

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Guía para el diagnóstico y la operación de los equipos de microonda tipo Pasolink.

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Emmanuel Barrantes Vargas

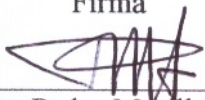
Cartago, Enero de 2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal

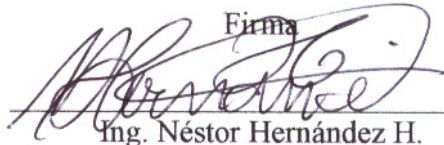
Firma



Ing. Pedro Murillo F.

Profesor lector

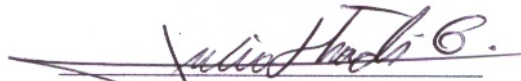
Firma



Ing. Néstor Hernández H.

Profesor lector

Firma



Ing. Julio Stradi G.

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 27 de enero de 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 15/12/2004



Firma del autor

Emmanuel Barrantes Vargas

Céd: 1-1103-516

RESUMEN

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) desde hace ya varios años, ha venido utilizando los equipos de microonda Pasolink + de la marca NEC, con el fin de ofrecer un servicio de transporte de datos confiable, rápido y eficiente entre estaciones en zonas alejadas.

La ejecución de un adecuado mantenimiento preventivo y un eficiente mantenimiento correctivo ante posibles averías, es fundamental para los intereses de la Institución. Es por esta razón, que la UEN de Gestión de Red y Mantenimiento (GRM), propuso la creación de una guía interactiva, de fácil manejo y accesible a través de la red interna de la Institución, que le permitiera al encargado del mantenimiento del equipo NEC Pasolink+, reducir el tiempo de atención de fallas y evitar así diagnósticos incorrectos y suspensiones prolongadas.

Para el desarrollo de esta aplicación, fue necesario conocer a fondo el funcionamiento del equipo así como sus fallas más comunes y los procedimientos de solución. Se contó con los manuales del equipo, la asistencia a cursos y la ayuda del personal a cargo del equipo para cumplir con los objetivos.

Como resultado se obtuvo una guía de muy fácil acceso, con la cual el usuario dispone de información necesaria para el mantenimiento del equipo, así como de un sistema de localización y atención de averías eficiente.

Palabras Clave: Guía, NEC, Pasolink, SDH, Mantenimiento, Operación, Diagnóstico, Microondas, STM-0, STM-1, Transmisión.

ABSTRACT

Since some years from now, the Costa Rican Institute of Electricity (ICE) has been using the NEC Pasolink+ microwave equipment with the purpose of offering reliable, fast and efficient transport service between stations in remote zones.

The execution of a suitable preventive maintenance and an efficient medium repair before possible failures, is fundamental for the institution interests. Hereby, that the Network Management and Maintenance UEN proposed the creation of an interactive guide, providing easy handling and accessible through the internal institution network, that allowed the one in charge of the maintenance of the NEC Pasolink+ equipment, to reduce the failure attention time and to avoid incorrect diagnosis and prolonged suspensions.

To develop this application, it was necessary to know the operation of the equipment as well as its more common faults and the solution procedures. It was counted on the equipment manuals, the attendance to courses and the aid of the personnel in charge of the equipment to fulfill the objectives.

As a result, it was obtained a very easy access guide, with which the user has the necessary information for the maintenance of the equipment, as well as an efficient system of location and attention of failures.

Keywords: Guide, NEC, Pasolink, SDH, Maintenance, Operation, Diagnosis, Microwave, STM-0, STM-1, Transmission.

DEDICATORIA

A mi padre, que desde el cielo me alentó a lo largo de la carrera.

A mi madre y mis hermanos, que siempre creyeron y confiaron en mí.

A Ruth, que me ha apoyado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Julio Stradi, por confiar en mí y darme la oportunidad.

Al personal de Transmisión, especialmente al Ing. Rodolfo Sequeira y al Técnico José Cordero por la ayuda prestada.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	15
1.1 Problema existente e importancia de su solución	15
1.2 Solución seleccionada	17
Capítulo 2: Meta y Objetivos.....	18
2.1 Meta.....	18
2.2 Objetivo General	18
2.3 Objetivos Específicos.....	18
2.3.1 Objetivos de hardware	18
2.3.2 Objetivos de software	18
2.3.3 Objetivos de documentación.....	18
Capítulo 3: Marco Teórico.....	19
3.2 Descripción del sistema	19
3.1.1 Unidad Interna (IDU).....	21
3.1.1.1 Unidad MD	24
3.1.1.2 Unidad SW.....	25
3.1.1.3 Unidad MAIN INTFC	26
3.1.2 Unidad Externa (ODU).....	27
3.1.3 Conectores e indicadores.....	29
3.2 Descripción de principios electrónicos relacionados con el proyecto. 37	
3.2.1 Jerarquía Digital Sincrónica SDH.....	37
3.2.1.1 Antecedentes de SDH: PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)	37
3.2.1.2 Velocidad de bits de la SDH.....	39
3.2.1.3 Terminología de estructuras SDH	40

3.2.1.4	Estructura de la trama SDH.....	41
3.2.1.5	Encabezados de la trama SDH.....	43
3.2.1.6	Punteros de la trama SDH.....	47
3.2.1.7	Multiplexación SDH.....	49
3.2.1.8	Señales de error de la SDH	54
3.2.2	Enlaces de microondas.....	57
3.2.2.1	Estructura general de un enlace de microondas	58
3.3.2.2	Diversidad y conmutación de protección	60
3.2.2.3	Propagación de microondas.....	61
3.2.3	Modulación de Amplitud en Cuadratura QAM	73
3.2.3.1	Transmisión QAM	73
3.2.3.2	Ejemplo de QAM: QAM-16.....	76
3.2.3.3	Recepción QAM.....	78
Capítulo 4:	Procedimiento Metodológico	80
4.1	Reconocimiento y definición del problema	80
4.2	Obtención y análisis de la información.....	80
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución	81
4.4	Implementación de la solución	81
4.5	Reevaluación y rediseño	82
Capítulo 5:	Descripción detallada de la solución	84
5.1	Descripción del hardware virtual.....	84
5.1.1	Sección Alimentación	85
5.1.2	Sección Protección	87
5.1.3	Sección Interfaces	88
5.1.4	Sección Sincronización	90

5.1.5	Sección Mod-Demod	91
5.2	Descripción del software.....	94
Capítulo 6:	Análisis de resultados	97
6.1	Resultados.....	97
6.1.1	Partes principales de la guía	97
6.1.2	Página de Inicio	99
6.1.3	Páginas principales de sección	104
6.1.4	Modos de navegación	108
6.1.5	Información al usuario	111
6.2	Análisis	113
Capítulo 7:	Conclusiones y recomendaciones	115
7.1	Conclusiones.....	115
7.2	Recomendaciones	116
Bibliografía.....		117
Apéndices		118
Apéndice A.1	Abreviaturas.....	118
Apéndice A.2	Glosario.....	124
Apéndice A.3	Información sobre la Institución	125
A.3.1	Descripción de la empresa.....	125
A.3.2	Descripción del departamento en el que se realizó el proyecto ...	126
A.3.3	Antecedentes prácticos.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama del problema a resolver.....	16
Figura 3.1	Unidad Interna (IDU) para sistema STM-0.....	19
Figura 3.2	Unidad Externa (ODU) de banda de 6/7/8 GHz.....	20
Figura 3.3	Conexión básica entre IDU y ODU	21
Figura 3.4	Diagrama de bloques de la IDU	22
Figura 3.5	Disposición de módulos de la IDU	23
Figura 3.6	Disposición de las unidades MD de la IDU	25
Figura 3.7	Disposición de las unidades SW y MAIN INTFC de la IDU.....	26
Figura 3.8	Unidad Interna (IDU) con interfaz de STM-1.....	27
Figura 3.9	Diagrama de bloques de la ODU	28
Figura 3.10	Disposición de módulos de la ODU	28
Figura 3.11	Conectores de IDU con interfaz de 2Mbps	30
Figura 3.12	Conectores de IDU con interfaz STM-1	30
Figura 3.13	Conectores de ODU de 6/7/8 GHz	32
Figura 3.14	Monitor OW/RX LEV	33
Figura 3.15	Controles e Indicadores de la IDU	35
Figura 3.16	Multiplexación y demultiplexación PDH.	38
Figura 3.17	Estructura básica de la trama STM-1.....	42
Figura 3.18	Estructura básica de la trama STM-0.....	42
Figura 3.19	Capas de red SDH.....	43
Figura 3.20	Encabezado de Sección Regeneradora	44
Figura 3.21	Encabezado de Sección Multiplexora	45
Figura 3.22	Encabezado de Trayecto de Orden Superior.....	46
Figura 3.23	Punteros de AU-4	48
Figura 3.24	Estructura de multiplexación SDH	50
Figura 3.25	Multiplexación de una señal de 2.048Mbps (1 de 3).....	51
Figura 3.26	Multiplexación de una señal de 2.048Mbps (2 de 3).....	52
Figura 3.27	Multiplexación de una señal de 2.048Mbps (3 de 3).....	53

Figura 3.28	Señales de error SDH.....	55
Figura 3.29	Trayectorias de propagación en un enlace de microondas.....	61
Figura 3.30	Esquema general de la propagación por onda de espacio	64
Figura 3.31	Diagrama de onda reflejada.....	64
Figura 3.32	Diagrama de onda reflejada para modelo de Tierra plana.....	65
Figura 3.33	Principio de Huygens	67
Figura 3.34	Zonas de Fresnel	68
Figura 3.35	Difracción por obstáculos montañosos	69
Figura 3.36	Atenuación por difracción	70
Figura 3.37	Curvas de atenuación atmosférica	71
Figura 3.38	Curvatura del rayo	72
Figura 3.39	Diagrama de bloques de un transmisor QAM	73
Figura 3.40	Posibles constelaciones QAM	74
Figura 3.41	Constelación de modulación QAM-16.....	76
Figura 3.42	Diagrama de bloques de un transmisor QAM-16.....	77
Figura 5.1	Diagrama de bloques principal	84
Figura 5.2	Diagrama de bloques de la sección Alimentación	85
Figura 5.3	Diagrama de bloques de la sección Protección	87
Figura 5.4	Diagrama de bloques de la sección Interfaces	88
Figura 5.5	Proceso de ensamblaje de la trama STM-0.....	89
Figura 5.6	Diagrama de bloques de la sección Sincronización.....	90
Figura 5.7	Diagrama de bloques de la sección Mod-Demod	91
Figura 5.8	Conectores SMA para cable coaxial de RF	93
Figura 5.9	Proceso de normalización de atención de averías	95
Figura 6.1	Muestra de la guía y partes principales	97
Figura 6.2	Sección de Contenido de la página de Inicio	99
Figura 6.3	Sección de Contenido de la página de Información de Seguridad	100
Figura 6.4	Localización de averías: Descripción del tipo de enlace.....	101
Figura 6.5	Localización de averías: Verificación de LED's	102
Figura 6.6	Localización de averías: Posibles alarmas	102

Figura 6.7	Localización de averías: Indicaciones del programa gestor.....	103
Figura 6.8	Localización de averías: Revisión de indicaciones de alarma	103
Figura 6.9	Sección de Contenido de la página Descripción del equipo	104
Figura 6.10	Contenido de la sección de Protección.....	105
Figura 6.11	Contenido de la sub-sección Control	106
Figura 6.12	Sección de mapa de la página de inicio.....	108
Figura 6.13	Navegación por medio del mapa	109
Figura 6.14	Ventana principal del modo diagrama.....	110
Figura 6.15	Ventana de la sección Alimentación	110
Figura 6.16	Ventana principal de la sección Ayuda	111
Figura 6.17	Ventana de la sección Acerca de	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Descripción de conectores de la IDU	31
Tabla 3.2	Descripción de conectores de la ODU.....	34
Tabla 3.3	Descripción de indicadores y controles de la IDU	36
Tabla 3.4	Velocidades y multiplexación de canales PDH.....	39
Tabla 3.5	Velocidades de bits para SDH y SONET.....	40
Tabla 3.6	Contenedores Virtuales	43
Tabla 3.7	Descripción de bytes del RSOH	45
Tabla 3.8	Descripción de bytes del MSOH.....	46
Tabla 3.9	Descripción de bytes del HO-POH	47
Tabla 3.10	Descripción de bytes del LO-POH.....	47
Tabla 3.11	Descripción de bytes de los punteros de AU-4.....	48
Tabla 3.12	Descripción de estructuras de multiplexación SDH.....	50
Tabla 3.13	Resumen de señales de error SDH.....	56
Tabla 3.14	Sub-bandas de microondas.....	57
Tabla 3.15	Tabla de verdad para el módulo de mapeo	77
Tabla 3.16	Tabla de verdad para el modulador QAM-16	78
Tabla 5.1	Frecuencias y niveles de potencia de la señal de IF	92
Tabla 5.2	Posibles escenarios de los LED's de alarma.....	96
Tabla 6.1	Distribución de opciones de cada sección.....	107

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se expone el problema existente, el contexto en el que se ubica, la importancia de resolverlo y la forma en la que se solucionará.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

El ICE cuenta con un costoso equipo de telecomunicaciones de alta capacidad que funciona como red de acceso y transporte en todo el país. Existe una gran variedad de marcas y de modelos diferentes, cada uno de ellos con diferente organización de paneles de conexión e instalaciones físicas y rutinas de mantenimiento diferentes. Un adecuado manejo de estos equipos, así como la detección rápida y solución eficiente de averías es de mucha importancia para mantener el flujo de información en la red nacional.

El problema consiste en que, debido a la cantidad de equipos, marcas y modelos con los que se cuentan, es difícil tener un conocimiento amplio de los mismos en cuanto a funcionamiento y reparación de averías, lo que conlleva a la pérdida de tiempo y recursos de la Institución, calculadas en aproximadamente medio millón de colones por minuto en un enlace con conexión plena. Además, la detección temprana de averías evita los problemas que representa la pérdida de información, tanto para los usuarios como para la Institución.

La figura 1.1 muestra un diagrama que representa el problema a resolver: se muestran los equipos y sus correspondientes manuales relacionados; cuando un equipo falla (en este caso el equipo 2), el técnico encargado puede no tener el conocimiento requerido para solucionar el problema, lo cual genera un retardo que conlleva a pérdidas.

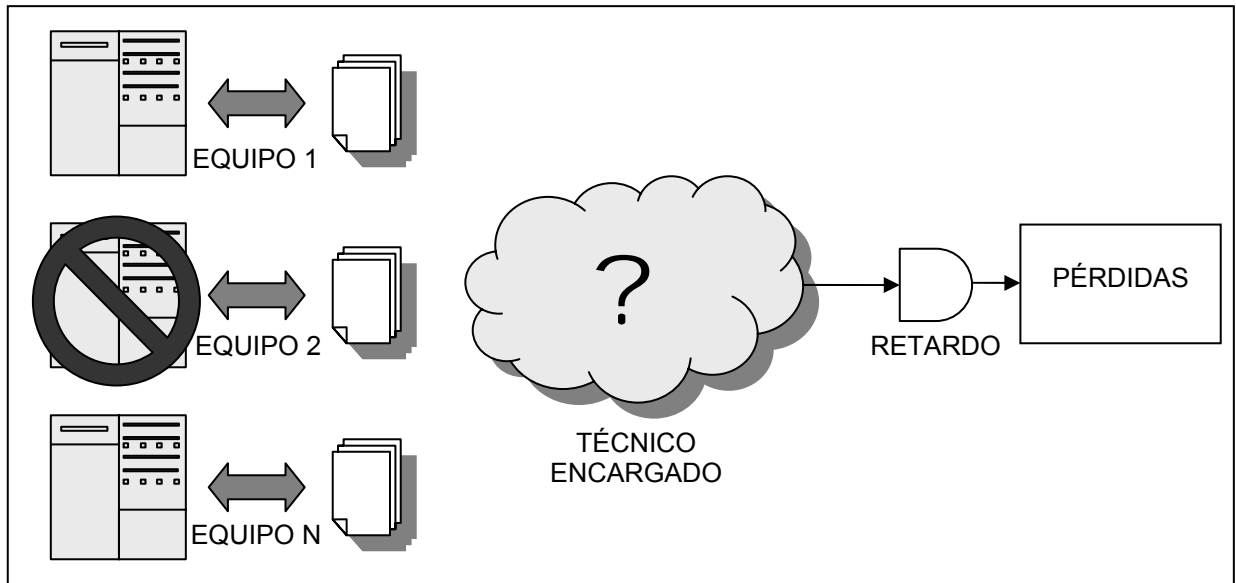


Figura 1.1 Diagrama del problema a resolver.

Actualmente, se cuenta con los manuales de todos los equipos que contienen la información necesaria para el correcto desempeño de éstos, sin embargo, debido precisamente a la gran cantidad de información que contienen, no representan una herramienta muy útil en la detección y reparación de averías.

Uno de los problemas que presenta el sistema actual de solución de averías consiste en la presencia de diagnósticos erróneos debido a la falta de una normalización en el proceso de reparación.

Mediante la solución de este problema, se obtendrán beneficios importantes para el departamento y, por consiguiente, para la Institución, tales como:

- Reducción del tiempo de atención de averías
- Mejor aprovechamiento de los recursos (equipo, manuales, humano).
- Mejoramiento en el servicio que da la Institución.

1.2 Solución seleccionada

La solución planteada por la empresa para este problema consiste en la elaboración de un sistema de soporte que sirva como guía para realizar diagnósticos y para la operación de los equipos con los que cuenta la empresa.

Las especificaciones dadas por la empresa se listan a continuación:

- El sistema debía ser utilizado como guía para el técnico encargado de la operación y mantenimiento de cada equipo, por lo que debía ser muy claro y amigable con el usuario, de manera que facilitara la utilización del equipo e hiciera más eficiente la solución de problemas.
- Para que el sistema pudiera ser accesado en un futuro dentro de la red interna de la Institución, se debía utilizar un lenguaje de programación que permitiera el acceso desde cualquier browser y que fuese lo suficientemente flexible para realizarle cambios.
- La implementación de la guía debía realizarse por completo por el estudiante, el cual debía llevar a cabo el estudio de los equipos, conocer el principio de funcionamiento y los procedimientos de solución de averías, aprender los aspectos del lenguaje de programación, diseñar y elaborar finalmente la guía. De este modo, el estudiante sería responsable del estudio de los equipos y el desarrollo del sistema tanto en su lógica como en su implementación.
- El proyecto sería desarrollado por completo por el estudiante, contando con todos los recursos y asesoría necesarios.
- Se espera que la herramienta desarrollada pueda incorporarse en un futuro sistema que contenga guías similares para todos los equipos con los que cuenta la Institución y pueda ser accesado de forma ordinaria por los encargados del manejo de dichos equipos a través de la intranet.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

En este capítulo se citan la meta y los objetivos tanto generales como específicos del proyecto.

2.1 Meta

Reducir el tiempo de atención de averías y mantenimiento de los equipos de microondas NEC Pasolink con los que cuenta el Instituto Costarricense de Electricidad, así como reducir las pérdidas económicas debido a los retardos.

2.2 Objetivo General

Diseñar e implementar una guía interactiva, amigable y flexible, que permita atender correctamente las fallas de los equipos de transmisión de datos que utilizan tecnología de microonda, usados en el Sistema de Telecomunicaciones nacional.

2.3 Objetivos Específicos

2.3.1 Objetivos de hardware

- Conocer a fondo el funcionamiento del equipo de microondas Pasolink así como las tecnologías asociadas.
- Conocer todas las alarmas que se pueden presentar en el equipo Pasolink y sus posibles soluciones.
- Analizar los procedimientos actuales de solución de problemas e informes anteriores de averías.
- Generar propuestas de diseño de la distribución por diagramas de bloques.

2.3.2 Objetivos de software

- Diseñar la guía en la plataforma de software establecida.

2.3.3 Objetivos de documentación

- Generar propuestas que normalicen la atención de averías.

Capítulo 3: Marco Teórico

En este capítulo se incluyen y explican los temas que están relacionados directa o indirectamente con el desarrollo del proyecto.

3.2 Descripción del sistema

El sistema NEC Pasolink+ es un sistema de radio de microondas digital diseñado para ser utilizado en redes de SDH usando modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Soporta capacidades de transmisión de 21 canales de 2.048 Mbps, para el modelo Pasolink+ STM-0, o de un canal de 155.52Mbps para el Pasolink+ STM-1.

El sistema consiste en una Unidad Interna (IDU) que realiza funciones de Modulador-Demodulador, una Unidad Externa (ODU) que realiza funciones de Transmisor-Receptor y una antena. En las figuras 3.1 se muestra el bosquejo del panel frontal de la IDU y en la figura 3.2, el bosquejo de la ODU.

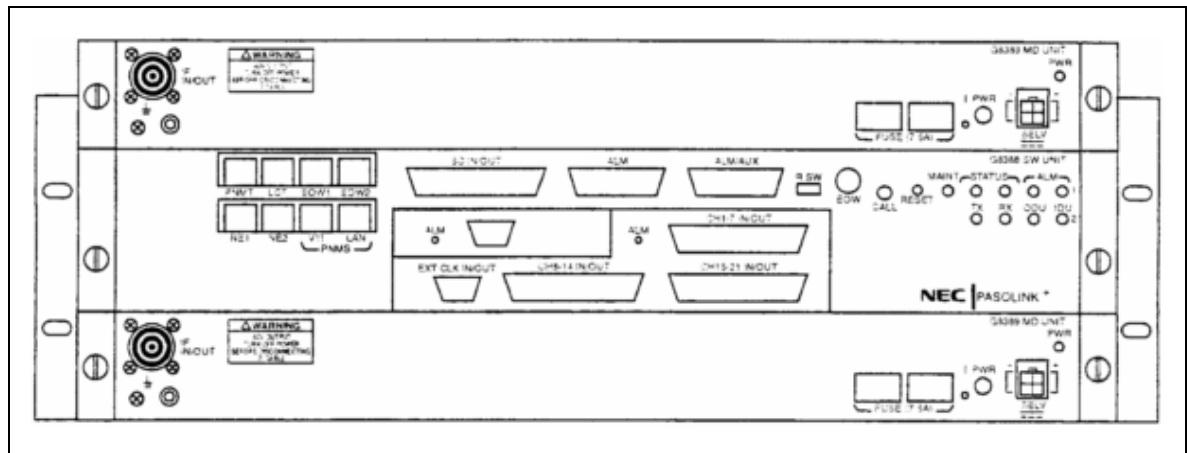


Figura 3.1 Unidad Interna (IDU) para sistema STM-0

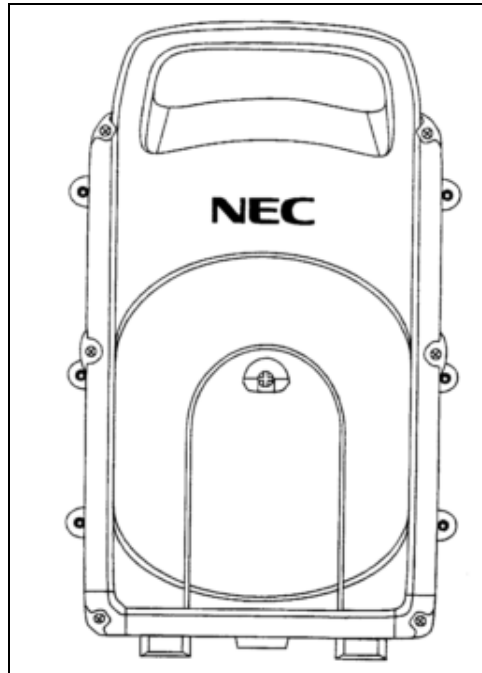


Figura 3.2 Unidad Externa (ODU) de banda de 6/7/8 GHz

Las medidas de la IDU son 482 mm (ancho) x 159 mm (alto) x 300 mm (profundidad) y las de la ODU son 260 mm (ancho) x 410 mm (alto) x 124 mm (profundidad)

La conexión entre la IDU y la ODU se da a través de un cable coaxial de 50 ohmios. Todo el sistema se alimenta en la IDU con un voltaje de operación de -48V DC, que es enviado a través del cable coaxial a la ODU. La figura 3.3 muestra la conexión básica entre la IDU y la ODU.

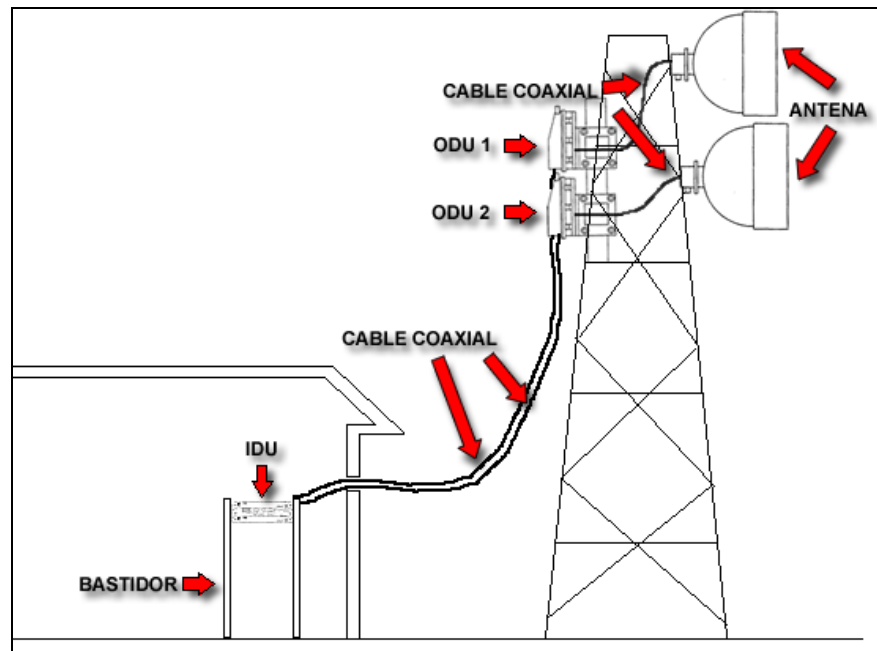


Figura 3.3 Conexión básica entre IDU y ODU

3.1.1 Unidad Interna (IDU)

La unidad interna IDU se encarga de la modulación y demodulación de las señales SDH que son transportadas a través del enlace. La figura 3.4 muestra un diagrama de bloques de la operación de la IDU.

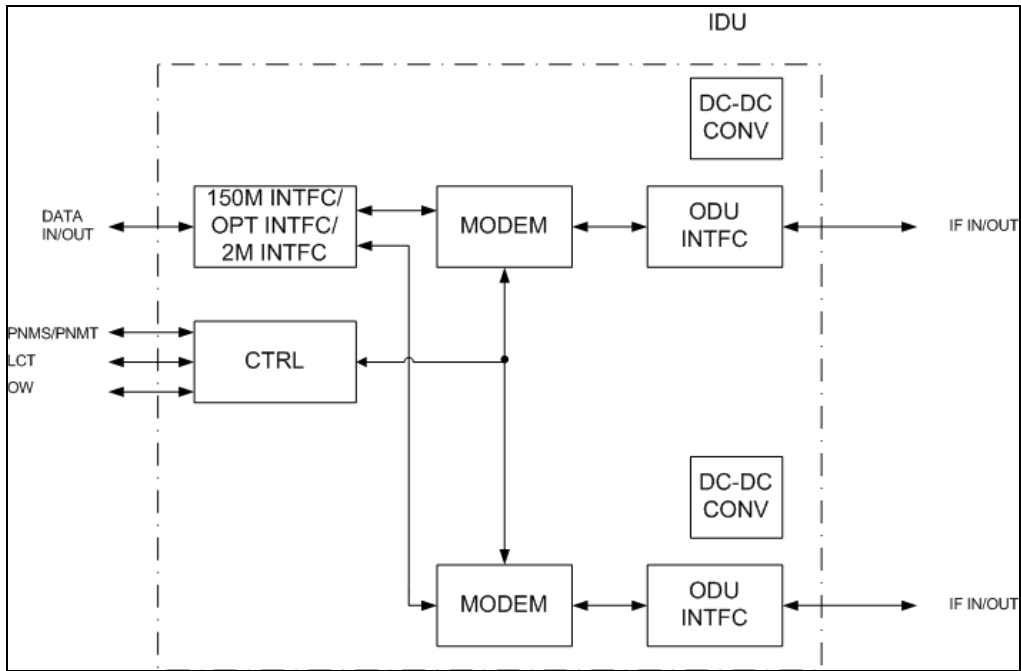


Figura 3.4 Diagrama de bloques de la IDU

La IDU se compone de distintos módulos enchufables dispuestos en un bastidor, tal como se muestra en la figura 3.5.

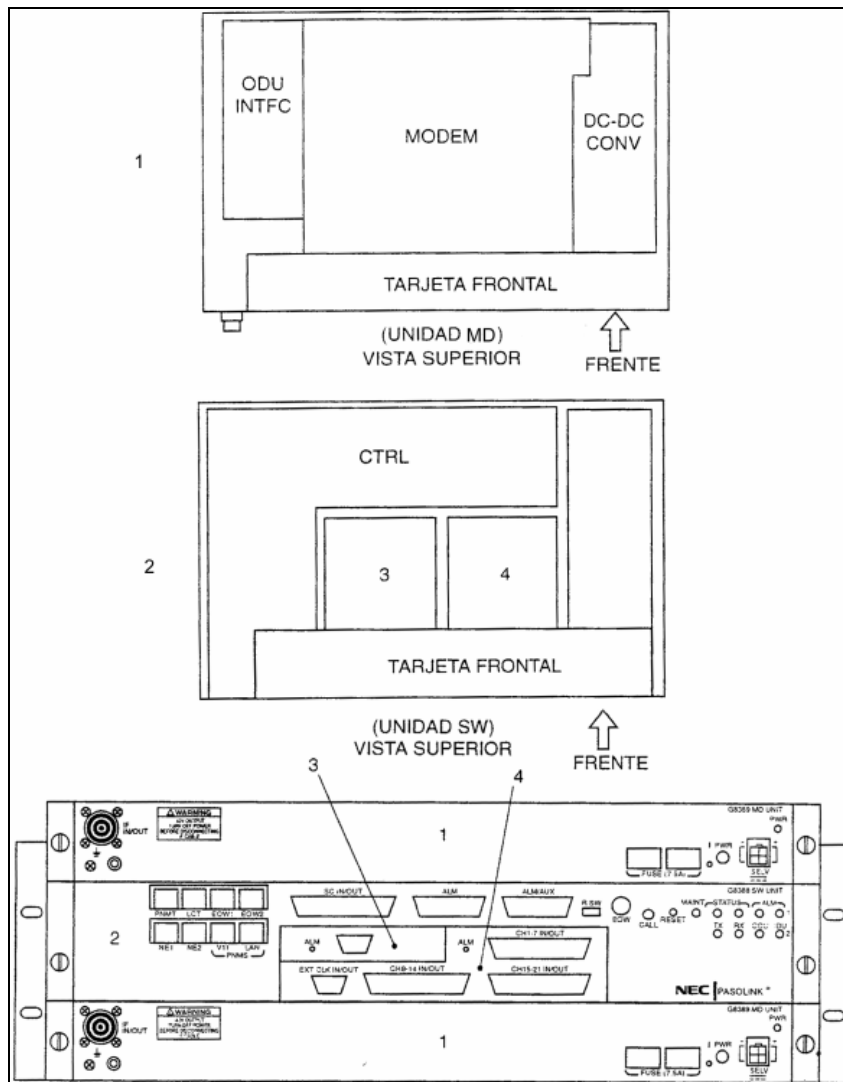


Figura 3.5 Disposición de módulos de la IDU

Como se observa en la figura 3.5, la IDU consta de dos unidades principales: la unidad modulador-demodulador (MD) y la unidad de conmutación (SW), y de dos unidades secundarias (nombradas en la figura como 3 y 4). Cada unidad MD se encarga de la modulación y demodulación de las señales SDH, mientras que la unidad SW permite proteger la información ante cualquier problema, conmutando entre las dos unidades MD existentes. La unidad nombrada como 4 en la figura se

conoce como interfaz principal (MAIN INTFC) y determina el tipo de tráfico que maneja el equipo. A continuación se explica con mayor detalle cada unidad.

