



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**GUÍA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE SERVICIOS
TELEFÓNICOS A NIVEL DE ABONADO, UNA APLICACIÓN EN GUATEMALA**

Juan Fernando Fuentes Alvarado

Asesorado por el Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, octubre de 2009.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DIGITALIZACIÓN
DE SERVICIOS TELEFÓNICOS A NIVEL DE ABONADO, UNA APLICACIÓN
EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN FERNANDO FUENTES ALVARADO

ASESORADO POR EL ING. ARMANDO ALONSO RIVERA CARRILLO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2009.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Francisco Gressi López
EXAMINADOR	Dr. Juan Carlos Cordova Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Mario Alberto Miranda
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

GUÍA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE SERVICIOS TELEFÓNICOS A NIVEL DE ABONADO, UNA APLICACIÓN EN GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica, con fecha 9 de febrero de 2009


Juan Fernando Fuentes Alvarado.

Guatemala, 1 de Agosto de 2009

Ing. Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador
Area Electronica
Ingenieria Mecanica-Electrica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Solares:

Quiero hacer de su conocimiento que conjuntamente con el estudiante JUAN FERNANDO FUENTES ALVARADO, hemos revisado el trabajo de tesis titulado "GUIA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACION Y DIGITALIZACION DE SERVICIOS TELEFONICOS A NIVEL DE ABONADO UNA APLICACIÓN EN GUATEMALA". Como resultado de la revisión, puedo concluir que se han llenado los objetivos propuestos en la solicitud de punto de tesis, y puedo asumir la responsabilidad que este trabajo conlleva.

Atentamente,



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Colegiado 4265





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 03 de septiembre de 2009

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"GUIA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE SERVICIOS TELEFÓNICOS A NIVEL DE ABONADO UNA APLICACIÓN EN GUATEMALA"**, desarrollado por el estudiante **Juan Fernando Fuentes Alvarado**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

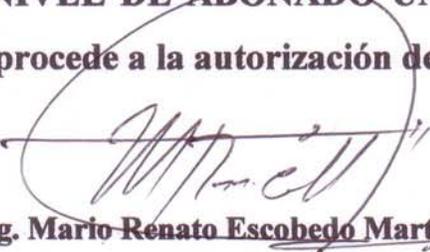

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica





REF. EIME 56. 2009.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Juan Fernando Fuentes Alvarado titulado: "GUÍA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE SERVICIOS TELEFÓNICOS A NIVEL DE ABONADO UNA APLICACIÓN EN GUATEMALA", procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martinez

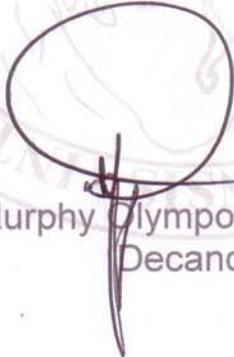


GUATEMALA, 7 DE SEPTIEMBRE 2,009.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA SISTEMATIZADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE SERVICIOS TELEFÓNICOS A NIVEL DE ABONADO, UNA APLICACIÓN EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Fernando Fuentes Alvarado**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2009



DEDICATORIA

A:

DIOS: Por permitirme culminar la carrera

MIS PADRES: Jaime Fuentes Sandoval
Marina Alvarado de Fuentes
Quienes me enseñaron a luchar para
poder cumplir mis metas.

MI ESPOSA: Ana Victoria Lemus de Fuentes
Por su apoyo incondicional

MIS HIJOS: Christian Fernando Fuentes Lemus
Sara Victoria Fuentes Lemus
Con mucho cariño.

MIS HERMANOS: Jaime, Gustavo Adolfo y Claudia
Lisette

**MIS SUEGROS, CUÑADOS,
SOBRINOS** Con aprecio

MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO Con aprecio

MI ASESOR: Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Por su magnifico apoyo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1 GENERALIDADES	1
1.1 Breve historia de la telefonía en Guatemala	1
1.2 Generalidades del sistema telefónico en Guatemala	6
1.2.1 Sistema de numeración telefónico	7
1.2.2 Telefonía fija	8
1.2.3 Telefonía móvil	10
1.2.4 Telefonía comunitaria y pública	17
2 TEORÍA BÁSICA	19
2.1 Concepto general de un sistema digital	19
2.1.1 Sistema analógico y sistema digital	19
2.1.2 Señal analógica	20
2.1.3 Señal digital	20
2.1.4 Ventajas de los circuitos digitales	21
2.1.5 Ventajas del proceso digital de señales frente al Analógico	23
2.1.6 Ejemplos de aquellos sistemas analógicos que ahora se han vuelto digitales	25
2.1.7 Ejemplo de un sistema electrónico analógico	28

2.2	Sistema de muestreo	30
2.2.1	Muestreo	31
2.3	Sistema de cuantificación	31
2.3.1	Cuantificación	31
2.4	Sistema de codificación	33
2.4.1	Codificación	33
2.5	Modulación	33
2.6	Multiplexacion	34
2.7	Multiplexor y demultiplexor	36
2.7.1	Multiplexor	36
2.7.1.1	Tipos de multiplexores	37
2.7.2	Demultiplexor	38
2.8	Codificador y decodificador	41
2.8.1	Codificador	41
2.8.2	Decodificador	44
2.9	Concepto general de envío de señales a través de medios ópticos	47
2.9.1	Historia	47
2.9.2	Como portadora de información	48
2.9.3	Concepto de transmisión	49
2.9.4	Conceptos básicos	50
2.9.4.1	Dimensiones y peso	51
2.9.4.2	Atenuación	51
2.9.4.3	Distancia umbral	51
2.9.4.4	Cables ópticos	52
2.9.4.5	Parámetros de una fibra óptica	54
2.9.4.6	Micro curvatura	55
2.9.4.7	Curvado	55
2.9.4.8	Construcción	59

2.10	Dispositivos transductores corriente/luz	63
2.10.1	Diodos luminiscentes (LED)	65
2.10.2	Diodos Láser (LD)	66
2.11	Dispositivos transductores luz/corriente eléctrica	69
2.11.1	Fotodiodos PIN	70
2.11.2	Fotodiodos de avalancha	71
3	RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES ESPECIALES	75
3.1	Sistema de Señalización	75
3.1.1	Señalización R2 multifrecuencia	75
3.1.1.1	Generalidades	75
3.1.1.2	Transmisión del número de la parte llamante	76
3.1.1.3	Tiempo de supervisión de las señales MFC	76
3.1.1.4	Tiempo máximo de supervisión de registros	77
3.2	Forma del pulso	96
3.2.1	Interface 2048 kbit/s (E12)	96
3.2.1.1	Características generales	96
3.2.1.2	Especificaciones en los puertos de salida	97
3.2.1.3	Especificaciones en los puertos de entrada	100
3.2.1.4	Puesta a tierra del conductor exterior o del blindaje	102
3.3	Tasa de error	103
3.3.1	Errores en los bits y errores en los bloques, ventajas y limitaciones	103
3.4	Límites de atenuación	107
3.4.1	Pérdidas por absorción	107
3.4.2	Pérdidas por dispersión energética	109
3.4.3	Otras fuentes de pérdidas	111

3.5	Limites de tolerancia	111
3.5.1	Dispersión Modal	112
3.5.2	Dispersión Cromática	117
3.6	Funcionamiento	121
3.7	Alimentación del sistema	127
3.7.1	Requerimientos de alimentación	127
3.7.2	Conectando la alimentación	127
3.7.2.1	Conectando la alimentación AC	127
3.8	Transmisor y receptor óptico	128
3.8.1	Características de la interface de Fibra Optica	128
3.9	Sistemas de alarmas	130
3.9.1	Indicadores e interruptores del panel frontal	130
4	DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	137
4.1	Metodología para el análisis de problemas, mediante el sistema de gestión	137
4.2	Mantenimiento	150
4.3	Sistemas de seguridad y condiciones ambientales	156
4.3.1	Sistemas de seguridad	156
4.3.2	Condiciones ambientales	167
4.4	Diseño hipotético de un nuevo servicio	168
	CONCLUSIONES	177
	RECOMENDACIONES	179
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
	BIBLIOGRAFÍA	183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ejemplo de una señal amplificada	29
2	Ejemplo de un sistema que utiliza métodos digitales y analógicos	29
3	Multiplexor	36
4	Multiplexor de varias entradas y selecciones	37
5	Demultiplexor	39
6	Demultiplexor de una entrada y varias salidas	40
7	Conversión de un decodificador en demultiplexor	40
8	Codificador	42
9	Decodificador básico	44

10	Decodificador de 4 entradas y 7 salidas no excitado	45
11	Decodificador excitador BCD – 7 segmentos	46
12	Display de siete segmentos	46
13	Fibra multimodal	57
14	Fibra multimodal con índice graduado	58
15	Tubo suelto	59
16	Fibra óptica restringida	59
17	Hilos múltiples	60
18	Listón	60
19	Cable de fibra óptica	61
20	Construcción de una fibra óptica	62
21	Fabricación de fibra óptica por estirado de una preforma	63
22	Espectros de emisión de LED y LD de alta radiancia	68

23	G703 - Impulso en el caso de una interfaz a 2048 Kbit/s	99
24	Efecto de la dispersión modal	113
25	Rayos meridionales propagados en circunstancias extremas	113
26	Efecto de la dispersión	116
27	Dispersión cromática	119
28	Optimux-4E1 front panel Tabla 18 Optimux_4E1	131
29	Optimux_4E1 pantalla abierta	139
30	Optimux_4E1 main menu	141
31	Status menu	143
32	Interface status screen	144
33	Internal status screen 1	145
34	Internal status screen 2	146
35	Configuration menu	148
36	View interface configuration menu	149

37	Change local interface configuration menu	150
38	Change remote interface configuration menu	152
39	Special actions menu	154
40	Special actions menu screen 2	154
41	Reset to default configuration menu	156
42	Password management	157
43	Version information screen 2	158
44	Software downloading menu	159
45	SNMP parameters menu	160
46	IP Addresses menu 1	161
47	IP Addresses menu 2	162
48	Community names menu	163
49	Trap community name menu	163
50	Read-only community name menu	164

51	Read-write community name menu	165
52	Permanent managers menu	166
53	Diagrama de bloques diseño básico de funcionamiento	175

TABLAS

I	Distribución de prefijos telefónicos	7
II	Operadores móviles de Guatemala	11
III	Servicios de las empresas de telefonía móvil	13
IV	Tabla de verdad de un codificador de 10 entradas y 4 salidas	43
V	Ejemplo de datos técnicos de una fibra óptica	62
VI	Tabla de aplicación de las recomendaciones de señalización R2	77
VII	Código de señalización de línea	90
VIII	Códigos de frecuencia	91
IX	Significado de las señales hacia adelante	92
X	Significado de las señales hacia adelante (parte 2)	93
XI	Significado de las señales hacia atrás	94
XII	Significado de las señales hacia atrás (parte 2)	95

XIII	G703 interfaz digital a 2048 Kbit/s	97
XIV	Pérdida de retorno mínimos en los accesos de entrada	100
XV	Dispersión de Rayleigh para diferentes composiciones de f. o.	110
XVI	Valores típicos en la primera ventana para fibras de sílice	120
XVII	Características de la interface de fibra óptica	129
XVIII	Funciones de los controles del optimux-4E1	131

LISTA DE SÍMBOLOS



Representación de aparato telefónico del abonado.



Representación del cable de cobre o cable coaxial



Representación del cable de fibra óptica



Representación de una red de telefonía

GLOSARIO

Abonado	Se le llama así al suscriptor del sistema telefónico.
Alarma	Indicador de una avería en uno de los elementos de la red telefónica.
Canal	Banda de frecuencia entre cuyos límites se transmite y recibe información.
CCITT	Asociación de compañías operadoras internacionales que genera recomendaciones de funcionalidad para la comunicación. Es una de las siete organizaciones de ITU.
Central PBX	Pequeña central que tiene dependencia de una central mayor.
Central telefónica	Permite realizar las operaciones necesarias para establecer una comunicación, concentrándolas en un solo punto.

Circuito de 2 MB/s	Sistema que mediante técnicas de modulación permite la información analógica en forma digital.
Conmutación	Acto de cambiar de un punto hacia otro, permitiendo al abonado poder conectarse con cualquier otro abonado.
Demanda de tráfico	Tráfico que los abonados de un sistema quieren generar según sus hábitos y necesidades.
Estaciones	Término con el que también se les llama a las centrales telefónicas.
Frecuencia	Número de ondulaciones por segundo de un movimiento vibratorio.
Gestión de red	Administración de la red telefónica.
Gestión de equipo	Administración de las funcionalidades de un equipo
Intervalo de tiempo	Tiempo ocupado por cada pulso en la trama.
ITU	Es la principal organización para el desarrollo de acuerdos globales en el

empleo del espectro radioeléctrico; uno de sus propósitos es armonizar el desarrollo de los recursos de telecomunicación, con vistas a obtener todas las ventajas de sus posibilidades.

Jerarquía

Orden, gradación.

Ley general de telecomunicaciones

Normativo aprobado por el Congreso de la República de Guatemala, cuyo fin es propiciar la expansión de los servicios de telecomunicaciones.

Línea

Conjunto de puntos conectados a un medio de transporte. Conexión del abonado a la central telefónica por un medio de transmisión.

Multiplexación

Acto de empaquetar diferentes señales con el propósito de optimizar el uso del canal de transmisión.

Nodo

Punto de intersección.

Operador

Es un operador cuya red cubre un grupo de abonados telefónicos del país.

PCM	Método para transformar información analógica a digital, basado en tres principios: muestreo, cuantificación y codificación.
Red telefónica	Conjunto de vías de comunicación que tienen como finalidad transferir e intercambiar la información.
Ruido	Cualquier señal parásita distinta a la señal deseada, son varios los factores que pueden provocarla.
SDH	Estándar internacional que tiene como finalidad aportar flexibilidad a las redes de telecomunicaciones.
Señalización	Diferentes señales enviadas entre abonado y central, o entre ésta y otra, para darse indicaciones. Por ejemplo, la señal de marcar, la señal de ocupado, etc.
Software	Conjunto de programas para que la central telefónica lleve a cabo sus tareas.
Telecomunicación	Emisión, transmisión o recepción de

todas las clases de señales, imágenes, sonidos o informaciones por hilo, radioelectricidad, medios ópticos, etc.

Tráfico telefónico

Es la suma de llamadas telefónicas sobre un grupo de circuitos telefónicos durante un período de referencia con respecto al tiempo de ocupación de los mismos.

Trama

Conjunto de pulsos durante un ciclo, recibidos en una línea de transmisión de cada una de las señales participantes.

Ultima milla

Cable de fibra óptica o pares en cobre que enlaza la central con el abonado.

RESUMEN

El Congreso de la República de Guatemala consideró en 1996 contar con un normativo, cuyo fin es propiciar una rápida expansión de los servicios de telecomunicaciones y asegurar la prestación permanente de los mismos, de acuerdo al desarrollo económico y social del país.

El Congreso vio la necesidad de crear un marco legal que contuviera normas de aplicación general, proporcionara un procedimiento para la explotación eficiente del espectro radioeléctrico; así nace la Ley General de Telecomunicaciones y es la Superintendencia de Telecomunicaciones, quien se encarga de velar por el cumplimiento de dicha ley.

En la Ley de Telecomunicaciones se consideran tópicos importantes que facilitan la interconexión de diferentes operadores.

Se ha realizado un diseño hipotético de red de telecomunicaciones con el que se pretende dar la idea de cobertura a todas las regiones de la república de Guatemala. Considerando que todas las centrales son de tecnología digital y que están interconectadas utilizando los enlaces de transmisión de tecnologías PDH y SDH.

Con el diseño hipotético se analiza si hay o no, disponibilidad de circuitos dependiendo de una solicitud de interconexión entre una central A y el abonado B.

Además se proporciona una guía sistematizada para la instalación y el mantenimiento describiendo paso a paso las acciones que el administrador del sistema o el técnico de mantenimiento deben efectuar para minimizar los tiempos de restauración de averías haciendo uso de todas las funcionalidades del sistema y el sistema de alarmas que proporcionan los equipos.

Además de analizar si es o no factible la interconexión, cuantos circuitos se pueden conectar y elegir la central en la que se puede realizar la conexión y brindar el servicio.

Una descripción del costo aproximado por circuito en el mercado de los diferentes operadores

El diseño da la idea del enlace apropiado de acuerdo a las necesidades de interconexión que se tengan.

OBJETIVOS

GENERAL:

Describir cómo funcionan las líneas telefónicas digitales, analizar las diferentes señales que interactúan en la señalización y posteriormente de cómo se transmite la información de la voz, su sistema de digitalización y su sistema de multiplexación.

ESPECÍFICOS:

1. Desarrollar un análisis sistemático del sistema de señalización R2
2. Describir los tipos de voltajes de operación de los equipos Optimux-4E1, las interfaces eléctricas y ópticas que maneja, el tipo de señales que soportan estos equipos, la forma del pulso digital, las medidas de seguridad que deben de adoptarse para el manejo de estos equipos estando con o sin energía, Así como también la utilización de los equipos de medición necesarios para diagnosticar el funcionamiento y la localización de averías. Las señales de alarma que utiliza cada parte del sistema de manera de identificar cuando se trate de una avería crítica y urgente, o cuando se trate de una indicación normal.

INTRODUCCIÓN

Con el proceso de desmonopolización de las telecomunicaciones en Guatemala (Decreto 94-96 del Congreso de la República), han salido al mercado ofreciendo servicio telefónico nuevas empresas de telecomunicaciones, las cuales deben estar interconectadas entre sí para brindar un mejor servicio al usuario.

Se presenta en este tópico una estimación aproximada del costo de un circuito digital con los equipos apropiados para realizar la interconexión entre centrales telefónicas y el abonado.

Se encuentra también, una guía sistematizada que nos brinda paso a paso las acciones a considerar para la implementación y el mantenimiento de estos servicios en general para la administración y control de circuitos entre centrales telefónicas y el abonado. Se analiza si hay o no, disponibilidad de circuitos dependiendo de una solicitud de interconexión entre centrales A y el abonado B, tomando como base las centrales de la red de telefónica nacional.

El asesor de este trabajo con su autor, esperan que sirva de motivación para ahondar en el tema de administración y gestión de circuitos de telecomunicaciones, lo cual es la base fundamental para el buen desenvolvimiento de toda empresa que brinda los servicios de comunicación.

1. GENERALIDADES

1.1 Breve historia de la telefonía en Guatemala

La historia de la telefonía en Guatemala se remonta a la época de la Reforma, cuyo proceso de cambio logró parcialmente, reformar el sistema guatemalteco desde sus más ancestrales estructuras coloniales y su sistema esclavista de explotación, hasta la introducción de nuevas formas de pensamiento, las cuales fueron evolucionando llegando a ser más tarde, parte de la nueva cultura social del guatemalteco.

