo de aterrizaje para los equipos, el cual debe estar instalado en la parte inferior de los rieles del sistema de escalerillas mediante el uso de enganches adecuados separados aproximadamente cada 50 cm, este anillo será de un conductor de cobre de calibre no menor al No. 2 AWG verde, donde ambos extremos deben estar conectados a la barra de tierra principal. La conexión al anillo debe hacerse en dos puntos formando una V, utilizando un conductor de cobre de calibre No. 6 AWG. La unión de los cables que

conectan la barra de tierra de los *racks* con el anillo de tierra para los equipos debe realizarse por medio de conectores de presión tipo C-Tab.

La conexión al bus debe hacerse con una curvatura no menor a 15,24 cm (6 pulgadas) en dirección a la barra de tierra, se debe utilizar un conductor de cobre de calibre No. 6 AWG. La unión de los cables que conectan la barra de tierra de los *racks* con el bus de tierra para los equipos debe realizarse por medio de conectores de presión tipo C-Tab.

Figura 30. Anillo de tierra de los gabinetes conectado al anillo principal.



En caso que el anillo o el bus no puedan ser instalados, las barras de tierra de los diferentes *racks* deben tener una conexión directa a la barra principal por medio de un conductor de cobre de calibre no menor al No. 6 AWG verde. Esta configuración no es recomendada ya que el conductor puede presentar más de dos curvatura de 90 grados y se utiliza mucho espacio de la escalerilla para todos estos conductores.

6.3.2.6 Aislamiento de fallas a tierra

Todos los *racks* deben tener una plancha aislante de un material no conductor colocado entre la base del *rack* y el piso. Los tornillos que soportan el *rack* deben llevar una arandela que no permita el contacto

eléctrico entre el tornillo y la estructura del *rack*. Todas las barras de tierra que se encuentren tanto en paredes como en los *racks* deben estar aisladas mediante un material no conductor de la estructura que la soporta. La intención de aislar los equipos, *racks* y barras es para evitar que en el caso de una descarga eléctrica o fallas a tierra, la corriente no tome caminos indeseables y pueda causar diferencias de potencial no deseadas provocando daños a los equipos y personas que puedan encontrarse dentro de la instalación.

6.4 Instalación de sistemas de protección

Los equipos electrónicos no trabajan satisfactoriamente cuando se presentan transitorios o interferencias. La causa mayor de fallas de equipos electrónicos es el sobre-esfuerzo eléctrico que usualmente se origina de los transitorios causados por las descargas atmosféricas, de las maniobras de interrupción de cargas inductivas, o de descargas electrostáticas.

Este sobre-esfuerzo es causado por picos de voltaje con amplitudes de rango de decenas de volts a varios miles de volts y, con duración de unas decenas de nanosegundos a unas centenas de microsegundos. Los componentes electrónicos de interconexión de datos y control en bajo voltaje son los que más frecuentemente se dañan de esa manera. La protección contra sobrevoltaje transitorios en las líneas e potencia de CA al igual que en las líneas de señales y datos es de importancia crítica para los sistemas electrónicos.

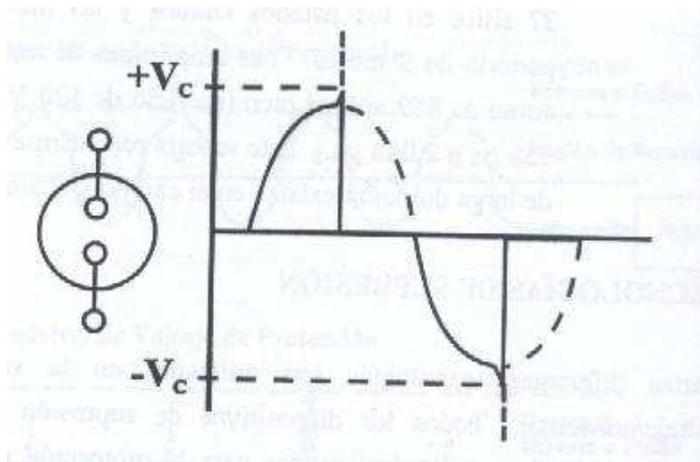
6.4.1 Protección contra descargas electroatmosféricas

Varias diferentes tecnologías son utilizadas en la supresión de transitorios de voltaje/corriente, entre las principales y más usadas destacan las siguientes:

6.4.1.1 Tubo de descarga de gas (GDTs)

Los tubos de descarga de gas son parte de una familia e apartarrayos que incluye los dispositivos con distancia de aire entre electrodos y bloques de carbón. El tubo de gas se compone de dos electrodos de metal sellados internamente en una caja que puede estar al vacío o llena de gas. Los electrodos se encuentran posicionados de tal forma que conducen corriente cada vez que el diferencial de voltaje entre ellos exceda el voltaje de ruptura de diseño. Este nivel de voltaje se determina por la distancia entre los electrodos y el medio dentro del tubo. Cuando la diferencia de potencial a través del tubo excede el voltaje de chispa, un arco se produce entre los electrodos. Toda la corriente de falla disponible, en el punto donde el tubo de gas se encuentra conectado, se deriva a través del tubo de gas. En consecuencia, la línea se cortocircuita hasta que el voltaje a través del tubo baje a un nivel más bajo que el nivel de extinción.

Figura 31. Tubo de descarga de gas



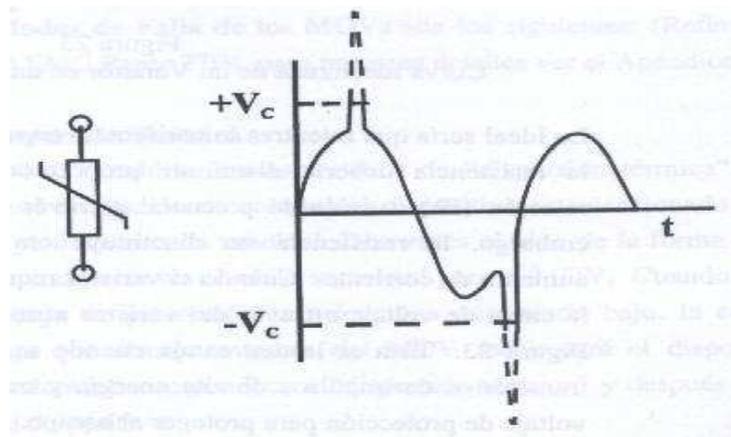
Una vez el arco es extinguido, el voltaje normal o nivel de señal permanecerá en la línea protegida y de nuevo el tubo de gas estará listo para funcionar como lo hizo anteriormente. Los tubos de gas operan lentamente debido a que requieren un periodo finito de tiempo para producir

el arco y causar el corto a la línea una vez que el voltaje de chispa ha sido excedido. El tiempo de respuesta del tubo de gas se encuentra en la región baja de los microsegundos, dependiendo de la relación dv/dt del transitorio. Estos tienen alta capacidad de potencia y pueden conducir grandes cantidades de corriente. Los tubos de gas tienen una vida limitada. El arco destruye parte de los electrodos de metal cada vez que el dispositivo opera. La vida de un tubo de gas puede ser tan baja como 25 operaciones.

6.4.1.2 Varistores de óxido de metal (MOVs)

Estos tienen un tiempo de respuesta relativamente rápido (alrededor de 35 nanosegundos) y son dispositivos fijadores de voltaje. Sin embargo el nivel de voltaje de protección para un servicio de 240 Vrms se eleva a un alto nivel de voltaje de protección (600-900V) cuando suprimen transitorios. Los MOVs generalmente no tienen la capacidad para resistir bombardeo repetitivo de transitorios y se degradan con el uso. Los MOVs están expuestos a problemas de dispersión térmica, debido a la alta corriente de fuga, la cual se agrava con la actividad de supresión del transitorio. El diseñador utilizando el MOV a menudo selecciona un MOV con muy baja capacidad MCOV. Esto lo hace como un esfuerzo para bajar el nivel de voltaje de protección.