3.1.1.1 Unidad MD

La unidad MD se encarga de realizar el proceso de modulación de la señal de entrada (ya sea STM-0 o STM-1). Para los equipos Pasolink STM-0, se conforma en primer lugar la trama SDH correspondiente a partir de los 21 flujos de 2Mbps, para lo que se utilizan los procesos de alineación, mapeo y multiplexación.

Para los equipos STM-1, este primer paso es diferente pues no se realiza alguna función de ensamblaje de trama SDH a partir de la entrada STM-1 del MUX; simplemente el flujo proveniente del MUX es utilizado como trama SDH.

En segundo lugar, se modula la señal SDH a una frecuencia intermedia (IF) de 340 MHz (IF de salida) para ser enviada a la ODU a través del cable coaxial. En el caso de la demodulación, la unidad MD se encarga de demodular la señal de IF de 140 MHz (IF de entrada) y de conformar a partir del flujo de datos SDH entrante los flujos de datos de 2Mbps, para el caso del equipo STM-0, o bien, de transportar la trama STM-1 al MUX, en caso de un equipo STM-1. En la figura 3.6 se muestra la distribución de las unidades MD.

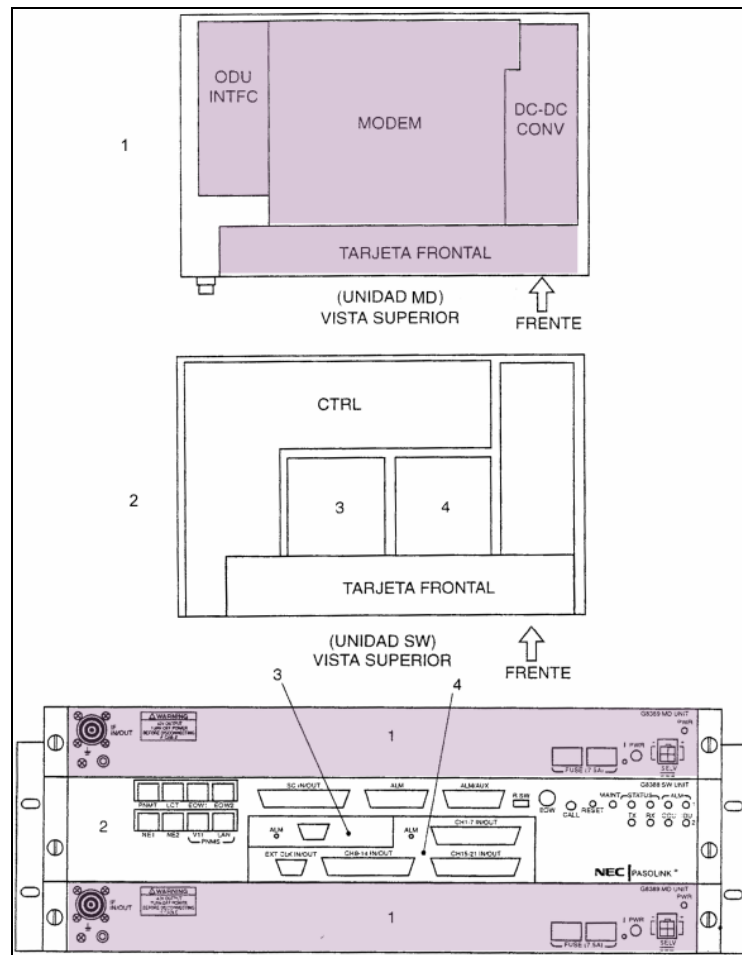


Figura 3.6 Disposición de las unidades MD de la IDU

3.1.1.2 Unidad SW

Para sistemas 1+1 Hot-standby, la unidad SW se encarga de conmutar entre las unidades MD y entre las ODU's para evitar la pérdida del tráfico debido a algún problema en alguna de las unidades. En el sistema 1+1 Hot-standby, la información se envía a ambas unidades al mismo tiempo y es la unidad SW quien decide cual de las dos estará activa. De este modo, en caso de que se active una alarma en el lado de transmisión (ODU), la unidad SW se encarga de enviar la orden de conmutación a un circuito de control de cada ODU que deshabilita la unidad activa y habilita la otra. En caso de que la alarma se dé en el lado de recepción (MD) la unidad SW se

encarga directamente de deshabilitar la unidad MD activa y de habilitar la otra. Esta conmutación se puede dar de forma automática (cuando ocurre una alarma) o de forma manual (utilizada principalmente para reparación y pruebas). En la figura 3.7 se muestra la ubicación de la unidad SW dentro de la IDU.

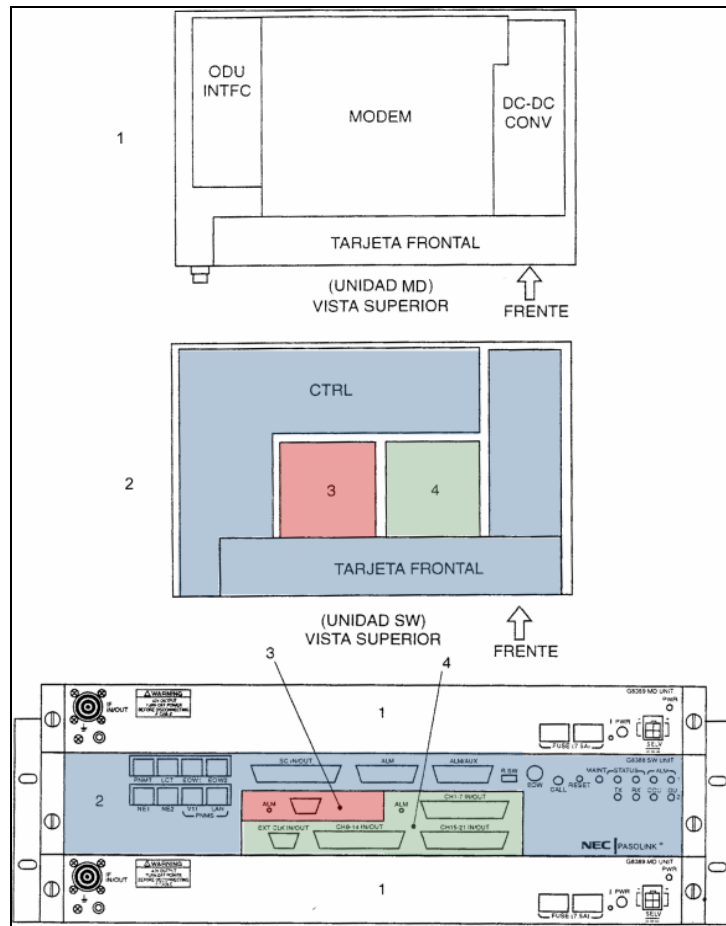


Figura 3.7 Disposición de las unidades SW y MAIN INTFC de la IDU

3.1.1.3 Unidad MAIN INTFC

La unidad MAIN INTFC determina el tipo de tráfico de entrada y salida que va a tener el equipo. Existen dos tipos de interfaz: STM-0 y STM-1. Las interfaces de 2 Mbps (STM-0) poseen capacidad para 21 flujos de datos de 2.048 Mbps (separados en tres grupos de siete). Las interfaces STM-1 pueden ser de dos tipos: interfaz

STM-1 eléctrica (150M INTFC) o interfaz STM-1 óptica (OPT INTFC) y transportan accesos de 155.52 Mbps. Las interfaces STM-1 no presentan accesos de 2Mbps por lo que es necesario un equipo multiplexor para poder conectar el Pasolink+ con los E1's. La figura 3.8 muestra una IDU con interfaz de 150M.

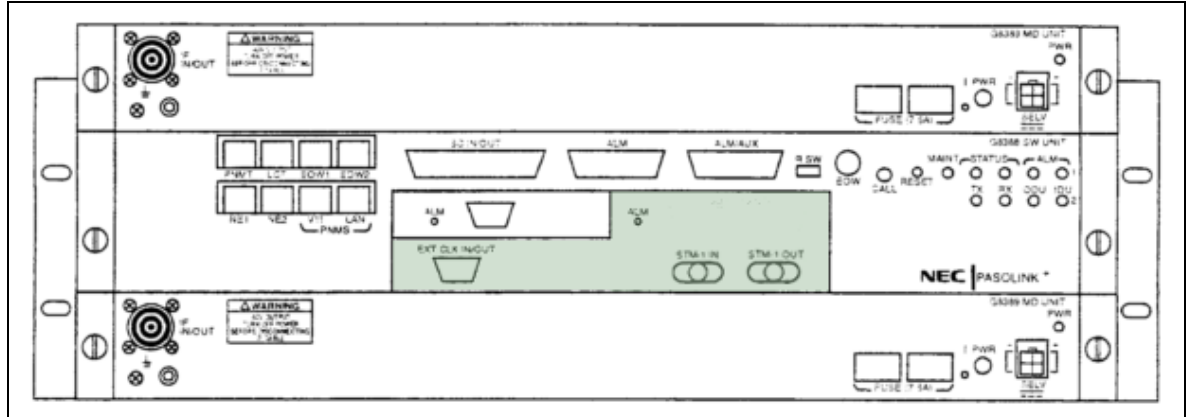


Figura 3.8 Unidad Interna (IDU) con interfaz de STM-1

3.1.2 Unidad Externa (ODU)

La unidad externa ODU se encarga de la transmisión y la recepción de las señales de microondas provenientes de otras ODU's en estaciones remotas. La figura 3.9 muestra un diagrama de bloques de la operación de la ODU.

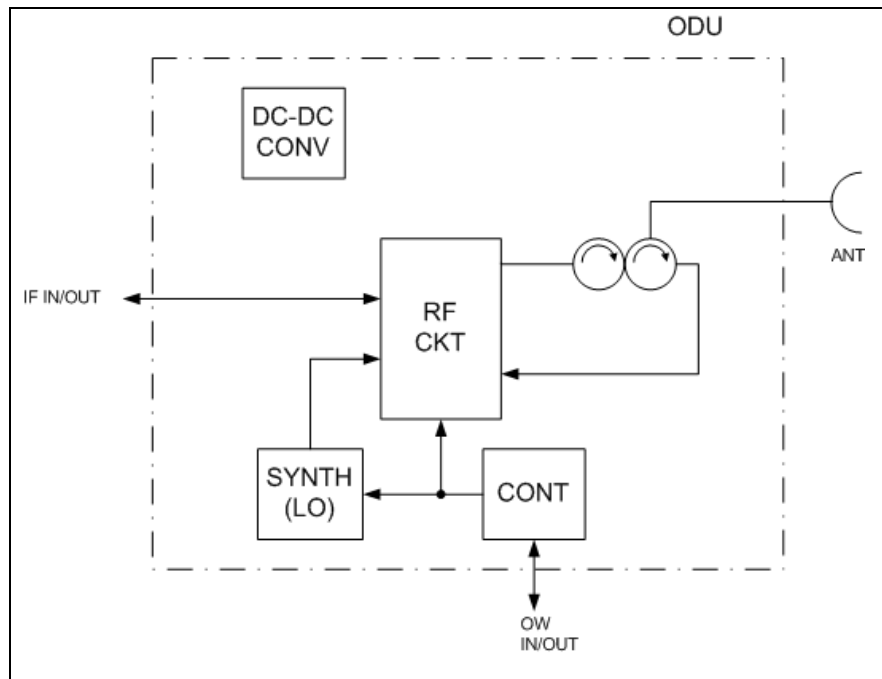


Figura 3.9 Diagrama de bloques de la ODU

Al igual que la IDU, la ODU presenta distintos módulos dispuestos en el bastidor, tal como se muestra en la figura 3.10.

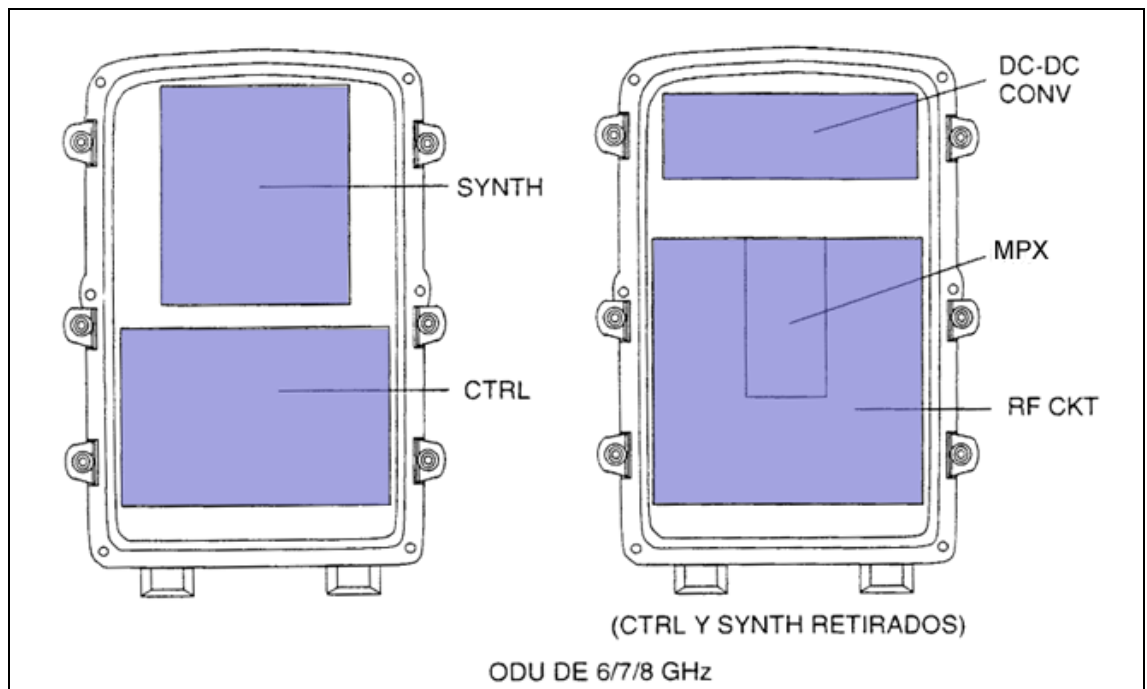


Figura 3.10 Disposición de módulos de la ODU

Desde el punto de vista del transmisor, la señal de IF de 340 MHz proveniente de la IDU y que comprende tanto voltaje DC de alimentación como señales de control y datos, se separa con un circuito multiplexador (MPX) contenido en la sección RF CKT. La parte correspondiente a los datos es modulada nuevamente en una señal de RF utilizando para esto un oscilador local (SYNTH), cuya frecuencia depende del modelo de ODU. Esta señal de RF pasa a la antena a través de un filtro pasa banda (BPF) que elimina componentes no deseados.

Desde el punto de vista del receptor, la señal de RF recibida en la antena es amplificada por el amplificador de RF hasta el nivel requerido (-30dBm). Luego esta señal es demultiplexada a través de un detector coherente para convertirse en una señal de IF (frecuencia intermedia) de 140 MHz que, mediante el circuito MPX, es multiplexada junto con señales de alarma y control para ser enviada a la IDU a través del cable coaxial. La frecuencia de transmisión de la ODU debe estar dentro de la banda de frecuencia correspondiente; la frecuencia de recepción correspondiente se ajusta automáticamente luego de haber ingresado la frecuencia de transmisión.

En cuanto a las antenas, se pueden tener una o dos antenas conectadas a las ODU's, en lo que se conoce como diversidad de espacio (S/D). Los sistemas con S/D poseen dos antenas, una para cada ODU, mientras que los sistemas sin S/D utilizan una única antena conectada a un híbrido (HYB) y éste a su vez se conecta a las ODU's. El híbrido se encarga de concentrar los dos canales provenientes de las ODU's en la antena.

3.1.3 Conectores e indicadores

A continuación se muestran y explican los conectores e indicadores tanto de la IDU como de la ODU. La figura 3.11 muestra los conectores de una IDU con interfaz de 2Mbps.

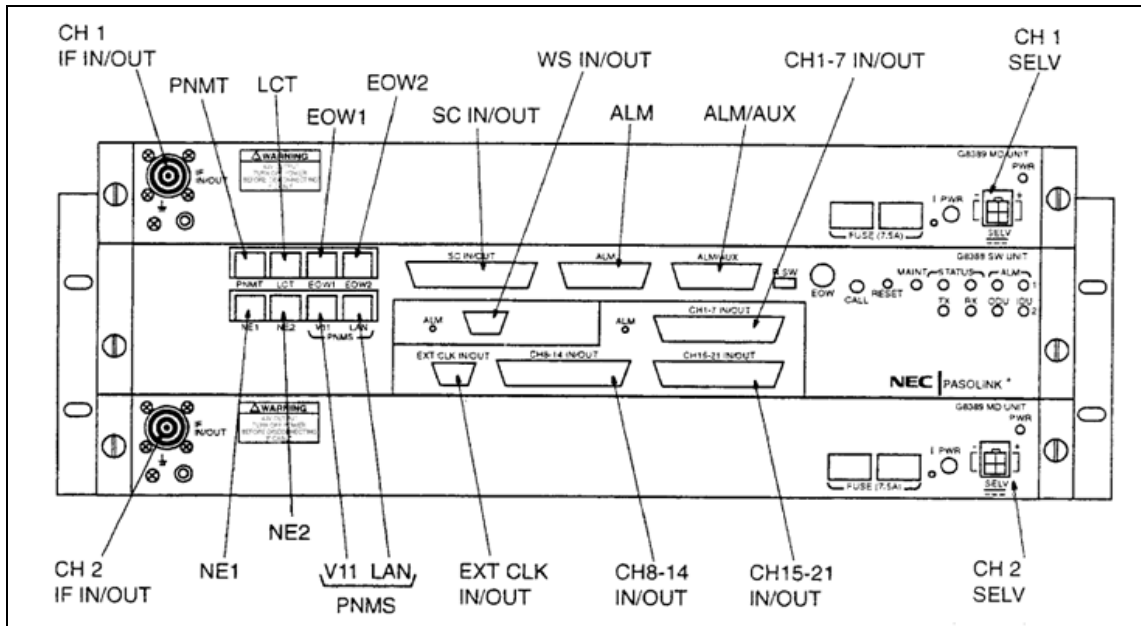


Figura 3.11 Conectores de IDU con interfaz de 2Mbps

La figura 3.12 muestra los conectores de una IDU con interfaz STM-1.

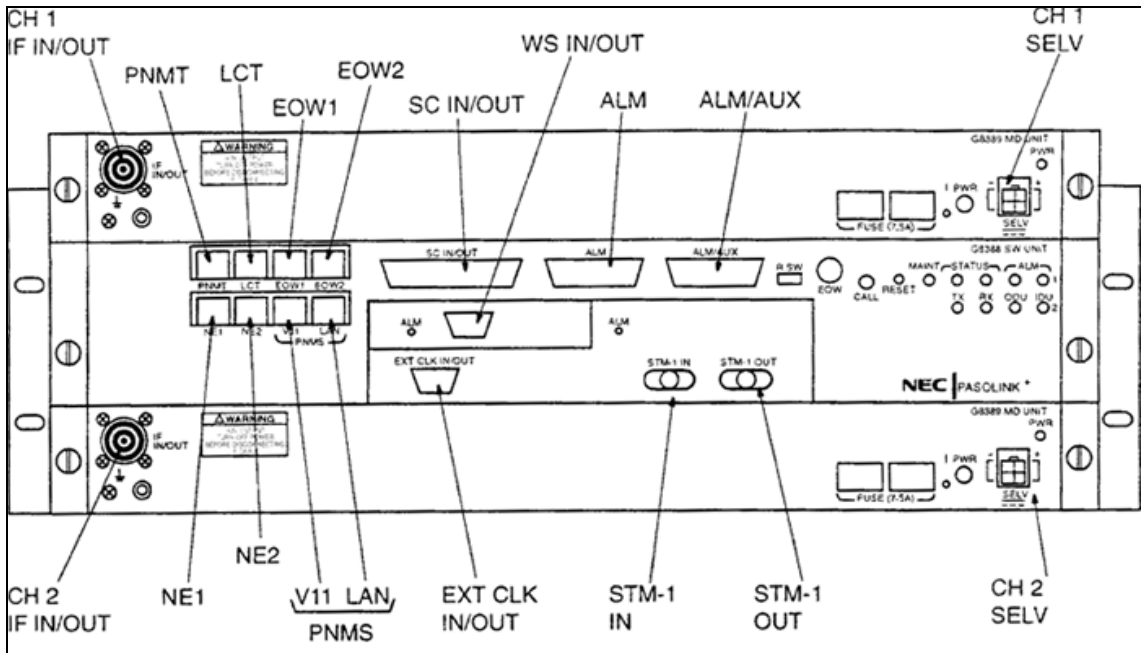


Figura 3.12 Conectores de IDU con interfaz STM-1

La tabla 3.1 resume las principales características de cada terminal para ambas interfaces.

Tabla 3.1 Descripción de conectores de la IDU

Terminal	Tipo de conector	Descripción
IF IN/OUT	N-J	Entrada de señal RX IF desde la ODU y Salida de señal TX IF hacia la ODU
PNMT	RJ-45	Entrada/Salida de datos (RS-232C) del PNMT.
LCT	RJ-45	Entrada/Salida de datos (RS-232C) del LCT.
EOW1/EOW2	RJ-45	Terminal de extensión de señal EOW(1/2) para conexión espalda a espalda entre IDU's.
NE1/NE2	RJ-45	Entrada/Salida de datos (RS-485) del PNMS.
PNMS V11	RJ-45	Entrada/Salida de datos (V11) del PNMS.
PNMS LAN	RJ-45	Entrada/Salida de datos (LAN) del PNMS.
SC IN/OUT	D-SUB (37 pines)	Entrada/Salida de datos del canal de servicio.
WS IN/OUT	D-SUB (9 pines)	Entrada/Salida de señal Wayside (no disponible).
EXT CLK IN/OUT	D-SUB (9 pines)	Entrada/Salida de señal de reloj externo.
ALM	D-SUB (25 pines)	Salida de alarma.
ALM/AUX	D-SUB (25 pines)	Entrada/Salida auxiliar de inspección de red de transmisión y alarma (housekeeping).
CH1-7 IN/OUT	D-SUB (37 pines)	Entrada/Salida de datos de 2Mbps para los canales 1-7 (sólo para interfaz de 2M).
CH8-14 IN/OUT	D-SUB (37 pines)	Entrada/Salida de datos de 2Mbps para los canales 8-14 (sólo para interfaz de 2M).
CH15-21 IN/OUT	D-SUB (37 pines)	Entrada/Salida de datos de 2Mbps para los canales 15-21 (sólo para interfaz de 2M).
STM1 IN	IEC 169-13 (1.6/5.6: Eléctrico) (FC/PC: Óptico)	Entrada de datos de Módulo de Transporte Síncrono (STM-1) (sólo para interfaz de STM-1).
STM1 OUT	IEC 169-13 (1.6/5.6: Eléctrico) (FC/PC: Óptico)	Salida de datos de Módulo de Transporte Síncrono (STM-1) (sólo para interfaz de STM-1).
SELV	Molex M5557-4R	Entrada de energía de -36 a -60 V DC.

La figura 3.13 muestra los conectores de una ODU de 6/7/8 GHz.

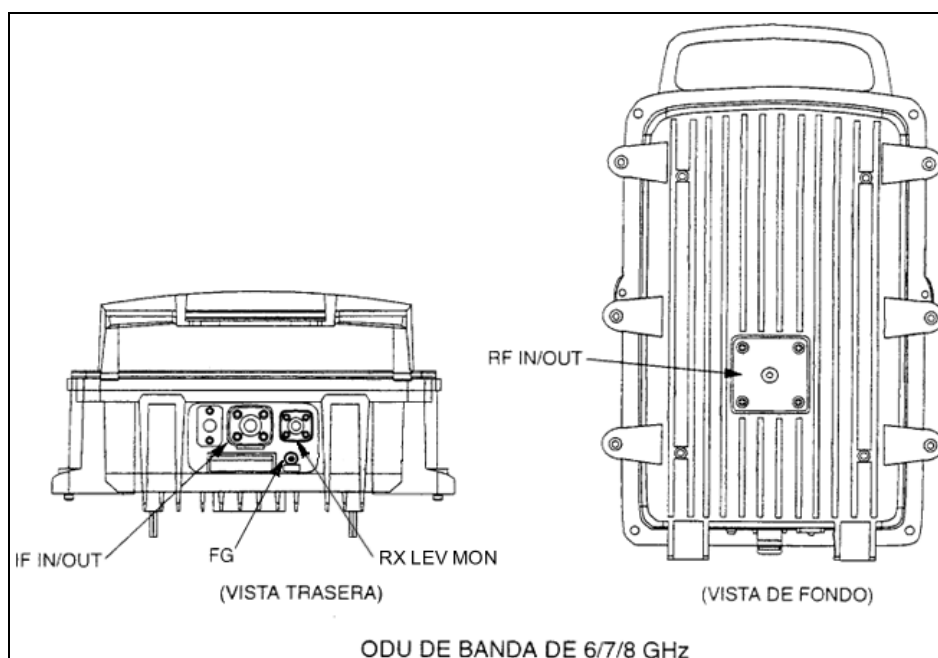


Figura 3.13 Conectores de ODU de 6/7/8 GHz

La ODU presenta una cantidad significativamente menor de conectores que la IDU, debido principalmente a que la IDU lleva a cabo las labores de interfaz con el usuario, alimentación, gestión, etc, mientras que la ODU, al encontrarse instalada en un torre de transmisión, únicamente posee conectores para entrada/salida de datos y un terminal que permite conectar el Monitor OW/RX LEV, cuya imagen se muestra en la figura 3.14.

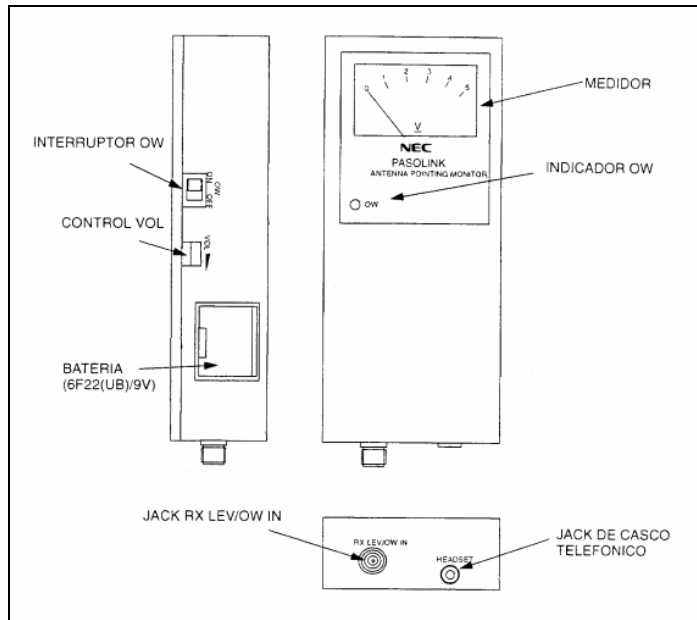


Figura 3.14 Monitor OW/RX LEV

El Monitor OW/RX LEVEL permite tanto la comunicación entre la IDU y la ODU a través del canal OW, como la medición del nivel de voltaje de RF recibido, lo cual es muy importante en labores de mantenimiento de la ODU y la antena. La tabla 3.2 resume las principales características de los terminales de la ODU y del monitor OW/RX LEVEL.

Tabla 3.2 Descripción de conectores de la ODU

Terminal/Control	Tipo de conector	Descripción
IF IN/OUT	N-J	Entrada de señal TX IF desde la IDU y salida de señal RX IF hacia la IDU
RF IN/OUT	SMA	Entrada/Salida de señal RF desde/hacia la antena.
FG	--	Tierra del bastidor.
RX LEV MON	--	Acceso para el monitoreo del voltaje del nivel de recepción.
INTERRUPTOR OW	--	Habilita/Deshabilita la transmisión de la señal OW entre IDU y ODU.
CONTROL VOL	--	Ajusta el nivel de voz OW de recepción.
MEDIDOR	--	Indica el voltaje del nivel de recepción.
INDICADOR OW	--	Indica que una conversación OW se está llevando a cabo.
RX LEV/OW IN	--	Entrada del voltaje de monitoreo de RX LEVEL y señal de OW.
CASCO TELEFÓNICO	--	Entrada/Salida de conversaciones de voz OW hacia y desde los auriculares.

En cuanto a los indicadores y controles de la IDU, en la figura 3.15 se muestran con detalle cada uno de ellos.

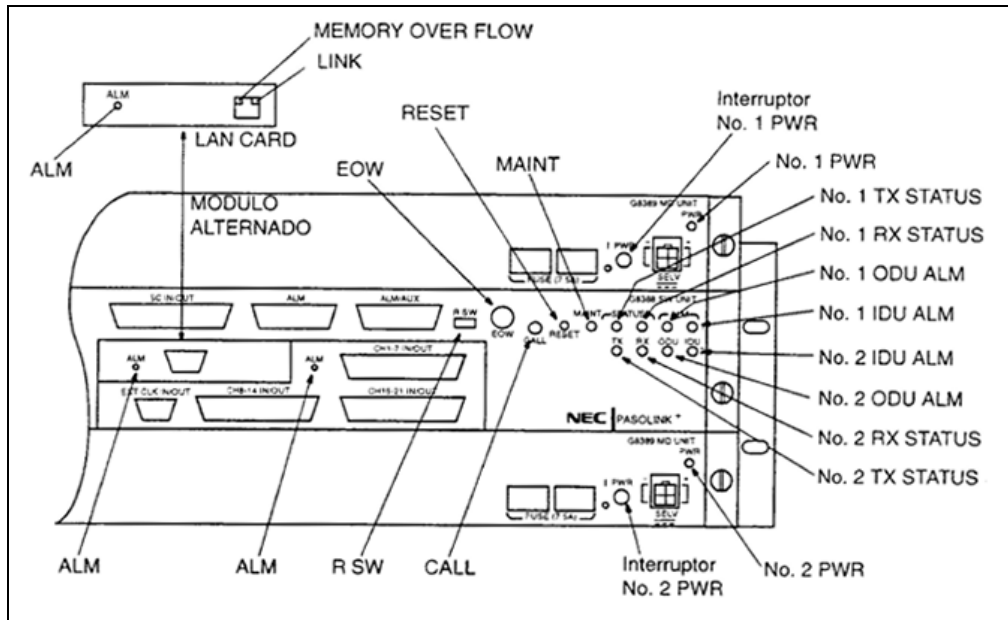


Figura 3.15 Controles e Indicadores de la IDU

La tabla 3.3 resume las principales características de estos controles e indicadores.

Tabla 3.3 Descripción de indicadores y controles de la IDU

Indicador / Control	Descripción
Indicador PWR	Se enciende cuando se conecta el interruptor PWR del canal correspondiente.
Interruptor PWR	Conecta o desconecta la energía DC de entrada para el canal correspondiente.
Indicador IDU ALM	Se enciende cuando se da alguna de las alarmas de la IDU en el módulo MD correspondiente.
Indicador ODU ALM	Se enciende cuando se da alguna de las alarmas en el ODU correspondiente.
Indicador TX STATUS	Se enciende cuando el modulador y el transmisor del canal correspondiente están en línea.
Indicador RX STATUS	Se enciende cuando el receptor y el demodulador del canal correspondiente están en línea.
Indicador MAINT	Se enciende cuando se activa el modo de mantenimiento.
Interruptor RESET	Inicializa la operación de la CPU.
Interruptor CALL	Transmite la señal de llamada y hace sonar el zumbador en la estación opuesta.
Interruptor R SW	Se utiliza para volver a la versión del programa anterior después de actualizarse el programa de la IDU.
Conector EOW	Accesa la señal EOW cuando el casco telefónico está conectado.
Indicador ALM (Módulo 150M/OPT/2M)	Se enciende cuando se da alguna de las alarmas de la MAIN INTFC.