Primero con el General Miguel García Granados (Médico de profesión) quién bajo la influencia de corrientes europeas proyecta cambios tendientes hacia un trato más justo para los trabajadores. Siendo presidente de la República durante los años 1871-1873, impulsó la aprobación de los principales códigos y otras leyes que se mantuvieron en vigor durante casi un siglo. Estos cambios fueron fundamentales para facilitar el trabajo de su sucesor, el General Justo Rufino Barrios, quien gobernó desde 1873 hasta 1885 siendo llamado apropiadamente "El Reformador", a la vez que fue el impulsor de la unión centroamericana.

Así en, 1881 se realizó oficialmente la primera llamada telefónica entre las ciudades de Antigua y Guatemala. Era la época de la Revolución Industrial. Los avances tecnológicos del momento llegaban a este país. En 1884, el servicio se extendió hacia Quetzaltenango, llegando de la mano con el Ferrocarril de los

Altos. Por lo anterior y por los atisbos de desarrollo, en 1890 se fundo la primera compañía privada de teléfonos de Guatemala.

Con el paso de los años y en vista de que esta Empresa no se desarrollaba al ritmo de empresas similares en otros países del área, hubo de ser intervenida y nacionalizada en 1916, convirtiéndose en la Empresa Nacional de Teléfonos.

En 1926 y por influencia de intereses particulares, se autorizó la operación de la Tropical Radio & Telephone Co., para prestar el servicio internacional de telefonía.

En el año 1927, con la introducción de los primeros teléfonos automáticos, la Empresa Nacional de Teléfonos, se dividió y se establecieron LA DIRECCIÓN GENERAL DE TELÉFONOS NACIONALES y EL PROYECTO TELEFÓNICO NACIONAL, instituciones que prestaban los servicios local y departamental por separado, pero siempre con categoría de estatales.

Ante las deficiencias y la falta de modernización de la empresa privada de servicio internacional (Tropical Radio) y a las diferencias entre los trabajadores de las empresas nacionales, a causa de la desigualdad de prestaciones de que gozaban en cada una de ellas, el Gobierno de Guatemala se vio obligado a fusionar las tres, surgiendo a la vida LA EMPRESA GUATEMALTECA DE TELECOMUNICACIONES "GUATEL", el 25 de enero de 1,966, gozando al momento de su creación, de plena autonomía.

La plena autonomía le fue cercenada mediante el acuerdo gubernativo 14-71 (Ley Orgánica de Guatel) de fecha 16 de abril de 1971, emitido durante el gobierno del General Carlos Manuel Arana Osorio, modificando la Ley

Orgánica de la Empresa, la cual tuvo modificaciones poco significativas hasta nuestros días, hasta la creación de la ley de telecomunicaciones en 1997.

Debido a la politización de la Empresa, la gente llegó a confundir tanto el momento de su creación con el de su pérdida de la Autonomía a tal punto, que el aniversario se celebra cada 16 de abril.

Uno de los primeros y más productivos Departamentos para Guatel, los constituyó el de Larga Distancia. El cual se constituyó con las secciones de Telex y Radiogramas, Larga Distancia Internacional, Larga distancia Nacional, y el de Información Nacional.

Cada uno de ellos, llenaba un cometido diferente, sin embargo faltaba uno que llenara el vacío que existía entre los usuarios que tenían línea telefónica y los que no. De allí surgió el Departamento de Agencias, que fue el que vio mayor desarrollo en cuanto a su expansión, pues en poco tiempo se identificó como el paliativo para la necesidad de comunicación, tanto con el interior de país como así como en el extranjero, para todos aquellos que poseían un teléfono.

Uno a uno, los diferentes departamentos de la república fueron abriéndose paso hacia el desarrollo, por medio de las telecomunicaciones que hasta ese momento empezaron a ser accesibles, gracias a las Agencias de Guatel.

Anteriormente, se contaba con 73 agencias, de las cuales ocho se encontraban en el área metropolitana y el resto en el interior, contando con más de mil trabajadores.

Allí, se prestaban entre otros los servicios de llamadas locales, departamentales e internacionales, telefonogramas, télex, facsímil, consulta, emisión y cobro de los recibos telefónicos, citaciones de mensajero, etc.

Uno de los principales objetivos de esta empresa, estaba encaminado sobre un plan de trabajo que permitiera el equipamiento y la sistematización de las diferentes agencias, de modo que contribuyera a prestar un servicio más rápido y eficiente, y que brindara mayor comodidad para los usuarios.

Las necesidades del país en este momento, no son las mismas que dieron origen a la creación de esta Empresa. Se mantiene, desde luego, la de prestar el servicio de telefonía en toda la República, y su estructura, ha ido creciendo en la medida en que se ha ido instalando mas líneas, especialmente en el departamento de Guatemala.

Ya en 1987 con la instalación de nuevas centrales y ampliación de la red, la empresa empezó a brindar un servicio mas eficiente en las agencias que la han convertido en una empresa mas competente y confiable, a la vez que los ingresos por concepto de pagos telefónicos, se incrementaron en mas del 50%. Desde ese momento y con la planificación del desarrollo hacia el año 2,000, podía fácilmente preverse que un cambio tanto en las actitudes del personal como de las costumbres de los usuarios, estaba a las puertas.

El mundo mantiene un cambio constante en todos sus campos, así vemos que lo cultural, lo científico, la tecnología, etc., tanto como las necesidades del hombre, mantienen una evolución que parece nunca detenerse.

Por qué Guatel se convirtió en TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA? Para comprender bien por que era una empresa estatal, solamente se debe considerar que la misma fue concebida por el Estado de Guatemala, con la finalidad de prestar servicios o producir aquel tipo de bienes que por su naturaleza, el sector privado de esa época jamás podría producir. Esto generalmente sucede con todas aquellas Empresas cuyo costo inicial de inversión es tal, que se convierte en proeza imposible de ejecutar, a menos que posean recursos de gran magnitud.

Empresas nacionales y extranjeras, que se estaban preparando desde ya para el momento en que se abriera la puerta a la libre competencia de acuerdo a lo contemplado en la nueva ley General de Telecomunicaciones la que serviría para regular y garantizar la libre participación y competencia de la iniciativa privada dentro de este campo.

Una razón de suma importancia para el cambio, como presión interna, la constituye la necesidad de reducir los costos de operación.

La empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones GUATEL, cambio de razón social el 1 de septiembre de 1997, con el fin de poder vender las acciones de la misma, y actualmente es una empresa con un gran potencial para competir internacionalmente con otras empresas, ya que posee equipos de alta tecnología y una infraestructura completa.

Con los datos anteriores empezamos la planeación de nuestros objetivos de largo, mediano y corto plazo, pues sí sabemos hacia donde vamos, nos es más fácil establecer la ruta mas corta para llegar.

A la par de la planificación, se integran las Técnicas para la organización y control de los procesos productivos y se efectúa la programación mediante la cual, se espera alcanzar las metas.

Actualmente, la empresa esta brindando el servicio de telefonía celular, situación que hace aún más rentable la empresa, ya que es un servicio sumamente importante, también brinda el servicio de telefonía inalámbrica residencial, y servicios de acceso empresarial que es el interés de este trabajo, con lo que se sabe que se lograra un crecimiento aun mayor y que traerá mas que nada beneficios para la sociedad guatemalteca, con telecomunicaciones eficientes, rápidas y confiables, con sistemas de alta tecnología.

1.2 Generalidades del sistema telefónico en Guatemala

Las comunicaciones en Guatemala son una representación del desarrollo que se ha venido produciendo en este país. Dado que al momento de la apertura del mercado, Guatemala era uno de los países latinoamericanos con menores índices de penetración de servicios de comunicaciones. Una década más tarde, es un país en el que los operadores presentes deben invertir para mantener y promover el desarrollo del mercado, con carteras de clientes cada vez más exigentes; alcanzando 99.7% de penetración del servicio móvil, con una población total estimada en 13,677,815 habitantes (2008).

1.2.1 Sistema de numeración telefónico

La República de Guatemala cuenta con el código de área internacional 502 (lista de prefijos telefónicos), localmente la numeración de 8 dígitos desde el 18 de septiembre de 2004, es en realidad una división de los números en áreas de 7 dígitos cada una, con el número de área integrado en cada marcación.

Tabla I. Distribución de prefijos telefónicos

Región	Area + Teléfono
Ciudad de Guatemala	2 + 7 dígitos locales (2-1234567)
Zona Metropolitana	6 + 7 dígitos locales (6-1234567)
Resto del país	7 + 7 dígitos locales (7-1234567)
Redes móviles	4 + 7 dígitos locales (4-1234567)
Redes móviles	5 + 7 dígitos locales (5-1234567)

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaciones_en_Guatemala

El discado es directo, de 8 dígitos. El código de salida internacional de Guatemala es 00, comúnmente acompañado de algún prefijo de operador de larga distancia como: 130 (Telefónica/movistar), 147 (Telgua/Claro), 139 (TIGO), 143 (Americatel), 131 Guatel, entre otros.

1.2.2 Telefonía fija

Hasta 1997, el mercado de telefonía fija en Guatemala era dominado por un único operador estatal; conocido como Guatel, únicamente logró instalar 240,000 líneas en el período 1974-1997. Como parte del proceso de privatización de empresas públicas, el 80% de los clientes de Guatel, paso en 1997 a manos de Telecomunicaciones de Guatemala (Telgua). La empresa aún opera ofreciendo básicamente servicios al Estado y en determinadas áreas del país.

En 1997, con la apertura total del mercado de telecomunicaciones; se dio el ingreso de al menos 20 operadores en los años siguientes, operadores que se han reducido por fusiones, integraciones, compras, y ventas por parte de algunos operadores, siendo los más importantes con servicios comerciales:

Telecomunicaciones de Guatemala (TELGUA), pertenece al operador internacional América Móvil con sede en México; siendo actualmente el mayor operador de telecomunicaciones fijas del país con más de 800 mil clientes.

Telefónica de Guatemala, perteneciente al operador internacional Telefónica con sede en España; es actualmente el segundo mayor operador de telecomunicaciones fijas del país con poco más de 200 mil clientes.

Cablenet, es el tercer mayor operador de telefonía fija en el país, sobrepasando los 100 mil clientes activos.

Comunicaciones Celulares, más conocido bajo su marca de servicios móviles TIGO, es el cuarto operador en usuarios de telefonía fija, superando los 60 mil clientes activos.

Otros operadores en el mercado son:

Americatel parte de Entel de Chile

Unitel Guatemala

A-Tel Guatemala

Cybernet Guatemala

Telenorsa Guatemala

Ruralsat Guatemala

Guatel (Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones) de propiedad estatal.

BNA Guatemala

Optel Guatemala

Al 30 de junio de 2006, el mercado de telefonía fija de Guatemala alcanzaba 1,209,354 líneas instaladas, cantidad que ha sido superada alcanzando 1,436,750 líneas instaladas al 30 de junio de 2008.

1.2.3 Telefonía móvil

En 1989, se dio por iniciado el mercado de telefonía móvil en Guatemala; con la concesión de la *banda B en 800 MHz*, Comunicaciones Celulares (COMCEL/Tigo) inició operaciones en la Ciudad de Guatemala, extendiéndolas en los próximos años a varias ciudades importantes del país.

En 1997, con la apertura del mercado de telecomunicaciones y la subasta de espacio en la frecuencia de *1900 MHz*, se dio el ingreso de varios operadores internacionales. En 1998, Telecomunicaciones de Guatemala de América Móvil y Telefónica de Guatemala de Telefónica, se adjudicaron licencias en la frecuencia *1900*; iniciando operaciones en 1999 bajo las marcas PCS Digital y Telefónica MoviStar, respectivamente. En el mismo año, Tigo (en ese entonces COMCEL) lanzó el primer servicio prepago del país, cobrando llamadas salientes y entrantes.

En 1999, Bellsouth Internacional se adjudicó la cuarta licencia para servicios móviles nacionales; iniciando operaciones en 2000. En 2003, el operador salvadoreño Digicel (hoy parte de Digicel Group) se adjudicó la quinta licencia de servicios móviles en la frecuencia *900 MHz*, el operador no ha iniciado operaciones. En el mismo año se adjudicó una sexta licencia de

servicios móviles en la frecuencia de 800 MHz a una empresa local sin que esta haya iniciado operaciones.

En 2004, con la adquisición de 10 operaciones de *Bellsouth Internacional* por parte de *Telefónica Internacional*, *Bellsouth Guatemala* pasó a manos de *Telefónica de Guatemala*, siendo conocidas desde marzo de 2005 con la marca conjunta *MoviStar*. En septiembre de 2006, *PCS Digital* cambio su nombre a *Claro* como parte de un proceso de integración de marcas en Centroamérica, emprendido por su matriz *América Móvil*.

En 2007, la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) registro un incremento de 4.7 millones de nuevos usuarios, lo cual indica que 9 de cada 10 guatemaltecos poseen un celular.

Tabla II. Operadores Móviles de Guatemala

Operador	Marca	Usuarios	Código GSM	Tecnología y Frecuencias	Web
América Móvil	Claro	5,406,432 (Fuente SIT, junio)	704-01	CDMA 1X EV-DO REV 0 1900 MHz, GSM/GPRS/EDGE 900/1900 MHz y	www.claro.com.gt

		20088)		UMTS/HSPA 1900 MHz (abril/septiembre 2008)	
Millicom	Tigo	4,678,545 (Fuente SIT, junio 2008)	704-02	AMPS/TDMA 850 MHz, GSM/GPRS/EDGE 850 MHz y UMTS/HSDPA 850 MHz (agosto 2008)	www.tigo.com.gt
Telefónica	MoviStar	3,550,361 (Fuente SIT, junio 2008)	704-03	CDMA One 1900, CDMA 1X EV-DO REV A 1900 MHz, GSM/GPRS/EDGE 1900 MHz y UMTS/HSPA 1900 MHz (Planeado 1er semestre 2009)	www.movistar.com.gt
Digicel Group	Digicel	0	704-??	GSM/GPRS/EDGE 900 MHz (comercial marzo 2009, instalado)	www.digicelgroup.com

Intelfon	Red	0 (Solo roaming)	704-??	iDEN/CDMA 1X EV-DO REV A 800 MHz (comercial en construcción)	www.red.com.gt
----------	-----	------------------	--------	--	----------------

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaciones_en_Guatemala

Tabla III. Servicios de las Empresas de Telefonía Móvil

Marca	Servicios
Claro	<p>Posee amplia cobertura en <i>CDMA 1900</i> y <i>GSM 1900</i>, cuenta con servicios de internet por medio de <i>CDMA 1X</i> (únicamente en algunas áreas de la Ciudad de Guatemala) y <i>GSM/GPRS/EDGE</i>. Ofrece los servicios de SMS en ambas redes, MMS, WAP y descargas de contenidos en su red GSM. Ofrece el servicio de Roaming automático para todos sus clientes GSM en El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica, y otros destinos únicamente para sus clientes postpago GSM, la opción suscrita es únicamente para sus clientes postpago CDMA. Claro ofrece servicio <i>GSM 900</i> a nivel nacional, iniciado como un método de ampliación y refuerzo de cobertura en zonas aún no cubiertas o de servicio deficiente, hoy cubre la totalidad del territorio en el que el operador ofrecer servicios. Claro Guatemala, lanzó comercialmente servicios con tecnología <i>UMTS/HSDPA</i> el 14 de abril de 2008, con cobertura en la Ciudad de Guatemala y Antigua Guatemala, ofreciendo servicios de videollamada y banda ancha móvil para usuarios prepago y postpago, con un límite de velocidad de</p>

	<p>1.5Mbps, el operador ha continuado desplegando infraestructura en esta tecnología, cubriendo 45 principales ciudades, incluyendo todas las cabeceras departamentales, ofreciendo hasta 3.6Mbps en descarga en puntos en los que ha actualizado la red a <i>UMTS/HSPA</i>(3.7G, en Ciudad de Guatemala y municipios cercanos), siendo la primera actualización de este tipo realizada por América Móvil.</p> <p>Claro ofrece servicios de llamadas cobradas por minuto, por segundo, por llamada (de 20 minutos) o por centavo; a elección del cliente en el formato prepago y postpago.</p>
Tigo	<p>Es el primer operador en ofrecer servicios móviles. Posee una amplia cobertura en <i>AMPS/TDMA</i> 800, <i>GSM/GPRS/EDGE</i> 850 y recientemente <i>UMTS/HSDPA</i> 850, <i>AMPS/TDMA</i> se encuentra en procesos de desactivación, mientras ofrece servicios de Internet por medio de <i>GSM/GPRS/EDGE</i> y <i>UMTS/HSDPA</i> (3.5G). Ofrece servicios de SMS, MMS, WAP y descarga de contenidos por medio de sus red <i>GSM/UMTS</i>. Ofrece servicios de Roaming automático para todos sus clientes <i>GSM</i> en El Salvador, Honduras, Colombia, Bolivia y Paraguay, y suscrito para sus clientes <i>GSM/UMTS</i> y <i>TDMA</i> en algunos destinos. Es el operador con mayor cobertura nacional. Anuncio el lanzamiento de servicios <i>UMTS/HSDPA</i> el 28 de agosto de 2008, con un límite inicial de velocidad de 3.6Mbps (reales), con el que ofrece servicios de videollamada, banda ancha móvil y TV Móvil, ofreciendo cobertura inicialmente en 65 principales ciudades, alcanzando poco más de 100 en los siguientes meses.</p> <p>Tigo realiza cobros por llamadas en base a cobros por segundo, no ofrece opciones de llamadas por minuto o por llamada.</p>

MoviStar	<p>Es el menor operador nacional por número de usuarios, cuenta con cobertura reducida en sus redes CDMA One (en proceso de desactivación) y CDMA 1X EV-DO REV A (en proceso de desactivación en servicios de voz), su red GSM/GPRS/EDGE se encuentra en continuo estado de expansión. Ofrece servicios de Internet por medio de CDMA 1x, CDMA 1x EV-DO y GSM/GPRS/EDGE. Ofrece servicios de SMS en sus tres redes, servicios de descarga de contenidos y MMS para usuarios GSM, servicios WAP exclusivos para clientes postpago en determinados planes y en prepago para clientes GSM. Ofrece servicios de Roaming suscrito a sus clientes postpago GSM y CDMA (ambas redes), tanto como servicios de roaming automático únicamente para sus clientes prepago GSM en movistar de México, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina, Uruguay, Brasil, Venezuela y por medio de T-Mobile USA en Estados Unidos. Anuncio el lanzamiento de servicios UMTS/HSPA (3.7G) para el primer semestre de 2009.</p> <p>MoviStar ofrece servicios de llamadas cobradas por minuto y por llamada, y en una combinación de ambas, ofreciendo para ello variedad de planes prepago y postpago, a tarifas variables decididas por el usuario en base al horario o actividad que se adapte a las necesidades del usuario, ofrece paquetes de llamadas a clientes postpagos en los que incluye dependiendo del plan cierta cantidad de sms o minutos adicionales gratis.</p>
Digicel	<p>Posee una licencia de operación en la frecuencia de <i>900 MHz</i> para tecnología GSM, el operador no ha iniciado operaciones comerciales. Se espera su ingreso en el cuarto trimestre de 2008 o en el primero de 2009 con cobertura reducida a las principales áreas del territorio.</p>

	El operador cuenta con infraestructura instalada en varias áreas del país.
Red	Posee una licencia de operación en la frecuencia de <i>800 MHz</i> , el operador ha lanzado servicios de roaming sobre su red iDEN, para usuarios de Intelfon/Red El Salvador, con cobertura reducida a Ciudad de Guatemala, aún no ha iniciado operaciones comerciales para clientes locales. Se espera su ingreso oficial en 2008 con cobertura reducida a las principales áreas del territorio. En su operación en El Salvador, es el operador más pequeño, operando con frecuencias y tecnologías similares a las esperadas en Guatemala.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaciones_en_Guatemala

El 8 de septiembre de 2006, por primera vez en la historia de Guatemala, 7 de cada 10 usuarios (3,714,900 usuarios) apagó su teléfono móvil como forma de protesta ante el intento de los operadores de realizar cobros por servicios hasta el momento gratuitos, y la eliminación de promociones aplicadas por los 3 operadores; tales como: eliminación de promociones de duplicación de saldos en prepagos, y el cobro de llamadas entrantes.