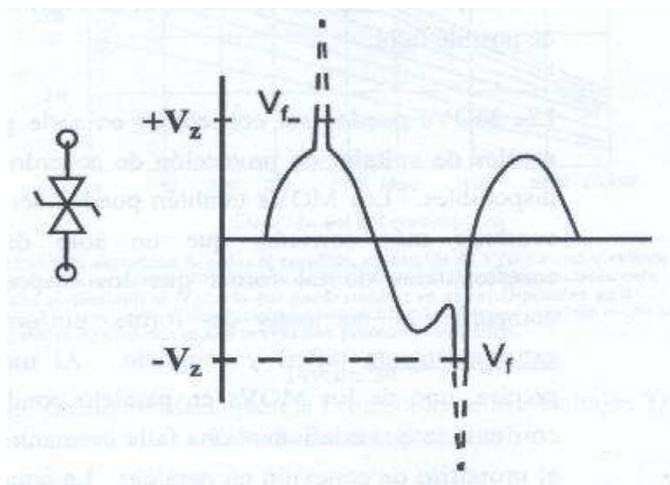
Figura 32. MOV



6.4.1.3 Diodos supresores de avalancha de silicio (SASDs)

Los diodos supresores de avalancha de silicio tienen un tiempo de respuesta menor a 5 nanosegundos, incluyendo la longitud de sus terminales. El SASD puede repetitivamente limitar los transitorios a un nivel bajo de voltaje. Estos supresores son los más efectivos al medirlos con el criterio de confiabilidad, operación libre de perturbaciones y vida útil. La única desventaja del diodo supresor de avalancha de silicio como unidad, es la capacidad limitada de disipación de potencia del diodo mismo.

Figura 33. SASD



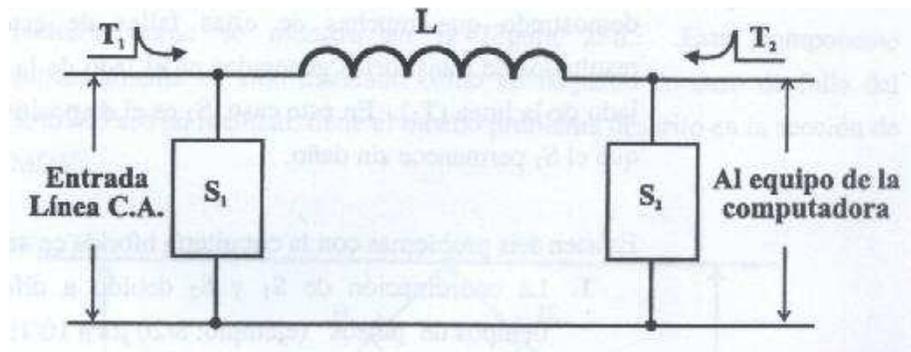
Los diodos supresores de avalancha de silicio no se degradan con el uso. El límite de voltaje de diseño permanece constante y por lo tanto puede ser ajustado a un nivel más bajo y más cercano al pico de la onda senoidal de CA o a los niveles de voltaje de las líneas de datos. Esto ofrece una mejor protección al equipo.

6.4.1.4 Circuito híbrido en serie

El circuito híbrido es un esfuerzo para vencer las desventajas del tubo de gas, el MOV y el diodo supresor de avalancha de silicio individual. Esto fue

un esfuerzo de los fabricantes en combinar las mejores características de dos o más tecnologías, de ahí la palabra “híbrido”. El circuito en serie híbrido consiste en un supresor (S1) a través de la entrada de CA y una impedancia en serie en la línea de fase seguida por un segundo supresor (S2) a través del lado de la carga. Este circuito es a veces llamado el supresor “pi” debido a que tiene un parecido al filtro “pi”. Un segundo inductor puede ser aplicado en la línea de retorno del circuito.

Figura 34. Supresor híbrido en serie



El supresor S1 es generalmente de mucha más capacidad de energía que el dispositivo S2. Típicamente el S1 es o un tubo de gas o un MOV. Lo ideal fuera un supresor S1, con su gran capacidad de conducir alta corriente para disipar la mayor parte del transitorio. La impedancia en serie separando los supresores S1 y S2 puede ser un resistor, inductor, o una combinación en serie de los dos. El inductor retrasa al transitorio para permitir que S1 comience a conducir antes que S2. Esta impedancia en serie (X_L) debe ser dimensionada para permitir el paso de la corriente de operación de la línea siendo protegida, pero no debe tener un valor muy alto de impedancia. Una alta impedancia puede causar demasiada disipación de energía y crear problemas de regulación de voltaje para la carga. La impedancia en serie debe también tener la capacidad de conducir la corriente de falla completa, en el momento de la instalación, en caso de un corto circuito en los terminales de salida del dispositivo, debido a una falla.