3.2 Descripción de principios electrónicos relacionados con el proyecto

En esta sección se exponen los principios electrónicos y tecnologías relacionadas con el desarrollo del proyecto.

3.2.1 Jerarquía Digital Sincrónica SDH

La jerarquía digital sincrónica (con sus siglas en inglés SDH) es un estándar para el transporte de telecomunicaciones formulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T). La tecnología SDH define las especificaciones de interfaz necesarias para la multiplexación de diferentes tipos de señales, tanto para señales de alta velocidad como de baja velocidad, a través de módulos de transporte sincrónico (STMs) con los cuales se efectúa la transmisión jerárquica.

Fue incorporada como estándar en 1988, en 1990 fue sometida a revisión y desde 1992 fue introducida a las redes de telecomunicaciones.

Su flexibilidad y posibilidad de ancho de banda, le confiere grandes ventajas sobre otros sistemas de comunicación, entre ellas:

- Reducción en la cantidad de equipo.
- Cantidad abundante de encabezamiento, lo que permite la OAM (Operación, Administración y Mantenimiento).
- Interfaz sincrónica unificada, que permite transportar tanto información de 2Mbps como de 1.5Mbps, lo que permite una ambiente multi-proveedor.
- Multiplexación muy flexible hacia diferentes tipos de información, como PDH, ATM e IP.

3.2.1.1 Antecedentes de SDH: PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)

Tradicionalmente, las transmisiones digitales se han basado en la multiplexación de señales prácticamente sincrónicas o plesiócronas.

La Jerarquía Digital Plesiócrona PDH utiliza un mecanismo de relleno de bits para el alineamiento de las señales plesiócronas, de este modo se asegura la “sincronización” de las tramas.

La mayor desventaja de la PDH, consiste en la dificultad para insertar y extraer datos de una trama. Para recobrar una señal de un canal de 64Kbps en una trama PDH de 140Mbps, por ejemplo, es necesario demultiplexar la señal desde los 140Mbps hasta los 2Mbps, para poder localizar el canal de 64Kbps. Esto requiere de la utilización de varios pasos para extraer o introducir un flujo de datos dentro de una trama PDH, tal como se muestra en la figura 3.16, debido al uso de los bits de relleno.

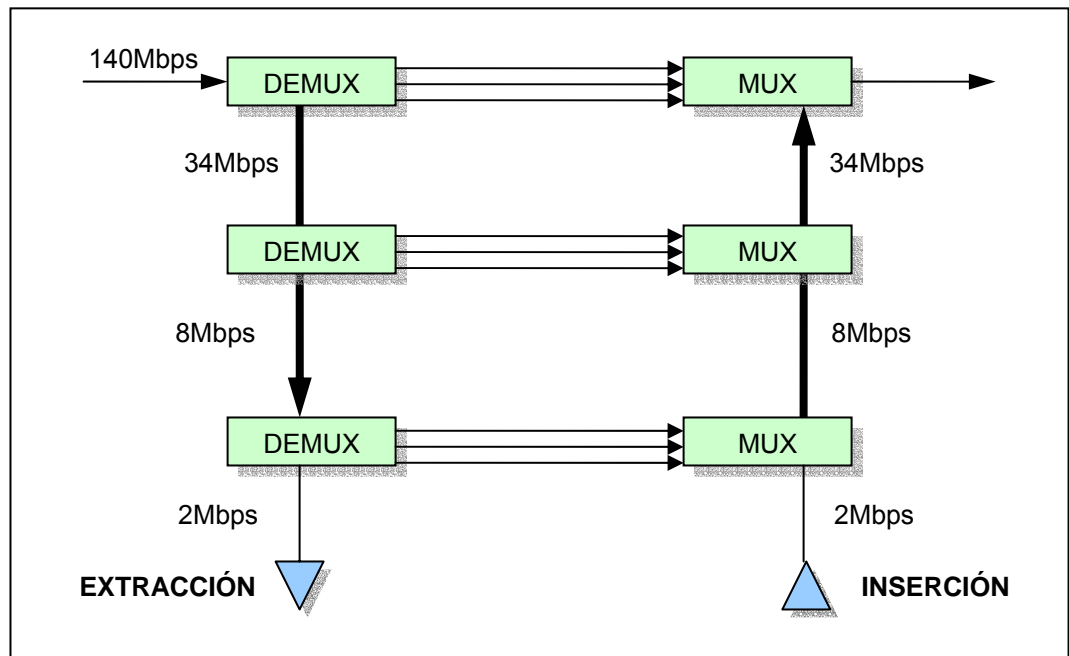


Figura 3.16 Multiplexación y demultiplexación PDH.

Dentro de la PDH, existen dos tendencias básicas: la dada por la recomendación de la ITU-T G.732, que basa la jerarquía en 30 canales de 64Kbps, dos canales de alineamiento, reporte de alarmas y CRC (Chequeo de Redundancia Cíclica), en una trama de 2.048Mbps conocida como E1 y adoptada en la mayor parte del mundo. La otra tendencia se basa en la recomendación de la ITU-T G.733,

que tiene 24 canales de 64Kbps más un bit para alineamiento y señalización, en una trama de 1.544Mbps conocida como T1 y adoptada en Japón y Estados Unidos.

Las velocidades y la multiplexación de canales de la PDH se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Velocidades y multiplexación de canales PDH

Señal	Velocidad	Canales
E0	64 Kbps (voz)	-
E1	2.048 Mbps	32 E0
E2	8.448 Mbps	4 E1 = 128 E0
E3	34.368 Mbps	4 E2 = 512 E0
E4	139.264 Mbps	4 E3 = 2048 E0

Algunas limitaciones de las redes PDH son:

- Insuficiente capacidad para el manejo de redes.
- Incapacidad de identificar canales dentro de una trama de orden superior.
- La detección de errores se lleva a cabo en la capa física.
- Existe diversidad de jerarquías utilizadas alrededor del mundo y se necesitan de interfaces especiales para interconectar jerarquías.

3.2.1.2 Velocidad de bits de la SDH

La recomendación G.707 de la ITU-T establece la velocidad de bits de la SDH. En una red SDH, todos los elementos se rigen por una misma señal de sincronía, suministrada por una misma fuente. Las velocidades de transmisión están establecidas en 155.52Mbps y múltiplos de ésta. Actualmente, existen cuatro velocidades fundamentales para SDH, además de la velocidad de 51.84Mbps, que es la base de las redes SONET (utilizadas en Japón y Estados Unidos). En las redes SONET, se utilizan señales de transporte síncrono (STS) en lugar de módulos de

transporte síncrono (STM). Las velocidades de bits de SDH y SONET se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Velocidades de bits para SDH y SONET

Velocidad	SDH	SONET	Capacidad
51.84 Mbps	STM-0	STS-1	21 E1
155.52 Mbps	STM-1	STS-3	63 E1
622.08 Mbps	STM-4	STS-12	252 E1
2488.32 Mbps	STM-16	STS-48	1008 E1
9953.28 Mbps	STM-64	STS-192	4032 E1

3.2.1.3 Terminología de estructuras SDH

El estándar SDH utiliza las siguientes estructuras de información que se encuentran dentro de la trama SDH:

Contenedor (C-n): Es una estructura de información con capacidad de transporte de señales PDH, ATM o IP. Contiene tanto bits de información como de justificación, para realizar la sincronización de la señal PDH con la fuente de sincronía SDH, y de relleno.

Contenedor Virtual (VC-n): Esta estructura de información consiste en una carga útil de información y un encabezado de trayecto POH, para la administración del trayecto de VC. Existen VCs de orden superior VC-3 y VC-4 que poseen carga útil C-3 y C-4 respectivamente o una combinación de capas de orden inferior. Los VCs de orden inferior son VC-2, VC-11 y VC-12 que poseen carga útil C-2, C-11 y C-12 respectivamente.

Unidad Tributaria (TU-n): Es una estructura de información que permite la adaptación entre un VC de orden inferior y uno de orden superior. La TU consiste en un VC de orden inferior y un puntero TU que se encarga de mostrar el desplazamiento entre el inicio del VC de orden inferior y el del VC de orden superior.

Grupo de Unidades Tributarias (TUG-n): Esta estructura se encarga de combinar una o varias unidades tributarias. Existen dos TUG: el TUG-2 que tiene capacidad de combinar un único TU-2 o un grupo de tres TU-12 o cuatro TU-11; el TUG-3 por su lado, puede combinar un único TU-3 o un grupo de siete TUG-2.

Unidad Administrativa (AU-n): Estructura de información cuya función consiste en proveer la adaptación entre un VC de orden superior y un STM-n. La AU consiste en un VC de orden superior y un puntero AU, el cual se encarga de mostrar el desplazamiento entre el inicio del VC de orden superior y el de la trama STM-n.

Grupo de Unidades Administrativas (AUG-n): Se encarga de combinar una o varias AU. Puede ser un grupo de un AU-4 o uno de tres AU-3.

Módulo de Transporte Sincrónico (STM-n): Esta estructura de información consiste en una sección de carga útil y un encabezado de sección SOH. En la próxima sección se desarrolla con más detalle esta estructura.

3.2.1.4 Estructura de la trama SDH

La STM-1 es la trama fundamental de la SDH, aunque existe la trama STM-0, que permite la compatibilidad entre SDH y SONET. Las tramas SDH tienen una duración de 125 μ s, lo que equivale a 8000 muestras por segundo, dentro de la trama STM-1.

La figura 3.17 muestra la estructura básica de la trama STM-1. La trama STM-1 consiste en un encabezamiento y una sección de carga útil. Las primeras nueve columnas de cada trama conforman el Encabezado de Sección **SOH** y las últimas 261 columnas conforman la **Carga Útil**. En cuanto a la trama STM-0, la figura 3.18 muestra su estructura básica. Cabe destacar que a partir de la multiplexación de 3 tramas STM-0 se obtiene una trama STM-1, por lo que la descripción se continuará únicamente con la trama STM-1.

El SOH de la trama STM-1, se compone del Encabezado de Sección Regeneradora (**RSOH**), que constituye las primeras tres filas, y del Encabezado de

Sección Multiplexora (**MSOH**), que se encuentra en las últimas cinco filas. En la cuarta fila, se encuentra el **puntero AU-4** que, junto con el Contenedor Virtual **VC-4**, forman la Unidad Administrativa **AU-4**.

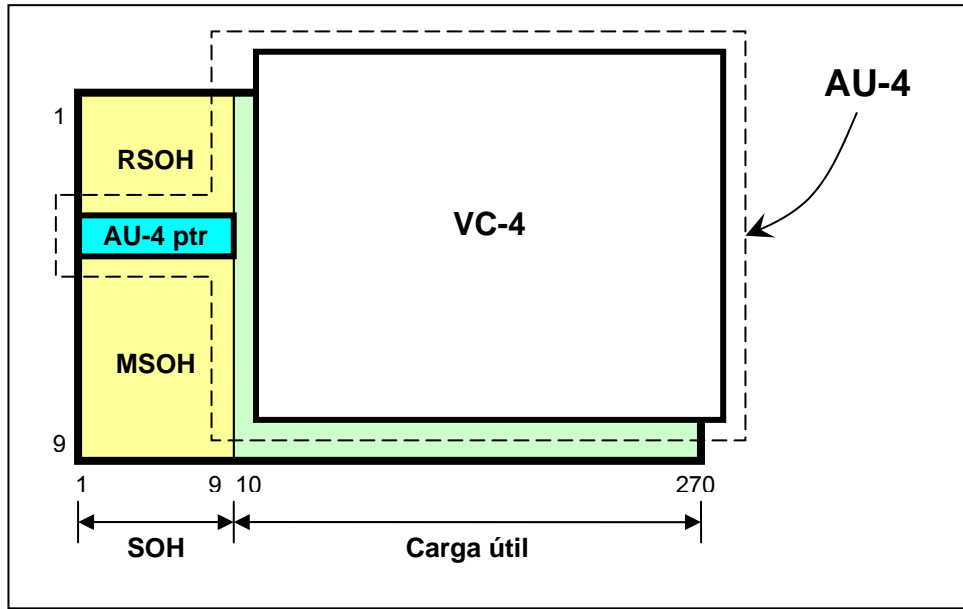


Figura 3.17 Estructura básica de la trama STM-1

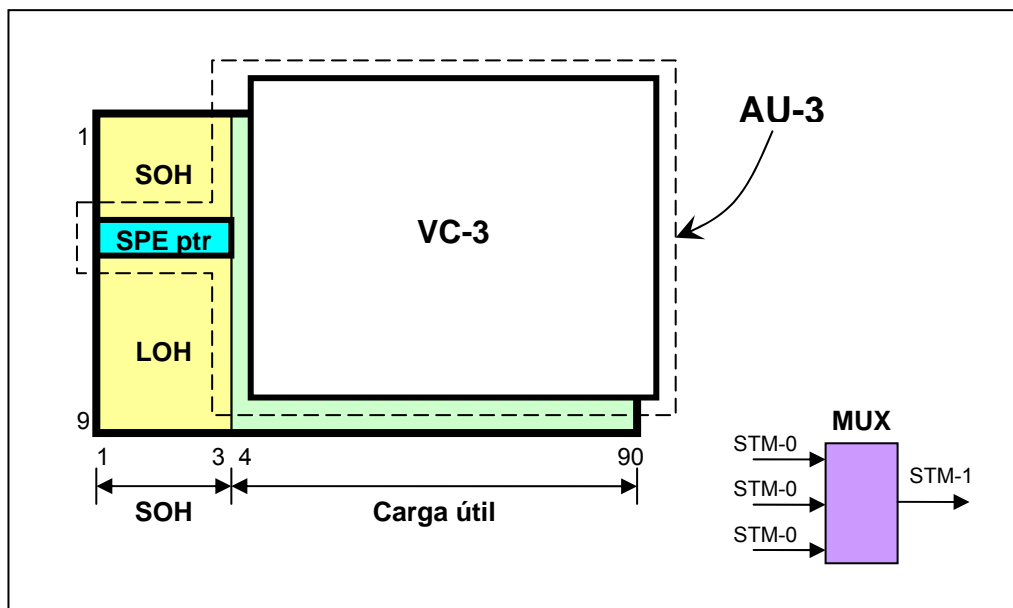


Figura 3.18 Estructura básica de la trama STM-0

La Carga Útil se compone del Contenedor Virtual VC-4, que posee su propia estructura de nueve filas y 261 columnas, tal como se muestra en la figura 3.17, para el caso de una trama STM-1. El VC-4 se compone del Encabezado de Trayecto **POH** que constituye la primera columna, y un Contenedor de Carga Útil que puede cargar otros Contenedores de menor jerarquía.

Los Contenedores Virtuales (VCs) son cargados dentro de la sección de Carga Útil como paquetes de datos independientes, y son utilizados para transportar señales de menor velocidad. Existen varios tipos de VCs dependiendo de la velocidad y la capacidad de carga; la tabla 3.6 muestra los diferentes VCs.

Tabla 3.6 Contenedores Virtuales

Contenedor Virtual	Velocidad	Tamaño	Capacidad de carga
VC-11	1.728 Mbps	9 filas, 3 columnas	1 T1
VC-12	2.304 Mbps	9 filas, 4 columnas	1 E1
VC-2	6.912 Mbps	9 filas, 12 columnas	1 T2
VC-3	48.960 Mbps	9 filas, 85 columnas	1 E3
VC-4	150.336 Mbps	9 filas, 261 columnas	1 E4

3.2.1.5 Encabezados de la trama SDH

El estándar SDH fue concebido bajo el modelo de capas cliente-servidor. En este modelo, las funciones de encabezado y transporte están distribuidas en capas, tal como se muestra en la figura 3.19.

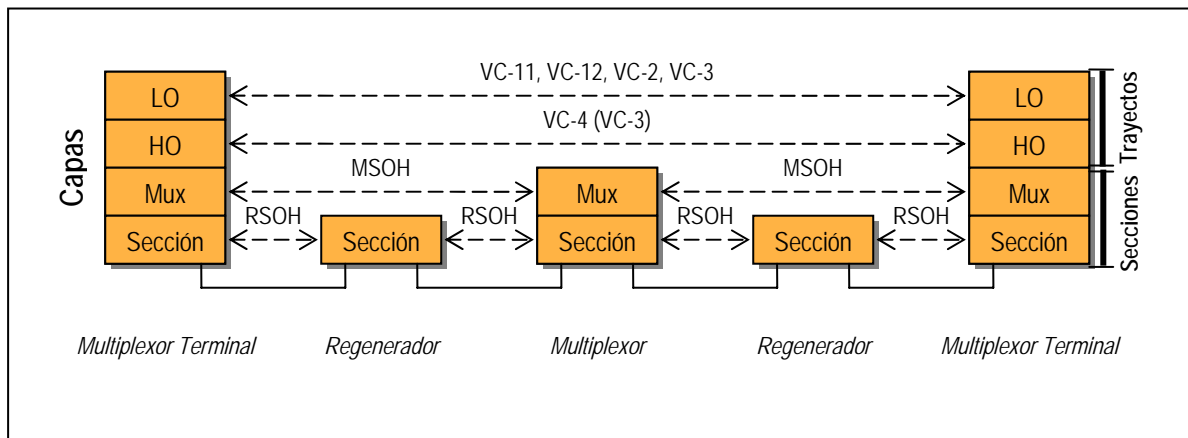


Figura 3.19 Capas de red SDH

Los encabezados de trama SDH están directamente relacionados con el modelo de cuatro capas. A continuación se describe cada uno de ellos:

Encabezado de Sección Regeneradora (RSOH): El RSOH contiene información relacionada únicamente con los elementos localizados a ambos extremos de una sección. Estos elementos pueden ser dos regeneradores, un multiplexor terminal y un regenerador, un multiplexor y un regenerador o dos multiplexores terminales. El RSOH se encuentra en las primeras tres filas del SOH (ver figura 3.17). En la figura 3.20 se muestran los bytes de la RSOH, que son explicados en la tabla 3.7.

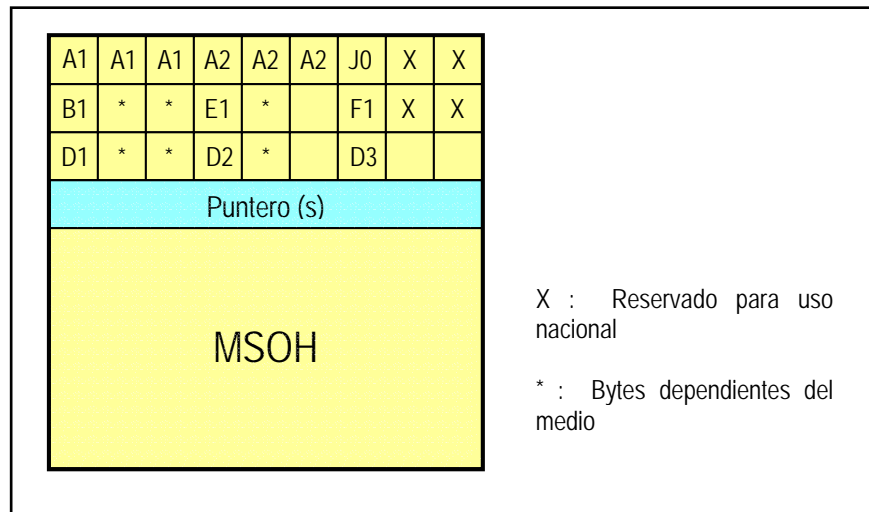


Figura 3.20 Encabezado de Sección Regeneradora

Tabla 3.7 Descripción de bytes del RSOH

Byte	Nombre	Descripción
A1, A2	Bytes de entramado	Indican el inicio de la trama. A1 tiene el valor 11110110 y A2 tiene el valor 01001000.
J0	Trazo de sección	Indica que tipos de VC conforman el VC-4
B1	Byte de paridad	Código de paridad para la detección de errores en la sección regeneradora
E1	Canal de servicio	Utilizado como canal de voz entre regeneradores
F1	Canal de usuario	Canal destinado a propósitos del usuario.
D1, D2, D3	Canal de comunicación de datos	Canal de 192Kbps utilizado para OAM (Operación, Administración y Mantenimiento)

Encabezado de Sección Multiplexora (MSOH): El MSOH contiene la información requerida entre equipos a ambos lados de la sección multiplexora, esto es, entre elementos de red consecutivos que no sean regeneradores. El MSOH se encuentra en las últimas cuatro filas del SOH (ver figura 3.17). En la figura 3.21 se muestran los bytes de la MSOH, que son explicados en la tabla 3.8.

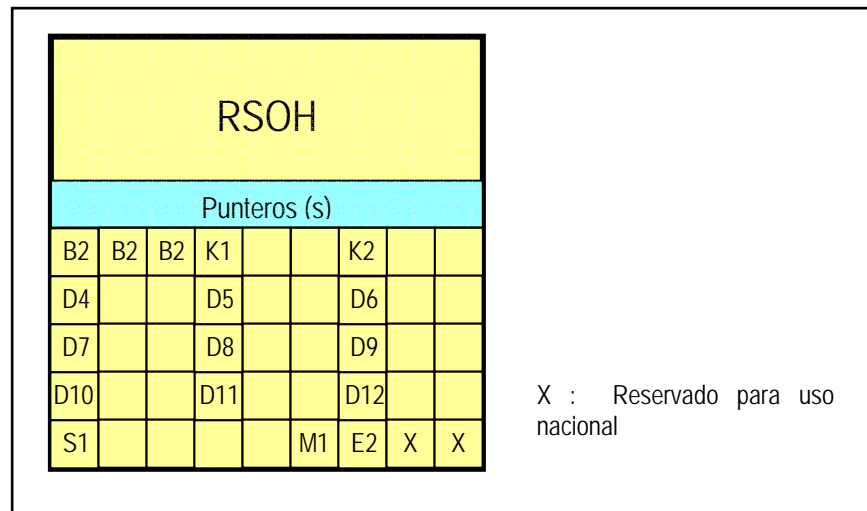


Figura 3.21 Encabezado de Sección Multiplexora

Tabla 3.8 Descripción de bytes del MSOH

Byte	Nombre	Descripción
B2	Byte de paridad	Código de paridad para la detección de errores en la sección multiplexora
K1, K2	Señalización de APS	Sirve para la Conmutación Automática de Protección y para la comunicación de señales de AIS y RDI
D4 – D12	Bytes de comunicación de datos	Canal de 576Kbps utilizado para OAM (Operación, Administración y Mantenimiento)
S1	Estado de Sincronización	Utilizado para enviar mensajes de sincronización
M1	Indicación de Error Remoto	Detección de REI en la sección multiplexora
E2	Canal de servicio	Utilizado como canal de voz entre regeneradores

Encabezado de Trayecto de Orden Superior (HO-POH): El POH de orden superior se asigna y es transportado con el VC de orden superior (VC-3/VC-4). El HO-POH se encuentra en las nueve filas de la primera columna del Contenedor Virtual VC-4 o VC-3, tal como se muestra en la figura 3.22. La tabla 3.9 muestra la descripción de cada uno de los bytes que lo conforman.

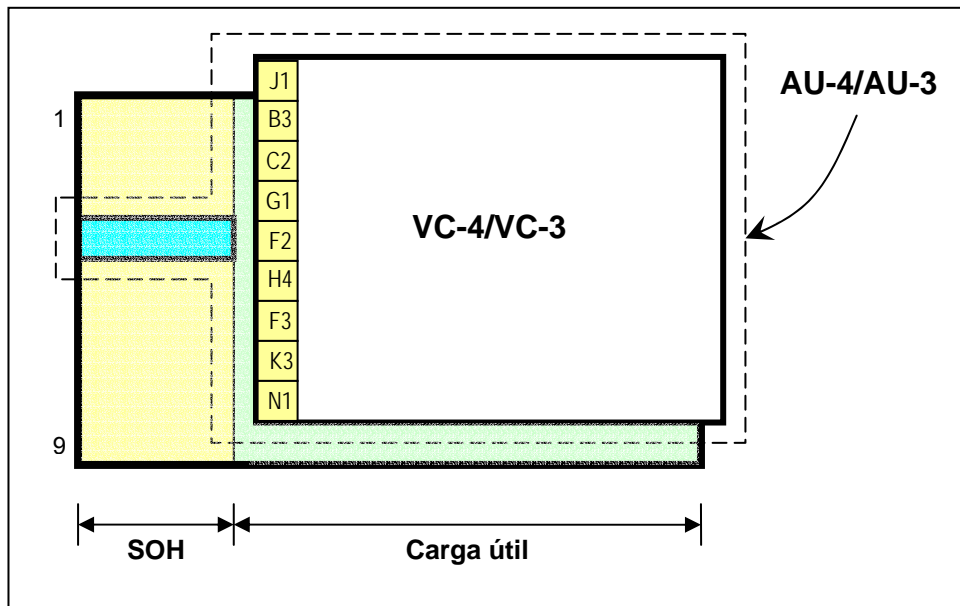


Figura 3.22 Encabezado de Trayecto de Orden Superior

Tabla 3.9 Descripción de bytes del HO-POH

Byte	Nombre	Descripción
J1	Traza de trayecto	Le permite corroborar la conexión a la terminal receptora
B3	Byte de paridad	Código de paridad para la detección de errores en el trayecto
C2	Etiqueta de señal	Muestra la composición del VC
G1	Byte de estado de trayecto	Monitoreo del estado y desempeño del trayecto
F2	Canal de usuario	Canal destinado a la comunicación del usuario entre elementos
H4	Indicador de posición	Indicadores para multitrama
F3	Canal de usuario	Canal destinado a la comunicación del usuario entre elementos
K3	Canal de APS	Protección a nivel de VC-3/VC-4
N1	Byte de operador de red	Monitoreo de conexión

Encabezado de Trayecto de Orden Inferior (LO-POH): El POH de orden inferior se asigna y es transportado con el VC de orden inferior. La tabla 3.10 muestra la descripción de cada uno de los bytes que lo conforman.

Tabla 3.10 Descripción de bytes del LO-POH

Byte	Nombre	Descripción
V5	Estado del trayecto y etiqueta de señal	Monitoreo del estado y desempeño del trayecto, y muestra la composición del VC
J2	Identificador de trayecto	Le permite corroborar la conexión a la terminal receptora
N2	Byte de operador de red	Monitoreo de conexión
K4	Señalización de APS	Protección a nivel de trayecto de LO

3.2.1.6 Punteros de la trama SDH

Los punteros dentro de la trama SDH permiten diferencias en la fase y frecuencia de los VCs con respecto a la trama STM. El puntero de carga útil identifica la localización del primer byte del VC dentro de la carga útil, lo que significa

que el VC puede “flotar” dentro de la porción de carga útil del STM-1. El valor del puntero indica el valor de bytes desde el puntero hasta el primer byte del VC.

En la figura 3.23 se muestran los bytes del puntero de AU, que son explicados en la tabla 3.11

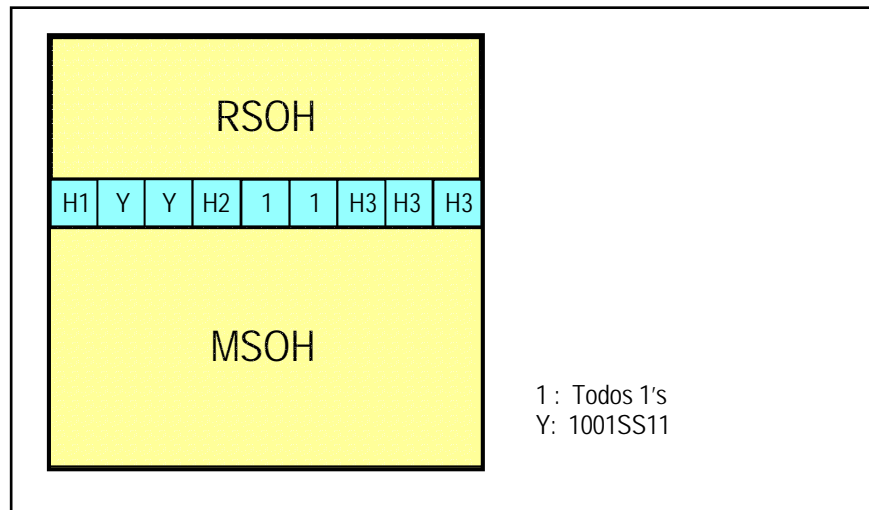


Figura 3.23 Punteros de AU-4

Tabla 3.11 Descripción de bytes de los punteros de AU-4

Byte	Nombre	Descripción
H1, H2	Bytes de puntero	Especifican la localización de la trama VC
H3	Byte de acción de puntero	Utilizado para la justificación de frecuencia

3.2.1.7 Multiplexación SDH

Los principios de multiplexación SDH involucran los conceptos de mapeo, alineamiento y multiplexación.

Mapeo: El mapeo es el proceso utilizado para adaptar las señales tributarias (PDH, ATM, IP) dentro de los Contenedores Virtuales mediante la adición de bits de justificación e información de POH.

Alineamiento: Este proceso se lleva a cabo cuando un puntero se incluye dentro de una unidad tributaria TU o una unidad administrativa AU, para permitir la localización del VC.

Multiplexación: La multiplexación es utilizada para adaptar varias señales de capa de trayecto de orden inferior dentro de una señal de capa de trayecto de orden superior, o para adaptar estas últimas a la sección multiplexora.

La figura 3.24 ilustra la estructura de multiplexación SDH definida por la ITU-T en su recomendación G.707. La notación en las cajas se explica en la tabla 3.12.

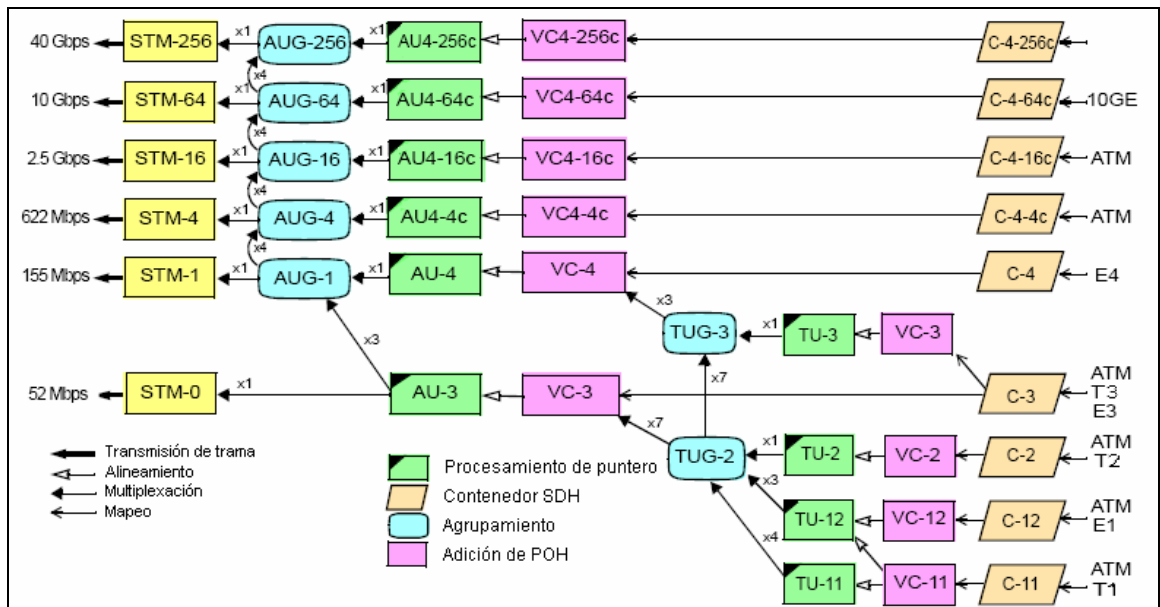


Figura 3.24 Estructura de multiplexación SDH

Tabla 3.12 Descripción de estructuras de multiplexación SDH

Estructura	n	Descripción
C-n	11, 12, 2, 3, 4	Carga útil de nivel más bajo
VC-n	11, 12, 2	Un C-n más un LO-POH
VC-n	3, 4	Un C-n o varios TUG-2 o TUG-3, más un HO-POH
TU-n	11, 12, 2, 3	Un VC-n más el puntero de TU
TUG-2	-	Un TU-2 o tres TU-12 o cuatro TU-11
TUG-3	-	Un TU-3 o siete TUG-2
AU-n	3, 4	Un VC-n más el puntero de AU
AUG-1	-	Un AU-4 o tres AU-3
AUG-n	4, 16, 64, 256	Multiplexación de cuatro AUG-n anterior
STM-n	1, 4, 16, 64, 256	Un AUG-n más el SOH

En el nivel más bajo, los Contenedores C-n, que utilizan el proceso de mapeo para cargar las señales tributarias, son insertados en Contenedores Virtuales VC-n, con el propósito de crear una carga útil uniforme y con la misma velocidad de bits. Luego, los VCs son alineados dentro de Unidades Tributarias TU o Unidades Administrativas AU, dependiendo del tipo de tributario que se cargue. Esto permite

que la carga útil se pueda luego multiplexar en Grupos de TU (TUG) o Grupos de AU (AUG). Los TUGs posteriormente son multiplexados en VCs de orden superior, que mediante el alineamiento, son contenidos en AUs. Finalmente, un Grupo de AUs puede convertirse en trama STM con la adición del SOH.