Los clientes de telefonía móvil han pasado de poco más de 50,000 en 1997 a más de 9,222,748 en junio 2007, gracias en mayor parte a los servicios prepago inexistentes hasta 1998. En enero de 2007. MoviStar es el primer operador en minutos salientes gratis al acumular una cantidad específica de minutos entrantes. El 6 de febrero, Tigo anuncia el inicio de facturación por segundo, siendo el primero operador en dejar de lado el usual cobro por minuto.

Siendo el mayor precio de US\$ 0.003 para prepagos y reduciéndose hasta US\$ 0.0006 en algunas opciones por contrato.

Se espera que en 2009 la cantidad de servicios móviles activos sobrepase al 100% de la población, aunque la penetración real del servicio es menor, dada la tendencia a la utilización de más de un operador por parte de los usuarios, como medida a la falta de cobertura en áreas del interior del país, o en interiores en el caso de áreas urbanas.

1.2.4 Telefonía comunitaria y pública

Los *Teléfonos Comunitarios* son ofrecidos por operadores de telefonía móvil y fija, alcanzando 12,657 al 30 de junio del 2006.

Los *Teléfonos Públicos*, utilizables con sistemas monederos, de tarjetas digitales prepagadas y tarjetas por códigos prepagados; son ofrecidos por los principales operadores y alcanzan los 53,220 al 30 de junio del 2008.

- **Sistema telefónico:** red moderna centrada en Ciudad Guatemala.
 - *Doméstico:* Información no disponible.
 - *Internacional:* Conectado al Sistema de Microondas Centroamericano; estación satélite tierra - 1 Intelsat (Océano Atlántico).

2. TEORÍA BÁSICA

2.1 Concepto general de un sistema digital

Para poder definir un sistema digital es necesario hablar también de un sistema analógico

2.1.1 Sistema analógico y sistema digital

Los circuitos electrónicos se pueden dividir en dos amplias categorías: digitales y analógicos. La electrónica digital utiliza magnitudes con valores discretos, mientras que la electrónica analógica emplea magnitudes con valores continuos.

Un sistema digital es cualquier dispositivo destinado a la generación, transmisión, procesamiento o almacenamiento de señales digitales. También un sistema digital es una combinación de dispositivos diseñado para manipular cantidades físicas o información que estén representadas en forma digital; es decir, que sólo puedan tomar valores discretos.

La mayoría de las veces estos dispositivos son electrónicos, pero también pueden ser mecánicos, magnéticos o neumáticos.

Para el análisis y la síntesis de sistemas digitales binarios se utiliza como herramienta el álgebra de Boole.

Los sistemas digitales pueden ser de dos tipos:

Sistemas digitales combinacionales: Son aquellos en los que la salida del sistema sólo depende de la entrada presente. Por lo tanto, no necesita módulos de memoria, ya que la salida no depende de entradas previas.

Sistemas digitales secuenciales: La salida depende de la entrada actual y de las entradas anteriores. Esta clase de sistemas necesitan elementos de memoria que recojan la información de la 'historia pasada' del sistema.

Para la implementación de los circuitos digitales, se utilizan puertas lógicas (AND, OR y NOT) y transistores. Estas puertas siguen el comportamiento de algunas funciones booleanas.

Se dice que un sistema es analógico cuando las magnitudes de la señal se representan mediante variables continuas, esto es *análogas* a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal. Un sistema analógico contiene dispositivos que manipulan cantidades físicas representadas en forma analógica

2.1.2 Señal analógica

Una señal analógica es un voltaje o corriente que varía suave y continuamente. Una onda senoidal es una señal analógica de una sola frecuencia. Los voltajes de la voz y del video son señales analógicas que varían de acuerdo con el sonido o variaciones de la luz que corresponden a la información que se está transmitiendo.

2.1.3 Señal digital

Las señales digitales, en contraste con las señales analógicas, no varían en forma continua, sino que cambian en pasos o en incrementos discretos. La

mayoría de las señales digitales utilizan códigos binarios o de dos estados.

2.1.4 Ventajas de los circuitos digitales

La revolución electrónica ha estado vigente bastante tiempo; la revolución del "estado sólido" comenzó con dispositivos analógicos y aplicaciones como los transistores y los radios transistorizados. Cabe preguntarse ¿por qué ha surgido ahora una revolución *digital*?

De hecho, existen muchas razones para dar preferencia a los circuitos digitales sobre los circuitos analógicos:

Resultados fácilmente reproducibles. Dado el mismo conjunto de entradas (tanto en valor como en serie de tiempo), cualquier circuito digital que hubiera sido diseñado en la forma adecuada, siempre producirá exactamente los mismos resultados. Las salidas de un circuito analógico varían con la temperatura, el voltaje de la fuente de alimentación, la antigüedad de los componentes y otros factores.

Facilidad de diseño. El diseño digital es lógico. No se necesitan habilidades matemáticas especiales, y el comportamiento de los pequeños circuitos lógicos puede visualizarse mentalmente sin tener alguna idea especial acerca del funcionamiento de capacitores, transistores u otros dispositivos que requieren del cálculo para modelarse.

Flexibilidad y funcionalidad. Una vez que un problema se ha reducido a su forma digital, podrá resolverse utilizando un conjunto de pasos lógicos en el espacio y el tiempo.

Por ejemplo, se puede diseñar un circuito digital que mezcle o codifique su voz grabada de manera que sea absolutamente indescifrable para cualquiera que no tenga su "clave" (contraseña), pero ésta podrá ser escuchada virtualmente sin distorsión por cualquier persona que posea la clave. Intente hacer lo mismo con un circuito analógico.

Facilidad de programación. El mundo actual ya está familiarizado con las computadoras digitales y la facilidad con la que se puede diseñar, escribir y depurar programas para las mismas. Una gran parte del diseño digital se lleva a cabo en la actualidad al escribir programas, también en los *lenguajes (HDLs, por sus siglas en inglés), lenguaje de descripción de Hardware.*

Estos lenguajes permiten especificar o modelar tanto la estructura como la función de un circuito digital. Además de incluir un compilador, un HDL típico también tiene programas de simulación y síntesis. Estas herramientas de programación (software) se utilizan para verificar el comportamiento del modelo de hardware antes que sea construido, para posteriormente realizar la síntesis del modelo en un circuito, aplicando una tecnología de componente en particular.

Velocidad. Los dispositivos digitales de la actualidad son muy veloces. Los transistores individuales en los circuitos integrados más rápidos pueden conmutarse en menos de 10 picosegundos, un dispositivo completo y complejo construido a partir de estos transistores puede examinar sus entradas y producir una salida en menos de 2 nanosegundos. Esto significa que un dispositivo de esta naturaleza puede producir 500 millones o más resultados por segundo.

Economía. Los circuitos digitales pueden proporcionar mucha funcionalidad en un espacio pequeño. Los circuitos que se emplean de manera

repetitiva pueden "integrarse" en un solo "chip" y fabricarse en masa a un costo muy bajo, haciendo posible la fabricación de productos desechables como son las calculadoras, relojes digitales y tarjetas musicales de felicitación.

Avance tecnológico constante. Cuando se diseña un sistema digital, casi siempre se sabe que habrá una tecnología más rápida, más económica o en todo caso, una tecnología superior para el mismo caso en poco tiempo.

Los diseñadores inteligentes pueden adaptar estos avances futuros durante el diseño inicial de un sistema, para anticiparse a la obsolescencia del sistema y para ofrecer un valor agregado a los consumidores. Por ejemplo, las computadoras portátiles a menudo tienen ranuras de expansión para adaptar procesadores más rápidos o memorias más grandes que las que se encuentran disponibles en el momento de su presentación en el mercado.

2.1.5 Ventajas del procesado digital de señales frente al analógico

Existen muchas razones por las que el procesado digital de una señal analógica puede ser preferible al procesado de la señal directamente en el dominio analógico. Primero, un sistema digital programable permite flexibilidad a la hora de reconfigurar las operaciones de procesado digital de señales sin más que cambiar el programa. La reconfiguración de un sistema analógico implica habitualmente el rediseño del hardware, seguido de la comprobación y verificación para ver que opera correctamente.

También desempeña un papel importante al elegir el formato del procesador de señales la consideración de la precisión. Las tolerancias en los componentes de los circuitos analógicos hacen que para el diseñador del sistema sea extremadamente difícil controlar la precisión de un sistema de

procesado analógico de señales.

En cambio, un sistema digital permite un mejor control de los requisitos de precisión. Tales requisitos, a su vez, resultan en la especificación de requisitos en la precisión del conversor A/D y del procesador digital de señales, en términos de longitud de palabra, aritmética de coma flotante frente a coma fija y factores similares.

Las señales digitales se almacenan fácilmente en soporte magnético (cinta o disco) sin deterioro o pérdida en la fidelidad de la señal, aparte de la introducida en la conversión A/D. Como consecuencia, las señales se hacen transportables y pueden procesarse en tiempo no real en un laboratorio remoto.

El método de procesado digital de señales también posibilita la implementación de algoritmos de procesado de señal más sofisticados. Generalmente es muy difícil realizar operaciones matemáticas precisas sobre señales en formato analógico, pero esas mismas operaciones pueden efectuarse de modo rutinario sobre un ordenador digital utilizando software.

En algunos casos, la implementación digital del sistema de procesado de señales es más barato que su equivalente analógica. El menor coste se debe a que el hardware digital es más barato o, quizás, es resultado de la flexibilidad ante modificaciones que permite la implementación digital.

Como consecuencia de estas ventajas, el procesado digital de señales se ha aplicado a sistemas prácticos que cubren un amplio rango de disciplinas. Citamos, por ejemplo, la aplicación de técnicas de procesado digital de señales al procesado de voz y transmisión de señales en canales telefónicos, en procesado y transmisión de imágenes, en sismología y geofísica, en

prospección petrolífera, en la detección de explosiones nucleares, en el procesado de señales recibidas del espacio exterior, y en una enorme variedad de aplicaciones.

Sin embargo, como ya se ha indicado, la implementación digital tiene sus limitaciones. Una limitación práctica es la velocidad de operación de los conversores A/D y de los procesadores digitales de señales. Veremos que las señales con anchos de banda extremadamente grandes precisan conversores A/D con una velocidad de muestreo alta y procesadores digitales de señales rápidos.

2.1.6 Ejemplos de aquellos sistemas analógicos que ahora se han vuelto digitales.

Fotografías. El incremento en la densidad de los microcircuitos o "chips" de memoria digital ha permitido el desarrollo de cámaras digitales que graban una imagen como una matriz de 640 x 480, o incluso arreglos más extensos de píxeles donde cada píxel almacena las intensidades de sus componentes de color rojo, verde y azul de 8 bits cada uno.

Esta gran cantidad de datos, alrededor de siete millones de bits puede ser procesada y comprimida en un formato denominado JPEG y reducirse a un tamaño tan pequeño como el equivalente al 5% del tamaño original de almacenamiento dependiendo de la cantidad de detalle de la imagen. De este modo las cámaras digitales dependen tanto del almacenamiento como del procesamiento digital.

Grabaciones de video. Un disco versátil digital de múltiples usos (DVD por las siglas de *digital versatile disc*) almacena video en un formato digital

altamente comprimido denominado MPEG-2. Este estándar codifica una pequeña fracción de los cuadros individuales de video en un formato comprimido semejante al JPEG y codifica cada uno de los otros cuadros como la diferencia entre éste y el anterior.

La capacidad de un DVD de una sola capa y un solo lado es de aproximadamente 35 mil millones de bits suficiente para grabar casi 2 horas de video de alta calidad y un disco de doble capa y doble lado tiene cuatro veces esta capacidad.

Grabaciones de audio. Alguna vez se fabricaron exclusivamente mediante la impresión de formas de onda analógicas sobre cinta magnética o un acetato (LP), las grabaciones de audio utilizan en la actualidad de manera ordinaria discos compactos digitales (CD. *Compact Discs*). Un CD almacena la música como una serie de números de 16 bits que corresponden a muestras de la forma de onda analógica original se realiza una muestra por canal estereofónico cada 22.7 microsegundos. Una grabación en CD a toda su capacidad (73 minutos) contiene hasta seis mil millones de bits de información.

Carburadores de automóviles. Alguna vez controlados estrictamente por conexiones mecánicas (incluyendo dispositivos mecánicos "analógicos" inteligentes que monitorean la temperatura, presión. etc.), en la actualidad los motores de los automóviles están controlados por microprocesadores integrados.

Diversos sensores electrónicos y electromecánicos convierten las condiciones de la máquina en números que el microprocesador puede examinar para determinar cómo controlar el flujo de gasolina y oxígeno hacia el motor. La salida del microprocesador es una serie de números variante en el tiempo que

activa a transductores electromecánicos que a su vez controlan la máquina.

El sistema telefónico. Comenzó hace un siglo con micrófonos y receptores analógicos que se conectaban en los extremos de un par de alambres de cobre Incluso en la actualidad en la mayor parte de los hogares todavía se emplean teléfonos analógicos los cuales transmiten señales analógicas hacia la oficina central (CO) de la compañía telefónica. No obstante, en la mayoría de las oficinas centrales estas señales analógicas se convierten a un formato digital antes que sean enviadas a sus destinos, ya sea que se encuentren en la misma oficina central o en cualquier punto del planeta.

Durante muchos años los sistemas telefónicos de conmutación privados (PBX. private branch exchanges) que se utilizan en los negocios han transportado el formato digital todo el camino hacia los escritorios. En la actualidad muchos negocios, oficinas centrales y los proveedores tradicionales de servicios telefónicos están cambiando a sistemas integrados que combinan la voz digital con el tráfico digital de datos sobre una sola red de Protocolo de Internet IP (por las siglas en inglés de Protocolo de Internet).

Semáforos. Para controlar los semáforos se utilizaban temporizadores electromecánicos que habilitaban la luz verde para cada una de las direcciones de circulación durante un intervalo predeterminado de tiempo. Posteriormente se utilizaron relevadores en módulos controladores que podían activar los semáforos de acuerdo con el patrón del tráfico detectado mediante sensores que se incrustan en el pavimento. Los controladores de hoy en día hacen uso de microprocesadores y pueden controlar los semáforos de modo que maximicen el flujo vehicular.

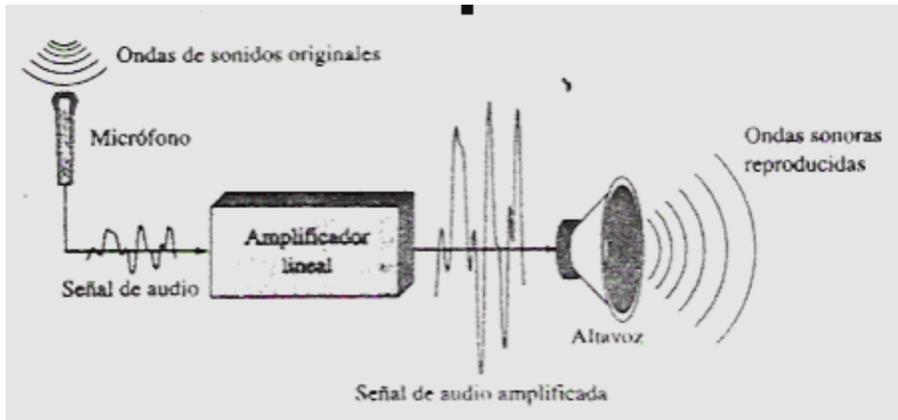
Efectos cinematográficos. Los efectos especiales creados exclusivamente para ser utilizados con modelos miniaturizados de arcilla, escenas de acción, trucos de fotografía y numerosos traslapes de película cuadro por cuadro.

2.1.7 Ejemplo de un sistema electrónico analógico

Un ejemplo de sistema electrónico analógico es el altavoz, que se emplea para amplificar el sonido de forma que éste sea oído por una gran audiencia. Las ondas de sonido que son analógicas en su origen, son capturadas por un micrófono y convertidas en una pequeña variación analógica de tensión denominada señal de audio. Esta tensión varía de manera continua a medida que cambia el volumen y la frecuencia del sonido y se aplica a la entrada de un amplificador lineal.

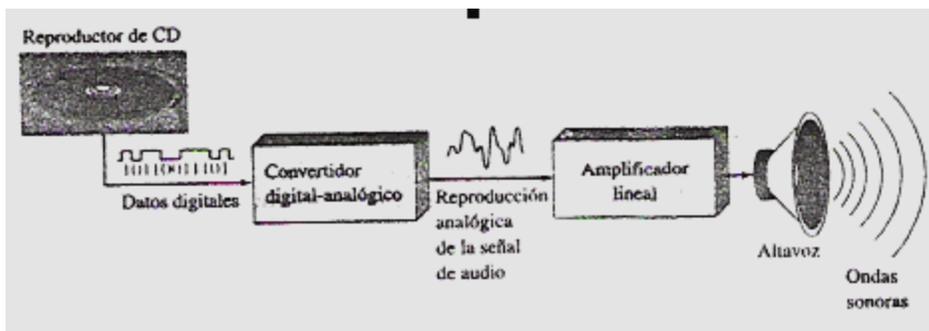
La salida del amplificador, que es la tensión de entrada amplificada, se introduce en el altavoz. Éste convierte, de nuevo, la señal de audio amplificada en ondas sonoras con un volumen mucho mayor que el sonido original captado por el micrófono.