En donde se ubica la carga o en la misma carga. Mientras tanto, el S2 o dispositivo de menor nivel de potencia limita el borde de ataque de lo que queda del excesivo transitorio, el cual no fue absorbido debido al tiempo de respuesta lento del supresor. Los supresores S1 y S2 son generalmente de diferentes tecnologías y la coordinación de activación de estos, al igual que la coordinación de los voltajes de fijación, son críticos para un diseño exitoso del circuito. Si el supresor S1 falla en su operación, el transitorio destruirá el supresor S2 y probablemente el equipo protegido. También, si el supresor S1 no se prende lo suficientemente rápido, o a un voltaje lo suficientemente bajo, el transitorio puede destruir el supresor S2.

CONCLUSIONES

1. Las comunicaciones satelitales son utilizadas alrededor del mundo por su alta eficiencia y la gran cantidad de ventajas que éstas ofrecen.
2. La telefonía satelital es una solución a los problemas de comunicación en las comunidades del área rural, brindando un servicio de alta calidad digno de competir contra cualquier otra tecnología.
3. Los tiempos de instalación de un sistema de telefonía satelital son bastantes cortos, lo que permite llegar a las comunidades de una forma rápida.
4. Los sistemas de telefonía satelital cuentan con la más avanzada tecnología, la cual permite a los clientes disponer de servicios agregados.
5. La instalación de equipos de telefonía y de enlaces satelitales debe realizarse considerando los requerimientos de alimentación y protección de dichos equipos, con el fin de preservarlos en un correcto funcionamiento por periodos de tiempo más largos.

RECOMENDACIONES

1. Considerar proyectos de telefonía domiciliar vía satélite para suplir las necesidades de comunicación en poblaciones del área rural.
2. Debido a las grandes prestaciones que ofrece un sistema satelital se pueden considerar para la transmisión de datos que permite prestar servicio de Internet en áreas rurales, en las cuales no existe este tipo de servicio.
3. En la instalación de equipos de telecomunicaciones en áreas rurales debe considerarse las ineficiencias del servicio de energía eléctrica, por lo que se debe proveer a dichos equipos de sistemas de alimentación con respaldo de energía y protecciones, con el fin de prestar un servicio continuo y resguardar la integridad de los equipos.
4. Al seleccionar un sitio para la instalación de la antena deben asegurarse que en un futuro no habrá ninguna construcción u obstáculo que pudiera interferir con la señal proveniente del satélite, por lo que se sugiere realizar dicha instalación en lugares altos como terrazas.
5. La instalación de equipo de telecomunicaciones debe estar protegida con un eficiente sistema de aterrizaje y equipos de protección adicionales, para proteger la integridad del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cardama Aznar, et. Al. **Antenas**. Primera edición. México, D.F. Alfaomega grupo editors, S.A. de C.V. 1995.-
2. Peter, Vizmuller. **RF Design Guide Systems, Circuits and Equations**. Primera edición. Estados Unidos de América. Artech House Inc. 1995.-
3. Taub, Herbert y Schilling, Donald L. **Principles of Communication Systems**. Segunda edición. McGraw-Hill, 1986.
4. Strembler, Ferrel G. **Introducción a Sistemas de Comunicación**. Tercera edición. Addison-Wesley iberoamericana S.A. 1993.-
5. Hayt, William H. **Teoría electromagnética**. Segunda edición. Mexico D.F. McGraw-Hill. 1991.-
6. Schwartz, Mischa. **Transmisión de Información Modulación y Ruido**. Tercera Edicion. McGraw-Hill, 1998.-
7. Gumhalter, Hans. **Sistemas de Alimentación de Energía Para las Telecomunicaciones**. Siemens, Berlín Alemania 1987.-
8. Block, Roger R. **Fundamentos de Protección Contra Descargas Electricas y Pulsaciones Electromagnéticas**. Segunda Edición. PolyPhaser, Estados Unidos de América, 1995.-

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

1. **Manual: Cálculo de Enlaces Vía Satélite**. Satélites Mexicanos. www.satmex.com.mx (Noviembre 2005)

2. **PRODELIN**
<http://www.tripointglobal.com/prodelin.html>
(Noviembre 2005)
3. **MEMOTEC**
<http://www.memotec.com>
(Diciembre 2005)
4. **NORSAT**
<http://www.norsat.com>
(Octubre 2005)
5. ***EAGLE TELEPHONICS INC.***
<http://eagletelephonics.com>
(Enero 2006)