En las figuras 3.25, 3.26 y 3.27 se ilustra el proceso de multiplexación de una señal tributaria de 2.048 Mbps (E1) dentro de una trama STM-1.

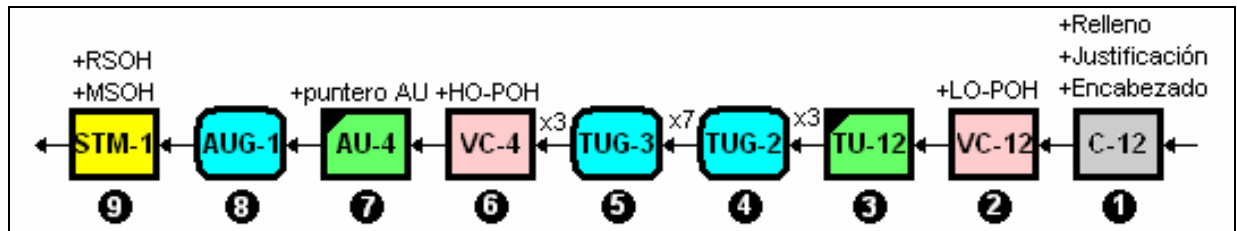


Figura 3.25 Multiplexación de una señal de 2.048Mbps (1 de 3)

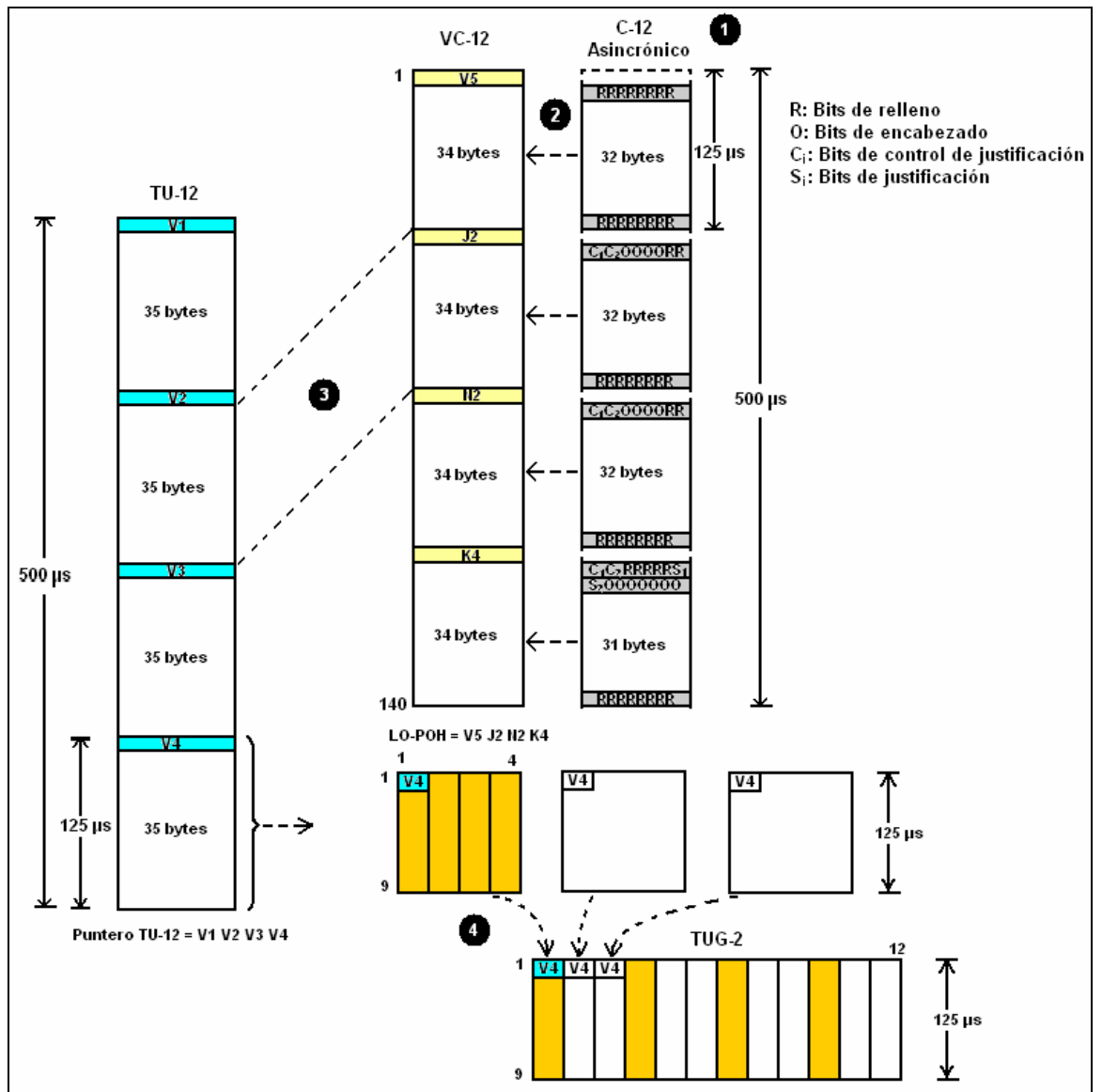


Figura 3.26 Multiplexación de una señal de 2.048Mbps (2 de 3)

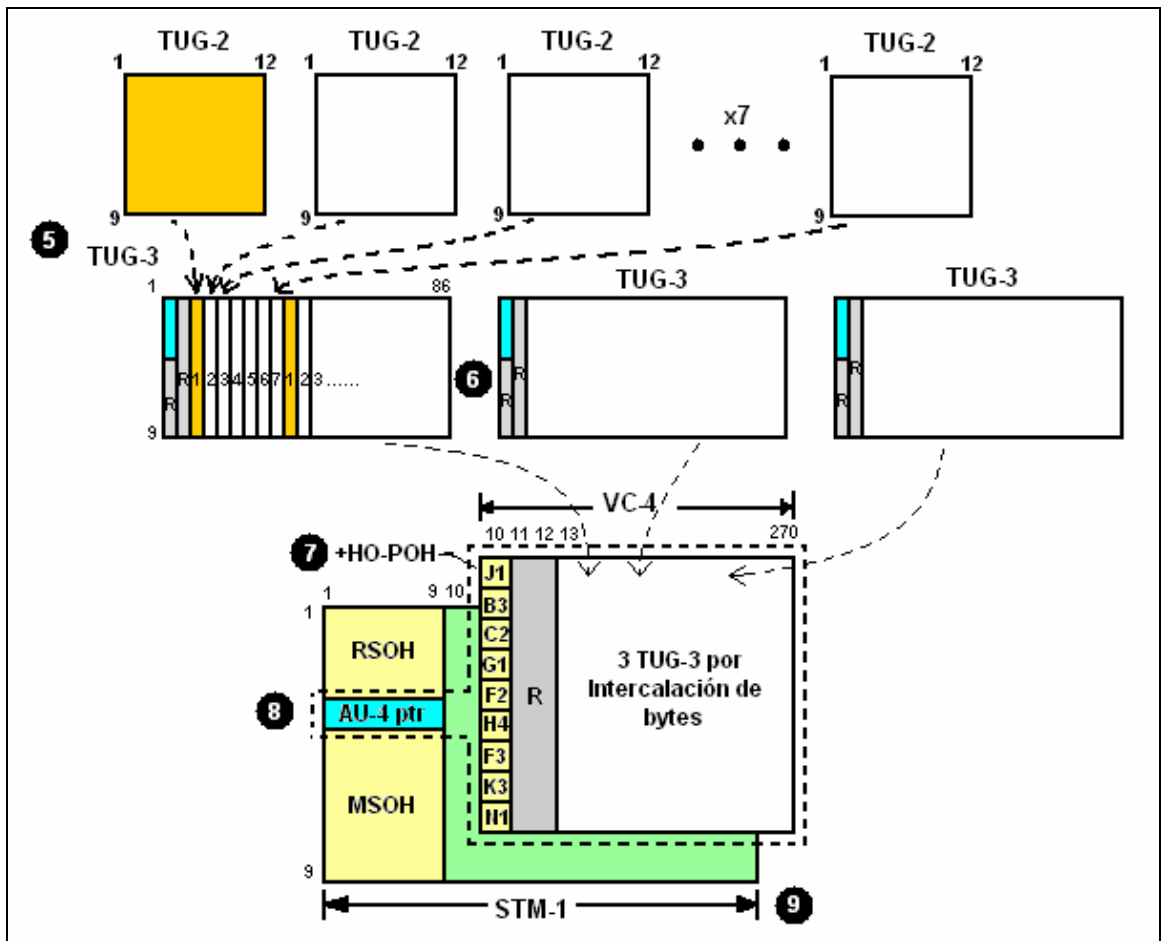


Figura 3.27 Multiplexación de una señal de 2.048Mbps (3 de 3)

3.2.1.8 Señales de error de la SDH

La estructura de la trama SDH ha sido diseñada para contener una gran cantidad de información de encabezado. Esto permite una variedad de funciones entre las que se encuentra el monitoreo de señales de error.

Existen varios tipos de señales de error que se pueden dar dentro de la trama SDH en cada una de sus secciones. Estas se pueden dividir en:

Alarmas: Es una señal utilizada para alertar al equipo de red en que se ha detectado un defecto o falla en el equipo.

Anomalía: Se considera anomalía a la diferencia entre la característica deseada y la obtenida. No constituye una interrupción de funciones.

Defecto: Cuando la cantidad de anomalías llega a afectar cierta función hasta interrumpirla.

Falla: Incapacidad de una función de realizar cierta acción, que ha persistido por un tiempo máximo determinado.

En la figura 3.28 se muestran las diferentes señales de error que pueden producirse a lo largo de cada una de las secciones SDH. La tabla 3.13 resume las señales de error mostradas en esta figura.

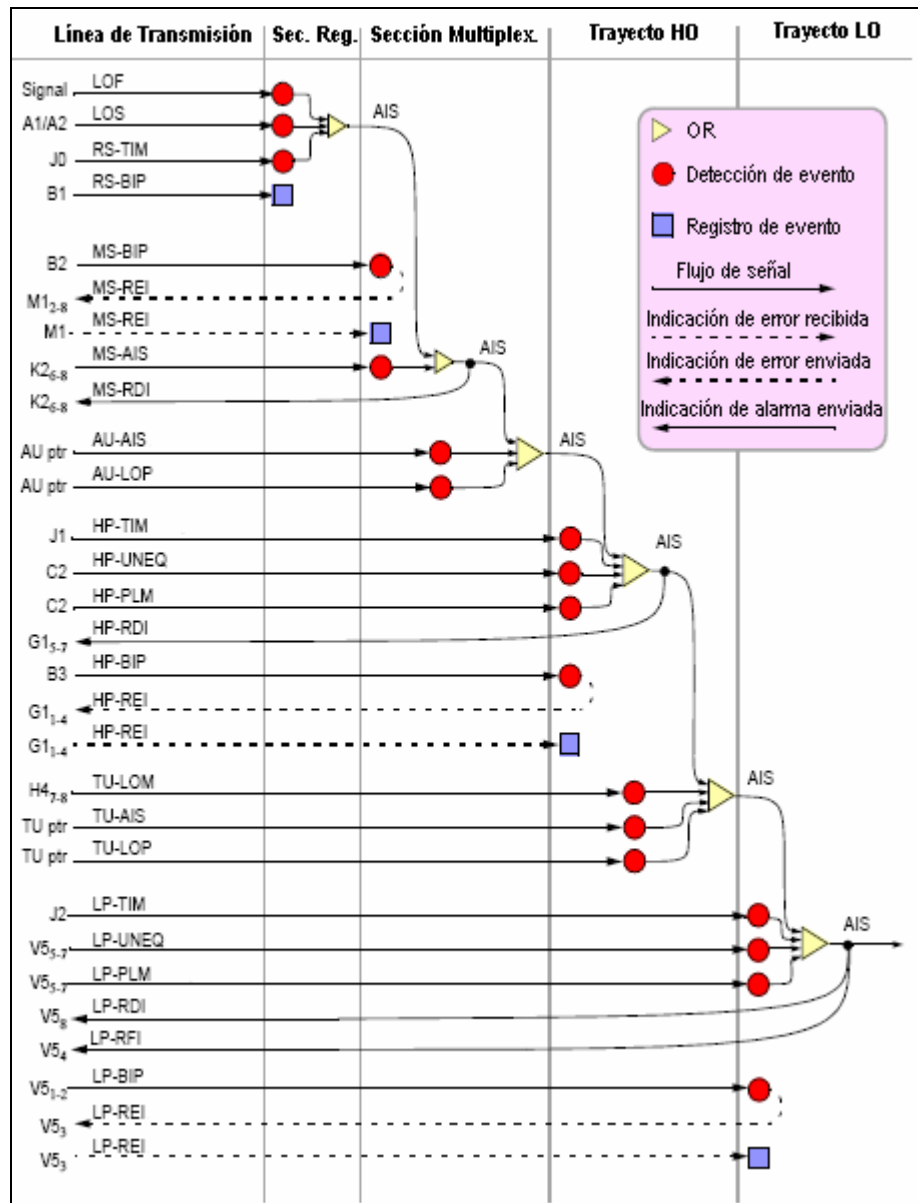


Figura 3.28 Señales de error SDH

Tabla 3.13 Resumen de señales de error SDH

Nombre	Descripción
RS-	Sección Regeneradora
MS-	Sección Multiplexora
AU-	Unidad Administrativa
HP-	Trayecto de Orden Superior
TU-	Unidad Tributaria
LP-	Trayecto de Orden Inferior
LOS	Pérdida de Señal
LOF	Pérdida de Trama
TIM	Desajuste de Identificador de Trayecto
BIP	Paridad de Intercalación de Bytes
REI	Indicación de Error Remoto
AIS	Señal de Indicación de Alarma
RDI	Indicación de Defecto Remoto
LOP	Pérdida de Puntero
UNEQ	Condición de Ocupado
PLM	Desajuste de Carga Útil
LOM	Pérdida de Multitrama
RFI	Indicación de Falla Remota

3.2.2 Enlaces de microondas

Las microondas ocupan la porción del espectro comprendido entre 1 y 300GHz, que corresponde a longitudes de onda de 10 cm y 80 mm respectivamente. La banda de microondas se divide a su vez en sub-bandas, tal como se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Sub-bandas de microondas

Sub-banda	Frecuencia (GHz)	Longitud de onda (cm)
S	1.5 – 8	10
X	8 – 12.5	3
K	12.5 – 40	1.1
Q	40 – 50	0.8

En el análisis de microondas es común la utilización de la teoría de campo electromagnético, mediante las ecuaciones de Maxwell. Sin embargo, en los márgenes del rango, es frecuente la utilización de los métodos de análisis del rango contiguo. Así, a frecuencias de microonda altas, es común la utilización de conceptos y principios de óptica, mientras que a frecuencias de microonda bajas, se aplican los conceptos de la radiofrecuencia.

Generalmente, el proceso de modulación y demodulación de la microonda sigue el siguiente proceso: la señal se modula a una frecuencia intermedia IF (en el orden de MHz), posteriormente, la señal de IF se mezcla con una señal de alta frecuencia de un oscilador local (del orden de GHz). Mediante un filtro se deja pasar únicamente la banda correspondiente a la frecuencia de microondas utilizada para la transmisión. En el lado del receptor se realiza la mezcla de la señal recibida con el oscilador local del receptor, seguido de un proceso de filtrado que selecciona la frecuencia de IF. Esta señal de IF es amplificada y demodulada.

Entre las principales aplicaciones de los enlaces de microondas se encuentran las telecomunicaciones, tanto las privadas como las continentales, intercontinentales y extraterrestres, además, los sistemas de radar, sistemas de alarma, radioastronomía y aplicaciones en medicina.

3.2.2.1 Estructura general de un enlace de microondas

Un enlace de microondas está compuesto básicamente por dos tipos de equipos: los equipos terminales y los repetidores intermedios.

Los repetidores se encargan de solucionar el problema de falta de visibilidad debido a la curvatura de la Tierra, permitiendo enlaces con mayor alcance que su horizonte óptico. Estos repetidores pueden ser activos o pasivos. Los pasivos son conocidos también como reflectores pues se limitan únicamente a cambiar la dirección del haz de microondas sin ningún factor de ganancia. Los repetidores activos proporcionan ganancia a la señal con el fin de compensar las atenuaciones de la trayectoria.

Las estaciones terminales poseen como mínimo una antena para la transmisión y recepción de la señal. En una estación terminal se requieren dos frecuencias por cada canal: una frecuencia de transmisión y otra de recepción. Estas frecuencias deben ser diferentes y suficientemente separadas debido a que existe una gran diferencia en el nivel de potencia entre la señal emitida y la recibida que ronda entre 60 y 90 dB.

Básicamente, una estación terminal consta de tres partes: la sección de banda base, la sección de IF y la de RF.

La banda base puede ser una de varios tipos diferentes de señales, por ejemplo, canales de banda de voz (64kbps) con multiplexación por división de tiempo.

La sección de IF se encarga de generar una señal portadora a una frecuencia intermedia. Esto se logra mezclando la salida de la señal en banda base con la de un oscilador local. Del lado de recepción, se utiliza detección coherente para la demodulación de la señal de IF.

En la sección de RF, la señal de IF entra a través de un interruptor de protección. Existen amplificadores que ayudan a mantener la potencia de la señal de IF constante y con el nivel requerido por el modulador de transmisión. Este modulador, junto con un generador de microondas, un amplificador de potencia y un filtro pasa bandas, transforman la señal de IF en una portadora de RF con el nivel de potencia necesario para su transmisión. El generador de microondas es un generador, no un oscilador, pues es difícil la construcción de osciladores de tan altas frecuencias. Lo que se utiliza es un oscilador controlado por cristal de unos 5-25MHz y los multiplicadores de frecuencia necesarios para llegar a la frecuencia de RF.

Cuando los enlaces de microondas se deben realizar a una distancia de más de 25 kilómetros, o cuando existen obstrucciones geográficas, como montañas, que bloquean la ruta de transmisión, es necesario el uso de repetidores.

Un repetidor esencialmente consiste en un transmisor y un receptor colocados espalda con espalda. La señal portadora de RF es captada por el receptor del repetidor, se amplifica y retransmite mediante el transmisor del repetidor.

Existen dos tipos de repetidores de microondas, los repetidores de IF o heterodinos y los repetidores de banda base. En los repetidores de IF, la señal RF recibida es convertida a IF, amplificada y convertida nuevamente a RF para ser retransmitida. En este tipo de repetidores, el contenido de la señal en banda base no es alterado. En cambio, los repetidores de banda base sí alteran el contenido de la señal en banda base; la portadora de RF se convierte a IF, se amplifica y luego se vuelve a demodular hasta la banda base. En este punto la señal de banda base se puede volver a configurar dependiendo de las exigencias del enlace. Una vez lista, la señal en banda base se modula nuevamente a IF y luego a RF para ser transmitida.

3.3.2.2 Diversidad y conmutación de protección

Los sistemas de microondas utilizan la transmisión de línea vista, es decir, es necesario que exista una ruta de señal directa entre las antenas de transmisión y recepción. En consecuencia, si la ruta no está disponible o se degrada severamente, se dará una interrupción del servicio.

Es por esto que la diversidad sugiere la existencia de más de una ruta posible de transmisión, con el fin de incrementar la confiabilidad del sistema haciendo mayor su disponibilidad. Existen muchos métodos para lograr la diversidad, entre ellos, el espacio, la frecuencia y la polarización.

La ***diversidad de espacio*** sugiere la presencia de dos o más antenas alimentadas por la misma señal proveniente del transmisor, y de forma similar, dos o más antenas en el lado de recepción que proporcionan la señal al receptor.

La ***diversidad de frecuencias*** es la modulación de dos frecuencias diferentes de portadora de RF con el mismo contenido IF y luego transmitir ambas señales. En la recepción, ambas portadoras son demoduladas y se selecciona la señal cuyo contenido de IF sea de mayor calidad.

La ***diversidad de polarización*** consiste básicamente en la propagación de una portadora de RF mediante dos diferentes polarizaciones electromagnéticas: horizontal y vertical. La diversidad de polarización generalmente se utiliza en conjunto con la diversidad de espacio: se utilizan dos antenas, una polarizada horizontalmente y la otra verticalmente.

Las pérdidas de rutas de radio varían con las condiciones atmosféricas. En un período estas condiciones pueden variar considerablemente causando una reducción importante en la potencia de recepción de hasta 40 o más dB. Los desvanecimientos de más de 40 dB ocasionan una pérdida total de la señal recibida.

Para evitar interrupciones en el servicio durante los períodos de desvanecimiento severos o fallas en el equipo, existe la conmutación de protección que permite la utilización de un canal temporal para la transmisión y recepción de la

señal. Existen dos tipos de conmutación de protección: el respaldo de línea y la diversidad. En el respaldo de línea, cada canal de radio que está trabajando posee un canal de respaldo dedicado. Por otro lado, en la protección por diversidad, un solo canal de respaldo está disponible para los canales que están trabajando (máximo 11 canales).

3.2.2.3 Propagación de microondas

El medio por el cual las ondas electromagnéticas son propagadas influye de manera muy significativa en el proceso de transmisión: desviando la trayectoria de la onda y provocando dispersiones o atenuaciones.

Las trayectorias de propagación normales entre dos antenas de radio en un sistema de microondas se muestran en la figura 3.29.

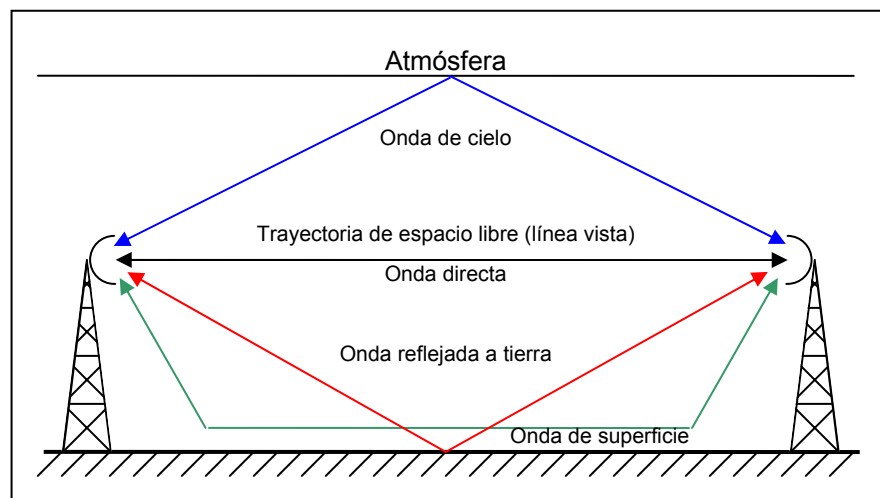


Figura 3.29 Trayectorias de propagación en un enlace de microondas.

La trayectoria de espacio libre es la que se da en línea de vista directamente entre las antenas transmisora y receptora. Es también llamada onda directa. La onda reflejada a tierra es la porción de la señal transmitida que se refleja en la superficie terrestre y es capturada por la antena receptora. La onda de superficie consiste en campos eléctricos y magnéticos asociados a las corrientes inducidas en la superficie de la Tierra. La magnitud de esta onda depende de las características de la

superficie y de la polarización de la onda. La onda de cielo es la porción de la señal que se regresa a la superficie de la Tierra debido a la refracción en las capas de la atmósfera.

Para altas frecuencias a nivel de microondas, algunas de las trayectorias son imperceptibles. De hecho, para frecuencias mayores a 50 MHz, las trayectorias de espacio libre y la onda reflejada a tierra son las únicas trayectorias de importancia.

La ganancia del sistema es la diferencia entre la potencia de salida del transmisor y la potencia mínima de recepción. Esta ganancia debe ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias o pérdidas que sufre la señal al propagarse por el medio, tal como se muestra en la ecuación 3.1.

$$G_S = P_T - P_{Rmín} \geq F_M + L_P + L_F - G_T - G_R \quad (3.1)$$

Las ganancias que actúan sobre la señal son la ganancia de la antena transmisora G_T y la ganancia de la antena receptora G_R . Entre las pérdidas se encuentran: las pérdidas por trayectoria de espacio libre L_P , las pérdidas por cables conductores L_F y el margen de desvanecimiento F_M .

La pérdida por trayectoria de espacio libre L_P se define como la pérdida que sufre una onda al propagarse en línea recta a través del vacío sin reflexión de energía de objetos cercanos. La expresión para la pérdida de trayectoria de espacio libre se da en la ecuación 3.2,

$$L_P = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2 \quad (3.2)$$

y en la ecuación 3.3 se muestra la expresión en decibeles para esta pérdida.

$$L_P(dB) = 92.4 + 20 \log f(GHz) + 20 \log D(km) \quad (3.3)$$

El margen de desvanecimiento es esencialmente un rango de seguridad incluido en la ecuación de ganancia del sistema y que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación. El valor de este factor depende de la distancia, la confiabilidad, el tipo de superficie y la frecuencia.

La ecuación 3.4 (conocida como fórmula de Friis) muestra la relación entre la potencia recibida y la potencia transmitida en un enlace utilizando el modelo de espacio libre, es decir, sin considerar el efecto del mecanismo de propagación.

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 G_T G_R \quad (3.4)$$

Al cambiar el modelo de espacio libre por el modelo de espacio real, que sí considera el efecto de la propagación, se utiliza un factor de atenuación como se puede observar en la ecuación 3.5, que modela las pérdidas generadas por el medio.

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 G_T G_R F_p \quad (3.5)$$

donde F_p : factor de atenuación.

Para las frecuencias de microonda, en las cuales la ionosfera se hace transparente, la propagación en el espacio libre es modificada por la Tierra mediante la reflexión y difracción, y por la troposfera mediante la refracción, la atenuación y la dispersión, en la denominada propagación por onda de espacio.

En este mecanismo se emplean antenas muy elevadas y directivas. El alcance es variable, desde varios kilómetros hasta 40000 km en comunicaciones por satélite o millones de kilómetros en comunicaciones de espacio profundo. Este mecanismo es empleado en telefonía celular, radar, comunicaciones vía satélite, etc.

En la propagación por onda de espacio se consideran los mecanismos de propagación en los que la contribución más importante proviene de:

- Rayo de línea vista
- Rayo reflejado en la superficie
- Rayos difractados por las irregularidades de la superficie.

En la figura 3.30 se muestra un esquema general de la propagación por onda de espacio de espacio.

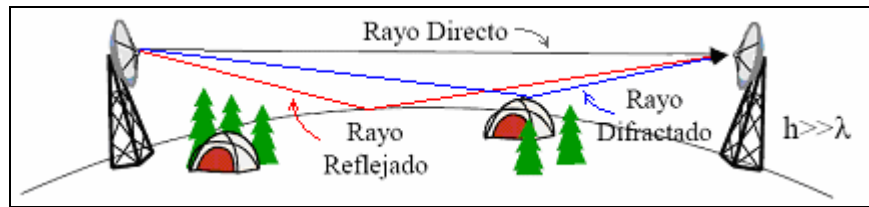


Figura 3.30 Esquema general de la propagación por onda de espacio

Los coeficientes de reflexión se obtienen considerando una incidencia oblicua sobre un dieléctrico plano con pérdidas ϵ_T y σ , que simula la superficie terrestre. En la figura 3.31 se muestra el diagrama para la obtención de estos coeficientes.

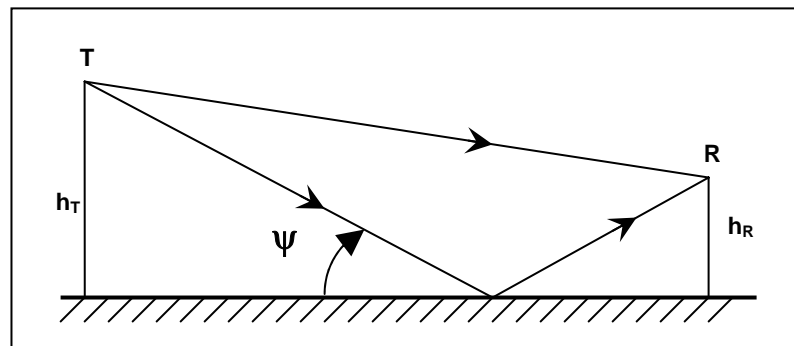


Figura 3.31 Diagrama de onda reflejada

La ecuación 3.6 muestra el cálculo del coeficiente de reflexión para polaridad horizontal.

$$\rho_h = \frac{\sin \psi - \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2 \psi}} \quad (3.6)$$

$$\text{con } x = \frac{\sigma}{\omega \cdot \epsilon_0}$$

La ecuación 3.7 muestra el cálculo del coeficiente de reflexión para polaridad vertical.

$$\rho_v = \frac{(\epsilon_r - jx)\sin\psi - \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2\psi}}{(\epsilon_r - jx)\sin\psi + \sqrt{(\epsilon_r - jx) - \cos^2\psi}} \quad (3.7)$$

$$\text{con } x = \frac{\sigma}{\omega \cdot \epsilon_0}$$

Nótese que en ambas ecuaciones, cuando la distancia entre el transmisor y el receptor se hace mucho mayor que las alturas h_T y h_R , como es el caso de las microondas, el ángulo ψ , se hace muy pequeño, lo cual hace que los coeficientes ρ_v y ρ_h tienden a -1.

Considerando el diagrama de la figura 3.32, cuando la distancia d es mucho mayor que las alturas h_T y h_R y es menor que la distancia máxima dada por la ecuación 3.8, la Tierra se puede modelar como una superficie plana.

$$d_{\text{máx}}(\text{km}) = \frac{100}{\sqrt[3]{f(\text{MHz})}} \quad (3.8)$$

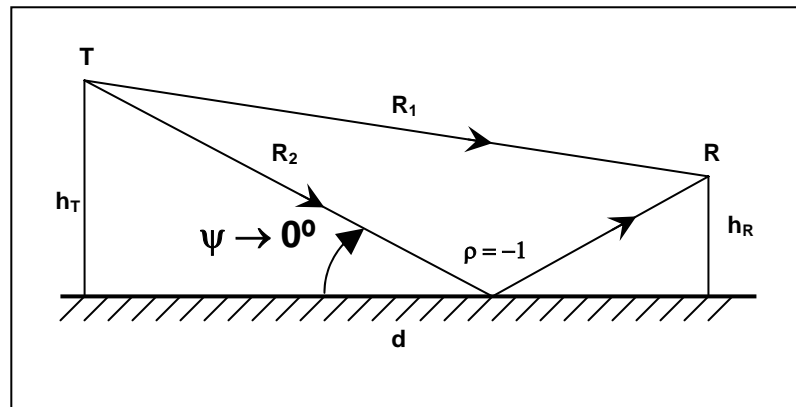


Figura 3.32 Diagrama de onda reflejada para modelo de Tierra plana

En el receptor, el campo E_R puede considerarse como la suma del campo incidente E_{inc} y el campo reflejado E_{ref} , tal como se muestra en la ecuación 3.9.

$$E_R = E_{inc} + E_{ref} \quad (3.9)$$

Utilizando las ecuaciones 3.10 y 3.11,

$$\Delta l = \frac{2h_R h_T}{D} \quad (3.10)$$

$$\theta = \frac{4\pi h_R h_T}{\lambda D} \quad (3.11)$$

y considerando las condiciones de Tierra plana, se obtiene la ecuación 3.12,

$$|E_R| = 2|E_{inc}| \sin\left(\frac{2\pi h_R h_T}{\lambda D}\right) \quad (3.12)$$

que es la ecuación de propagación para Tierra plana, la cual demuestra que la magnitud del campo eléctrico recibido es una función senoidal que depende de las alturas de las antenas, la frecuencia y la distancia del enlace.