Figura 1. Ejemplo de una señal amplificada



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos27/analogico-y-digital/analogico-y-digital.shtml>

Figura 2. Ejemplo de un sistema que utiliza métodos digitales y analógicos



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos27/analogico-y-digital/analogico-y-digital.shtml>

Existen sistemas que utilizan métodos digitales y analógicos, uno de ellos es el reproductor de disco compacto (CD). La música en forma digital se almacena en el CD. Un sistema óptico de diodos láser lee los datos digitales del disco cuando éste gira y los transfiere al convertidor digital-analógico (DAC, digital-to-analog converter). El DAC transforma los datos digitales en una señal analógica que es la reproducción eléctrica de la música original. Esta señal se amplifica y se envía al altavoz. Cuando la música se grabó en el CD se utilizó un proceso que, esencialmente, era el inverso al descrito, y que utiliza un convertidor analógico digital (ADC, analog-to-digital converter).

2.2 Sistema de muestreo

Ha habido un constante desarrollo de las redes de telefonía, y han pasado de ser redes 100% análogas a ser semidigitalizadas. El primer paso fue digitalizar las redes entre conmutadores locales en áreas urbanas. Después los conmutadores analógicos fueron reemplazados por conmutadores digitales. Posteriormente la transmisión digital se acercó más hacia los suscriptores con la ayuda de los transmisores digitales. El último paso fue la digitalización total de la red con conexiones digitales de teléfono a teléfono.

Usando el principio del PCM, los sistemas de transmisión PCM son construidos de un transmisor, una línea de transmisión y un receptor. Para realizar una conexión dúplex cada sistema PCM requiere de un transmisor/receptor en cada terminal y una línea de transmisión entre ellos.

La señal analógica de entrada pasa a través de tres pasos para convertirse en una señal digital que pueda ser conmutada. Estos pasos son el muestreo, cuantificación y codificación.

2.2.1 Muestreo

La voz es convertida a una señal eléctrica analógica por el micrófono. Muestrear significa tomar pequeñas muestras de la señal analógica en intervalos de tiempo regulares. El teorema de muestreo establece que toda la información de la señal original estará presente en la señal creada por las muestras, siempre y cuando la señal original tenga un ancho de banda limitado, es decir, que no contenga algún componente con frecuencia superior a un valor dado y que la frecuencia de muestreo sea mayor que el doble de la frecuencia de la señal original. Esto es conocido como el Teorema de Muestreo y se representa matemáticamente de la siguiente manera: $f_S > 2B$. El rango de frecuencias usado para telefonía es de 300Hz a 3400Hz. La señal de voz se pasa a través de un filtro pasabajos para limitarla a este rango de frecuencias antes de ser muestreada. En telefonía se utiliza una tasa de muestreo de 8000 veces por segundo. Esta tasa es un poco mayor que el doble de la frecuencia más alta del rango para señal analógica.

2.3 Sistema de cuantificación

2.3.1 Cuantificación

Significa que la amplitud de las señales son ajustadas a un número finito de valores de amplitud. El propósito de la cuantificación es restringir el número de niveles de señal a un rango específico, esto es necesario para permitir la numeración digital de todos los niveles. Cuantificación también significa que podemos comprometer la precisión, es decir, el número de valores no representa la totalidad de la señal de voz, pero al mismo tiempo conseguimos un número limitado de valores numéricos para transmitir.

El rango de amplitud se divide en subintervalos. Estos subintervalos son llamados intervalos de cuantificación.

El nivel en el centro del intervalo de cuantificación es llamado nivel de cuantificación.

Las líneas que dividen los intervalos de cuantificación se llaman niveles de decisión.

A las muestras que caen dentro de un intervalo de cuantificación se les asigna el mismo valor. Este proceso es conocido como cuantificación de la muestra. Este ajuste de las muestras causa un error irreversible llamado distorsión de cuantificación. Si los intervalos de cuantificación son del mismo tamaño exactamente, entonces la cantidad de distorsión de cuantificación será el mismo sin importar la amplitud de la señal. Es por esto que la distorsión de la cuantificación será relativamente más grande para una señal de voz débil que para una fuerte. Si vemos la distorsión en relación a la amplitud, entonces podemos ver las cosas de una manera distinta; es importante para la ordenabilidad que la distorsión sea menor en relación a la intensidad del sonido. Una voz débil, la cual es de poca intensidad, será altamente distorsionada cuando se utilice cuantificación lineal.; lo que importa es que la distorsión sea pequeña en relación a la señal. Obviamente el error de cuantificación no debería ser independiente de la amplitud de la muestra, pero debería estar relacionada con ésta, de manera que pequeñas muestras deberían estar sujetas a pequeños errores de cuantificación, y grandes muestras deberían estar sujetas a errores de cuantificación mayores; entonces el problema es encontrar una solución óptima entre la calidad de transmisión y el número de intervalos de cuantificación. Para reducir la distorsión de cuantificación de

señales con distinta intensidad, se desarrolló un método llamado cuantificación no lineal. La cuantificación no lineal significa que los intervalos de cuantificación se incrementan con la amplitud. Con una ley aproximadamente logarítmica gobernando el incremento y el tamaño de los intervalos de cuantificación, es posible obtener una proporción aproximadamente constante de señal a distorsión de cuantificación a través de un amplio rango de volumen de voz. Al mismo tiempo empleamos más niveles inferiores que los que se requerirían con intervalos de cuantificación uniformes. Un modelo de cuantificación no lineal, llamado A-law, utiliza una escala logarítmica. Otro modelo similar basado en el mismo principio es llamado μ -law.

2.4 Sistema de codificación

2.4.1 Codificación

Las muestras cuantificadas son codificadas en un código adecuado. Se utiliza el código binario, lo cual da resultado a un tren de pulsos binarios. En la base numérica binaria los dígitos sólo pueden tomar el valor 1 ó 0. La posición del dígito en la palabra acarrea la significancia y cada dígito adicional acarrea el doble del peso del anterior. En telefonía, el número de intervalos de cuantificación es 256, lo que significa que el largo de la palabra del código binario es de 8 bits. Todas las muestras cuantificadas son codificadas en una palabra binaria. Cada uno de los 256 niveles puede ser representado por un código de 8 bits. Cada código de 8 bits, conocido como palabra PCM, representa una muestra.

2.5 Modulación

Hace posible mantener transmisiones de alta calidad casi

independientemente de la distancia.

La Modulación de código de pulso se forma de varios pasos, formando mayores velocidades. Una jerarquía de valores de capacidad es conocida como multiplexación de jerarquía. La velocidad o tasa de transferencia para el sistema europeo de 30/32 canales es de 64 kbits/s que multiplicado por 32 resulta en 2048 kbits/s. El multiplexaje europeo de primer orden tiene 30 canales de voz. Una cuestión importante es que los bits ya no están ordenados en palabras PCM sino que se multiplexan a bit, también conocido como bit-interleaving.

2.6 Multiplexación

La Multiplexación permite incrementar la capacidad que se tiene con los pares de cables usados para canales únicos de telefonía, lo que implica ahorro en costos.

Se pueden transmitir voz, datos e imágenes, lo cual permite una integración de servicios.

Varias señales en forma de pulsos pueden usar una ruta de transmisión común, si las señales tienen distintas fases; esto es llamado Multiplexaje por División de Tiempo TDM.

TDM significa la división de la línea de tiempo en intervalos consecutivos de tiempo. Un intervalo de tiempo recurrente periódicamente es asignado a cada canal. El intervalo de tiempo que ocupa cada palabra PCM de los distintos canales es llamado un slot de tiempo. Un conjunto de palabras PCM de cada canal es llamado frame o trama.

Un sistema PCM que tiene 32 canales; 30 canales de voz, 1 de sincronización y 1 de señalización. Las palabras PCM de los 32 canales son almacenados en un búfer. Entonces es leída una palabra de 8 bits en un momento, los bits son comprimidos a $1/32$ de su tamaño original antes de que la palabra PCM sea enviada a través de la línea común. Debemos distinguir entre el equipo multiplexador PCM conocido como la terminal PCM y la línea de transmisión PCM. El equipo de multiplexaje convierte un número de señales analógicas (30 ó 24) a señales digitales en el lado de transmisión y se encarga de las funciones contrarias en el lado de la recepción. La línea de transmisión transporta las señales digitales entre las unidades de equipo de multiplexaje. Es importante recordar que la capacidad del sistema PCM de primer orden se refiere únicamente a una sola dirección. Existen 32 slots de tiempo en una trama o frame. Cada slot de tiempo consiste de 8 bits. Los slots se numeran de TS0 a TS31.

El TS0 es usado para la alineación de trama o frame y contiene información que ayuda al receptor del frame a saber en donde comienza la trama o frame, por lo tanto una palabra de alineamiento comienza cada trama o frame. Cuando la palabra de alineamiento alcanza la unidad receptora, esta conoce que las palabras PCM que le siguen pertenecen a una nueva trama o frame. TS16 es usado para señalización. El largo de la trama o frame PCM es de $125 \mu\text{s}$ que es la $1/8000$ ava de un Hz. El slot de tiempo es la más pequeña parte en la trama o frame PCM, contiene 8 bits y tiene una duración de $3.9 \mu\text{s}$.

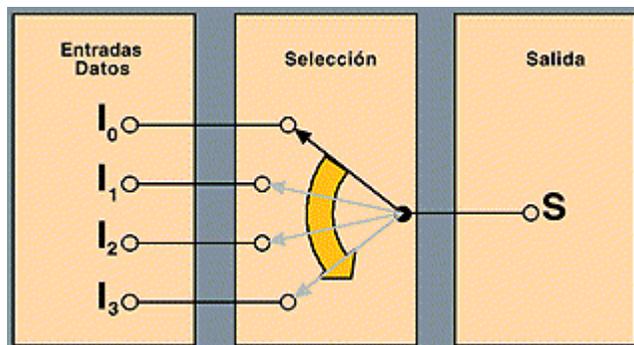
Todo lo anterior se denomina PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). En 1986 la ITU comenzó a diseñar una estructura para la multiplexación digital. Esta estructura es llamada SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

2.7 Multiplexor y Demultiplexor

2.7.1 Multiplexor

Funcionamiento. Mediante una señal de control deseamos seleccionar una de las entradas y que ésta aparezca a la salida. Haciendo una analogía eléctrica, podemos comparar un multiplexor con un conmutador de varias posiciones, de manera que, situando el selector en una de las posibles entradas, ésta aparecerá en la salida.

Figura 3. Multiplexor



Los multiplexores son circuitos combinatoriales con varias entradas y una salida de datos, y están dotados de entradas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las entradas de datos para permitir su

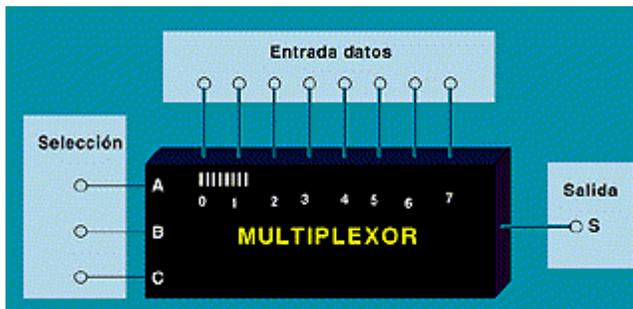
transmisión desde la entrada seleccionada a la salida que es única.

Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/multiple.html>

La entrada seleccionada viene determinada por la combinación de ceros (0) y unos (1) lógicos en las entradas de control. La cantidad que necesitaremos será igual a la potencia de 2 que resulte de analizar el número de entradas. Así, por ejemplo, a un multiplexor de 8 entradas le corresponderán 3 de control.

Podemos decir que la función de un multiplexor consiste en seleccionar una de entre un número de líneas de entrada y transmitir el dato de un canal de información único. Por lo tanto, es equivalente a un conmutador de varias entradas y una salida.

Figura 4. Multiplexor de varias entradas y selecciones



Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/multiple.html>

Dentro de un multiplexor hay que destacar tres tipos de señales: los datos de entrada, las entradas de control y la salida

2.7.1.1 Tipos de multiplexores

Dentro de la gran variedad de multiplexores que existen en el mercado, hay varios tipos que conviene destacar a causa de su gran utilidad en circuitos digitales, estos son:

Multiplexor de 8 entradas.

Multiplexor de 16 entradas.

Doble multiplexor de 4 entradas.

Por último, destacaremos que los multiplexores, además de seleccionar datos, tienen otras aplicaciones importantes, a saber:

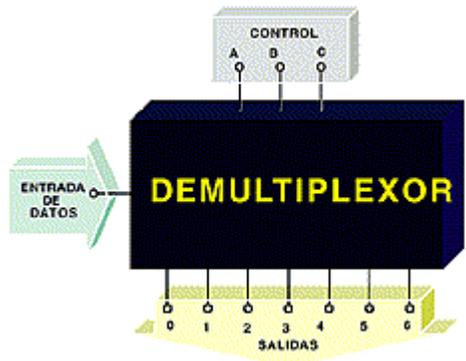
La conversión paralelo - serie. Como puede ser conducir la salida en paralelo de un ordenador hacia un terminal remoto a través de una línea de transmisión serie.

La generación de funciones para lógica combinatoria.

2.7.2 Demultiplexor

Una de las aplicaciones más características de los decodificadores era su transformación en los circuitos digitales denominados demultiplexores.

Figura 5. Demultiplexor

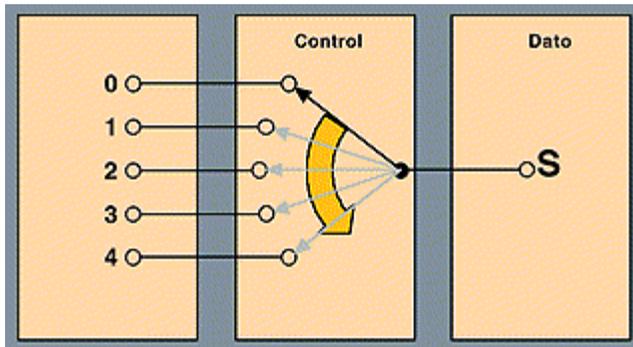


Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/multiple.html>

Un demultiplexor consta de una entrada de datos, varias señales de control y las líneas de salida

El demultiplexor es un circuito destinado a transmitir una señal binaria a una determinada línea, elegida mediante un seleccionador, de entre las diversas líneas existentes. El dispositivo mecánico equivalente a un demultiplexor será un conmutador rotativo unipolar, de tantas posiciones como líneas queramos seleccionar. El seleccionador determina el ángulo de giro del brazo del conmutador.

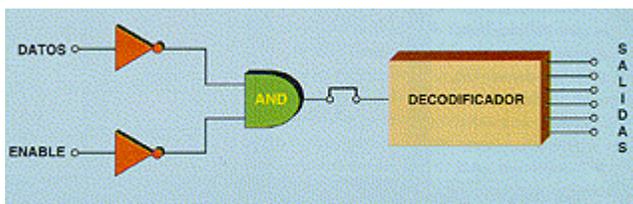
Figura 6. Demultiplexor de una entrada y varias salidas



Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/multiple.html>

La analogía mecánica de un demultiplexor es un selector con una entrada y varias posiciones de salida

Figura 7. Conversión de un decodificador en demultiplexor



Un decodificador se convierte en un demultiplexor añadiéndole una señal más a su circuitería interna.

Si se aplica esta señal, la salida será el complemento de dicha señal, ya que la salida es 0 si todas las entradas son 1, y aparecerá únicamente en la línea seleccionada.

Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/multiple.html>

Se puede aplicar a un demultiplexor una señal de habilitación o "enable", conectándose en cascada el decodificador con el circuito compuesto de una

puerta AND y dos puertas NOT cuyas entradas son la señal de habilitación y el dato que queremos transmitir.

Si la entrada de habilitación es 0, la salida será el complemento del dato, es decir, que el dato aparecerá en la línea con el código deseado. Si la entrada de "enable" es 1, la salida será 0, se inhiben los datos en cualquier línea y todas las entradas permanecen en 1.

Veamos, de otra manera, en qué consiste la función de un circuito demultiplexor. Estos son circuitos que realizan una función contraria a la de los multiplexores, es decir, tienen una única entrada de datos que, mediante unas entradas de control, se pone en comunicación con una de entre varias salidas de datos. La salida concreta seleccionada depende de la combinación de valores lógicos presentada en las entradas de control.

De la definición ya se desprende que cualquier decodificador que excite sólo una salida entre varias, y esté provisto de entrada de inhibición o "enable", puede utilizarse como demultiplexor, ya que las entradas del código se pueden emplear como entradas de control y la señal de inhibición como entrada de datos.

Por el contrario, los decodificadores del tipo BCD a 7 segmentos que dan varias de sus salidas para cada combinación de entrada, no pueden ser utilizados como demultiplexores.

2.8 Codificador y decodificador

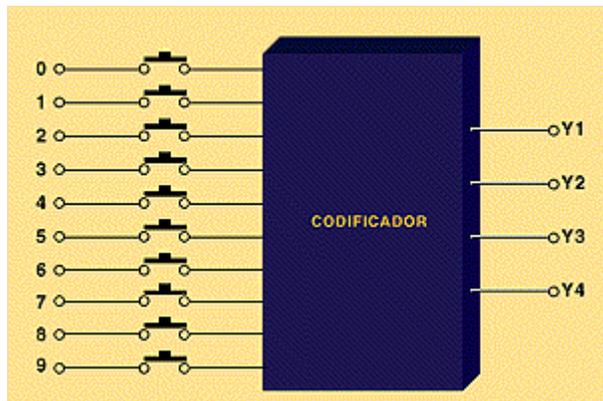
2.8.1 Codificador

Al diseñar un sistema digital es necesario representar o codificar en forma

binaria la información numérica y alfanumérica que se obtiene de dicho sistema y, para ello, existen los circuitos combinatorios denominados codificadores.

Un codificador es un circuito combinatorio que cuenta con un número determinado de entradas, de las cuales sólo una tiene el estado lógico 1, y se genera un código de varios bits que depende de cuál sea la entrada excitada.

Figura 8. Codificador



Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/codifica.html>

Diagrama de bloques de un codificador de 10 entradas y 4 salidas

Para ilustrar esto mejor pongamos un ejemplo. Supongamos que queremos transmitir un código binario con cada una de las pulsaciones de un teclado numérico, como puede ser el de una calculadora, en éste existen diez dígitos y al menos seis caracteres especiales y, si consideramos sólo las diez cifras, esta condición la podemos satisfacer con cuatro bit. Pero variemos el circuito de la calculadora para entender mejor el ejemplo. Modifiquemos el teclado de tal manera que al presionar una tecla se cierre el pulsador que conectará una línea de entrada.