Las ondas electromagnéticas se difractan cuando inciden sobre obstáculos. La difracción es la modulación o redistribución de energía dentro de un frente de onda cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. Es el fenómeno que permite que las ondas de luz o de radio se propaguen a la vuelta de las esquinas.

La difracción está asociada con el principio de Huygens que se deduce de las ecuaciones de Maxwell. Este principio indica que cada punto de un frente de onda determinado, puede considerarse como una fuente de puntos de ondas electromagnéticas desde donde se irradian hacia afuera otras ondas secundarias. Este principio se ilustra en la figura 3.33.

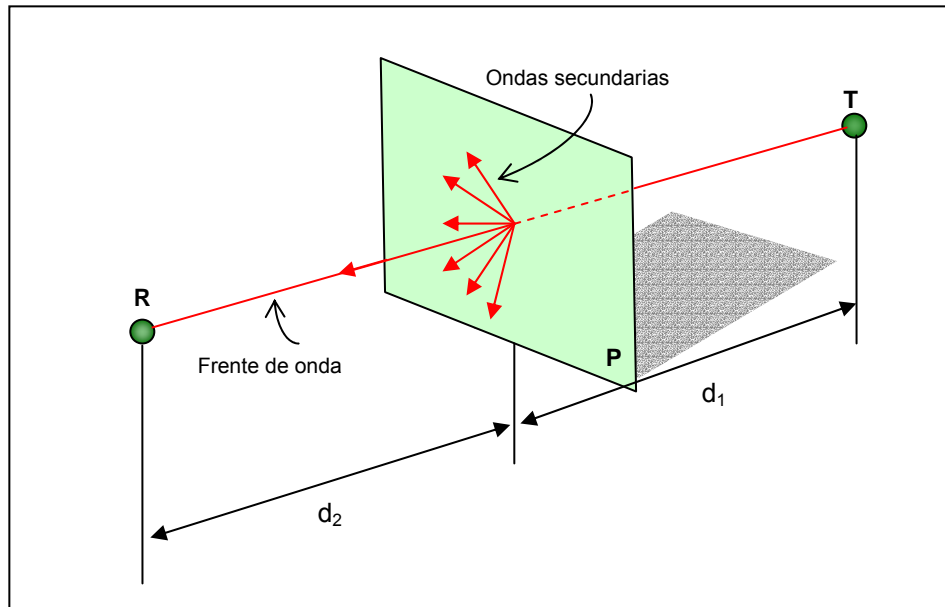


Figura 3.33 Principio de Huygens

En el análisis de difracción hay que tener en cuenta el volumen que ocupa la onda. Para esto, se definen los elipsoides de Fresnel, como aquellos puntos C en un plano P, ubicado entre T y R, que cumplen con la ecuación 3.13 (ver figura 3.34).

$$TC + CR = TR + n \frac{\lambda}{2}; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.13)$$

Las intersecciones de estos puntos C con el plano P (situado sobre el obstáculo) forman los denominados elipsoides o zonas de Fresnel. La figura 3.34 ilustra lo anterior. Los radios r de cada elipsoide de Fresnel vienen dados por la ecuación 3.14.

$$r_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (3.14)$$

cuando $d_1, d_2 \gg r_n$

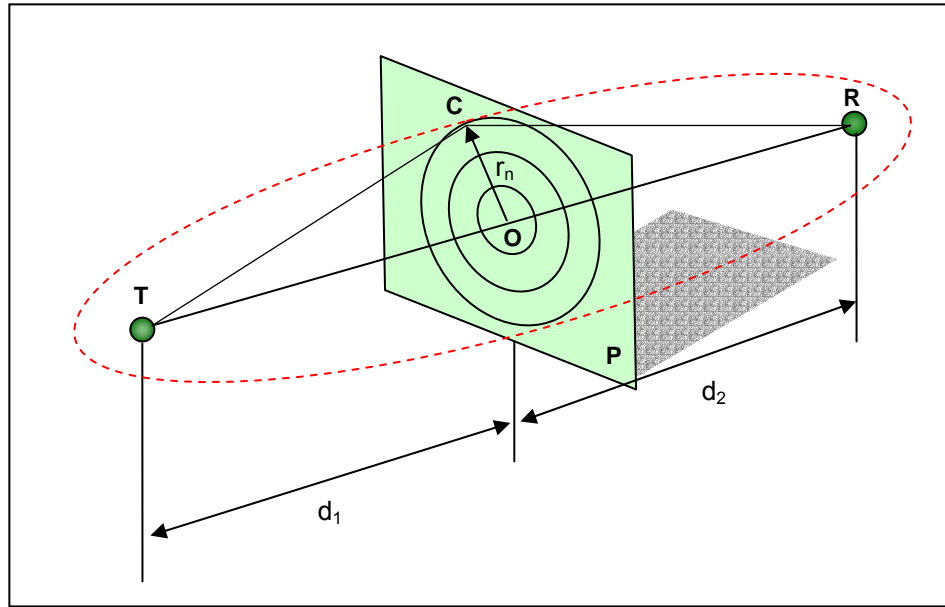


Figura 3.34 Zonas de Fresnel

Aplicando el principio de Huygens, el campo sobre la antena receptora puede obtenerse como la superposición de los campos provenientes de las fuentes secundarias situadas en el plano P, llegando cada contribución con una fase proporcional al camino TCR recorrido. El campo total recibido coincide aproximadamente con la contribución de las fuentes secundarias de la primera zona de Fresnel, es decir, con $n=1$.

Las pérdidas de difracción por los obstáculos montañosos del terreno se modelan con la solución analítica de la difracción producida por una cuña, tal como se muestra en la figura 3.35.

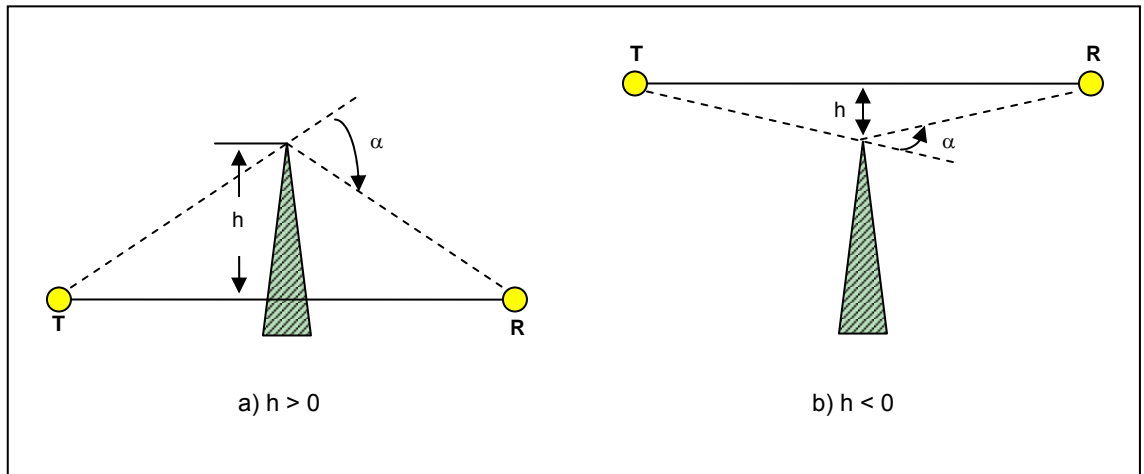


Figura 3.35 Difracción por obstáculos montañosos

Tomando como eje de referencia la línea de vista entre antenas, la altura h toma valores positivos para montañas de mayor altura que la ubicación de las antenas, y toma valores negativos para montañas de menor altura.

La figura 3.36 muestra la gráfica de atenuación por difracción en función de la altura del obstáculo.

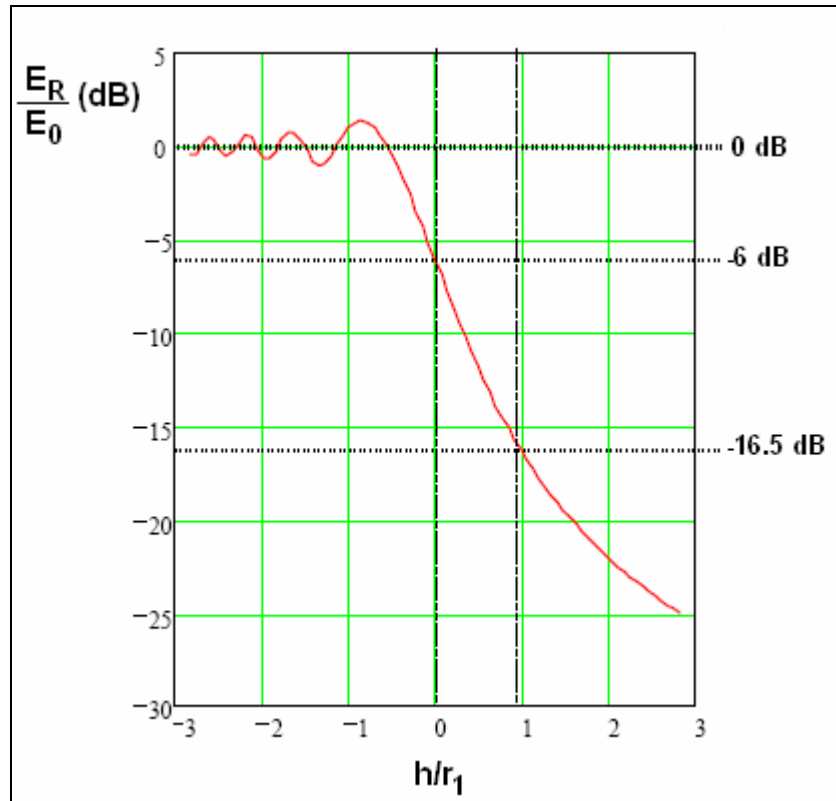


Figura 3.36 Atenuación por difracción

Como se observa en la figura anterior, si el obstáculo no entra dentro de la primera zona de Fresnel, el efecto de la difracción es despreciable.

En cuanto a los efectos atmosféricos sobre las microondas, para frecuencias menores de 3GHz, el efecto es despreciable. Para frecuencias mayores a 3GHz, aparece atenuación debida a lluvia, niebla y resonancias moleculares. Las curvas de la ITU mostradas en la figura 3.37, dan el valor de atenuación para trayectos horizontales próximos a la Tierra.

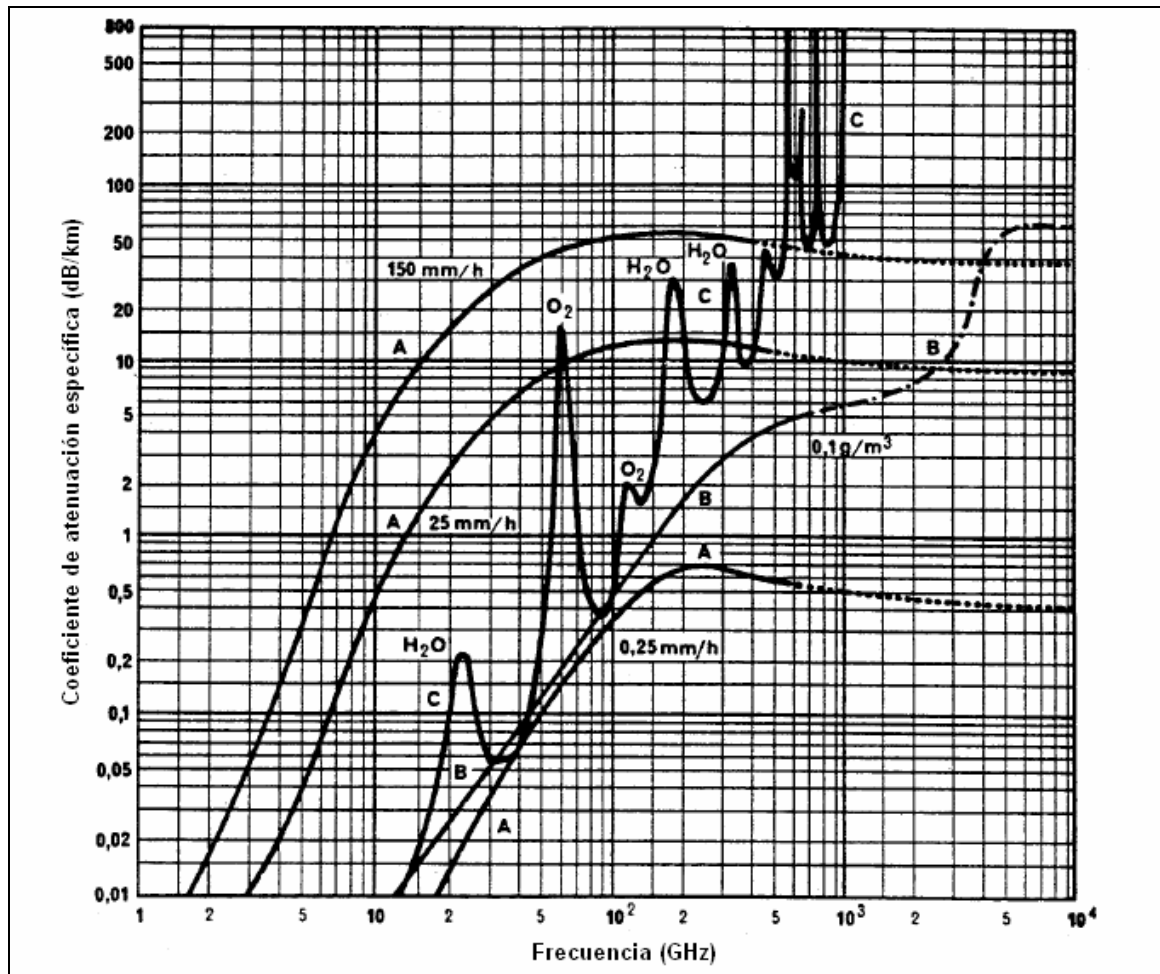


Figura 3.37 Curvas de atenuación atmosférica

La curva A, representa la atenuación específica de la lluvia, la curva B, la atenuación específica de la niebla, y la curva C, la atenuación por componentes gaseosos.

El índice de refracción de la troposfera es muy cercano a la unidad, aunque existe una pequeña diferencia que depende de las condiciones atmosféricas, como se muestra en la ecuación 3.15,

$$n \approx 1 + \frac{77.6}{T} \left(P + \frac{4810 P_{H_2O}}{T} \right) 10^{-6} \quad (3.15)$$

donde T: temperatura, P: presión y P_{H₂O}: presión de agua.

Además, el índice de refracción varía al variar la altura dentro de la troposfera. Así, el índice $n \approx 1.000289$ a la entrada de la troposfera y $n \approx 1.000250$ a una altura de 1km de la troposfera.

La variación del índice de refracción con la altura genera una curvatura de los rayos definida por la ley de Snell (ecuación 3.16) tal como se muestra en la figura 3.38.

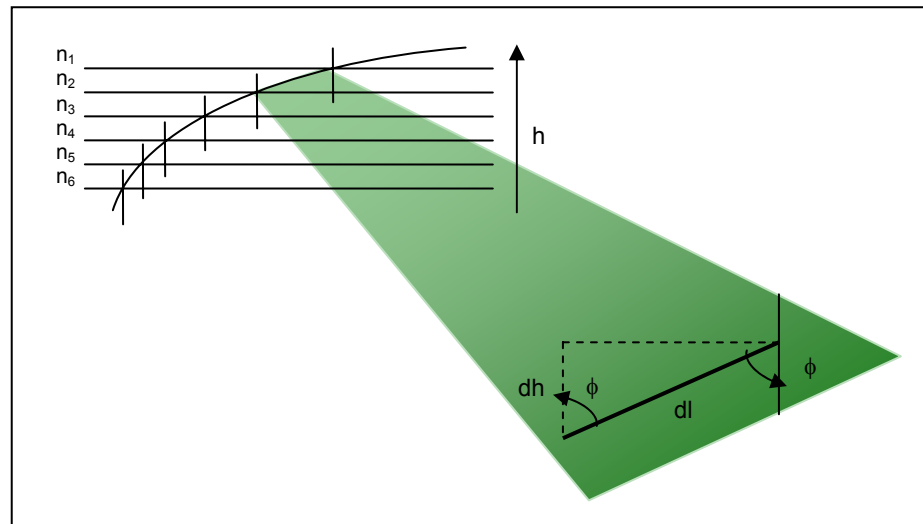


Figura 3.38 Curvatura del rayo

El radio de curvatura r del rayo se obtiene diferenciando la ecuación 3.16 y expresando el resultado en función del diferencial de longitud.

$$n_1 \sin(\phi_1) = n_2 \sin(\phi_2) = \dots = n_i \sin(\phi_i) = cte \quad (3.16)$$

La expresión para el radio se muestra en la ecuación 3.17.

$$r = \frac{dl}{d\phi} = -n \frac{dh}{dn} \frac{1}{\sin(\phi)} \quad (3.17)$$

Puesto que las antenas se encuentran normalmente a una misma altura y para una atmósfera estándar, el radio de la curvatura toma un valor de 25.640km.

3.2.3 Modulación de Amplitud en Cuadratura QAM

La Modulación de Amplitud en Cuadratura QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en amplitud como en fase de la señal transmitida, es decir, es la combinación de la modulación AM y la modulación PSK.

La QAM se basa en la transmisión de dos mensajes independientes, lo cual se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje, lo cual supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, mejorando su eficiencia.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran: en módems de velocidades mayores a 2400 bps; en sistemas de transmisión de televisión, microondas y satelital; y como base de ADSL.

3.2.3.1 Transmisión QAM

El esquema de un transmisor QAM se muestra en la figura 3.39. Los datos serie de entrada d_i se agrupan mediante un convertidor serie-paralelo, formando palabras de J bits.

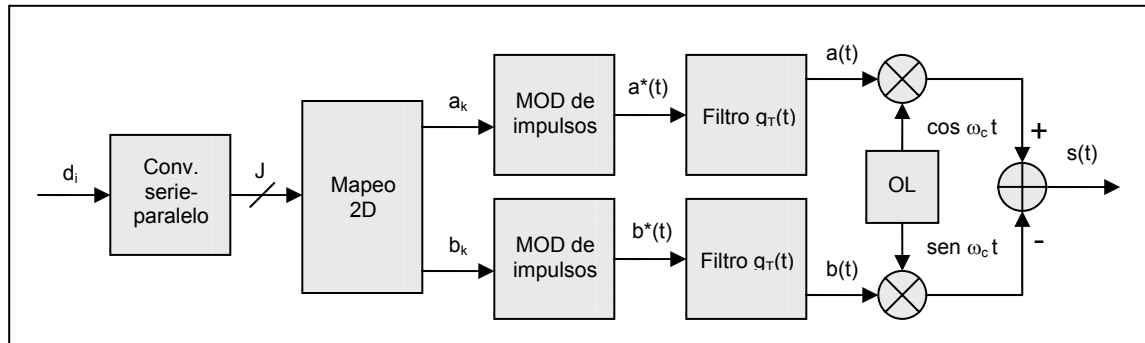


Figura 3.39 Diagrama de bloques de un transmisor QAM

Estas entran al módulo de mapeo de 2D que se encarga de seleccionar un símbolo entre los $M=2^J$ posibles símbolos, ubicados sobre un espacio de dos dimensiones. Los símbolos se tratan como números complejos $c_k=a_k + jb_k$, que se pueden representar en el plano complejo, formando la denominada constelación de

modulación QAM. En la figura 3.40 se muestran posibles constelaciones de modulación.

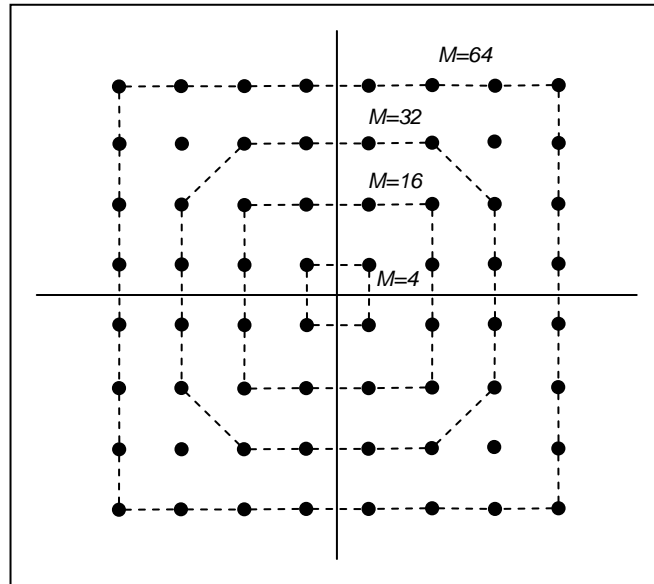


Figura 3.40 Posibles constelaciones QAM

Estos símbolos entran a moduladores de impulsos que convierten las señales a_k y b_k en las señales moduladas, dadas por las expresiones 3.18 y 3.19.

$$a^*(t) = \sum_k a_k \delta(t - kT) \quad (3.18)$$

$$b^*(t) = \sum_k b_k \delta(t - kT) \quad (3.19)$$

Estas dos señales se pasan posteriormente por los filtros de transmisión $g_T(t)$ que es de tipo paso bajo y actúan como filtros interpoladores, produciendo L muestras por símbolo, de modo que la frecuencia de trabajo del filtro se encuentra dada por la ecuación 3.20.

$$f_T = L \cdot f_S; \quad f_S: \text{velocidad de símbolo} \quad (3.20)$$

Las señales a las salidas de los filtros se muestran en las expresiones 3.21 y 3.22.

$$a(t) = \sum_k a_k g_T(t - kT) \quad (3.21)$$

$$b(t) = \sum_k b_k g_T(t - kT) \quad (3.22)$$

Finalmente, la señal QAM se obtiene modulando en DSB ambas señales, obteniéndose la señal mostrada en la expresión 3.23.

$$s(t) = a(t) \cos \omega_c t - b(t) \sin \omega_c t \quad (3.23)$$

De este modo, la señal $a(t)$ corresponde a la componente en fase de la señal QAM y $b(t)$ la componente en cuadratura.

En la modulación QAM, el ancho de banda mínimo coincide con la velocidad de símbolo o baudio, y está dado por la ecuación 3.24. Esta depende de la velocidad de bits a la entrada de datos d_i y de la cantidad M de símbolos.

$$B_T(\text{Hz}) = f_s(\text{bps}) = \frac{f_i(\text{bps})}{\log_2 M} \quad (3.23)$$

La eficiencia de ancho de banda o eficiencia espectral es la relación entre la velocidad de bits de transmisión y el mínimo ancho de banda requerido e indica el número de bits que pueden propagarse a través de un medio por cada hertz de ancho de banda. Para el cálculo de la eficiencia se utiliza la ecuación 3.24, de donde se desprende que la eficiencia espectral es igual al número de bits J a la salida del convertidor serie-paralelo.

$$\eta = \frac{f_i}{B_T} = J = \log_2 M \quad (3.24)$$

Lógicamente, al aumentar el número de estados o símbolos M se aumenta la eficiencia, sin embargo no es posible aumentar infinitamente el tamaño de la constelación debido a la presencia de ruido en el canal, que podría hacer imposible distinguir un punto dentro de la constelación.

3.2.3.2 Ejemplo de QAM: QAM-16

La modulación QAM utiliza 16 símbolos, por lo tanto, palabras de cuatro bits. Su constelación de modulación es la mostrada en la figura 3.41.

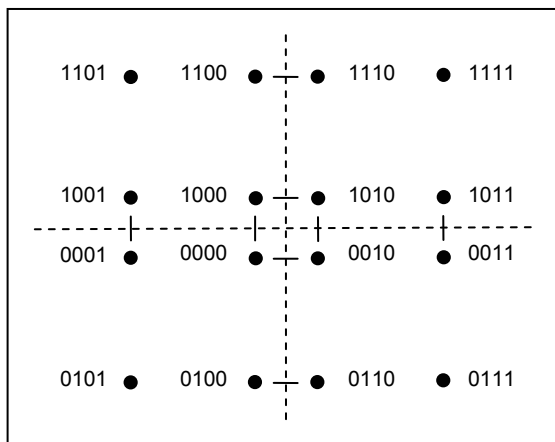


Figura 3.41 Constelación de modulación QAM-16

El diagrama de bloques del transmisor de QAM-16 se muestra en la figura 3.42. Los datos de entrada serie se dividen en cuatro canales, uno por cada bit. La velocidad de cada símbolo es por lo tanto, la cuarta parte de la velocidad de bits de entrada.

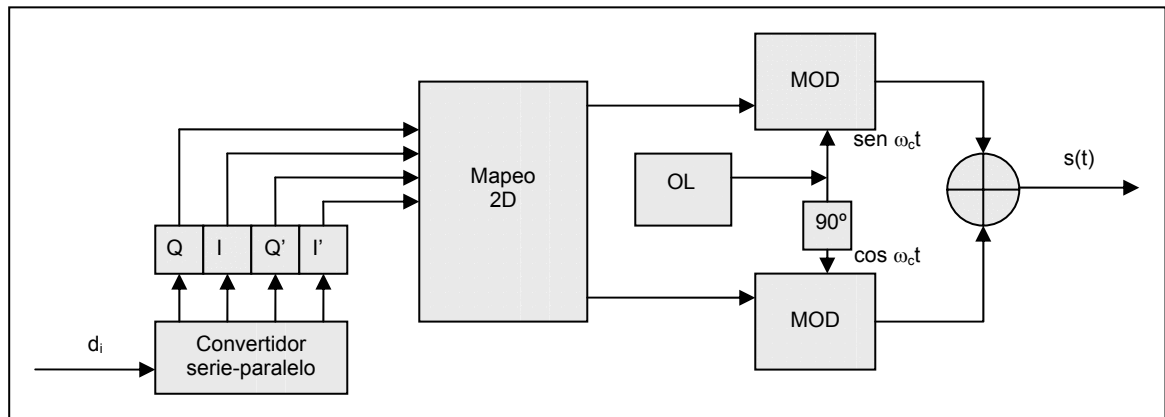


Figura 3.42 Diagrama de bloques de un transmisor QAM-16

Los bits Q y I determinan la polaridad a la salida del módulo de mapeo 2D, es decir, determinan la localización del punto en cada cuadrante (1 lógico: positivo; 0 lógico: negativo), mientras que los bits Q' y I' determinan la magnitud (1 lógico: 0.821V; 0 lógico: 0.22V). La tabla 3.15 muestra la salida del módulo de mapeo 2D para cada caso posible.

Tabla 3.15 Tabla de verdad para el módulo de mapeo

Salida a(t)			Salida b(t)		
I	I'	a	Q	Q'	b
0	0	-0.22V	0	0	-0.22V
0	1	-0.821V	0	1	-0.821V
1	0	0.22V	1	0	0.22V
1	1	0.821V	1	1	0.821V

Las señales a la salida del módulo de mapeo son moduladas utilizando una señal portadora en fase y en cuadratura. Para cada modulador son posibles cuatro salidas dadas por los cuatro posibles estados que se observan en la tabla 3.15. Mediante un sumador lineal, se combinan las salidas de los moduladores y se obtienen las 16 posibles combinaciones que se observan en la figura 3.41 y que se listan en la tabla 3.16.

Tabla 3.16 Tabla de verdad para el modulador QAM-16

Entrada				Salida QAM-16	
Q	Q'	I	I'	Magnitud (V)	Fase (°)
0	0	0	0	0.311	-135
0	0	0	1	0.850	-165
0	0	1	0	0.311	-45
0	0	1	1	0.850	-15
0	1	0	0	0.850	-105
0	1	0	1	1.161	-135
0	1	1	0	0.850	-75
0	1	1	1	1.161	-45
1	0	0	0	0.311	135
1	0	0	1	0.850	175
1	0	1	0	0.311	45
1	0	1	1	0.850	15
1	1	0	0	0.850	105
1	1	0	1	1.161	135
1	1	1	0	0.850	75
1	1	1	1	1.161	45

3.2.3.3 Recepción QAM

La recepción QAM es mucho más compleja que la transmisión. La señal recibida es pasada por un filtro que se encarga de eliminar el ruido fuera de la banda de transmisión. Se utiliza un circuito AGC (Control Automático de Ganancia) que incrementa la amplitud de la señal con el fin de compensar las atenuaciones debido a la propagación por el medio.

La señal es luego aplicada a un convertidor A/D que realiza muestreos a una velocidad de al menos 2 veces la máxima frecuencia contenida en la señal QAM. Se utiliza además un circuito DCD (Detección de Portadora de Datos) que se encarga de determinar si la señal recibida es o no una señal válida.

Posteriormente, la señal analítica pasa por un ecualizador adaptivo pasa banda que se encarga de generar muestras al intervalo de símbolo. Esta señal es luego demodulada mediante la mezcla con la portadora y posteriormente el filtrado pasa bajas para obtener la señal en banda base.

Si la ecualización fuese perfecta, estas muestras constituirían los puntos de la constelación. En la práctica, estos valores se desvían de los ideales debido principalmente al ruido y la distorsión.

Se utiliza entonces un cuantificador o SLICER que realiza la cuantificación de las señales, eligiendo el punto de la constelación más cercano al punto recibido con los valores estimados. Cuando el ecualizador se encuentre funcionando correctamente y la referencia de la portadora sea la correcta, las estimaciones se acercarán mucho a los valores transmitidos; es por esto que son tomados como valores de referencia para sincronizar la portadora generada con la de la señal recibida.

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

En este capítulo se detallan los pasos seguidos para el desarrollo del proyecto de acuerdo con el método de diseño en ingeniería.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para la identificación del problema se contó con una entrevista inicial con el Ing. Julio Stradi en la cual se expusieron los aspectos generales del problema. Posteriormente se dio una reunión más extensa en la que se explicó con más detalle la problemática y las posibles soluciones planteadas por la empresa.

4.2 Obtención y análisis de la información

Se contó desde un principio con los trabajos realizados anteriormente, así como con acceso a Internet.

Para la comprensión del equipo Pasolink y las tecnologías asociadas, se impartieron dos cursos: uno acerca de la tecnología SDH impartido por el Ing. Douglas Quesada y otro acerca del funcionamiento del equipo a cargo del Técnico José Cordero. En estos cursos se entregó bibliografía de mucha relevancia para el desarrollo del proyecto: el manual de instrucciones del sistema Pasolink, el manual de instalación y utilización del software PNMT (programa gestor) y el manual de fundamentos de SDH, proporcionados por el fabricante.

En ambos cursos se pudo observar cómo la principal fuente de averías del equipo Pasolink corresponde a las descargas producidas por tormentas eléctricas, para lo cual se programó una reunión entre el personal de Transmisión y representantes de la empresa fabricante NEC. De esta reunión se obtuvo un importante documento en el cual se detalla la conexión a tierra correcta que se debe dar en las torres de transmisión a fin de evitar estos problemas.

Se realizó además una investigación bibliográfica extensa como complemento de los cursos anteriores y para tener una mejor comprensión de las tecnologías y principios electrónicos involucrados.

Por otro lado, se realizó una investigación en Internet acerca del manejo del lenguaje HTML y de la creación de páginas web utilizando los programas de la compañía Macromedia.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución

En el proceso de evaluación de soluciones se trabajó en conjunto con el Ing. Julio Stradi y el Ing. Rodolfo Sequeira. Se realizó una primera reunión en la cual se sugirió realizar la guía en el mismo formato de los trabajos anteriores.

Se decidió utilizar por lo tanto un formato similar a los trabajos anteriores en cuanto a la parte gráfica, aunque se varió completamente el formato en términos de contenido y navegación. Se optó por utilizar un aspecto gráfico agradable a la vista y adaptable a cualquier resolución, de fácil navegación y con contenido altamente comprensible.

Posteriormente, se realizó una segunda reunión en la cual se planteó la posibilidad de crear dentro de la guía, una modalidad gráfica que le permitiera al usuario, navegar mediante un diagrama de bloques, por cada una de las partes del equipo a fin de ahorrar tiempo valioso.

Para esto, se diseñó un diagrama de bloques de cada uno de los procesos del equipo, que a la larga constituyó la estructura principal de la guía.

Por último, se diseñó un procedimiento para la normalización de atención de fallas en el equipo, para lo cual se contó con la asesoría del Técnico José Cordero.

4.4 Implementación de la solución

Inicialmente se trabajó únicamente con el esqueleto o armazón de la guía, lo que constituyó un procedimiento largo, debido principalmente a la falta de experiencia con el lenguaje de programación. Sin embargo, conforme fue avanzando el proyecto se adquirió mayor experiencia con el lenguaje y las herramientas y se logró depurar el diseño.

Con la incorporación de la modalidad gráfica se desarrolló una aplicación Flash que pudiera intercambiar información con la guía, lo cual involucró una investigación extra.

En este punto se llevó a cabo la presentación del primer avance en la cual se expuso el trabajo realizado hasta el momento al personal de Transmisión, al profesor asesor Ing. Julio Stradi, al asesor en la empresa Ing. Rodolfo Sequeira y a otros practicantes.

Posteriormente se procedió a dar contenido a la guía para lo cual se realizó una recopilación de imágenes del equipo, se editaron para que se acoplaran a la guía y luego se incorporaron a la misma.

Luego se trabajó con algunas de las páginas principales de la guía como las páginas de información del equipo, de seguridad y de requerimientos de la guía, así como la sección de ayuda y los vínculos hacia sitios web importantes. En este punto se llevó a cabo el segundo avance en el cual se expuso el trabajo realizado hasta el momento.

En las siguientes semanas se elaboraron las páginas correspondientes a la sección de averías y que incluye las alarmas, los procesos de reparación, el mantenimiento preventivo y los vínculos hacia otras aplicaciones relacionadas. En la sección de averías se incluyó toda la información correspondiente a la conexión correcta de tierra del equipo, que se generó a partir de la reunión sostenida entre los representantes de NEC y el personal del departamento de Transmisión.

Finalmente, se revisó y depuró la guía y se grabó en discos compactos que fueron distribuidos al personal técnico y de ingeniería del departamento para su puesta a prueba.

4.5 Reevaluación y rediseño

A pesar de que la guía constituye una importante herramienta para la localización y reparación de fallas, es necesario tomar en cuenta los aspectos

relacionados con las descargas eléctricas, pues estas constituyen la principal causa de averías y un factor de pérdidas para la Institución.

Así mismo, se debe conservar una actitud de mantenimiento preventivo al equipo, con el fin de minimizar las averías y detectar problemas a tiempo.

Se sugiere continuar con este tipo de guías utilizando un formato similar al utilizado en este proyecto debido a las posibilidades de acceso y contenido fácil de entender.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En este capítulo se realiza la descripción de la solución la cual constituye la explicación del diseño.

5.1 Descripción del hardware virtual

El diseño de hardware consiste en la creación de un diagrama de bloques principal que describa el funcionamiento general del equipo, y varios diagramas de bloques correspondientes a cada sección propuesta. Se trata entonces del diseño de un hardware virtual que realiza las mismas funciones que el equipo Pasolink y que sirve de estructura medular de la guía. Cada una de las secciones que conforman los diagramas de bloques secundarios corresponden a las secciones en las que se divide la guía.

La figura 5.1 muestra el diagrama de bloques principal de este hardware virtual.

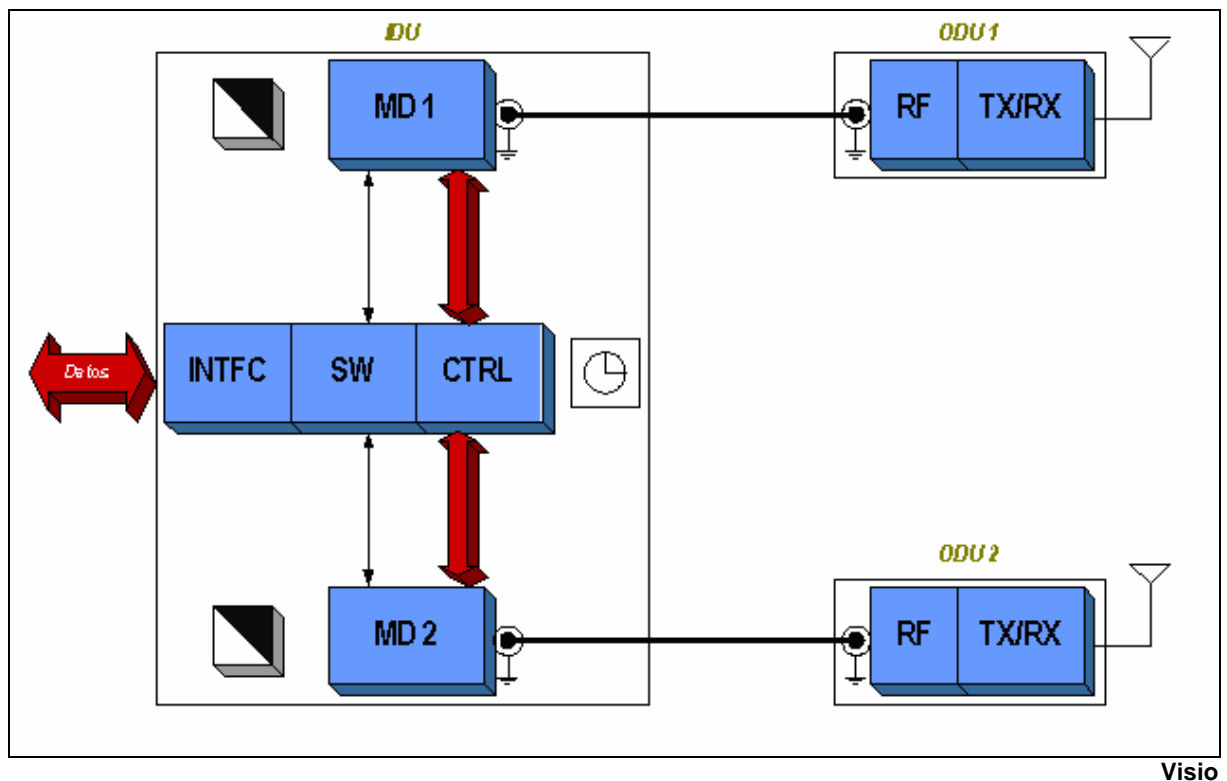


Figura 5.1 Diagrama de bloques principal

El flujo de datos entra a la Unidad Interna (IDU) a través del bloque INTFC (Interface). El bloque SW (Switching) se encarga de conmutar entre unidades tanto el flujo de datos como la alimentación. Los bloques negros con blanco representan precisamente la alimentación del equipo que, como se puede ver, se da únicamente en la IDU y existe una fuente por cada unidad MD. Los bloques MD 1 y MD 2 representan las unidades modulador-demodulador de la IDU.

El bloque CTRL o de Control envía las señales de control junto con el flujo de datos a cada unidad MD para ser transmitido. El bloque que contiene un reloj representa la Sincronización del equipo que se da también en la IDU. Los cables coaxiales se encargan de enviar las señales síncronas de cada unidad MD hacia las Unidades Externas (ODU).

Dentro de cada unidad ODU, el bloque RF (Radio Frecuencia) se encarga de la modulación en microondas y envía la señal modulada al bloque TX/RX (Transmisor-Receptor) que se encarga de acondicionar la señal para ser transmitida por la Antena.

A continuación se detallan cada una de las secciones que componen este diseño.

5.1.1 Sección Alimentación

La sección Alimentación se encarga de proporcionar energía eléctrica a cada uno de los circuitos del equipo. La figura 5.2 muestra el diagrama de bloques de esta sección.

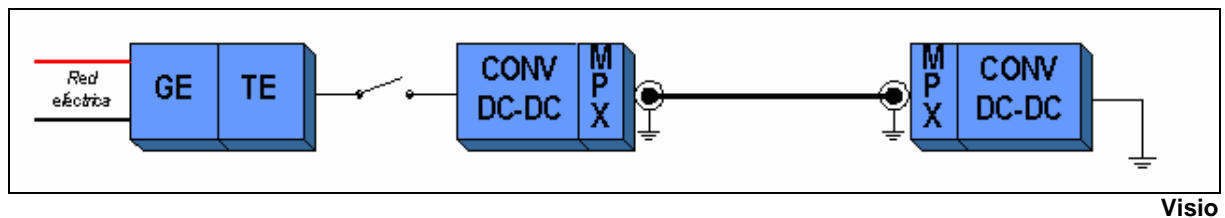


Figura 5.2 Diagrama de bloques de la sección Alimentación

La energía necesaria para alimentar todo el equipo proviene de la red eléctrica. El bloque GE (Grupo Electrónico) consiste en el arreglo eléctrico que

permite obtener los voltajes regulados de CD requeridos para la alimentación de los equipos a partir del voltaje CA de la red eléctrica. El papel del grupo electrógeno es de mucha importancia, pues el funcionamiento del equipo está condicionado a una buena fuente de alimentación, por lo que el voltaje de salida del grupo electrógeno debe ser confiable independientemente del estado del voltaje AC de entrada.

El voltaje CD entra al bloque TE (Terminal Eléctrico) que provee la conexión de energía hacia el equipo. Mediante los terminales eléctricos es posible relacionar un equipo con su fuente de alimentación de modo que se puede aislar al equipo del resto a fin de evitar pérdidas de tráfico indeseadas.

El voltaje de alimentación entra al equipo a través del interruptor principal, el cual habilita y deshabilita el paso de corriente desde la entrada de voltaje SELV hacia el CONV CD-CD para la alimentación de todo el sistema (incluyendo la ODU). El consumo de energía en ambas unidades es de 135 W o menos.

Los bloques CONV DC-DC (Convertidor CD-CD) se encargan de transformar el nivel de voltaje CD de entrada en diferentes valores de voltaje CD de salida. En el caso del convertidor CD-CD de la IDU, este produce voltajes de +5.3, +3.6 y -43 V a partir del voltaje de entrada de -48 V. En el caso del convertidor CD-CD de la ODU, produce voltajes de +7, +9, +10 y -15 V a partir del voltaje de la IDU.

La alimentación del equipo se da únicamente en la IDU, por lo tanto, para la alimentación de la ODU es necesario enviar el voltaje de alimentación junto con la señal de información. Para esto se utilizan los bloques MPX, que se encargan de realizar la multiplexación de la señal de información con el voltaje de alimentación y las señales de control, y su correspondiente demultiplexación. Para el envío de esta señal se utiliza el cable coaxial, que sirve de interconexión entre la IDU y la ODU.

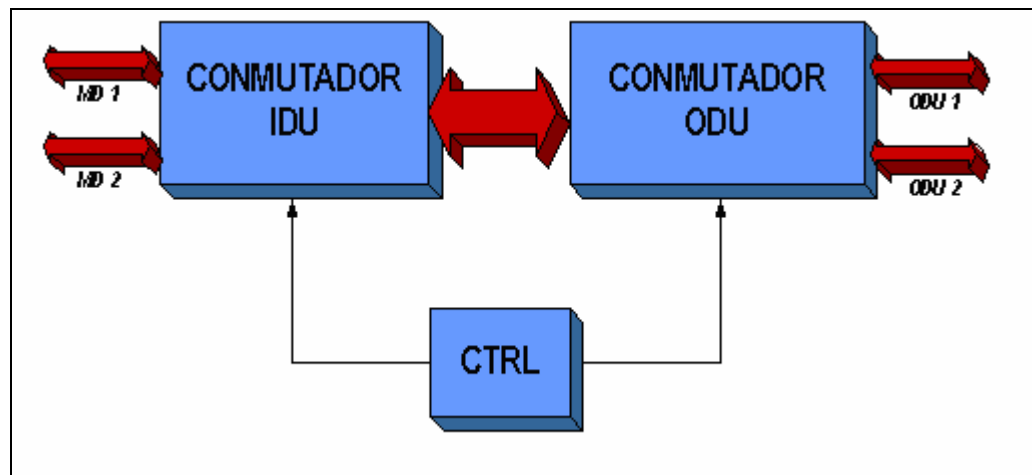
Por último, la conexión a tierra permite evitar averías y daños en el equipo producidos por descargas eléctricas, desviando el voltaje producido por un rayo hacia la tierra.

5.1.2 Sección Protección

La sección Protección se encarga de conmutar las unidades MD de la IDU y las unidades ODU para evitar pérdidas en el tráfico.

La conmutación de TX se lleva a cabo inhabilitando la potencia de salida de transmisión de la ODU que no se desea que transmita. La conmutación de RX se lleva a cabo por el HL SW de la MAIN INTFC.

En la figura 5.3 se muestra el diagrama de bloques de la sección Protección.



Visio

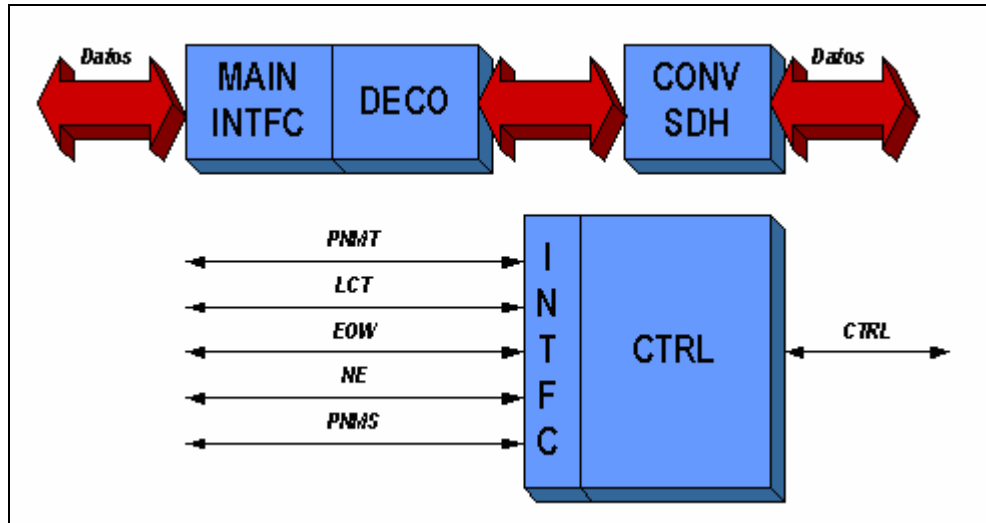
Figura 5.3 Diagrama de bloques de la sección Protección

El tráfico de entrada entra duplicado al bloque CONMUTADOR IDU que selecciona uno de los tráficos para ser transmitido. El bloque CONMUTADOR ODU por su parte, toma la señal y selecciona uno de los posibles caminos para ser transmitida.

El bloque CTRL o de Control se encarga de determinar cual de los dos canales va a ser utilizado para transmitir y para recibir. La conmutación puede darse a través de las señales de control provenientes del programa gestor, o debido a alguna falla en uno de los módulos. En este caso, el bloque de control se encarga de conmutar el canal para evitar pérdida de tráfico.

5.1.3 Sección Interfaces

Las interfaces permiten la entrada y salida de datos, así como de señales de control y servicio. Todas las interfaces se encuentran en la unidad interna IDU. La figura 5.4 muestra el diagrama de bloques de esta sección.



Visio

Figura 5.4 Diagrama de bloques de la sección Interfaces

El bloque MAIN INTFC (Interfaz Principal) permite la entrada y salida de tráfico hacia y desde el equipo Pasolink. Cuando se trabaja con equipo STM-0, el tráfico de entrada/salida son 21 flujos de 2Mbps (E1's). Cuando se trabaja con equipo STM-1, el tráfico de entrada es una señal óptica SDH de 155.52 Mbps (STM-1). En este último caso, la interfaz principal se encarga no solo de permitir el tráfico, sino que actúa como transductor, convirtiendo la señal STM-1 óptica en una señal eléctrica, para poder ser enviada a la ODU.

Posteriormente el bloque DECO (Decodificador) se encarga de realizar la decodificación de la señal de datos HDB-3 a una señal de datos Sin Retorno a Cero (NRZ), cuando se trabaja con equipos STM-0; recibe las señales de los 21 canales de 2Mbps, las decodifica y las envía al convertidor de SDH que se encarga de alinearlas, mapearlas y multiplexarlas para formar la trama STM-0. En el caso de la

recepción, el decodificador se encarga de transformar las señales NRZ en señales HDB-3 utilizando el proceso inverso.

El bloque CONV SDH (Convertidor de SDH) funciona únicamente en equipos STM-0 y se encarga de formar la trama STM-0 a partir de los 21 flujos de datos de 2Mbps para ser transmitida, y de desensamblar la trama STM-0 proveniente de la estación opuesta en los 21 flujos de 2Mbps. El proceso de ensamblaje de la trama STM-0 se muestra en la figura 5.5.

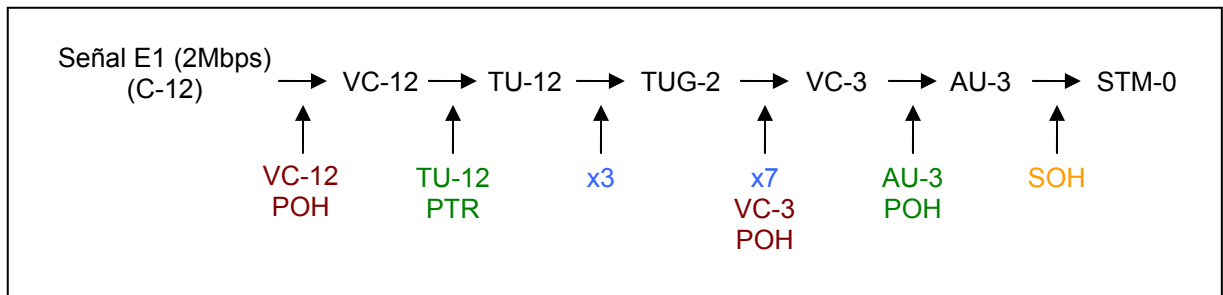


Figura 5.5 Proceso de ensamblaje de la trama STM-0

En equipos STM-1, este bloque no existe pues no se da ensamblaje ni desensamblaje de trama SDH.

Por otra parte, el bloque INTFC o de Interfaces de usuario permite realizar acciones al usuario tales como: gestión local, gestión remota, canal de servicio y housekeeping, entre otras. Entre los gestores están el LCT, el PNMT y el PNMS. El canal de servicio digital (DSC) consiste en dos canales que permiten la inserción y extracción de datos de velocidad de 64kbps y dos canales de voz. La utilidad de housekeeping provee al usuario de seis entradas y cuatro salidas configurables.

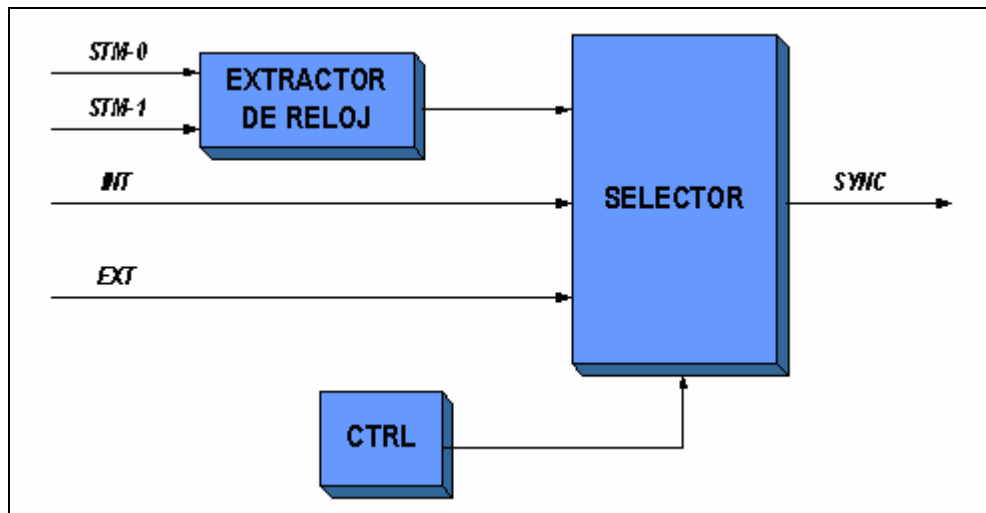
El bloque de CTRL o Control se encarga de proporcionar las señales de control que serán enviadas a la ODU ya sea para ser transmitidas a la estación opuesta, o para ser utilizadas en la misma ODU. Las señales de control provienen de las interfaces de usuario, específicamente de las relacionadas con los programas gestores (LCT, PNMT y PNMS).

5.1.4 Sección Sincronización

La sección Sincronización se encarga de proveer al equipo de una fuente de sincronía a fin de obtener una señal SDH de buena calidad tanto en la transmisión como en la recepción. Existen varias fuentes de temporización que pueden ser ajustadas como el reloj del equipo, estas son:

- Reloj EXT: Señal de temporización entrante desde uno de los dos puertos de entrada externa.
- Reloj MUX: Reloj extraído del flujo de datos STM-1 entrante (STM-1 solamente).
- Reloj DMR: Reloj extraído de la señal modulada de recepción (STM-0 o STM-1).
- Reloj INT: Reloj producido por el oscilador interno en la IDU (existen dos modos: freerun y holdover).

La figura 5.6 muestra el diagrama de bloques de esta sección.



Visio

Figura 5.6 Diagrama de bloques de la sección Sincronización

El bloque Extractor de Reloj extrae de la señal SDH, la fuente de temporización para la sincronización del equipo. A la fuente de temporización extraída se le llama reloj de línea.

El bloque Selector de reloj se encarga de seleccionar entre las posibles fuentes de temporización, la que se utilizará para sincronizar el equipo. La selección de una u otra fuente es tarea del bloque de Control (CTRL). Este se encarga de proveer las señales de control necesarias para la selección de la fuente de temporización. Estas señales de control pueden provenir de los programas gestores (selección manual) o del deterioro de la calidad de una de las fuentes de sincronización (selección automática).

5.1.5 Sección Mod-Demod

La sección Mod-Demod se encarga del proceso de modulación-demodulación de la señal. Este proceso implica dos partes principales: la modulación y demodulación a una frecuencia intermedia (IF), y la modulación y demodulación a una radio-frecuencia (RF). La modulación-demodulación (mod-demod) a una IF, se lleva a cabo en la IDU mientras que en la ODU se da el proceso de mod-demod a una frecuencia RF.

En la figura 5.7 se muestra el diagrama de bloques de la sección Mod-Demod.

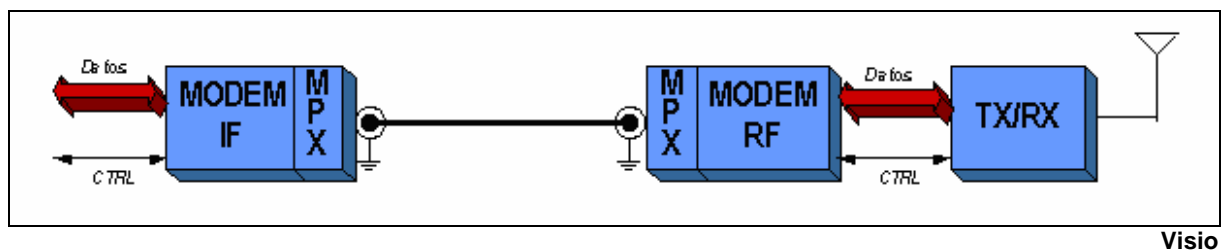


Figura 5.7 Diagrama de bloques de la sección Mod-Demod

Las señales de datos y control entran al bloque MODEM IF (Modulador-Demodulador de IF) que se encarga de modular la señal proveniente del convertidor SDH a una frecuencia intermedia (IF) para ser enviada a la ODU, y de demodular la señal de IF recibida de la ODU para ser enviada al convertidor de SDH. Las frecuencias de IF y los niveles nominales de potencia varían dependiendo de si el tráfico va hacia la ODU (transmisión) o hacia la IDU (recepción), tal como se muestra en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Frecuencias y niveles de potencia de la señal de IF

Dirección	Frecuencia IF	Potencia
Transmisión	340 MHz	-29 dBm
Recepción	140 MHz	-15 dBm

El bloque MPX realiza la multiplexación de la señal de IF con el voltaje de alimentación y las señales de control, y su correspondiente demultiplexación. Este proceso de multiplexación-demultiplexación se realiza para poder efectuar el transporte de todas estas señales a través del cable de IF.

El bloque MODEM RF (Modulador-Demodulador de RF), se encarga de modular la señal proveniente de la IDU a una frecuencia RF para ser transmitida, y de demodular la señal de RF recibida de la estación opuesta a una frecuencia intermedia (IF) para ser enviada a la IDU a través del cable de IF. La frecuencia de RF está asignada dentro del rango de 6 a 8 GHz.

La modulación y demodulación se lleva a cabo mediante la mezcla de la señal de entrada con la señal proveniente de un oscilador local o sintetizador localizado en la ODU.

El bloque TX-RX o de transmisión-recepción se encarga de preparar y enviar la señal de RF, proveniente del modulador, a la antena para ser transmitida (en el caso de la transmisión), y de recibir y acondicionar la señal de RF, proveniente de la antena, para ser demodulada (en el caso de la recepción).

Por último, el bloque de Antena consiste en una o dos antenas, dependiendo de si se cuenta con diversidad de espacio (S/D) o no. La antena se encarga de transformar los impulsos eléctricos producidos por el transmisor en energía electromagnética que es irradiada hacia la estación opuesta. La antena debe orientarse para obtener un máximo aprovechamiento de la potencia de transmisión y un nivel de recepción adecuado.

Si se cuenta con S/D, existen dos antenas conectadas cada una de ellas a las ODU's No 1 y No 2 respectivamente, mediante dos cables coaxiales con conectores SMA (cables de RF) como los que se muestran en la figura 5.8.

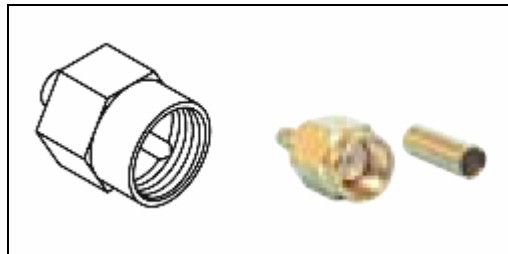


Figura 5.8 Conectores SMA para cable coaxial de RF

Si no se cuenta con S/D, existe una única antena conectada a un híbrido (HYB), que a su vez se conecta a las ODU's No 1 y No 2 a través de los cables de RF.

5.2 Descripción del software

El software diseñado consiste en el proceso de normalización de la atención de averías. Este proceso de normalización puede verse como una serie de pasos que debe seguir el usuario para llegar a descubrir la causa de la avería y como repararla.

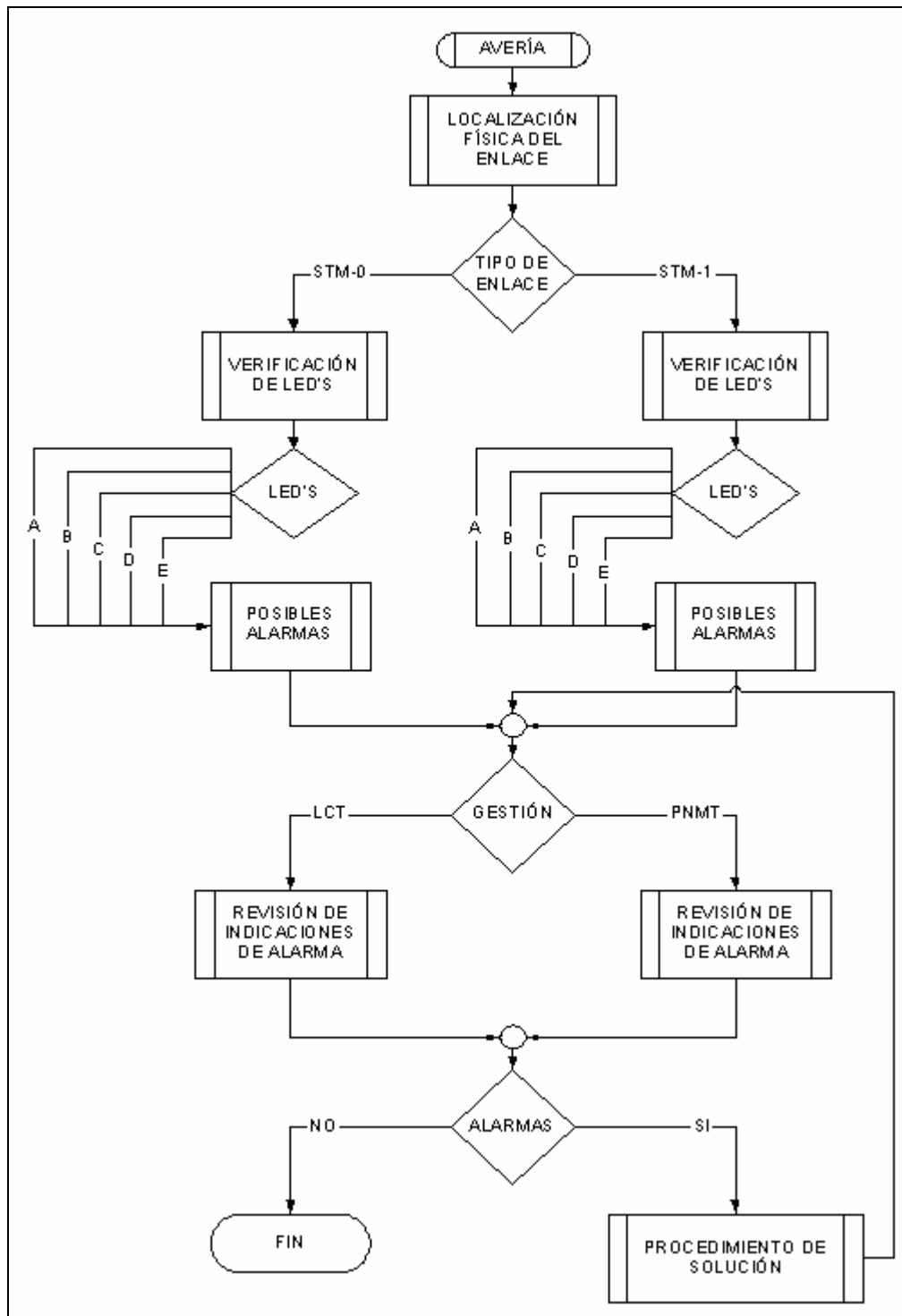
La figura 5.8 muestra el diagrama de flujo de este proceso. Al darse una avería en el equipo, la guía procede a localizar físicamente el equipo dentro de la lista de enlaces existentes, con el fin de determinar el tipo de equipo con el que se trabaja.