En el interior del bloque podemos imaginar unos conductores cruzados

que unen entradas y salidas entre sí. Veamos cómo han de conectarse, a fin de que den los códigos deseados. Para representar los códigos de salida utilizaremos el denominado código BCD. La tabla de verdad que define este codificador es la siguiente:

Tabla IV. Tabla de verdad de un codificador de 10 entradas y 4 salidas

Entradas	Salidas
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	Y4 Y3 Y2 Y1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0	0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0	0 0 1 1
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0	0 1 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0	0 1 0 1
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0	0 1 1 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0	0 1 1 1
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0	1 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 0 0 1

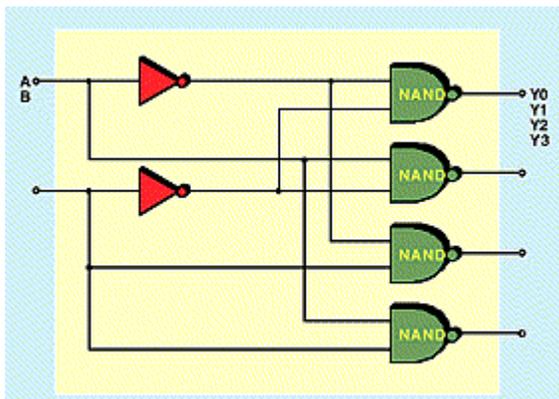
Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/codifica.html>

Cuando alguna de las entradas está a 1, quiere decir que el pulsador correspondiente está accionado. Como suponemos que no hay más que un pulsador activado simultáneamente, entonces en cualquier línea de la tabla todas las entradas excepto una serán 0.

A partir de la tabla se deduce que la salida Y1 será 1 si lo es la entrada 9, ó la 7, ó la 5, ó la 3, ó la 1, de ahí que la ecuación booleana correspondiente a esta salida sea la suma de las entradas 1, 3, 5, 7 y 9. Si seguimos analizando la tabla obtendremos, de forma análoga, las ecuaciones que tienen que cumplir las salidas Y2, Y3 e Y4.

2.8.2 Decodificador

Figura 9. Decodificador básico



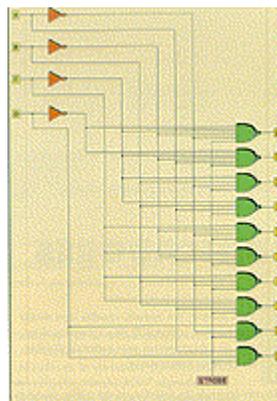
Fuente: <http://www.angelfire.com/a12/Comunicaciones/Laboratorio/decodifi.html>

Decodificador básico de dos entradas y cuatro salidas construido a partir de compuertas NAND

En un sistema digital, como puede ser nuestro PC, se pueden transmitir tanto instrucciones como números mediante niveles binarios o trenes de impulsos. Si, por ejemplo, los cuatro bits de un mensaje se disponen para transmitir órdenes, se pueden lograr 16 instrucciones diferentes, esto es lo que denominábamos, información codificada en sistema binario. Otras veces nos interesa que un conmutador de varias posiciones pueda funcionar de acuerdo con este código, es decir, para cada uno de los dieciséis códigos debe ser excitada una sola línea. A este proceso de identificación de un código particular se le denomina decodificación.

Dicho de otra manera, un decodificador realiza la función opuesta a la de codificar, es decir, convierte un código binario de varias entradas en salidas exclusivas. Podemos distinguir dos tipos básicos de decodificadores: los excitadores y los no excitadores. En el primero de los casos, tenemos por ejemplo, aquellos cuya misión es convertir el código BCD de sus entradas al formato de salida necesario para excitar un visualizador numérico o alfanumérico.

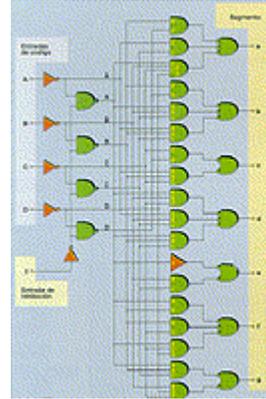
Figura 10. Decodificador de 4 entradas y 7 salidas no excitado



Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/decodifi.html>

Figura 11. Decodificador excitador BCD – 7 segmentos

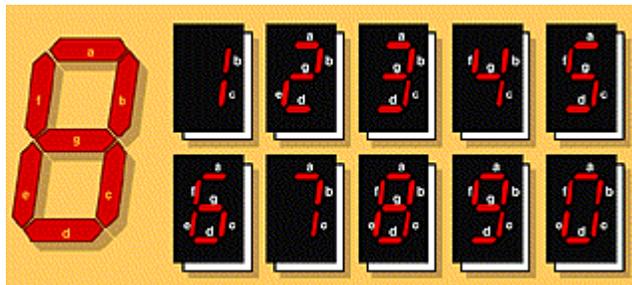
Dentro del tipo de decodificadores excitadores podemos poner como ejemplo uno de los más utilizados en la electrónica digital: el llamado decodificador excitador BCD - 7 segmentos.



En la actualidad, se utilizan normalmente una serie de dispositivos de representación visual fabricados a base de siete segmentos o barras independientes, mediante las cuales se pueden presentar los dígitos decimales. Estos segmentos pueden ser cristales líquidos, diodos LED, etc. Para excitar a estos dispositivos se han desarrollado toda una gama de decodificadores que reciben la información, procedente de un ordenador o de un aparato de medida, en código BCD y entregan siete salidas preparadas para alimentar los siete segmentos que componen cada dígito decimal.

Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/decodifi.html>

Figura 12. Display de siete segmentos



Fuente: <http://www.angelfire.com/al2/Comunicaciones/Laboratorio/decodifi.html>

La representación visual de los diez dígitos decimales se suele realizar a través del denominado código de visualización de siete segmentos

Hemos de tener presente que, según el sistema de visualización utilizado en la información, hará falta un tipo distinto de decodificador: siete segmentos, matrices de puntos, impresora, etc. Los circuitos combinatorios decodificadores se diseñarán, dependiendo de su complejidad, a partir de una memoria ROM.

2.9 Concepto general de envío de señales a través de medios ópticos

2.9.1 Historia

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser. Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Esta forma de usar la luz como portadora de información se puede explicar de la siguiente manera: Se trata en realidad de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

2.9.2 Como portadora de información

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductor y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de

potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre. Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señales (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km. Sin que halla necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

2.9.3 Concepto de transmisión

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se

encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y láser.

Los diodos emisores de luz y los diodos láser son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

2.9.4 Conceptos básicos

Los sensores de fibra óptica están formados por un amplificador que contiene el emisor y el receptor, y un cable de fibra óptica que transmite y recibe la luz reflejada por el objeto a detectar. Las características y presentaciones dependen mucho del fabricante. Así como en las fotocélulas, la evolución tecnológica no se ha hecho muy patente, en los sensores de fibra

óptica se ha notado una evolución en los últimos años muy importante.

2.9.4.1 Dimensiones y peso

Una de las características más notoria de la fibra óptica es su tamaño, que en la mayoría de los casos es de revestimiento 125 micras de diámetro, mientras el núcleo es aun más delgado. La cantidad de información transmitida es enorme, si se compara peso contra cantidad de datos transmitidos se puede observar por ejemplo, una comunicación telefónica que se realiza a través de cables tipo TAB, los cuales tienen un grosor de 8 cm. Transmite 2400 llamadas simultáneas; en comparación las fibras ópticas alcanzan las 30.720 llamadas simultáneas.

2.9.4.2 Atenuación

Es el factor que indica con que frecuencia deben colocarse los repetidores de la señal que se conduce o propaga por el medio, puede variar debido a un gran número de factores tales como la humedad, las curvaturas que sufre el cable, etc... Otro de estos factores es el tipo de fibra utilizada, ya que el método de fabricación determina la atenuación mínima que existe en ella.

2.9.4.3 Distancia umbral

Conforme la señal avanza por el medio va perdiendo fuerza hasta llegar al punto en que si desea transmitirse a mayor distancia debe colocarse un repetidor, un dispositivo que le vuelva a dar potencia para seguir avanzando. Un repetidor de fibra es aquel que toma una señal de luz, la convierte a señal eléctrica, la regenera y la coloca en un dispositivo de emisión de luz para que se siga propagando. Comparadas con el cobre, las fibras ópticas permiten que

las distancias entre repetidores sean más grandes. Por ejemplo, en un enlace para dispositivos RS-232 la distancia máxima entre dos nodos es de 15.2 mts. Transmitiendo a una velocidad de 19200 Bps., Una línea de fibra óptica puede transmitir a esa velocidad hasta una distancia de 2.5 Km. esto significa que la distancia lograda con la fibra es 164 veces mayor que la de su equivalente el cobre (en ese estándar).

Al igual que en la atenuación, la distancia máxima que puede alcanzarse esta muy relacionada con el tipo de fibra. En las versiones sencillas se logran distancias típicas de 2 Km entre el transmisor y en receptor, con fibras y equipos mas sofisticados las distancias pueden ir hasta los 2.5 Kms sin repetidor. Aplicaciones de laboratorio han permitido alcanzar distancias de 111 Kms a 5 Gbps sin la necesidad de los repetidores.

2.9.4.4 Cables Ópticos

Para poder utilizar fibras ópticas en forma practica, estas deben ser protegidas contra esfuerzos mecánicos, humedad y otros factores que afecten su desempeño. Para ello se les proporciona una estructura protectora, formando así, lo que conocemos como cable óptico. Dicha estructura de cables ópticos variará dependiendo de sí el cable será instalado en ductos subterráneos, enterrando directamente, suspendido en postes, sumergido en agua etc.

El propósito básico de la construcción del cable de fibra óptica es el mismo; Mantener estables la transmisión y las propiedades de rigidez mecánica durante el proceso de manufactura, instalación y operación. Las propiedades esenciales en el diseño del cable son la flexibilidad, identificación de fibras, peso, torsión, vibración, límite de tensión, facilidad de pelado, facilidad de

cortado, facilidad de alineación del cable y la fibra, resistencia al fuego, atenuación estable, etc.

Los parámetros para formar un cable especial son:

Esfuerzo máximo permitido en la fibra durante su fabricación, instalación y servicio; determina la fuerza mínima de ruptura de la fibra y la fuerza requerida para el miembro de tensión.

Fuerza lateral dinámica y estática máxima ejercida sobre la fibra, para determinar la configuración del cable y el límite de tolerancia de micro curvaturas.

Flexibilidad

Rango de temperatura y medio ambiente en donde el cable va a operar, paralela elección del tipo de materiales a utilizar tomando en cuenta su coeficiente de expansión térmica y su cambio de dimensiones en presencia de agua.

Para cumplir estos requerimientos se observan las siguientes recomendaciones:

Evitar cargas o esfuerzos mecánicos sobre las fibras.

Aislar la fibra de los demás componentes del cable.

Mantener las fibras cerca del eje central y proporcionar espacio a las fibras para su mantenimiento.

Escoger los materiales de los elementos del cable con mínimas diferencias en sus coeficientes de expansión térmica.

2.9.4.5 Parámetros de una fibra óptica

Existen varios parámetros que caracterizan a una fibra óptica. Se habla de parámetros estructurales y de transmisión que establecen las condiciones en las que se puede realizar la transmisión de información.

Entre los parámetros estructurales se encuentra:

El perfil de índice de refracción.

El diámetro del núcleo.

La apertura numérica.

Longitud de onda de corte.

En cuanto a los parámetros de transmisión se tiene:

Atenuación.

Ancho de banda.

Inmunidad a las Interferencias:

El uso de medios transparentes para la propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite voltajes ni de corrientes, esto lo convierte en un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro.

El hecho de no necesitar corrientes ni voltaje hace que la fibra óptica sea idónea para aplicaciones en donde se requiere de una probabilidad nula de provocar chispas, como el caso de pozos petroleros y las industrias químicas, en donde existe la necesidad de transportar la información a través de medios

explosivos.

2.9.4.6 Micro curvatura

Fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra dan origen a lo que se conoce como micro curvaturas. El fenómeno puede ser provocado por esfuerzos durante la manufactura e instalación y también por variaciones dimensionales de los materiales del cable debidos a cambios de temperatura. La sensibilidad a las micro curvaturas es función de la diferencia del índice de refracción, así como también de los diámetros del núcleo y del revestimiento. Es evidente que las micro curvaturas incrementan las pérdidas ópticas.

2.9.4.7 Curvado

El curvado de una fibra óptica es causado en la manufactura del cable, así como también por dobleces durante la instalación y variación en los materiales del cable debidos a cambio de temperatura. Los esfuerzos que provoca la torcedura de las fibras son básicamente una fuerza transversal y un esfuerzo longitudinal. El esfuerzo longitudinal no provoca torcedura cuando trabaja para alargar la fibra, no hay cambio en las perdidas ópticas. Sin embargo, cuando trabaja para contraer a la fibra, este esfuerzo provoca que la fibra forme bucles y se curve, de tal manera que la perdida óptica se incrementa. Por lo tanto, al evaluar los diseños de los cables se debe poner especial atención en:

La carga transversal trabajando en la fibra durante el cableado, instalación y utilización.

El esfuerzo de contracción que ocurre a bajas temperaturas debido al encogimiento de los elementos del cable.

Dadas las razones anteriores, el eje de la fibra puede curvarse severamente causando grandes incrementos en las pérdidas ópticas. Para prevenir esta situación se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

Mantener un radio de curvatura determinada, seleccionando el radio y la longitud del cableado.

Reducir variaciones técnicas de las fibras protegidas con pequeños coeficientes de expansión térmica disponiéndolas alrededor de un elemento con buenas propiedades térmicas.

Tipos básicos de fibras ópticas:

Multimodales

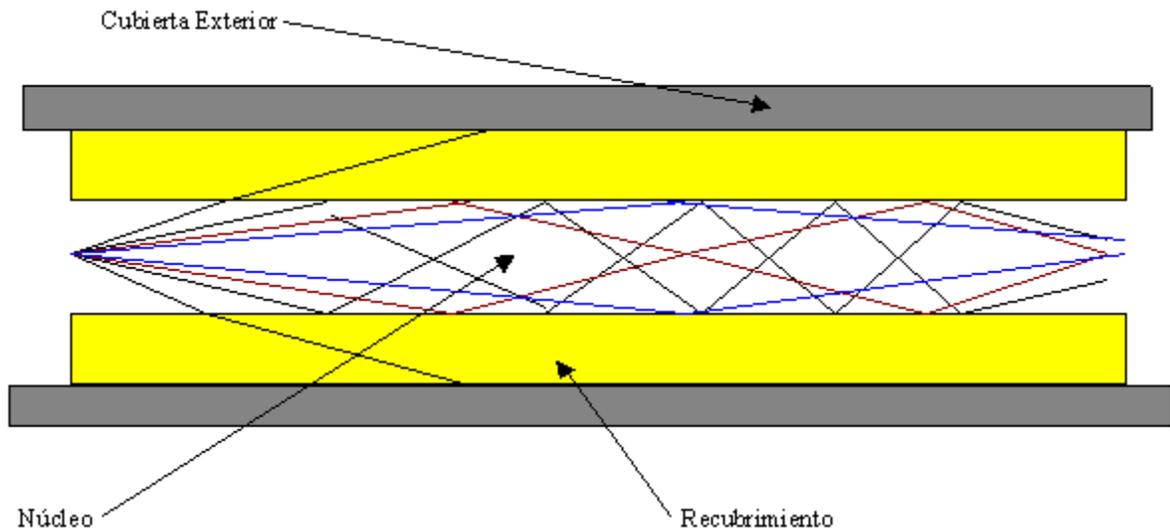
Multimodales con índice graduado

Monomodales

Fibra multimodal

En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos como se muestra en la figura.

Figura 13. Fibra multimodal



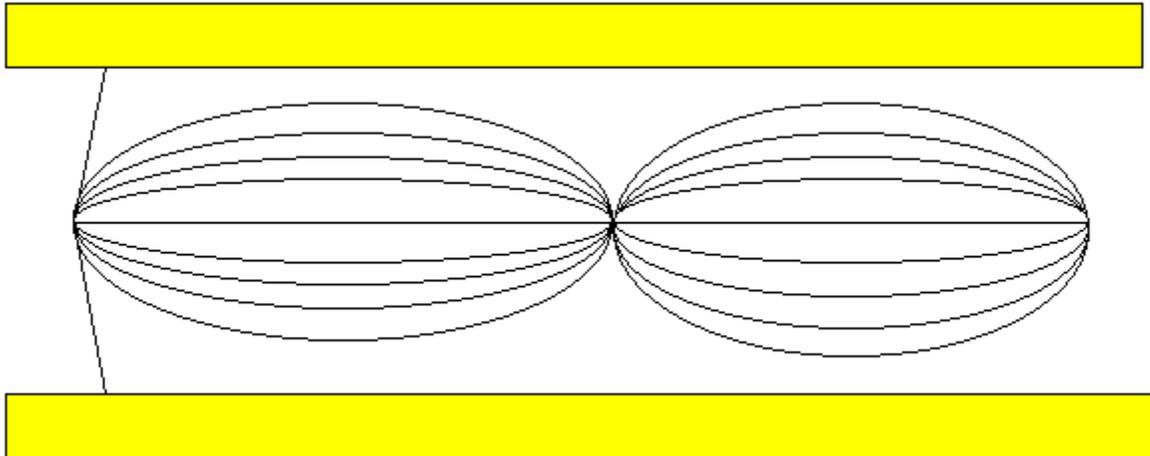
Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar dentro de la fibra. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir esta limitada.

Fibra multimodal con índice graduado

En este tipo de fibra óptica el núcleo esta hecho de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. La propagación de los rayos en este caso sigue un patrón similar mostrado en la figura.

Figura 14. Fibra multimodal con índice graduado



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por lo tanto, sufren menos el severo problema de las multimodales.

Fibra monomodal

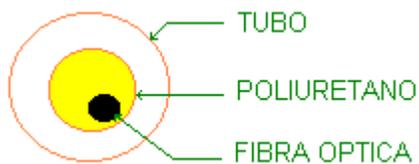
Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central. No sufre del efecto de las otras dos pero es más difícil de construir y manipular. Es también más costosa pero permite distancias de transmisión mayores.

Para transmitir señales por fibra óptica se utiliza modulación de amplitud sobre un rayo óptico, la ausencia de señal indica un cero y la presencia un uno. La transmisión de fibra óptica es unidireccional. Actualmente se utilizan velocidades de transmisión de 50, 100 y 200 Mbps, pero experimentalmente se han transmitido hasta Gbps sobre una distancia de 110 Kms.