Una vez determinado el tipo de equipo (ya sea STM-0 o STM-1), se le indica al usuario que verifique el estado de los LED's de alarma en la parte frontal de la IDU. Estos son los LED's correspondientes a la IDU (No 1 y No 2) a la ODU (No 1 y No 2) y a la Interfaz Principal (MAIN INTFC) y se pueden dar cinco posibles escenarios nombrados en la tabla 5.2 con las letras de la A a la E.

Una vez seleccionado el escenario que se muestra en el panel de la IDU, se muestra una lista de las posibles alarmas que se podrían estar dando de acuerdo al escenario seleccionado. Para determinar exactamente qué alarma se está dando y cómo solucionar el problema se utiliza el programa gestor.

Los programas gestores terminales son el LCT y el PNMT. Ambos permiten realizar múltiples acciones al equipo, entre ellas, la localización de señales de alarma. Dependiendo del programa gestor con el que se cuente, se indican los pasos a seguir para realizar la revisión de las señales de alarma.

Cuando se encuentra una señal de alarma activada, se procede a realizar el procedimiento de solución de avería que es diferente para cada una de las alarmas. Una vez que la avería fue solucionada se puede volver al gestor para revisar más alarmas.



Visio

Figura 5.9 Proceso de normalización de atención de averías

Tabla 5.2 Posibles escenarios de los LED's de alarma

Escenario	Estado de los LED's		
	MAIN INTFC	IDU	ODU
A	Encendido	Ambos Encendidos	Ambos Apagados
B	Apagado	Ambos Encendidos	Ambos Apagados
C	Apagado	Uno Encendido	Ambos Apagados
D	Apagado	Ambos Apagados	Uno Encendido
E	Apagado	Ambos Apagados	Ambos Apagados

Capítulo 6: Análisis de resultados

Este capítulo muestra los principales resultados obtenidos así como los alcances y limitaciones del proyecto.

6.1 Resultados

El principal resultado del proyecto consiste en una guía interactiva para la detección y solución de averías en el equipo de microondas NEC Pasolink.

6.1.1 Partes principales de la guía

En la figura 6.1 se observa una muestra de la guía y cada una de las partes que la componen.

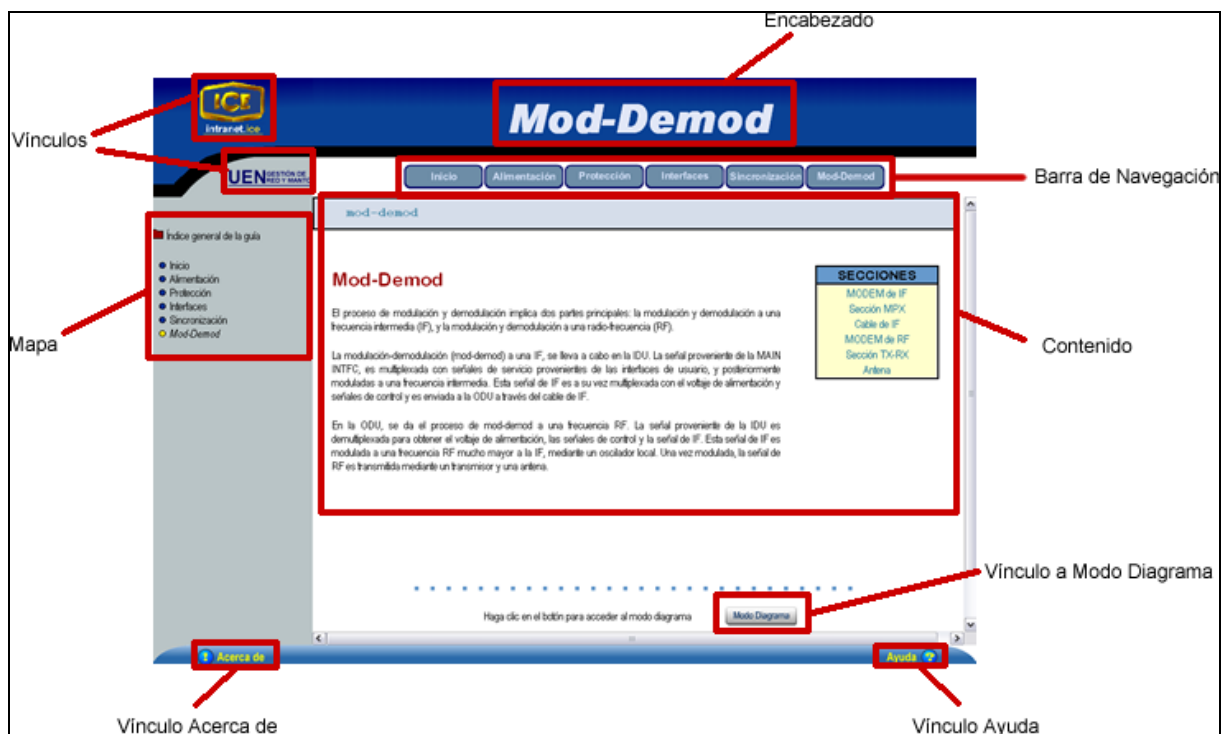


Figura 6.1 Muestra de la guía y partes principales

El Encabezado es la parte superior de la página. Contiene información acerca de qué parte de la guía se está desplegando en el Contenido. En la parte izquierda del Encabezado, se encuentran Vínculos hacia la red interna del ICE y hacia la página de la UEN de Gestión de Red y Mantenimiento.

Bajo el Encabezado se encuentra la Barra de Navegación, en la cual se muestran los botones que contienen los tópicos principales que componen la guía, estos son:

- Inicio
- Alimentación
- Protección
- Interfaces
- Sincronización
- Mod-Demod

Al igual que la Barra de Navegación, el Mapa permite la navegación dentro de la guía. El Mapa se encuentra en la parte izquierda de la página, y contiene la ubicación actual de la página dentro de la guía. Cuando el círculo junto al texto se vuelve amarillo y el texto se encuentra en cursiva, éste representa la página en la que se está actualmente. A diferencia de la Barra de Navegación, el Mapa permite navegar a través de la guía sin necesidad de cargar las páginas, a manera de explorador.

El Contenido es la sección central de la página y es la que contiene la información relevante de la página. Consta de un pequeño encabezado que permite conocer la ubicación exacta de la página en que se encuentra, y la parte central, que contiene la información relevante de la página (texto, imágenes, etc). Al pie del contenido se encuentra un botón que sirve de Vínculo al Modo Diagrama.

Debajo de la sección de Contenido se encuentran los Vínculos hacia el Acerca de y la Ayuda.

6.1.2 Página de Inicio

La página de Inicio de la guía es la que se muestra al acceder por primera vez a la guía. La sección de contenido de la página de inicio se muestra en la figura 6.2

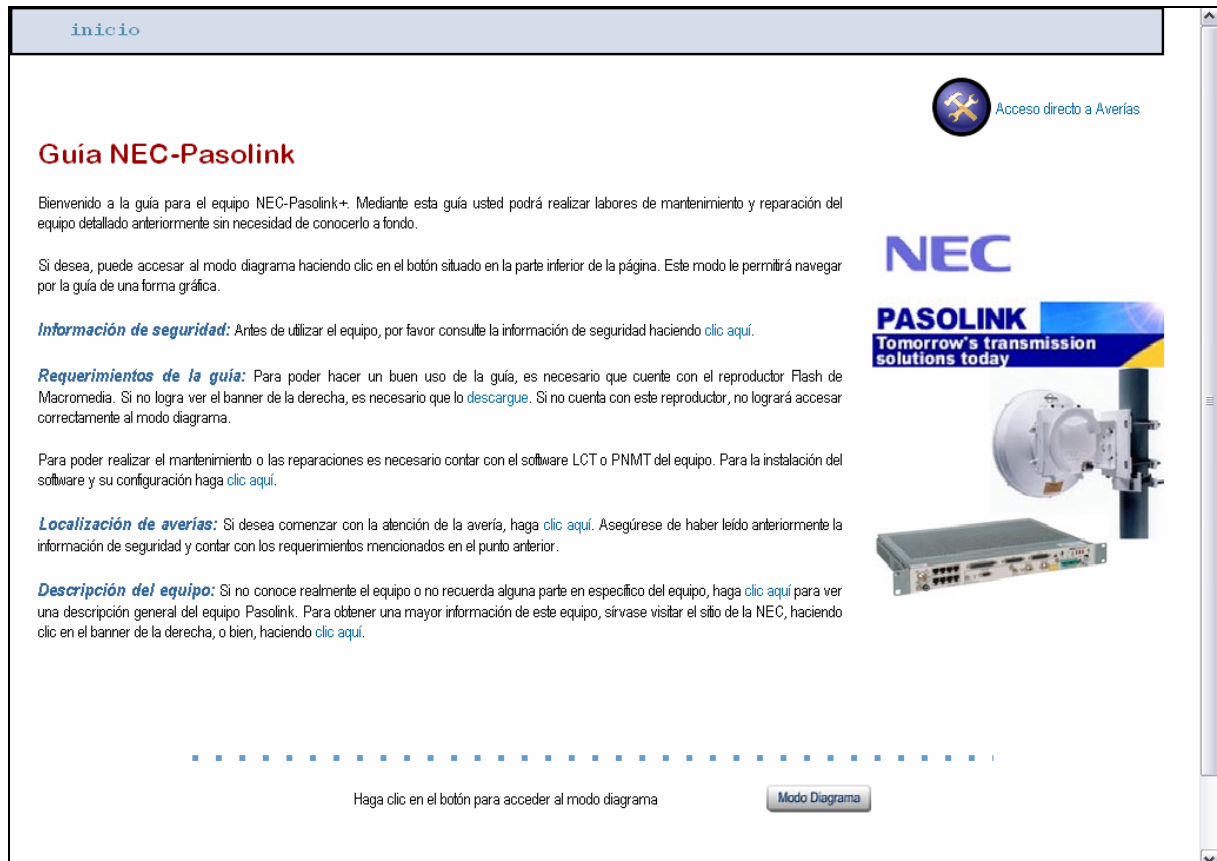


Figura 6.2 Sección de Contenido de la página de Inicio

Existen varios temas que se tratan en la página de inicio, éstos son: información de seguridad, requerimientos de la guía, localización de averías y descripción del equipo. Así mismo, en la parte superior derecha de la página existe un botón para acceder rápidamente a la localización de averías.

En la sección de Información de seguridad se exponen las medidas de seguridad que debe considerar el usuario antes de comenzar a utilizar el equipo. La figura 6.3 muestra esta sección.

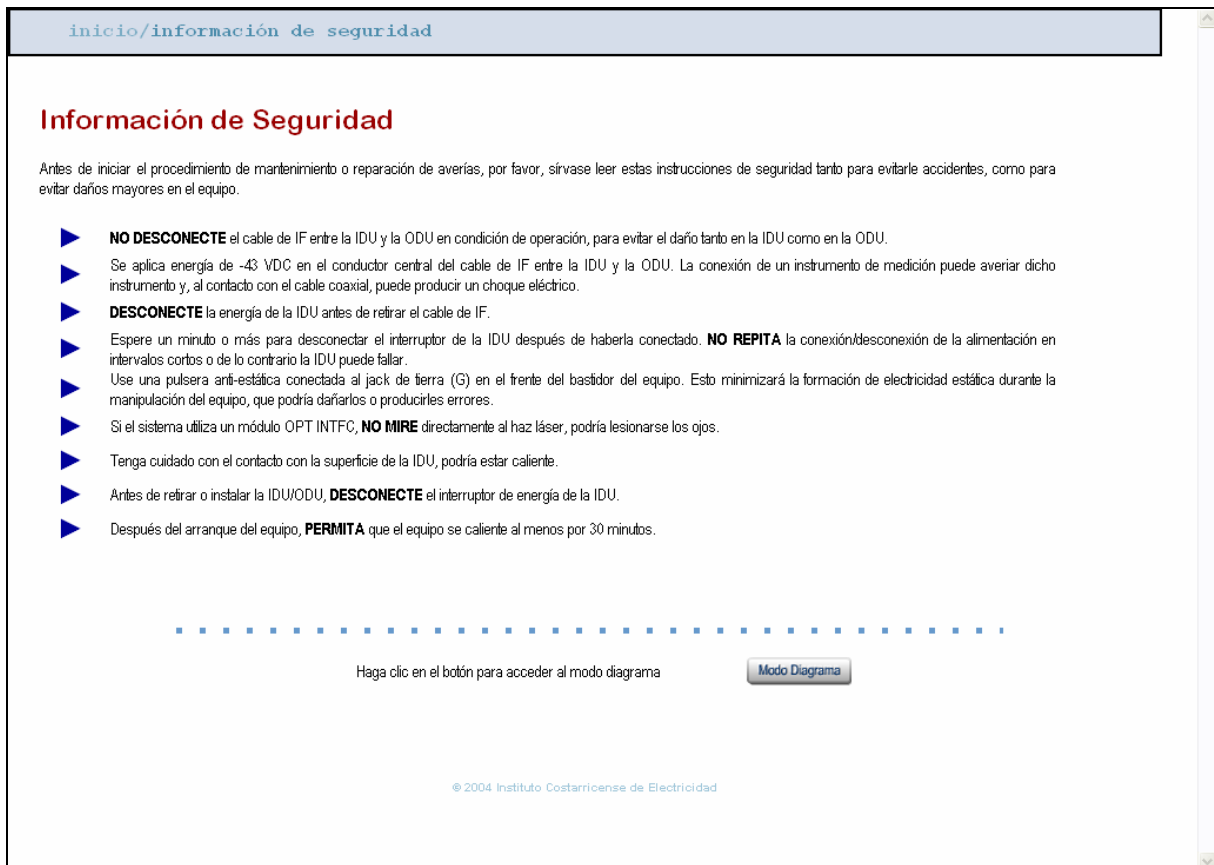


Figura 6.3 Sección de Contenido de la página de Información de Seguridad

Los requerimientos de la guía son los programas que el usuario debe tener instalados en su computadora para poder acceder correctamente a la guía. Estos programas son el reproductor Flash de Macromedia, necesario para utilizar el modo diagrama, y los programas gestores: LCT y PNMT, necesarios para la detección y reparación de averías. En la página de inicio hay vínculos para poder descargar tanto el reproductor Flash como los programas gestores.

La sección de localización de averías sigue el procedimiento de normalización de atención de averías que se explicó en el capítulo anterior en la sección 5.2, descripción del software.

La figura 6.4 ilustra el primer paso del procedimiento, correspondiente a la localización física del enlace.

Localización de averías

Siga los siguientes pasos para localizar la avería y luego proceder a repararla:

1. Definición del tipo de enlace:

Antes de iniciar con la avería, determine el tipo de enlace en el que está trabajando. Los enlaces Pasolink pueden ser STM-0 o STM-1. La siguiente tabla muestra los enlaces Pasolink existentes y su tipo, así como la interfaz principal con la que cuentan. Ubique y seleccione el enlace en el que está trabajando para continuar.

ESTACION A	ESTACION B	TIPO ENLACE	MAIN INTFC
EL JOBO	LA CRUZ	STM-0	21*2MB
GUACHIPELIN	C. VISTA AL MAR	STM-0	21*2MB
ORTEGA	C. VISTA AL MAR	STM-0	21*2MB
GARZA	C. POTAL	STM-1	OPT INTFC
PUEBLO NUEVO	C. POTAL	STM-0	21*2MB
COSTA DE PAJAROS	C. SANTA RITA	STM-0	21*2MB
ISLA VENADO	C. SANTA RITA	STM-0	21*2MB
PUERTO HUMO	C. SAN JOSE	STM-0	21*2MB
PILAS CANJEL	C. SAN JOSE	STM-0	21*2MB
PLAYA NARANJO	C. SAN MIGUEL	STM-0	21*2MB
COLONIA PUNT.	C. MONTERREY	STM-0	21*2MB
PAVON (LOS CHILES)	C. MONTERREY	STM-0	21*2MB
LA VIRGEN SARAPQ.	S. MIGUEL SARAPQ.	STM-0	21*2MB
S. RAFAEL DE R.C.	S. MIGUEL SARAPQ.	STM-0	21*2MB
FRAIJANES	ALAJUELA	STM-0	21*2MB
S. PABLO TURRUB.	OROTINA	STM-0	21*2MB
FRAILES	PURISCAL	STM-1	OPT INTFC
PARRITA	C. CEDRAL	STM-0	21*2MB
LA GLORIA PURISCAL	C. ALACRANES	STM-0	21*2MB
EL EMPALME	C. GUARDIAN	STM-0	21*2MB
LIMBO	LOMA SIERPE	STM-0	21*2MB
S. DOMINGO SIQ.	LOMA SIERPE	STM-1	OPT INTFC
LA PERLA	C. TITAN	STM-1	OPT INTFC
STA. TERESITA	PAVONES DE TURRI.	STM-0	21*2MB
MANZANILLO	C. UATSI	STM-0	21*2MB
DAYTONA	C. UATSI	STM-0	21*2MB
S. PEDRO DE P.Z.	C. BUENA VISTA	STM-1	OPT INTFC

Figura 6.4 Localización de averías: Descripción del tipo de enlace

En la figura 6.5 se muestra el segundo paso del procedimiento que consiste en la verificación de los LED's.

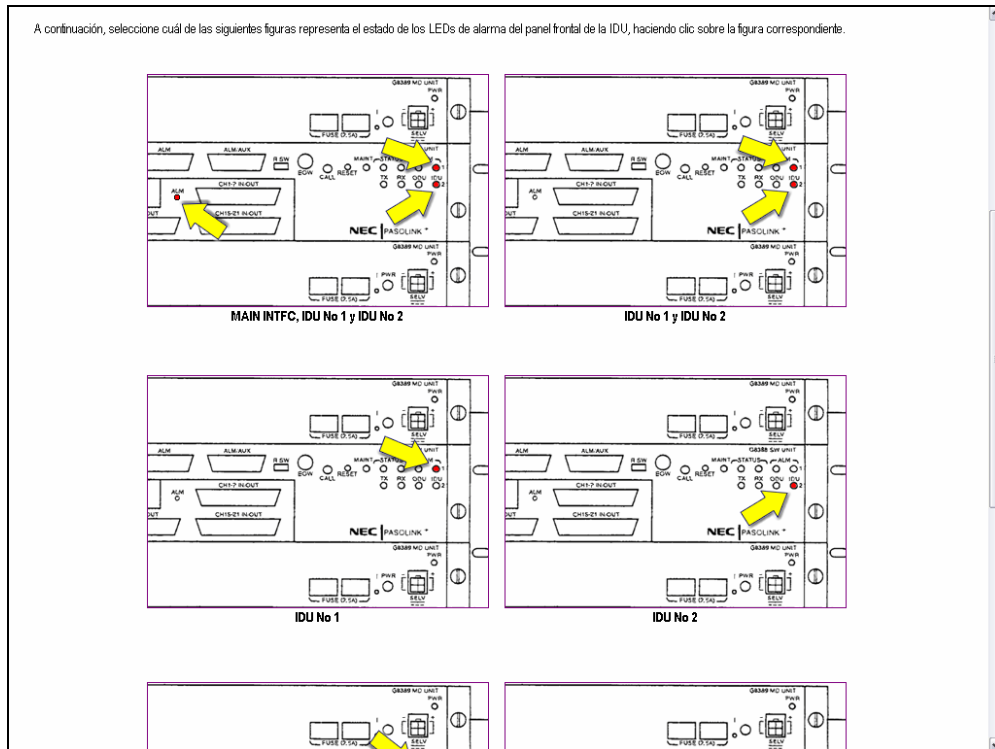


Figura 6.5 Localización de averías: Verificación de LED's

La figura 6.6 muestra el resultado obtenido al seleccionar uno de los escenarios posibles.

inicio/averías

ODU No 1 o ODU No 2: Si se da esta condición en los LEDs de alarma, estas son las alarmas que se pueden estar presentando:

Equipo	Nombre alarma	Módulo	Descripción
ODU	TX PWR ALM	RF CKT	Potencia de RF de transmisión aumenta o disminuye 3 dB de lo normal.
ODU	TX INPUT ALM	RF CKT	Se perdió la señal de entrada TX IF de la IDU.
ODU	RX LEVEL ALM	RF CKT	Nivel de entrada de recepción disminuye por debajo del nivel de silenciamiento.
ODU	APC ALM	SYNTH / RF CKT	Anormalidad en el oscilador local.
ODU	CABLE ALM	-	Se perdió la comunicación entre IDU y ODU.

Ahora puede continuar con el siguiente paso.

[« Volver atrás](#) [Continuar »](#)

Haga clic en el botón para acceder al modo diagrama

© 2004 Instituto Costarricense de Electricidad

Figura 6.6 Localización de averías: Posibles alarmas

La figura 6.7 ilustra el tercer paso del procedimiento correspondiente a las indicaciones dadas por el programa gestor.

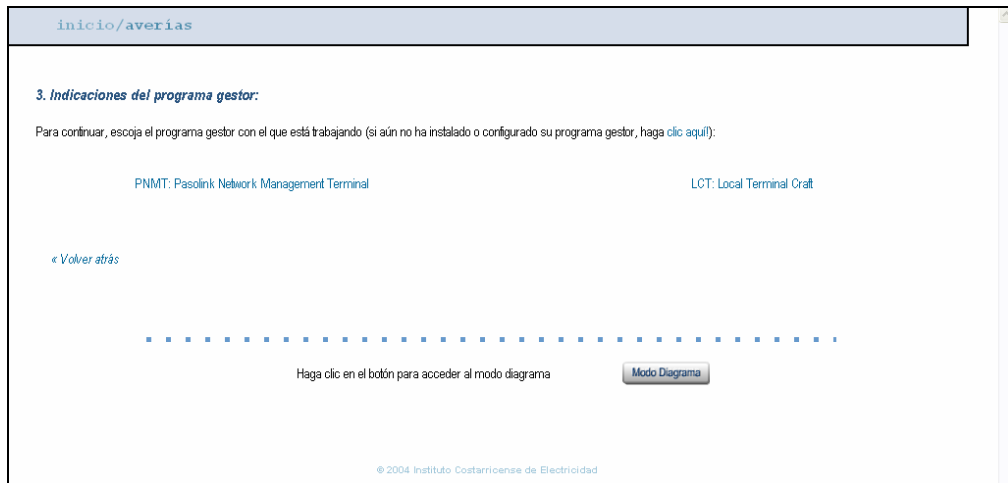


Figura 6.7 Localización de averías: Indicaciones del programa gestor

En la figura 6.8 se muestra el último paso en el procedimiento de reparación de averías que consiste en la revisión de las indicaciones de alarmas.

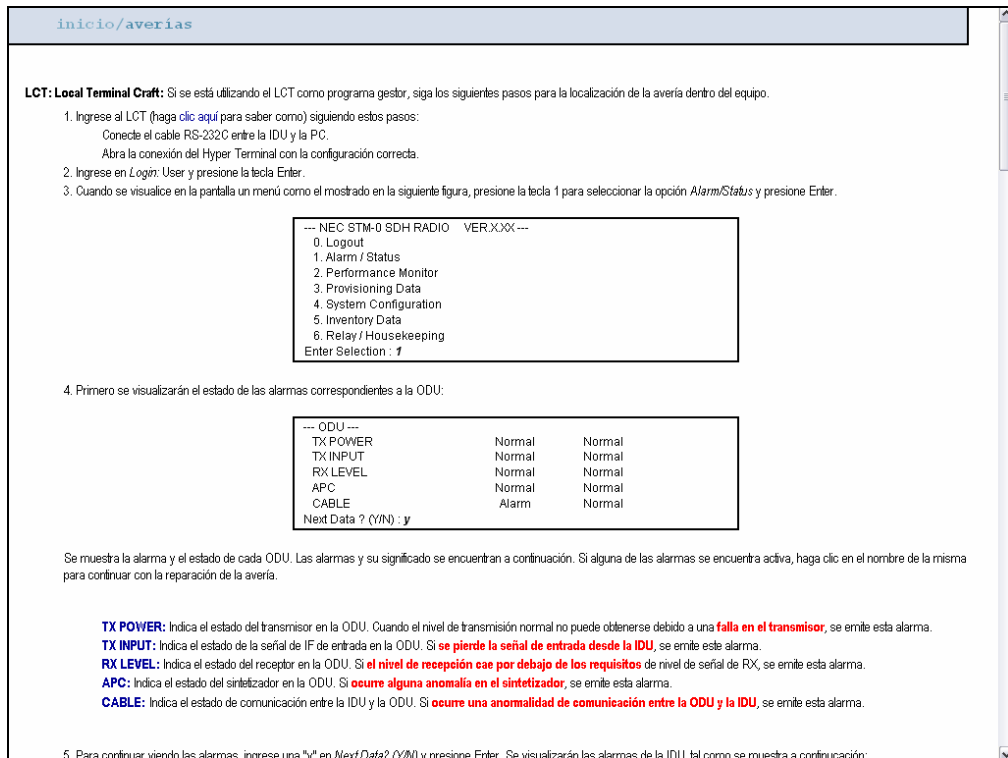


Figura 6.8 Localización de averías: Revisión de indicaciones de alarma

En la sección de descripción del equipo se le proporciona al usuario la información más relevante relacionada con el funcionamiento del equipo, de modo tal que cualquier persona, aún sin conocimiento previo del equipo, pueda utilizar correctamente la guía. En la figura 6.9 se observa una muestra de la descripción del equipo.

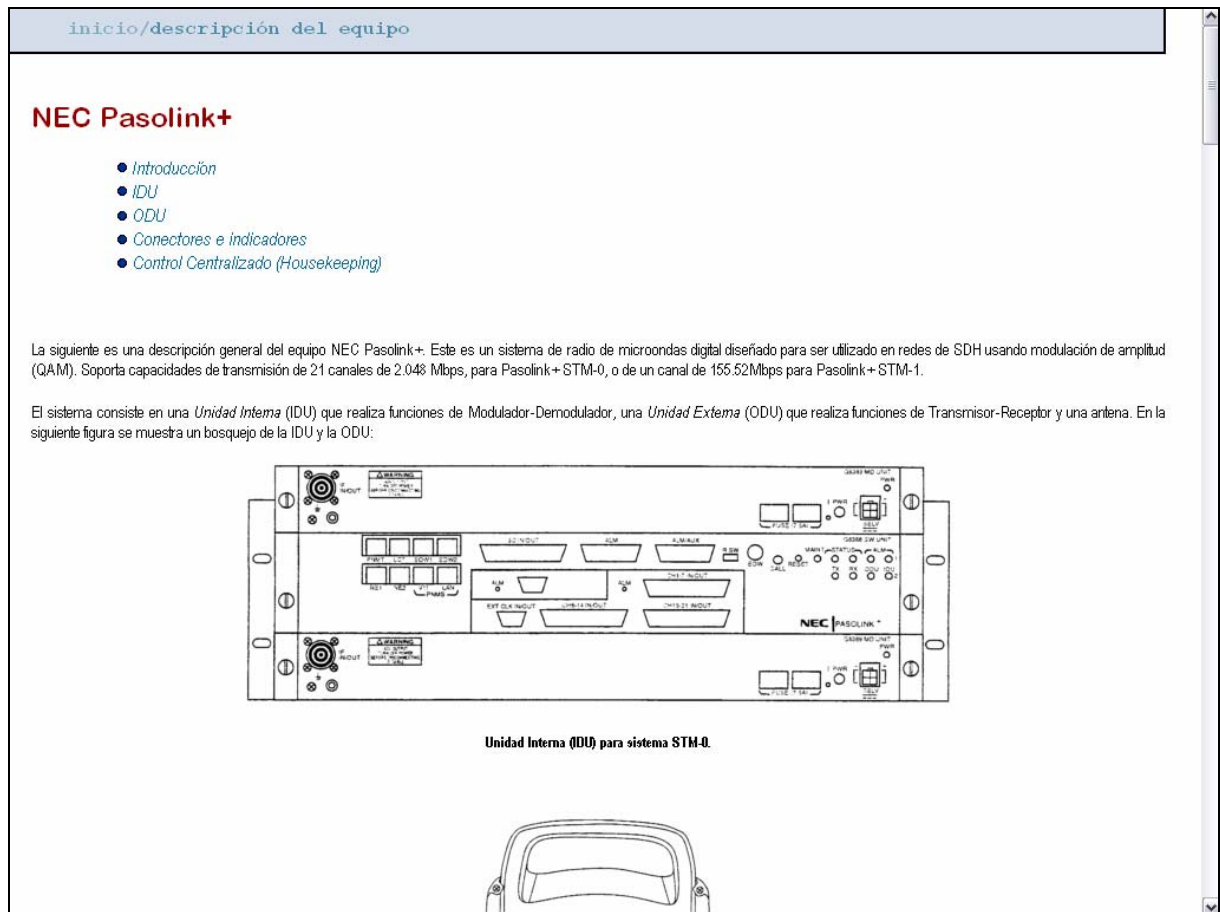


Figura 6.9 Sección de Contenido de la página Descripción del equipo

6.1.3 Páginas principales de sección

Para cada una de las secciones de las que está compuesta la guía, existe una página principal que contiene información general de la sección así como la división de la sección según el diagrama de bloques propuesto en el capítulo 5, descripción de hardware. Por ejemplo, la figura 6.10, muestra el contenido de la sección de Protección.

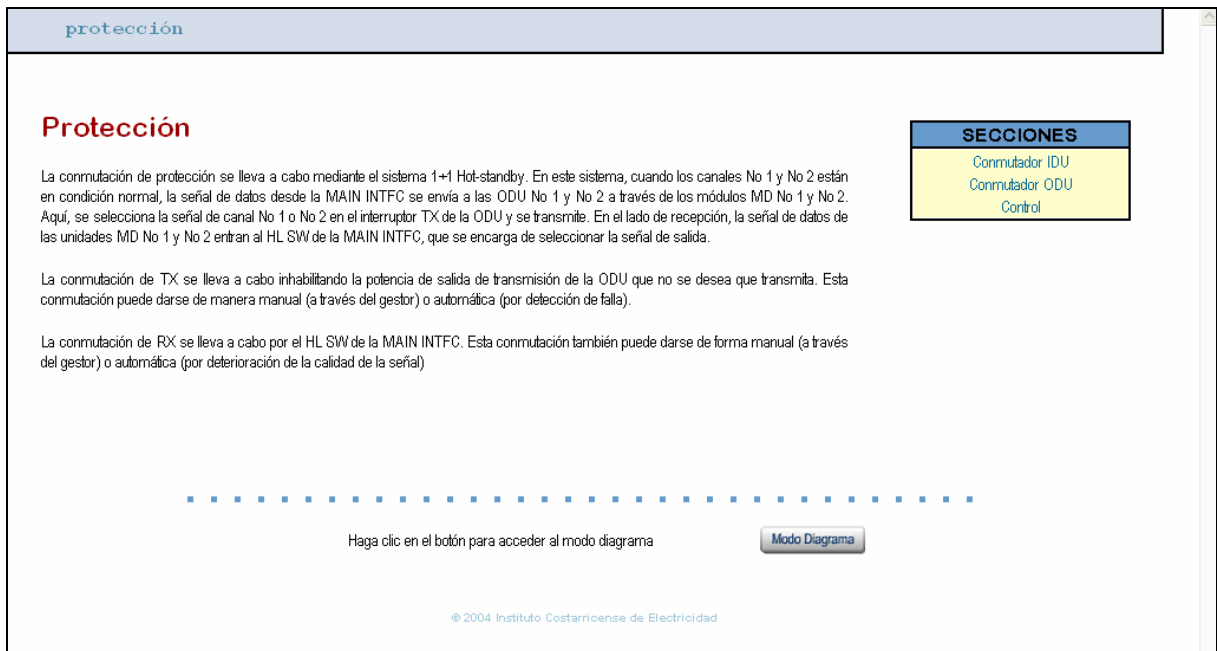


Figura 6.10 Contenido de la sección de Protección

Como se observa en la figura, debajo del título Protección, se encuentra cierta información relacionada con la sección. Al lado derecho de la página hay un cajetín con las sub-secciones en las que se divide la sección de Protección, y que corresponden a los bloques del diagrama de la figura 5.3. Al seleccionar uno de estos temas se accede a una página como la que se muestra en la figura 6.11.