2.9.4.8 Construcción

Núcleo, cubierta, tubo protector, búferes, miembros de fuerza, y una o más capas protectoras. Las principales variantes son:

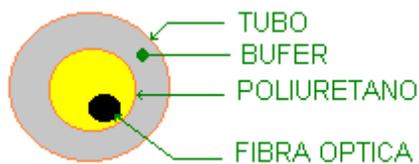
Figura 15. Tubo suelto.



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Cada fibra está envuelta en un tubo protector.

Figura 16. Fibra óptica restringida.



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Rodeando al cable hay un búfer primario y uno secundario que proporcionan a la fibra protección de las influencias mecánicas externas que ocasionarían rompimiento o atenuación excesiva.

Figura 17. Hilos múltiples.



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Para aumentar la tensión, hay un miembro central de acero y una envoltura con cinta de Mylar.

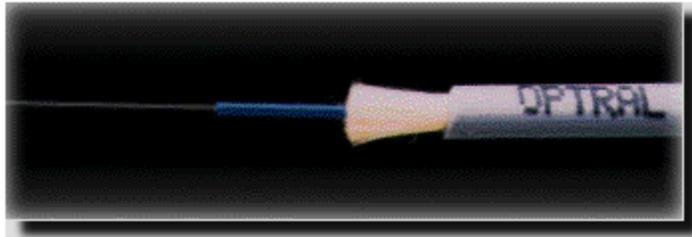
Figura 18. Listón.



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Empleada en los sistemas telefónicos Tiene varios miembros de fuerza que le dan resistencia mecánica y dos capas de recubrimiento protector térmico.

Figura 19. Cable de fibra óptica.



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Patchcord simple

Se usa para fabricar latiguillos o para interconectar equipos de audio, video, datos así como instrumentación y control.

Descripción y aplicaciones

Cable de Interconexión simple se utilizan para la confección de cordones y latiguillos así como para la interconexión de equipos terminales.

Figura 20. Construcción de una fibra óptica

Construcción:

Fibra óptica

Recubrimiento ajustado

Refuerzos de aramida

Cubierta HFLSFR

Ventajas:

Multimodo o Monomodo.

Compacto y ligero.

Conectorización directa.

Flexible y resistente.

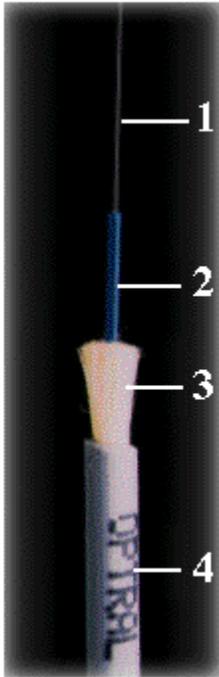
Antihumedad.

Excelente resistencia mecánica.

Muy fácil de pelar, libre de gel.

No propagador de la llama, baja emisión de humos y libre de halógenos (HFLSFR).

Totalmente dieléctrico



Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

Tabla V. Ejemplo de datos técnicos de una fibra óptica

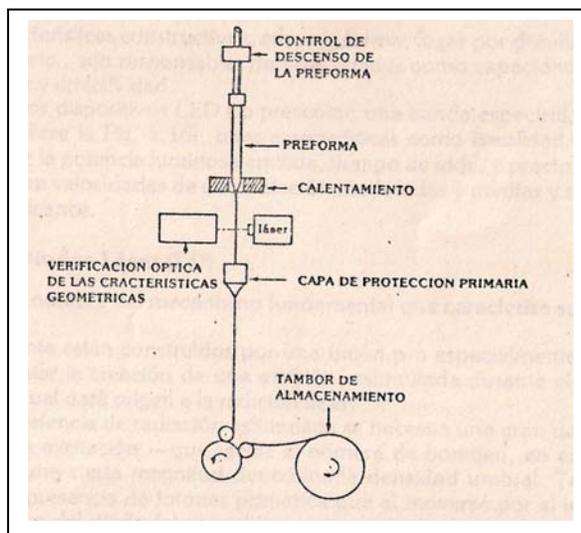
Diámetro (mm)	3.0
Peso (Kg / Km)	10
Tensión máxima en instalación (Kg)	50
Tensión máxima permanente (Kg)	30
Radio de Curvatura (cm ²)	3

Fuente: <http://www.pablin.com.ar/electron/cursos/fibraopt/index.htm>

2.10 Dispositivos transductores corriente/luz

Son los empleados como última etapa en la cadena de emisión para transformar la corriente eléctrica portadora de la información en una réplica luminosa de la misma.

Figura 21. Fabricación de fibra óptica por estirado de una preforma



Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, curso de fibra óptica Italtel Sit

Aunque es grande la variedad de dispositivos capaces de hacer tal cosa (una simple lámpara eléctrica podría servir en principio), los requerimientos necesarios para telecomunicación son tan exigentes que el número queda reducido a solo dos tipos.

Las exigencias que pesan sobre un dispositivo fotoemisor utilizable en comunicaciones ópticas son las siguientes:

- **Espectro de emisión**, o longitud de onda dominante, lo coincidente con alguna de las ventanas presentadas por el tipo de fibra a emplear.
- **Anchura espectral**, $\Delta\lambda$, lo mas reducida posible, con la finalidad de minimizar el efecto de dispersión cromática que se producirá en la fibra.
- **Haz de luz emitida**, lóbulo de emisión lo mas estrecho posible, para mejorar la eficiencia del acoplo emisor/fibra. La característica que conserva la agudeza del haz, evitando la dispersión de los rayos, es presentada por una radiación cuyos frentes de onda sean paralelos (configuración de onda plana), propiedad mostrada por la luz procedente de un laser.
- **Alta velocidad de respuesta**, de manera que sea posible la rapidez de conmutación necesaria en los sistemas de gran capacidad.
- **Relativamente alta potencia óptica de salida.**
- **Bajo consumo de corriente eléctrica**, con el fin de facilitar el funcionamiento de los circuitos de excitación del fotoemisor,
- **Estabilidad de sus características** frente a circunstancias como la temperatura, y el tiempo de operación.
- **Manejabilidad**, en cuanto a tamaño, peso, etc.

Las exigencias segunda y tercera constituyen lo que se llama coherencia de una radiación. Veremos que una fuente coherente es deseable siempre que se verifiquen, además, los otros requerimientos.

Los dispositivos, que mejor se adaptan para la construcción de enlaces ópticos son los diodos electroluminiscentes denominados LED y LASER. El funcionamiento de ambos se basa en la emisión de luz cuando los electrones de ciertos tipos de material pasan de unas orbitas a otras, conforme se describe en el capitulo tercero.

2.10.1 Diodos luminiscentes (LED)

Aunque los dispositivos que describiremos en el siguiente apartado son también emisores de luz, la denominación de luminiscentes se aplica expresamente a los LED (Light Emitting Diode).

Su estructura está constituida esencialmente por dos minúsculas obleas de material semiconductor de diferentes tipos puestas en íntimo contacto. La fabricación es compleja, pues se basa en el crecimiento de una región sobre otra por depósito de capas atómicas. Los nombres de p y n, con que se designa a los materiales constituyentes de la unión, aluden a la capacidad que poseen de liberar portadores de corriente positivos, y negativos, respectivamente, susceptibles de moverse por el interior de la red cristalina correspondiente a las sustancias en cuestión.

Las cargas p y n aportadas son capaces de integrar una corriente eléctrica, al someter al dispositivo a una tensión denominada polarización directa. Según esto la zona p debe situarse a un potencial positivo con respecto al aplicado a la zona n. Un electrón al moverse por el interior del material puede coincidir con uno de los portadores positivos de corriente llamados huecos y recombinarse. En determinadas circunstancias, que serán estudiadas en el capítulo tercero, esta recombinación puede dar origen a la emisión de un fotón. Se produce un intercambio entre energía eléctrica aportada al diodo y energía luminosa emitida.

La composición de los materiales empleados es fundamental, ya que determina la posibilidad de emisión, y la longitud de onda o “color” dominante. Otras características constructivas, como la forma, lugar por donde emerge la radiación, etc. Son responsables de propiedades como capacidad de potencia

emisible y directividad.

Aunque los dispositivos LED no presentan una banda espectral, $\Delta\lambda$, muy estrecha, otras características como linealidad, estabilidad del valor de la potencia luminosa emitida, tiempo de vida, y precio, los hacen idóneos para velocidades de conmutación moderadas y medias y en sistemas de medio alcance.

2.10.2 Diodos Laser (LD)

Toman el nombre del mecanismo fundamental que caracteriza su forma de operación.

Básicamente están contruidos por una unión p-n especialmente diseñada para fomentar la creación de una emisión, estimulada durante el funcionamiento, la cual dará origen a la radiación laser.

Para la existencia de radiación estimulada se necesita una gran densidad de corriente de excitación que recibe el nombre de bombeo, en este caso superior a una cierta magnitud denominada densidad umbral. También se requiere la presencia de fotones primarios que al moverse por el interior del recinto activo del diodo (el recorrido por la corriente de bombeo) desencadenan la transición en masa de gran cantidad de electrones de unos niveles atómicos a otros de menor energía, provocando una descarga de fotones (en virtud del principio de conservación de la energía) que vibran en fase con los fotones iniciales. Esta descarga, que se mantiene en virtud de la corriente de bombeo al elevar de nuevo a los electrones a los niveles de superior energía, constituye la base de la emisión laser. La selección de los rayos según una cierta dirección se hace aplicando a la región activa del diodo las técnicas de las cavidades

resonantes. Según estas, las paredes perpendiculares al eje óptico, o dirección que llevara la radiación, se pulimentan en grado sumo y se extrema su paralelismo. De esta forma solo los rayos paralelos al eje óptico, al rebotar una y otra vez en las superficies semiespectaculares que confinan su movimiento, reciben amplificación conforme excitan la incorporación de nuevos fotones por radiación estimulada. Cuando la intensidad luminosa que va y viene cobra nivel suficiente, parte emerge a través de los semiespejos, o caras activas del dispositivo, y otra parte continua en su vaivén manteniendo el mecanismo de la generación de fotones por inducción.

Los rayos no paralelos al eje óptico tras varios rebotes acabaran siendo absorbidos, o se perderán en forma difusa por las paredes laterales.

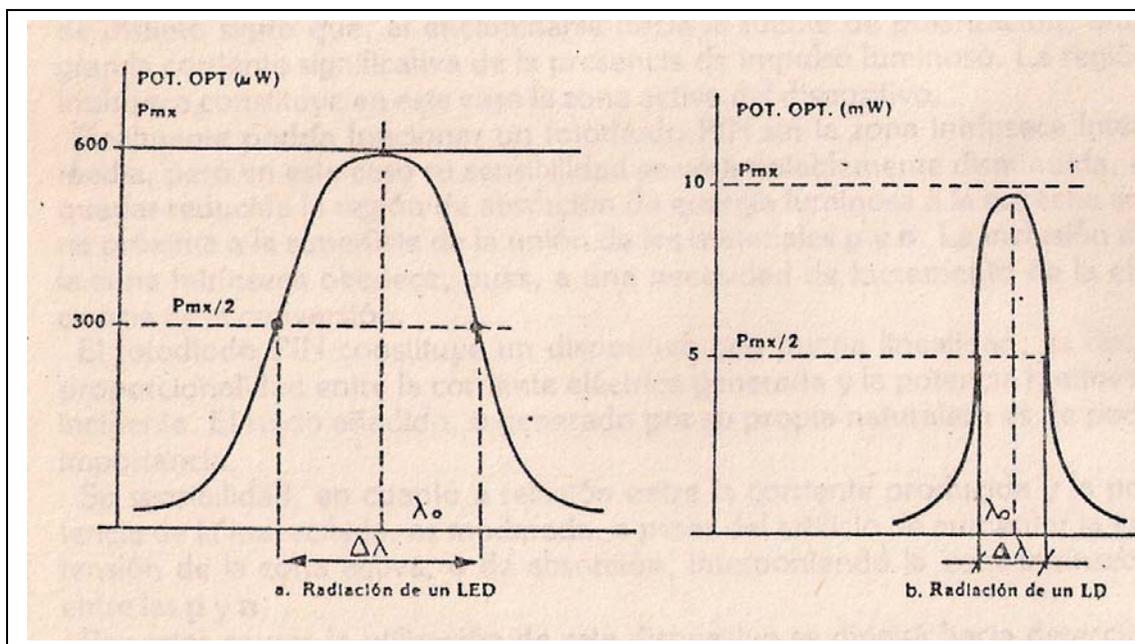
La forma geométrica de los diodos laser es fundamental, tanto para la selección de las radiaciones idóneas, como para fomentar la gran densidad de corriente necesaria para desatar el fenómeno.

Precisamente el efecto de esta gran densidad de corriente eléctrica unido a la existencia de las pequeñas fallas que, inevitablemente, se producirán en la estructura reticular del cristal semiconductor que es el diodo, creara los llamados “puntos calientes”. Estos lugares, transformados en centros de focalización de la corriente eléctrica, incrementan su temperatura mas y mas, iniciando un proceso degenerativo que termina con la vida del dispositivo. El incremento de la vida media de los diodos laser va íntimamente ligado, como puede comprenderse, a la calidad de su tecnología de fabricación, de aquí, también el mayor precio de este tipo de componentes respecto a los LED.

La estabilidad de la potencia radiada, con el tiempo y con la temperatura, resulta gravada por el mecanismo acabado de describir y es

incomparablemente peor que en el caso LED. Por este motivo los circuitos prácticos de excitación de diodos laser son mas complejos relativamente; ya que deben compensar las variaciones de potencia óptica que se producirían en el caso que no fueran instrumentados.

Figura 22. Espectros de emisión de LED y LD de alta radiancia



Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, curso de fibra óptica Italtel Sit

No obstante los dispositivos LD presentan grandes ventajas inherentes al mecanismo de emisión estimulada, que los hacen insustituibles en los sistemas de mayor capacidad y cuando se necesitan largos tramos de repetición. Son de destacar:

- Potencia óptica emitida más de una década superior a la correspondiente a un LED. Ello se debe al efecto de amplificación de la radiación en la cámara resonante.

- Lóbulo de emisión mucho mas agudo.
- Espectro de la radiación mucho mas monocromático. Mientras en un buen LED el valor $\Delta\lambda$ esta en torno a 50nm, en un LD no supera 1 o 2 nm
- Velocidad de respuesta mucho mayor, pues la emisión estimulad se desencadena casi instantáneamente (a la velocidad de la luz, teóricamente) una vez aparecen los fotones inductores.

2.11 Dispositivos transductores luz/corriente electrica

Curiosamente sucede algo parecido al caso de los fotoemisores: toda la variedad posible de dispositivos queda reducida a dos de interés practico que además, presentan estructura diodica de unión. El hecho quizá no sea tan casual, pues como es sabido los mecanismos de interacción luz/materia son reversibles.

En el caso de la fotodeteccion la unión p-n debe ser polarizada en inverso (al revés que en el caso de los fotoemisores), es decir con la región n mas positiva que la región p. De esta manera la corriente es muy pequeña en ausencia de luz.

Cuando un impulso de luz alcanza la región activa del diodo parte de la energía de los fotones es cedida a algunos electrones de la estructura del dispositivo y se desprenden de sus orbitas. En el momento que quedan libres en el interior la zona activa (el concepto de electrón “libre” quiere decir no ligado a ningún átomo en concreto), son acelerados por el campo eléctrico creado por la polarización aplicada al dispositivo, y colectados por la fuente de polarización. Su movimiento constituye una corriente eléctrica que debidamente amplificada y acondicionada responde, al menos idealmente, a la onda portadora de la información transmitida.

Las condiciones que debe reunir un emisor para su empleo en comunicación a través de fibra óptica pueden concretarse en las siguientes:

- Corriente en ausencia de luz muy pequeña, para de esta manera poder discriminar impulsos de luz muy débiles.
- Rapidez de respuesta, o su equivalente, ancho de banda amplio. En esta característica toma parte importante el circuito asociado al fotodetector.
- Mínimo nivel de ruido adicional generado por el fotodetector. Los componentes que mejor se adaptan a estos requerimientos son los denominados fotodiodos PIN, y de avalancha (APD).

2.11.1 Fotodiodos PIN

Reciben el nombre a raíz de la estructura de tres capas que poseen, denominadas de tipo p, intrínseco, y de tipo n, respectivamente.

Las de carácter p y n. ya se ha comentado, se caracterizan por la facultad de aportar cargas positivas y negativas, según el tipo, al material. La zona denominada intrínseca no posee ninguno de esos dos caracteres mas acentuado que el otro; sin embargo, cuando una radiación electromagnética en consonancia con la composición química del material constituyente del dispositivo, alcanza la zona en cuestión, debido al fenómeno de interacción luz materia se rompen algunos enlaces covalentes, originando una pareja de cargas de distinto signo que, al encaminarse hacia la fuente de polarización, intrínseca constituye en este caso la zona activa del dispositivo.

Realmente podría funcionar un fotodiodo PIN sin la zona intrínseca intermedia, pero en este caso su sensibilidad se vera notablemente disminuida, al quedar reducida la región de absorción de energía luminosa a la estrecha

zona próxima a la superficie de la unión de los materiales p y n. la inclusión de la zona intrínseca obedece, pues a una necesidad de incremento de la eficiencia de la conversión.

El fotodiodo PIN constituye un dispositivo con buena linealidad, es decir proporcionalidad entre la corriente eléctrica generada y la potencia luminosa incidente. El ruido añadido, o generado por su propia naturaleza es de poca importancia.

Su sensibilidad, en cuanto a relación entre la corriente producida y la potencia de la luz recibida, es moderada, a pesar del artificio de aumentar la extensión de la zona activa, o de absorción, interponiendo la zona intrínseca entre las p y n.

Por estas causas la utilización de este dispositivo se dirigirá hacia detecciones con buena discriminación de posibles niveles de luz (metrología óptica, por ejemplo, transmisiones analógicas, etc.), y enlaces digitales de no gran longitud entre repetidores.

2.11.2 Fotodiodos de avalancha

En este dispositivo se emplea otro mecanismo, todavía mas efectivo, para obtener elevados valores de sensibilidad. Sabido es que un electrón lanzado a gran velocidad contra un átomo puede ser capaz de arrancarle otro electrón, si la energía comunicada a este último durante el choque es suficiente.

La idea básica es, pues, la siguiente:

1. Se construye un dispositivo, semejante al estudiado en el apartado anterior que genere una corriente primaria de electrones por interacción luz/materia.

2. Se dota al dispositivo de un medio para acelerar los electrones primarios de forma tal que, al moverse por el interior del material y chocar ineludiblemente con los átomos integrantes de la trama cristalina, sean liberados nuevos electrones secundarios, los que a su vez también serán capaces de romper otros enlaces, originándose de esta manera un efecto multiplicativo llamado avalancha.

Sobre la primera fase no es preciso añadir nada más. En cuanto a la segunda cabe decir que el artificio consiste en aplicar a la unión p-n un potencial elevado (200 a 300 V), para confinar un campo eléctrico tan grande. A través de la zona próxima a la superficie de la unión, capaz de cumplir el objetivo perseguido.

La ventaja respecto al fotodiodo PIN esta en un incremento notable de la sensibilidad (del orden de 100 a 1000 veces mayor, según el valor de la tensión de polarización inversa aplicada).

Debido al carácter hasta cierto punto aleatorio del fenómeno de la avalancha, el ruido añadido por el dispositivo APD es bastante superior al correspondiente en el caso del PIN. Por la misma razón la linealidad tampoco es tan buena como para el PIN.

No obstante en dispositivos denominados de “todo o nada” (solamente existen dos niveles: luz y no luz) como son las transmisiones digitales. Estos posibles inconvenientes pierden importancia, de forma tal que el dispositivo

APD será el mas utilizado, sobre todo en cuanto a largos tramos de fibra se refiere.

La necesidad de relativamente alta tensión de polarización. Exige cuidados especiales y dispositivos de interfaz en consecuencia. En ciertas ocasiones esta particularidad puede convertirse en un inconveniente.

3. RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES ESPECIALES

3.1 Sistema de señalización

3.1.1 Señalización R2 multifrecuencia

3.1.1.1 Generalidades

La señalización MFC se basa en las recomendaciones de la UIT-TS (antes CCITT), recomendaciones Q.400 a Q.490, libro azul.

La señalización esta completamente definida y usa 6 frecuencias en las direcciones hacia adelante y hacia atrás, proporcionando 15 señales en cada dirección.

Las señales hacia adelante MFC se dividen en dos grupos (I y II):

Grupo I:	Información de enrutamiento.
Grupo II:	Categoría de la parte llamante

Las señales hacia atrás también en dos grupos (A y B):

Grupo A:	Control de enrutamiento
Grupo B:	Condición de línea de la parte llamada.

En Guatemala se utiliza la versión digital de señalización R2, una y dos vías por sentido. No se utiliza el método de explotación bidireccional ni se utiliza para conexiones internacionales.

3.1.1.2 Transmisión del número de la parte llamante

La primera señal A5 recibida, significa la petición de la categoría del abonado llamante y es respondida por una señal del grupo II.

Las siguientes señales A5, interrogan uno a uno los siguientes dígitos del número llamante. Cuando se ha finalizado el envío del último dígito del abonado llamante, se envía la señal I-15 indicando a la última señal A-5, fin de numeración.

Los dígitos restantes del número llamado se solicitan con señales A-1

3.1.1.3 Tiempo de supervisión de las señales MFC

Los tiempos de supervisión de las señales MFC son de acuerdo a lo siguiente:

Tiempo de supervisión para el envío de la señal hacia adelante 15 segundos

Tiempo de supervisión para pausa entre señales 24 segundos

Tiempo de supervisión para el envío de la señal hacia atrás no se supervisa.

Tiempo de supervisión antes del envío del primer dígito 10 segundos.

Tiempo de supervisión entre dígitos 5 segundos.

3.1.1.4 Tiempo máximo de supervisión de registros.

El tiempo de supervisión de los registros es de 90 segundos.

Tabla VI. Tabla de aplicación de las recomendaciones de señalización R2

Numeral	Descripción	Aplica	Observaciones
Introducción	Título	Título	La señalización R2 que se utiliza es la versión digital bidireccional, una y dos vías por sentido y solo para aplicaciones nacionales. Se utilizan las 15 combinaciones hacia adelante y hacia atrás.
Recomendación Q.400			
1.	Definiciones	Título	
1.1	Señales de línea hacia adelante.	Aplica	
1.2	Señales de línea hacia atrás.	Aplica	
1.3	Señales de registro hacia adelante	Aplica	
1.4	Señales de registro hacia atrás.	Aplica	Se definen algunas aplicaciones particulares para uso nacional.

Recomendación Q.411			
2.1	Señalización de línea, versión analógica	No aplica	
Recomendación Q.412			
	Clausulas relativas al equipo de señalización de línea en centrales	No aplica	
Recomendación Q.414			
2.3	Clausulas relativas al equipo de transmisión de línea	Título	
2.3.1	Transmisor de señalización	No aplica	
Recomendación Q.415			
2.3.2	Receptor de señalización	No aplica	
Recomendación Q.416			
2.4	Protección contra interrupciones	No aplica	
Recomendación Q.421	Señalización de línea, versión digital		

3.1	Código digital de señalización de línea	Título	
3.1.1	Consideraciones generales	Aplica	
3.1.2	Códigos de señalización	Aplica	Se define la señal MCT durante conversación: af = 0 bf = 0 ab = 0 bb = 0 (150ms) Y la señal TKO durante CLB af = 1 (150ms) bf = 0 ab = 1 bb = 1
Recomendación Q.422			
3.2	Clausulas relativas al equipo de señalización de línea de las centrales	Título	
3.2.1	Identificación de una transición del código de señalización	Aplica	
3.2.2	Tolerancia en el tiempo de transmisión de las señales	Aplica	

3.2.3	Estados y procedimientos en condiciones normales	Aplica	
3.2.4	Disposiciones correspondientes a las distintas condiciones de señalización	Aplica	
3.2.5	Condiciones anormales	Aplica	El tiempo de espera de respuesta será de 45 segundos
3.2.6	Alarmas para personal técnico	Aplica	
3.2.7	Explotación bidireccional	No aplica	
Recomendación Q.424			
3.3	Protección contra los efectos de transmisiones defectuosas	Aplica	
Recomendación Q.430			
3.5	Conversión entre R2 analógica y R2 digital de la señalización de línea	No aplica	

Recomendación Q.440			
4.	Señalización entre registros	Título	
4.1	Consideraciones Generales	Aplica	
4.1.1	Método de señalización extremo a extremo	Aplica	
4.1.2	Explotación internacional de extremo a extremo	No aplica	
4.1.3	Requisitos del los registros	Aplica	Para las llamadas de larga distancia nacional o internacional y para el interfuncionamiento R2-ss7, el método de explotación es “en bloque”
4.1.4	Método de señalización de secuencia obligada	Aplica	
Recomendación Q.441			
4.2	Códigos de señalización	Título	
4.2.1	Combinaciones multifrecuencia	Aplica	Ver tabla VIII

4.2.2	Atribución de las señales entre registros	Aplica	
4.2.3	Señales hacia adelante	Aplica	Ver tabla IX y X, Solo para conexiones nacionales.
4.2.4	Señales hacia atrás	Aplica	Ver tabla XI y XII. La primera señal A-5. Se interpreta como “envió de categoría de abonado que llama”. Las siguientes se interpretan como “envió de la identidad del abonado que llama”.
Recomendación Q442			
4.3	Transmisión en forma de impulsos de las señales hacia atrás A-3, A-4, A-6 o A-15	Aplica	
Recomendación Q450			
4.4	Equipos de señalización multifrecuencia	Título	
4.4.1	Consideraciones generales	Aplica	Solo para enlaces nacionales.
Recomendación			

Q.451			
4.4.2	Definiciones	Aplica	
Recomendación Q.452			
4.4.3	Requisitos relativos a las condiciones de transmisión	Título	
4.4.3.1	Impedancias	Aplica	
4.4.3.2	Ecos	Aplica	
4.4.3.3	Ubicación y conexión de los equipos de señalización asociados a registros internacionales	No aplica	Aplica lo relativo a los enlaces nacionales.
Recomendación Q.454			
4.4.4	Parte transmisora del equipo de señalización MFC.	Título	
4.4.4.1	Frecuencias de señalización	Aplica	
4.4.4.2	Nivel absoluto de la potencia transmitida	Aplica	
4.4.4.3	Nivel de los residuos de frecuencia de señalización	Aplica	
4.4.4.4	Distorsión de armónicas	Aplica	

4.4.4.5	Tolerancias	Aplica	
Recomendación Q.455			
4.4.5	Parte receptora del equipo de señalización MFC	Título	
4.4.5.1	Margen de sensibilidad	Aplica	
4.4.5.2	Condiciones relativas a los tiempos de funcionamiento y de liberación	Aplica	
4.4.5.3	Condiciones en las que el equipo no funciona ni identifica las señales	Aplica	
Recomendación Q.457			
4.5	Alcance, velocidad y fiabilidad de la señalización entre registros.	Título	
4.5.1	Alcance de la señalización entre registros	Título	
4.5.1.1	Número de enlaces internacionales	No aplica	

4.5.1.2	Número de enlaces nacionales	Aplica	
4.5.1.3	Distorsión de atenuación total	Aplica	
4.5.1.4	Intermodulación	Aplica	
4.5.2	Constitución de los tiempos de un ciclo de señalización hacia adelante de secuencia obligada	Aplica	
Recomendación Q.458			
4.5.3	Fiabilidad	Título	
4.5.3.1	Consideraciones generales	Aplica	
4.5.3.2	Tasa de errores	Aplica	
Recomendación Q.460			
5.1	Procedimiento normal para el establecimiento de comunicaciones en explotación internacional	Título	
5.1.1	Consideraciones generales	No aplica	
Recomendación Q.462			

5.1.2	Señalización entre el registro internacional R2 de salida y uno de llegada de una central internacional	No aplica	
Recomendación Q.463			
5.1.3	Señalización entre el registro internacional R2 de salida y uno nacional de llegada del país de destino.	Aplica	Aplica lo relativo a las conexiones nacionales
Recomendación Q.464			
5.1.4	Señalización entre el registro internacional R2 de salida y el último registrador R2 de llegada	Aplica	
Recomendación Q.465			
5.1.5	Casos particulares	Título	
5.1.5.1	Número no atribuidos	Aplica	
5.1.5.2	Congestión en la red nacional	Aplica	
5.1.5.3	Llamadas de operadora	Aplica	

5.1.5.4	Petición de la categoría del abonado que llama	Aplica	
Recomendación Q.466			
5.1.6	Supervisión y liberación de las comunicaciones	Aplica	
Recomendación Q.468			
5.2	Encaminamiento y numeración para la explotación internacional	Aplica	
Recomendación Q.470			
5.3	Fin de señalización entre registros	Título	
5.3.1	En un registro R2 de llegada de una central de tránsito	Título	
5.3.1.1	Llamada encaminada	Aplica	
5.3.1.2	Congestión	Aplica	
Recomendación Q.471			

5.3.2	En el ultimo registro R2 de llegada de la central a la que esta conectado el abonado llamado	Título	
5.3.2.1	Comunicación establecida	Aplica	
5.3.3.2	Congestión		
Recomendación Q.473			
5.3.4	Utilización de la señal de fin de numeración I-15 en explotación internacional	Aplica	Solo para uso nacional
Recomendación Q.474			
5.3.5	Utilización de las señales del grupo B	Aplica	Solo para uso nacional
Recomendación Q.475			
5.4	Liberación normal de los registros R2 de salida y llegada	Aplica	
Recomendación Q.476			
5.5	Liberación anormal de los registros R2 de salida y llegada	Aplica	

Recomendación Q.478			
5.6	Retransmisión y generación de las señales R2 entre registros por el registro R2 de salida de una central tránsito	Aplica	
Recomendación Q.479	Control de los supresores de eco	No aplica	
Recomendación Q.480			
5.8	Otros procedimientos	Título	
5.8.1	Procedimiento de identificación para explotación Internacional	No aplica	
5.8.2	Procedimiento de identificación para explotación nacional	Aplica	La solicitud de la identidad del número que llama se realiza mediante la repetición de señales A-5
5.8.3	Tratamiento de las señales del grupo II reservadas para uso nacional	Aplica	

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

Tabla VII. Código de señalización de línea

No.	SEÑAL	LADO SALIENTE		LADO ENTRANTE	
		af	Bb	Ab	Bb
1	LÍNEA LIBRE	1	0	1	0
2	TOMA	0	0	1	0
3	ACUSE DE RECIBO DE TOMA	0	0	1	1
4	SEÑALIZACION DE REGISTRO MF/R2	0	0	1	1
5	RESPUESTA	0	0	0	1
6	CONVERSACIÓN	0	0	0	1
7	RETENCIÓN DE MCT	0	0	0	0
8	CUELGUE DE LLAMADO (CLB)	0	0	1	1
9	SEÑAL DE FIN (CLF)	1	0	CUALQUIER ESTADO	CUALQUIER ESTADO
10	LIBERACIÓN DE GUARDA-LÍNEA LIBRE	1	0	1	0
11	BLOQUEO	1	0	1	1
12	DESBLOQUEO	1	0	1	0
13	SEÑAL INTERVENCIÓN DE OPERADORA	1	0	1	1

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

Tabla VIII. Códigos de frecuencia

Frecuencias en Hz

Señal No.	Hacia adelante	1380	1500	1620	1740	1860	1980
	Hacia atrás	1140	1020	900	780	660	540
1		X	X				
2		X		X			
3			X	X			
4		X			X		
5			X		X		
6				X	X		
7		X				X	
8			X			X	
9				X		X	
10					X	X	
11		X					X
12			X				X
13				X			X
14					X		X
15						X	X

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

Tabla IX. Significado de las señales hacia adelante

Señal	Nombre de la señal	GRUPO I
1	I-1	Cifra 1
2	I-2	Cifra 2
3	I-3	Cifra 3
4	I-4	Cifra 4
5	I-5	Cifra 5
6	I-6	Cifra 6
7	I-7	Cifra 7
8	I-8	Cifra 8
9	I-9	Cifra 9
10	I-10	Cifra 0
11	I-11	Acceso a operadora
12	I-12	Petición no aceptada
13	I-13	Acceso al aparato de prueba
14	I-14	Reserva para supresor de eco
15	I-15	Fin de numeración

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

Tabla X. Significado de las señales hacia adelante (parte 2)

Señal	Nombre de la señal	GRUPO II	Categoría del llamante
1	II-1	Abonado normal	
2	II-2	Abonado con prioridad	
3	II-3	Abonado de prueba	
4	II-4	Tasación inmediata (immediate service subscriber)	
5	II-5	Operadora nacional	
6	II-6	Transmisión de datos nacional	
7	II-7	Abonado (u operadora sin facilidad de señal de intervención)	
8	II-8	Transmisión de datos internacional	
9	II-9	Monederos	
10	II-10	Operadora con facilidad de señal de intervención	
11	II-11	No acceso a nacional e internacional	
12	II-12	No acceso internacional	
13	II-13	Reserva para uso nacional	
14	II-14	Reserva para uso nacional	
15	II-15	Reserva para uso nacional	

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

Tabla XI. Significado de las señales hacia atrás

Señal	Nombre de la señal	GRUPO A
1	A-1	Se envía la cifra siguiente (n+1)
2	A-2	Se envía la penúltima cifra (n-1)
3	A-3	Paso a recepción de señales del grupo B
4	A-4	Congestión en la red nacional
5	A-5	Se envía la categoría del abonado que llama
6	A-6	Paso al estado de conversación
7	A-7	Se envía la antepenúltima cifra (n-2)
8	A-8	Se envía la cifra que precede a la antepenúltima (n-3)
9	A-9	Reserva para uso nacional
10	A-10	Reserva para uso nacional
11	A-11	Se envía el indicador de distintivo de país
12	A-12	Se envía la cifra de idioma o la discriminación
13	A-13	Se envía la indicación de lugar donde se encuentra la central internacional de salida
14	A-14	Petición de información sobre el empleo del supresor de eco
15	A-15	Congestión en una central internacional

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

Tabla XII. Significado de las señales hacia atrás (parte 2)

Señal	Nombre de la señal	GRUPO B
1	B-1	Llamada maliciosa. (Uso Nacional)
2	B-2	Número de abonado cambiado (Uso Nacional)
3	B-3	Línea de abonado ocupado
4	B-4	Congestión (después del paso de las señales A a las señales B)
5	B-5	Número no atribuido
6	B-6	Línea de abonado libre con tasación
7	B-7	Línea de abonado libre sin tasación
8	B-8	Línea de abonado averiada
9	B-9	Reserva para uso nacional
10	B-10	Reserva para uso nacional
11	B-11	Reserva para uso internacional
12	B-12	Reserva para uso nacional
13	B-13	Reserva para uso nacional
14	B-14	Reserva para uso nacional
15	B-15	Reserva para uso nacional

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de señalización

3.2 Forma del pulso

3.2.1 Interfaz a 2048 kbit/s (E12)

3.2.1.1 Características generales

Velocidad binaria nominal: 2048 kbit/s.

Exactitud de la velocidad binaria: ± 50 ppm ($\pm 102,4$ bit/s).

Rec. UIT-T G.703 (11/2001) Código: Bipolar de alta densidad de orden 3 (HDB3)

Requisitos de la protección contra las sobretensiones: véase la Rec. UIT-T K.41.