En esta página se muestra una pequeña explicación de la función principal de la sub-sección y en la parte izquierda de la página se encuentra un nuevo cajetín con las opciones que se presentan en esta sub-sección. Estas opciones pueden ser las siguientes:

- Alarmas: se muestran todas las alarmas que se pueden presentar en la sub-sección y cómo repararlas.
- Procesos: se muestran los procesos necesarios para llevar a cabo la reparación de las alarmas.
- Mantenimiento: esta opción brinda información acerca del mantenimiento preventivo del equipo.

- Vínculos: ofrece vínculos hacia otras aplicaciones con el fin de obtener información de las bases de datos del departamento.

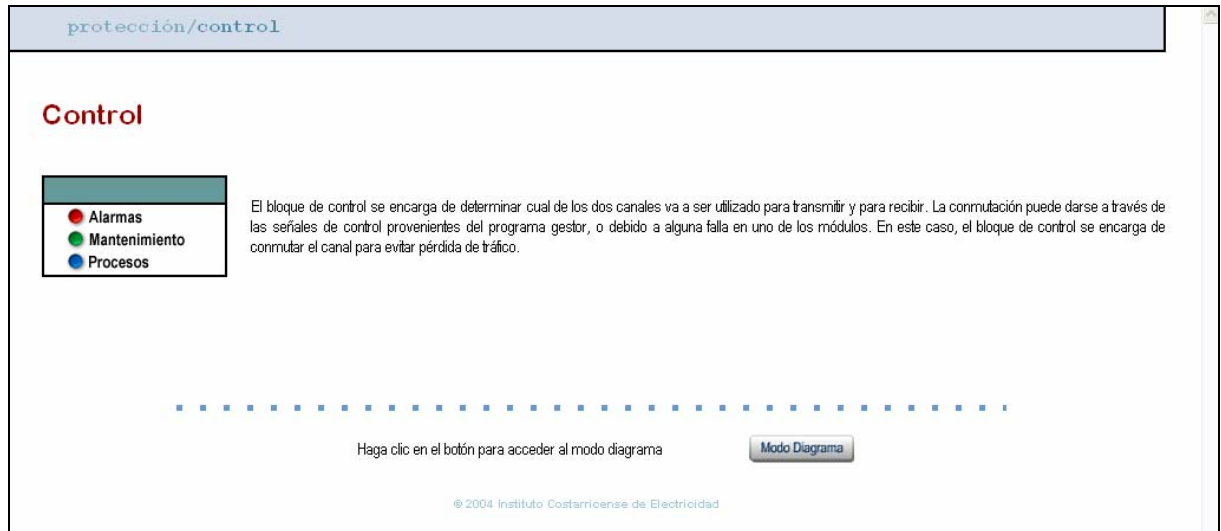


Figura 6.11 Contenido de la sub-sección Control

La tabla 6.1 muestra la distribución de estas opciones dentro de cada una de las secciones. Estas opciones se encuentran en las páginas correspondientes a las sub-secciones de cada sección. Así por ejemplo, en la sub-sección de Control de la sección de protección, las posibles alarmas que pueden darse son: HIGH BER y LOW BER, el mantenimiento corresponde a la comprobación de la conmutación de unidades, y en la opción de procesos se encuentra el reemplazo de la unidad SW.

Tabla 6.1 Distribución de opciones de cada sección

Sección	Alarmas	Mantenimiento	Procesos	Vínculos
Alimentación	PS, CBL, Posible descarga eléctrica	Medición de voltajes de alimentación, Medición de ODU PS, Comprobación de conexión de tierra	Revisión de TE, Encendido y apagado de unidad MD, Revisión y reemplazo de cable de IF, Conexión de tierra	Distribución de TE
Protección	HIGH BER, LOW BER	Comprobación de conmutación de unidades	Conmutación de MD y ODU, Reemplazo de unidad SW	-
Interfaces	LOS, AIS, SD, E-BER, CH USG, MAIN INTFC, LOF, LOP, LOM, TIM, PLM	Visualización de registros de eventos y rendimiento del equipo	Bucle de MAIN INTFC distante, Reemplazo de MAIN INTFC, Medición de BER, Cambio de canal, Conmutación automática de láser, Bucle de MAIN INTFC cercano, Gestión remota	Mapeo de E1's, PNMS
Sincronización	AIS RCVD, SF LINE, LOS TIM IN, SQ EXT OUT, SF EQUIP, EXT COMM	-	Revisión y conmutación de fuentes de reloj	-
Mod-Demod	MOD, DEM, MODEM, MD CPU, LOS, RDI, AIS RCVD, SD, UNEQ, E-BER, CBL, APC, TX INPUT, TX POWER, RX LEVEL	Medición de potencia de transmisión y nivel de recepción	Bucle de IF, Reemplazo de unidad MD, Revisión y reemplazo de cable de IF, Reemplazo de ODU, Medición de potencia de transmisión y nivel de recepción, Control de potencia	-

6.1.4 Modos de navegación

Los modos de navegación de la guía incluyen el mapa, el modo diagrama y la barra de navegación. Todos los modos de navegación cumplen con la estructura de bloques que se explica en la sección 5.1.

El mapa permite navegar dentro de la guía sin cambiar el contenido de las páginas, lo cual hace más rápida la búsqueda de un tema específico. La figura 6.12 muestra la sección de mapa de la página de inicio.

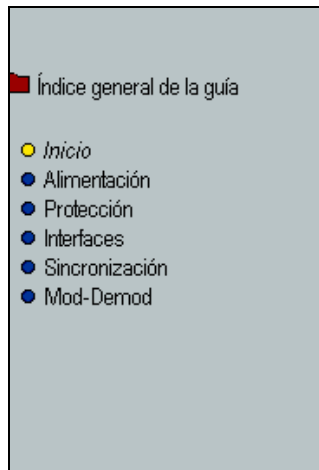


Figura 6.12 Sección de mapa de la página de inicio

La viñeta de color amarillo indica que la sección de inicio es la que está activada actualmente. Para navegar con el mapa, se hace clic sobre la viñeta para desplegar las secciones que pueden ser accedidas, tal como se muestra en la figura 6.13. En este caso, se puede acceder a la página de Configuración del LCT sin necesidad de cambiar la sección de contenido de la página de inicio mientras se navega.

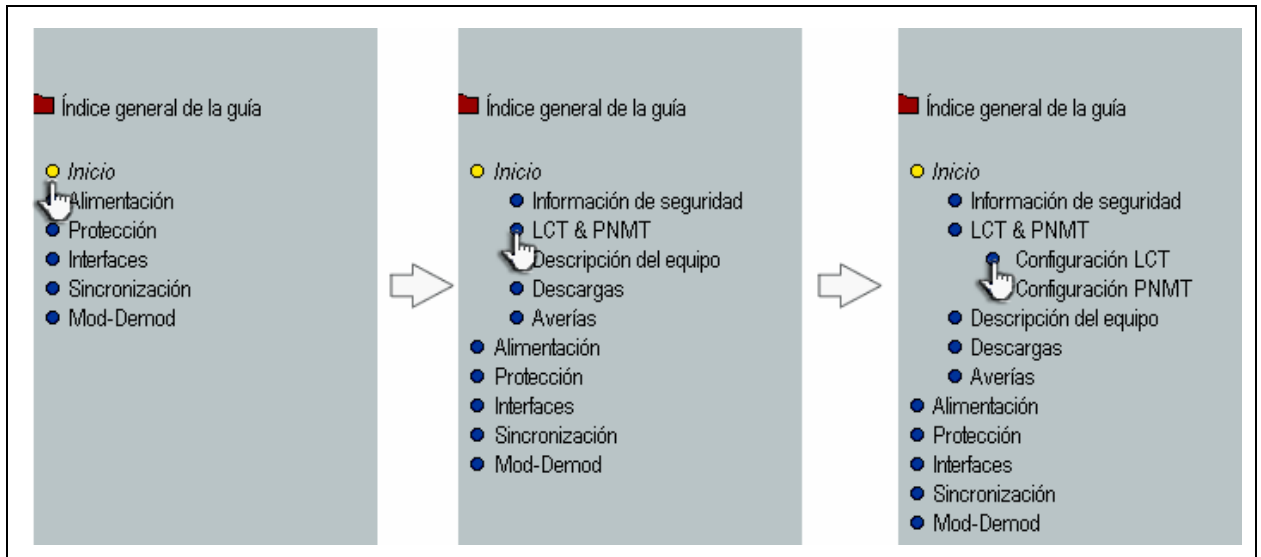


Figura 6.13 Navegación por medio del mapa

El modo diagrama le permite al usuario navegar a través de la guía de una forma gráfica. De este modo, si el usuario tiene cierta experiencia con el equipo puede localizar y reparar rápidamente la avería sin necesidad de utilizar el procedimiento de localización de averías.

Para iniciar el modo diagrama, se utiliza el vínculo ubicado en la parte inferior de la sección de contenido de cualquier página dentro de la guía, tal como se muestra en la figura 6.1. La figura 6.14 muestra la ventana inicial del modo diagrama.

Al extender la barra de la izquierda (o seleccionando Inicio en la ventana inicial), se despliega un menú con las secciones principales, correspondientes al hardware virtual diseñado.

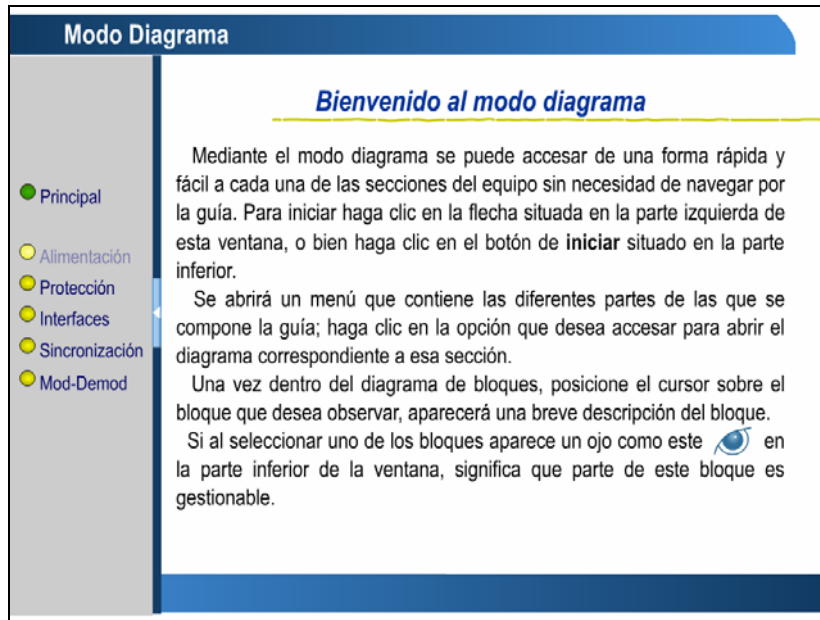


Figura 6.14 Ventana principal del modo diagrama

La figura 6.15 muestra la ventana correspondiente a la sección de Alimentación del modo diagrama.

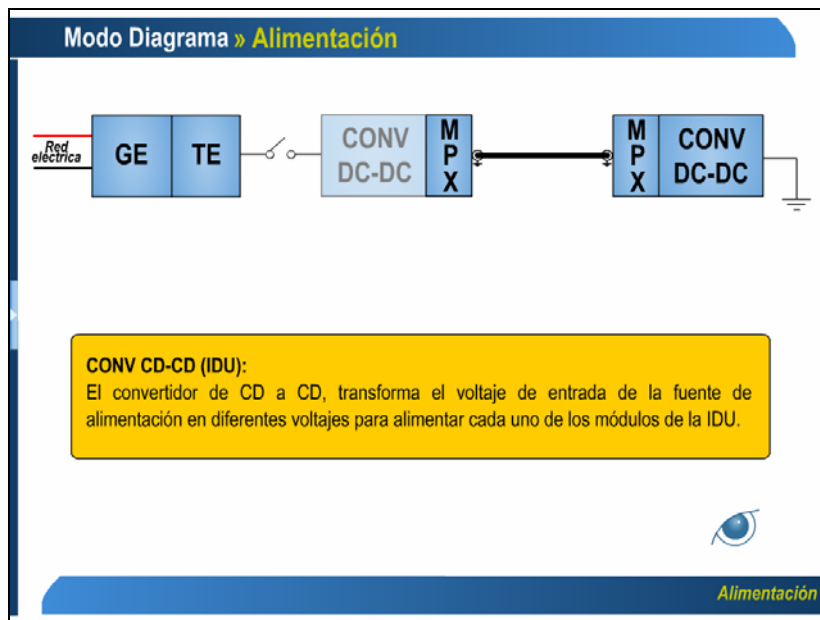


Figura 6.15 Ventana de la sección Alimentación

Al seleccionar uno de los bloques se carga en la guía, la página principal correspondiente.

La navegación a través de la barra de navegación es la más simple. Esta barra se encuentra debajo del encabezado en cada una de las páginas de la guía, tal como se muestra en la figura 6.1. Al seleccionar una de las secciones, se abre una de las páginas principales de sección (ver apartado 6.1.3), desde donde se puede acceder a cada uno de los bloques y a sus respectivas opciones.

6.1.5 Información al usuario

Las secciones de información al usuario son la sección de “ayuda” y la sección de “acerca de”. Ambas se pueden acceder a través de los vínculos existentes en la parte inferior de la guía, tal como se muestra en la figura 6.1.

La sección de “ayuda” brinda al usuario de información relacionada estrictamente con el uso de la guía, tal como se muestra en la figura 6.16.

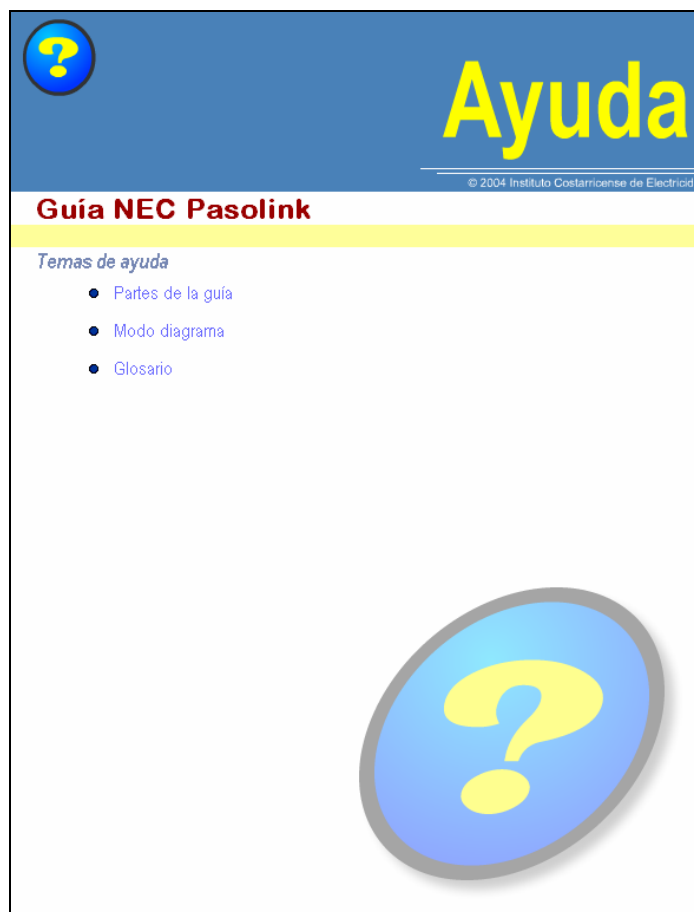


Figura 6.16 Ventana principal de la sección Ayuda

La ventana principal del menú de ayuda muestra como tópicos principales: partes principales de la guía, modo diagrama y glosario.

La sección de “acerca de” permite la retroalimentación entre la guía y el usuario. En esta sección se brinda información acerca del autor así como las personas involucradas en su desarrollo, lo que permite al usuario dar su opinión acerca de la guía. En la figura 6.17 se muestra la ventana de la sección acerca de.



Figura 6.17 Ventana de la sección Acerca de

6.2 Análisis

Analizando el trabajo realizado con respecto al tiempo de ejecución y confrontándolo con los objetivos planteados, se puede afirmar que se ha cumplido a cabalidad y con mucho éxito con todos los requisitos planteados al inicio del proyecto.

Se obtuvo como producto final un prototipo de guía interactiva, amigable para el usuario, que le permite a prácticamente cualquier usuario hacer un uso adecuado de la misma para la localización y reparación de averías del equipo Pasolink.

La implementación de esta herramienta en conjunto con las aplicaciones mostradas anteriormente y las realizadas paralelamente, permitirán al personal encargado de la reparación y el mantenimiento de todos estos equipos, reducir el tiempo de reparación de averías significativamente. Sin embargo, esto no pudo ser verificado debido principalmente al origen aleatorio de las averías.

Otros dos aspectos que se desprenden del desarrollo de la guía y que vale la pena destacar son el diseño del procedimiento para la normalización en la atención de fallas y las diferentes formas de navegación que presenta la guía, en especial, la incorporación del modo diagrama.

El procedimiento de normalización en la atención de averías hace que la posibilidad de que aparezcan diagnósticos erróneos probablemente se reduzca, pues el usuario se ve obligado a seguir una serie de pasos para encontrar la avería, y además otra serie de pasos para repararla, haciendo también más rápidas y efectivas las reparaciones.

En cuanto a los modos de navegación, el hecho de que se pueda acceder a un mismo tema de diferentes maneras, hace que la guía sea más versátil y agradable para el usuario. Al mismo tiempo, la modularización de la guía utilizando un hardware virtual hace mucho más sencillo ubicar un tema en particular de una forma más clara para el usuario.

Otros aspectos extra que ofrece la guía y que le dan el sello de alta calidad que buscaba la Institución son: la descripción del equipo, los requerimientos de la guía, las secciones de “ayuda” y “acerca de”, y los vínculos a los sitios involucrados (Intranet del ICE, UEN de Gestión de Red y Mantenimiento y NEC Pasolink).

Queda pendiente únicamente la colocación de la guía dentro de la Intranet, así como la creación de los vínculos hacia las bases de datos del departamento, esto debido principalmente a que éstas últimas se encontraban dentro de aplicaciones realizadas paralelamente a la guía y que no se concluyeron en el tiempo esperado.

En términos generales, el balance del desarrollo del proyecto es muy positivo, las expectativas se cumplieron ampliamente y el resultado final fue satisfactorio tanto para la Institución como para el autor.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo contiene las principales conclusiones que se extraen de la realización del proyecto así como las recomendaciones del autor.

7.1 Conclusiones

1. Mediante la utilización de esta guía el encargado del equipo Pasolink podría localizar y reparar rápida, y efectivamente cualquier avería.
2. Se creó un procedimiento de normalización para la atención de averías que permite evitar diagnósticos incorrectos y reparaciones infructuosas.
3. Con el diseño de un hardware virtual como estructura principal se simplifica la navegación dentro de la guía.
4. La inclusión de otros aspectos, principalmente relacionados con la información al usuario, le confieren una alta calidad a esta herramienta.
5. Se cumplieron a cabalidad todos los objetivos planteados.

7.2 Recomendaciones

1. La retroalimentación que se dé entre los usuarios y los encargados de la guía es vital para futuras mejoras dentro de la guía.
2. Se recomienda la realización de un estudio para validar los resultados del proyecto así como para crear un antecedente para futuros proyectos.
3. El éxito de la guía depende en gran medida del aporte de los técnicos encargados del equipo. Se recomienda incentivar el uso de la guía en todos los encargados del equipo así como la realización de una capacitación para hacer un buen uso de la guía.
4. Se sugiere utilizar el formato de la guía elaborada como base para futuros proyectos similares.
5. La divulgación de este trabajo y de trabajos similares es de mucha importancia dentro de la Institución, pues otros departamentos podrían beneficiarse e idear proyectos semejantes.

Bibliografía

1. Hernáez, I. **Modulación QAM**. <http://bips.bi.ehu.es/~inma/psc/tema3.pdf>. 2001.
2. NEC Corporation. **Sistema de radio de microondas digital de Jerarquía Digital Síncrona de 6-38GHz 50MB Pasolink+**. Manual de Instrucciones. Tokio, 2002.
3. NEC Internacional Training Ltd. **Sistemas de Transmisión SDH. Fundamentos y Principios**. Tokio, 2001.
4. Tektronix Inc. **SDH Telecommunications Standard Primer**. http://www.tek.com/Masurement/App_Notes/sdhprimer/2RX_11694_2.pdf. Oregon, 2000.
5. Tomasi, W. **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas**. 2ª Edición. Prentice Hall. México, 1996.
6. Trend Communications Ltd. **SDH Sonet**. [http://www.trendtest.com/trendweb/resource.nsf/vlFileURLLookup/SDH.Sonet.Quick.refe/\\$FILE/SDH.quick.ref.pdf](http://www.trendtest.com/trendweb/resource.nsf/vlFileURLLookup/SDH.Sonet.Quick.refe/$FILE/SDH.quick.ref.pdf). UK, 2003.
7. **Propagación de ondas en medio natural**. http://www.gr.ssr.upm.es/rdpr/transparencias/transp_tema3.pdf.

Apéndices

Apéndice A.1 Abreviaturas

<u>A</u>	AGC	Control Automático de Ganancia
	AIS	Señal de Indicación de Alarma
	ALM	Alarma
	ALS	Desconexión Automática de Láser
	APC	Control Automático de Fase
	ASC	Canal de Servicio Analógico
	ATM	Modo de Transferencia Asíncrona
	ATPC	Control Automático de Potencia de Transmisión
	AU	Unidad Administrativa
	AUG	Grupo de Unidades Administrativas
<u>B</u>	BBE	Error de Bloqueo de Fondo
	BER	Razón de Bits Erróneos
	BPF	Filtro Pasa Banda
<u>C</u>	C	Contenedor
	CBL	Cable
	CLK	Reloj
	CONT	Control ODU
	CPU	Unidad Central de Procesos

	CRC	Chequeo de Redundancia Cíclica
	CTRL	Control IDU
<u>D</u>	DDT	Datos de Extracción
	DECO	Decodificador
	DEM	Demodulador
	DEMUX	Demultiplexor
	DMR	Radio de Microondas Digital
	DSC	Canal de Servicio Digital
<u>E</u>	E-BER	Razón Excesiva de Bits Erróneos
	EOW	Línea de Órdenes de Ingeniería
	ES	Segundos Erróneos
	EXT	Externo
<u>F</u>	FEC	Corrección de Error hacia delante
<u>H</u>	HDB-3	Bipolar de Alta Densidad 3
	HG	Alta Calidad
	HK	Housekeeping
	HL	Hitless
	HO	Orden Superior

	HPA	Adaptación de Trayecto de Orden Superior
	HS	Alta Velocidad
	HTML	Lenguaje de Marcas de HyperTexto
	HYB	Híbrido
I	IDU	Unidad Interna
	IF	Frecuencia Intermedia
	IP	Protocolo de Internet
	INT	Interno
	INTFC	Interfaz
	ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
L	LCT	Local Terminal Craft
	LO	Orden Inferior
	LOF	Pérdida de Trama
	LOM	Pérdida de Multitrama
	LOP	Pérdida de Puntero
	LOS	Pérdida de Señal
	LPT	Terminación de Trayecto de Orden Inferior
M	MD	Modulador-Demodulador

	MOD	Modulador
	MODEM	Modulador-Demodulador
	MPX	Multiplexador
	MSA	Adaptación de Sección Multiplexora
	MSOH	Encabezado de Sección Multiplexora
	MST	Terminación de Sección Multiplexora
	MTPC	Control Manual de Potencia de Transmisión
	MUX	Multiplexor
<u>N</u>	NE	Equipo de Red
	NRZ	Sin Retorno a Cero
<u>O</u>	OAM	Operación Administración y Mantenimiento
	ODU	Unidad Externa
	OFS	Segundos Fuera de Trama
	OH	Encabezado
	OL	Oscilador Local
	OPT	Óptico
<u>P</u>	PCM	Modulación de Pulso Codificado
	PDH	Jerarquía Digital Plesiócrona

<i>PLL</i>	Bucle Enganchado en Fase
<i>PLM</i>	Desajuste de Carga Útil
<i>PNMS</i>	Sistema de Gestión de Red Pasolink
<i>PNMT</i>	Terminal de Gestión de Red Pasolink
<i>POH</i>	Encabezado de Carga Útil
<i>PS</i>	Fuente de Poder
<i>PTR</i>	Puntero
<i>PWR</i>	Energía
<u>Q</u>	
<i>QAM</i>	Modulación de Amplitud en Cuadratura
<i>QL</i>	Calidad
<u>R</u>	
<i>RDI</i>	Indicación de Defecto Remoto
<i>REI</i>	Indicación de Error Remoto
<i>RF</i>	Frecuencia de Radio
<i>RFCOH</i>	Encabezado Complementario de Trama de Radio
<i>RFI</i>	Indicación de Falla Remota
<i>RSOH</i>	Encabezado de Sección Regeneradora
<i>RSL</i>	Nivel de Señal Recibida
<i>RST</i>	Terminación de Sección Regeneradora

	<i>RX</i>	Receptor/Recepción
<u>S</u>	<i>SD</i>	Diversidad de Espacio
	<i>SDH</i>	Jerarquía Digital Síncrona
	<i>SES</i>	Segundos Severamente Erróneos
	<i>SHG</i>	Super Alta Calidad
	<i>SOH</i>	Encabezado de Sección
	<i>SONET</i>	Red Óptica Síncrona
	<i>STM</i>	Módulo de Transporte Síncrono
	<i>STS</i>	Señal de Transporte Síncrona
	<i>SW</i>	Interruptor/Conmutador
	<i>SYNTH</i>	Sintetizador
<u>I</u>	<i>TIM</i>	Desajuste de Indicación de Rastreo
	<i>TU</i>	Unidad Tributaria
	<i>TUG</i>	Grupo de Unidades Tributarias
	<i>TX</i>	Transmisor/Transmisión
<u>U</u>	<i>UAS</i>	Segundos No Disponibles
<u>V</u>	<i>VC</i>	Contenedor Virtual

Apéndice A.2 Glosario

Bucle

Procedimiento usado en la localización de fallas por medio del cual una señal es retornada a su fuente a lo largo del mismo trayecto en que es recibida.

E1

Trama PDH de 2.048 Mbps que constituye la unidad básica en la recomendación de la ITU-T G.732.

Híbrido

Equipo utilizado para interconectar dos unidades ODU con una única antena en enlaces sin diversidad de espacio.

Plesiócrona

Prácticamente sincrónica.

Programas Gestores (LCT y PNMT)

Herramientas de software que proporcionan diversas funciones de manejo de los equipos de red mediante una computadora portátil.

Apéndice A.3 Información sobre la Institución

A.3.1 Descripción de la empresa

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue creado por el Decreto - Ley No.449 del 8 de abril de 1949 como una Institución autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Está dotado de plena autonomía e independencia administrativa, técnica y financiera. Al ICE le corresponde, por medio de sus empresas, desarrollar, ejecutar, producir y comercializar todo tipo de servicios públicos de electricidad y telecomunicaciones, así como actividades o servicios complementarios a estos. El ICE se financia con fondos propios y externos a través de la venta de servicios de energía y telecomunicaciones.

A partir de 1963, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) tiene la responsabilidad por medio de la ley N° 3226, del establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas, telegráficas, radiotelegráficas y radio telefónicas. En 1966 el ICE instala las primeras cuatro centrales telefónicas automáticas y para 1970; ya se habían instalado en total 24 centrales, abarcando los principales centros poblacionales del país.

Durante la década de los 80 hay un crecimiento importante en las telecomunicaciones, aumentando el número de líneas telefónicas en el país y se inicia la instalación de un sistema digital con el objetivo de ampliar las centrales de mayor importancia en el país, principalmente en el área metropolitana.

En la década de los noventa se amplía el sistema de larga distancia y la Red Interurbana de Microondas. En 1994 entra a funcionar el sistema de siete dígitos, con el fin de aumentar el número de líneas, además se inicia con el servicio de telefonía celular. En 1997 el número de líneas celulares alcanzó las 65 000.

Actualmente se trabaja en la digitalización del Sistema Nacional de Telecomunicaciones y también se colabora en proyectos internacionales cuyo fin es conectar el país con el resto del mundo mediante cables de fibra óptica, permitiendo

así tener un gran ancho de banda que aumenta la capacidad de manejo de llamadas telefónicas. Otro proyecto en el que se trabaja actualmente es el servicio de Internet para el hogar mediante el sistema de ADSL y también el nuevo sistema RDSI que permite tener dos líneas telefónicas en la casa y aumentar la velocidad de acceso a Internet.

El gerente del ICE en el sector de Telecomunicaciones es el Ingeniero Claudio Bermúdez y en todo el país la Institución cuenta con más de 10 000 empleados. Conforme ha pasado el tiempo, el ICE ha evolucionado como un grupo corporativo de empresas estatales, integrado por el propio ICE (Sectores Electricidad y Telecomunicaciones) y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), las cuales han trazado su trayectoria, mediante diversos proyectos de modernización desarrollados en las últimas décadas.

A.3.2 Descripción del departamento en el que se realizó el proyecto

El departamento en el que se realizó el proyecto corresponde a Proceso Nivel 1 de Transmisión. Este departamento pertenece a la UEN de Gestión de Red y Mantenimiento. Este departamento cuenta con dos instalaciones principales; una corresponde al edificio administrativo que se localiza al costado sur del edificio central del ICE en San Pedro, y el otro corresponde al cuarto piso de este edificio principal donde se encuentra el equipo de radio enlaces de baja capacidad, radiotelefonía, microondas, etc.

Dentro del amplio margen de actividades y tareas propias del departamento en cuanto a operaciones y mantenimiento de equipos se enumeran: pruebas de aceptación (del equipo entrante), reparación de averías, mantenimiento preventivo y trabajos especializados, así también como la operación de los equipos que suplen la telefonía fija nacional.

En este departamento laboran 138 empleados, de los cuales 22 son profesionales con título. Entre estos 22 hay Ingenieros Electricistas, Ingenieros en Informática y Administradores. Se debe destacar que algunos de los ingenieros electricistas poseen especialidades en Telemática. Actualmente el jefe de este departamento es el Ingeniero Rafael Ignacio Ávila.

Debido a la especialidad del departamento, y las actividades a las que se dedica, entre los recursos disponibles se posee una amplia gama de equipo relacionado con la Electrónica y el campo de las telecomunicaciones; se puede mencionar multitesters, osciloscopios, generadores de señal, fuentes de poder, herramientas, entre otros. También se debe mencionar que el departamento, cuando requiere desarrollar un proyecto de grandes escalas, dispone de un presupuesto de ¢25.000.000 (veinticinco millones de colones) o más, si fuera necesario.

A.3.3 Antecedentes prácticos

Este proyecto surge como una iniciativa de la UEN Gestión de Red y Mantenimiento, porque actualmente se carece de una apropiada guía que permita orientar a los técnicos o ingenieros cuando se presente algún tipo de avería en el equipo. El problema se detectó por series de diagnósticos erróneos en varios lugares del país.

Hasta el día de hoy el ICE ha realizado pocos intentos para resolver este problema, por lo tanto, es importante que el trabajo a desarrollarse sea elaborado de manera detallada para que, cumpliendo con los estándares internacionales, brinde el mejor de los beneficios a todos los empleados y de esta forma agilice la detección de averías, todo en busca de una mejora integral en el servicio de transmisión.

A nivel internacional, no se conoce de la existencia de un sistema de esta índole, que permita facilitar a los técnicos la recuperación del estado normal de funcionamiento de los equipos.

Actualmente existen dos prototipos de sistemas desarrollados por los entonces estudiantes Irene Brenes Porras, que elaboró el prototipo del sistema de equipos de fibra óptica como proyecto de graduación en el segundo semestre del 2003, y Ronny Ramírez Araya, que elaboró el prototipo para equipos de microondas como proyecto de graduación en el primer semestre del 2004.