3.2.1.2 Especificaciones en los puertos de salida

Tabla XIII. G.703 – Interfaz digital a 2048 kbit/s

Forma del impulso (forma nominal rectangular)	Todas las marcas de una señal válida deberán ajustarse a la plantilla (véase la figura 23), independientemente del signo. El valor V corresponde al valor nominal	
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial (véase 3.2.1.4)	Un par simétrico (véase 3.2.1.4)
Impedancia de la carga de prueba	75 ohmios resistiva	120 ohmios resistiva
Tensión nominal de cresta de una marca (impulso)	2,37 V	3 V
Tensión de cresta de un espacio (ausencia de impulso)	$0 \pm 0,237$ V	$0 \pm 0,3$ V
Anchura nominal del impulso	244 ns	
Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto medio del intervalo del impulso	De 0,95 a 1,05	
Relación entre la anchura de los impulsos positivos y la de los negativos en los puntos de semi amplitud nominal	De 0,95 a 1,05	
Máxima fluctuación de fase cresta a cresta en un puerto de salida	Véase 5.1/G.823	

Fuente: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.703-200111-I/E>

La pérdida de retorno en el puerto de salida debe tener los siguientes valores mínimos:

Gama de frecuencias (kHz)

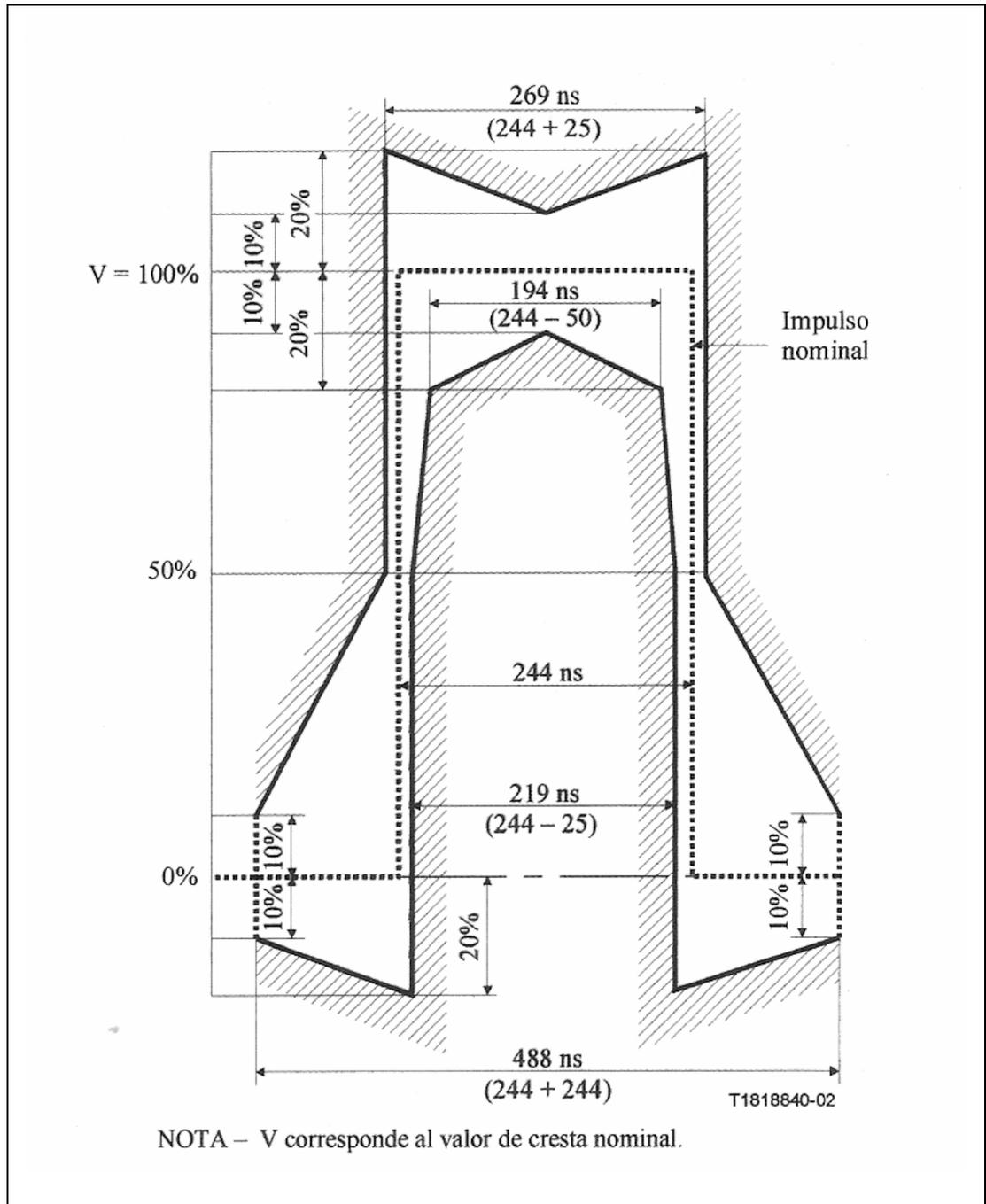
51 a 102 102 a 3072

Pérdida de retorno (dB)

6 8

Rec. UIT-T G.703 (11/2001)

Figura 23. G.703 - Impulso en el caso de una interfaz a 2048 kbit/s



Fuente: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.703-200111-I/E>

3.2.1.3 Especificaciones en los puertos de entrada

La señal digital presentada en los puertos de entrada deberá corresponder a la definición precedente, con las modificaciones que introduzcan las características de los pares de interconexión. La atenuación de estos pares deberá seguir una ley en \sqrt{f} y la atenuación a la frecuencia de 1024 kHz deberá estar comprendida entre 0 y 6 dB. Esta atenuación tendrá en cuenta posibles pérdidas debidas a la presencia de un repartidor digital entre los equipos.

Para la fluctuación de fase que ha de tolerarse en los accesos de entrada, La pérdida de retorno en los puertos de entrada deberá tener los siguientes valores mínimos:

Tabla XIV. Pérdida de retorno mínimos en los accesos de entrada

Gama de frecuencias (kHz)	Pérdida de retorno (dB)
51 a 102	12
102 a 2048	18
2048 a 3072	14

Fuente: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.703-200111-I/E>

Para asegurar la inmunidad adecuada contra las reflexiones de señales que puedan producirse en la interfaz debido a irregularidades de impedancia en los repartidores digitales y en los puertos de salida digitales, los puertos de entrada deben cumplir los siguientes requisitos:

Rec. UIT-T G.703 (11/2001)

Se añade a una señal compuesta nominal, codificada en HDB3, constituida por impulsos cuya forma se ajusta a la plantilla de impulso, una señal interferente con la misma forma de impulso que la señal deseada. La señal interferente deberá tener una velocidad binaria comprendida entre los límites especificados en esta Recomendación, pero no deberá ser síncrona con la señal deseada. La señal interferente se combinará con la señal deseada en una red combinadora, con una atenuación global nula en el trayecto de la señal y con una impedancia nominal de 75 ohmios (en el caso de interfaz de pares coaxiales) o de 120 ohmios (en el caso de interfaz de pares simétricos) para dar una relación señal/interferencia de 18 dB. El contenido binario de la señal interferente deberá ajustarse a la Rec. UIT-T O.151 (periodo de $2^{15} - 1$ bits). No se producirán errores cuando se aplique al acceso de entrada la señal combinada, con la atenuación máxima especificada para el cable de interconexión.

NOTA – Se considera que una implementación de receptor que proporcione un umbral adaptativo en vez de un umbral fijo es más resistente a las reflexiones y que, por tanto debe preferirse.

3.2.1.4 Puesta a tierra del conductor exterior o del blindaje

El conductor exterior del par coaxial o el blindaje del par simétrico deberán conectarse a la red de continuidad eléctrica en el puerto de salida y en el puerto de entrada.

NOTA 1 – El recorrido del cable es importante si sale del bloque del sistema. Para mayor información véase la Rec. UIT-T K.27.

NOTA 2 – La conexión directa de los conductores exteriores de los cables coaxiales a la red de continuidad eléctrica en las interfaces de transmisión y recepción puede provocar, debido a las diferencias de potencial con respecto a tierra en cada extremo del cable, un flujo de corriente no deseada a través de los conectores y de los circuitos de entrada del receptor. De esto se pueden derivar errores e incluso un daño permanente. Para evitar este problema se puede introducir aislamiento contra la corriente continua entre el conductor exterior y la red de continuidad eléctrica en la interfaz de recepción. El recurso al aislamiento contra la corriente continua no debe poner en peligro el cumplimiento de la compatibilidad electromagnética del equipo y de la instalación en general.

NOTA 3 – El aislamiento de la red de continuidad eléctrica queda en estudio.

3.3 Tasa de error

3.3.1 Errores en los bits y errores en los bloques, ventajas y limitaciones

En la tecnología de transmisión digital, cualquier bit recibido con error – bit erróneo – puede deteriorar la calidad de transmisión. Es evidente que la calidad disminuirá al aumentar el número de bits erróneos. Por consiguiente, la relación entre el número de bits con errores y el número total de bits transmitido en un intervalo de tiempo dado es una magnitud que se puede utilizar para describir la calidad de funcionamiento de la transmisión digital.

La magnitud se denomina tasa de errores en los bits (BER, *bit-error ratio*) y es un parámetro bien conocido de la característica de error (véase la definición en el fascículo I.3 del *Libro Azul* del CCITT).

La tasa de errores en los bits sólo se puede medir si se conoce la estructura de bit de la secuencia evaluada. Por este motivo, las mediciones de la tasa de errores en los bits se realizan principalmente utilizando la secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS, *pseudo-random bit sequence*) bien conocidas.

En la práctica, la PRBS sustituye a la información enviada en servicio. Esto significa que la BER sólo se puede medir correctamente fuera de servicio porque normalmente se desconoce la estructura de bits de un mensaje arbitrario.

Uno de los objetivos principales de esta sección está basado en la Recomendación G826 de la ITU en donde están definidos todos los parámetros para trayectos digitales de calidad de funcionamiento de manera que fuese

posible efectuar estimaciones en servicio. Por eso no se seleccionaron definiciones de parámetros para trayectos digitales basadas en las tasas de errores en los bits, a pesar de sus ventajas.

Es posible detectar en servicio los errores de una transmisión digital, pero utilizando mecanismos de detección de errores especiales: códigos de detección de errores (EDC) que son inherentes a determinados sistemas de transmisión.

Rec. UIT-T G.826 (12/2002)

Son ejemplos de estos EDC inherentes la verificación por redundancia cíclica (CRC, *cyclic redundancy check*), el control de paridad y la observación de la paridad de entrelazado de bits (BIP). Los EDC son capaces de detectar si se ha producido uno o más errores en una secuencia de bits dada – bloque. Normalmente no es posible determinar el número exacto de bits con errores dentro del bloque.

Los errores en los bloques se procesan como los errores en los bits: la "tasa de errores en los bloques" es la relación entre el número de bloques con errores y el número total de bloques transmitidos en un intervalo de tiempo dado.

La recomendación se basa en la medición de bloques con errores para trayectos digitales, haciendo así posible la estimación en servicio de los errores para trayectos.

Se debe señalar que la medición de la tasa de errores en los bits y la tasa de errores en los bloques da resultados comparables para pequeñas tasas de errores en los bits.

También se debe señalar que es posible calcular la tasa de errores en los bits a partir de una tasa de errores en los bloques para algunos modelos de errores específicos. La desventaja de este procedimiento es que los modelos de errores sólo describen imperfectamente la situación que se encuentra en la práctica y pueden ser muy dependientes de los medios de transmisión. Por consiguiente, el resultado de este cálculo no es muy fiable.

Definición genérica del bloque: La característica de error definida en la Recomendación para trayectos digitales se basa en la medición de la característica de error de los bloques.

La definición genérica del término "bloque" es la siguiente:

Un bloque es un conjunto de bits consecutivos asociados al trayecto; cada bit pertenece a un solo bloque. Los bits no son necesariamente contiguos en el tiempo.

Eventos de característica de error para trayectos

Bloque con errores (EB, *errored block*): Bloque en el cual uno o más bits tienen errores.

Segundo con errores (ES, *errored second*): Período de un segundo con uno o más bloques con errores o por lo menos con un defecto.

Segundo con muchos errores (SES, *severely errored second*): Periodo de un segundo que contiene 30% de bloques con errores o por lo menos un defecto. SES es un subconjunto de ES.

Los segundos con muchos errores consecutivos pueden ser precursores de periodos de indisponibilidad, especialmente cuando no se utilizan procedimientos de restablecimiento/protección. Los periodos de segundos con muchos errores consecutivos que persisten durante T segundos, donde $2 \delta T < 10$ (algunas entidades operadoras de red denominan estos eventos "fallos") pueden tener una repercusión importante sobre el servicio, por ejemplo, la desconexión de servicios conmutados. La única manera en que esta Recomendación limita la frecuencia de estos eventos es mediante el límite de la SESR. (Véanse las notas 1 y 2.)

NOTA 1 – Los defectos y los criterios de calidad de funcionamiento conexos se enumeran en los anexos pertinentes (B, C o D) para las diferentes redes PDH, SDH o basadas en células.

NOTA 2 – Para simplificar los procedimientos de medición, el SES está determinado por el defecto y no directamente por errores graves que afectan al trayecto. Así se simplifica la medición de SES, pero se debe señalar que puede haber secuencias de errores de intensidad grave que no activarán un defecto según se define en los anexos B, C y D. Por consiguiente, esto no se consideraría como un SES en el marco de la definición.

Error de bloque de fondo (BBE, *background block error*): Bloque con error que no se produce como parte de un SES

3.4 Límites de atenuación

Los límites de atenuación dependen de la potencia de salida del transmisor óptico, del medio de transmisión y de la sensibilidad del receptor.

El problema de inyectar por un extremo determinada potencia en el interior de la fibra, interesa conocer la fracción de aquella que alcanzara el extremo de recepción.

Dejando a un lado las pérdidas por fugas (principalmente en micro-curvaturas de la fibra), y que en una instalación correctamente explotada deben ser de poca importancia, las dos fuentes que mayormente colaboran en la atenuación son las pérdidas por absorción y las debidas a la dispersión, o esparcimiento, de la energía ("scatering").

3.4.1 Pérdidas por absorción

La absorción de luz es debida al mecanismo de interacción luz-materia. Existe, por tanto, una absorción intrínseca al vidrio componente de la fibra, que se manifiesta más allá de los extremos de la banda visible. La resonancia mecánica de las moléculas de vidrio que vibran en torno a sus posiciones de reposo detrae energía en la parte del infrarrojo; mientras que la estimulación de las transiciones electrónicas entre bandas atómicas del material constituyente de la guía óptica lo hace en la región del ultravioleta. En la práctica está comprobado que las pérdidas por absorción intrínseca en las zonas visible e infrarrojo próximo hasta una micra de longitud de onda poseen poca importancia; sin embargo, fuera de estas regiones pueden ser de mayor consideración.

Además de estas pérdidas inherentes al propio material básico existen otras ocasionadas por la ineludible presencia de impurezas. Según la composición del vidrio, técnica de fabricación, circunstancias durante la fusión del material, etc. Permanecen en forma residual ciertos tipos de iones, principalmente metálicos de transición (cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel, cobre, etc.) e hidroxilo (OH).

Las fibras compuestas a base de silicato de sodio y calcio conservan restos de iones metálicos que provocan fuertes absorciones de energía luminosa por debajo de 0.7 micras (manganeso, cobalto y níquel) y por encima de 1.2 micras (cobalto). Las constituidas por vidrios de sílice y borosilicato de calcio retienen moléculas de agua, particularmente el ion OH cuya resonancia mecánica se da entre 2.7 y 4.2 micras (según la posición de los iones en la red cristalina), y presentan una serie de picos de absorción extendidos desde la franja visible (0.4 a 0.7 micras) hasta el infrarrojo próximo (apartado 2.5).

Las técnicas de fabricación también juegan un papel importante sobre el comportamiento de la fibra, ya que ciertos tipos de impureza se introducen, o pueden ser eliminados, en esta fase. De aquí que tanto la composición de la fibra, como el proceso concreto de fabricación, deberán estar en concordancia con la longitud de onda de las radiaciones a que trabajara la fibra.

Las llamadas ventanas del infrarrojo, la primera cae en 850 nanómetros (o milimicras), la segunda a 1.3 micras, y la tercera hacia 1.6 micras. El problema práctico es que los componentes fotoemisores y fotodetectores son todavía caros y la fiabilidad a largo plazo aun no está consumada. No obstante debe señalarse que es un problema que afecta solo a los dispositivos transductores y al sistema de excitación, pues la fibra puede seguir siendo la misma, trabajando

en una u otra ventana conforme evoluciones la disponibilidad de componentes transductores.

3.4.2 Pérdidas por dispersión energética

La dispersión, o esparcimiento, de la energía que viaja a lo largo de la fibra tiene su origen en la presencia de irregularidades, o discontinuidades, sobre las características de propagación de la guía (bien afectando al índice de refracción, a la homogeneidad puramente geométrica, a defectos de cristalización, inclusión de burbujas, etc.) cuando el tamaño de estas imperfecciones es menor o comparable a la longitud de onda de luz en juego (dispersión de Rayleigh). Otros agentes que colaboran a la dispersión de la energía son la distancia entre las irregularidades, y la potencia óptica de la señal.

Puede diferenciarse entre pérdidas por dispersión lineal y no lineal.

En los casos que aparece la dispersión lineal la pérdida de potencia tiene lugar por acoplamiento de unos modos a otros con diferente distribución espacial dentro de la guía, o por radiación. Intuitivamente podemos imaginar un cambio en la trayectoria de los rayos, a partir del encuentro con la discontinuidad en cuestión, y consecuentemente, la posibilidad de abandono del núcleo de la fibra óptica.

La densidad de imperfecciones de cristalización aumenta conforme se hace más alto el punto de solidificación del material. De aquí que las fibras de sílice acusan más el efecto tratado que los vidrios compuestos, cuya temperatura de solidificación es mas baja. Aunque estas últimas presentan defectos por variación localizada de la composición, su efecto global no es tan

nocivo, y este tipo de fibras presenta pérdidas por dispersión del orden de la mitad que las mostradas por las fibras de alto punto de solidificación.

En general las pérdidas por dispersión de Rayleigh son inversamente proporcionales a la cuarta potencia de la longitud de onda. También dependen del tipo de material componente de la fibra, pues las impurezas residuales varían con la composición. La tabla XV pone en evidencia la atenuación en la primera ventana, según Rayleigh, de las clases más interesantes de fibras en cuanto se refiere a los vidrios constituyentes.

Tabla XV. Dispersión de Rayleigh para diferentes composiciones de f. o.

Tipo de Material	PÉRDIDAS (dB/km) a 850 nm
SILICE	1.2
SILICATO POTASICO	0.7
BOROSILICATO SODICO	2.3
SILICATO DE SODIO Y CALCIO	0.8

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de fibra óptica Italtel Sit

El fenómeno de dispersión no lineal es más complejo y lleva emparejado la aparición de modos superiores, es decir, la generación de frecuencias diferentes, en general más altas, que las del espectro inyectado en la cara de emisión de la fibra. El efecto recibe el nombre de emisión estimulada de Raman y Brillouin, y requiere normalmente potencias dentro de la fibra relativamente grandes comparadas con las utilizadas en comunicaciones ópticas. En fibras monomodo el nivel crítico está en torno a 1 W, mientras que en las multimodo el problema podrá aparecer a partir del kW. Por consiguiente, salvo casos mas

bien poco frecuentes, el esparcimiento no lineal de la energía óptica es poco preocupante.

3.4.3 Otras fuentes de pérdidas

En cuanto a las pérdidas por microcurvaturas de la fibra, de fácil comprensión conceptual imaginando la fuga de un rayo de luz desde el núcleo hasta la envoltura cuando se somete a flexión un tramo de la fibra, diremos que comienza a tener importancia para radios de curvatura relacionados con el diámetro del núcleo de la fibra en cuestión. En el caso de diámetro nuclear entre 50 y 65 micras comienza a haber pérdidas para radios de flexión menores de 10 cm.; mientras que para las fibras monomodo el radio de curvatura por debajo del cual se da ese efecto es comparativamente menor.

Por otra parte, cuando una fibra dispone junto a otras, y junto a los elementos resistentes y de protección para integrar un cable, suele ocurrir un incremento de la atenuación lineal con relación al caso de la fibra aislada. Si no se pone especial cuidado durante el proceso de cableado estas pérdidas pueden alcanzar la magnitud de 1 ó 2 dB/km.

El origen parece estar en las tensiones de origen mecánico, así como en la aparición de posibles microcurvaturas inherentes a la operación.

3.5 Límites de tolerancia

Al igual que los límites de atenuación, los límites de tolerancia dependen de la forma del pulso de salida del transmisor óptico, del medio de transmisión y de la sensibilidad del receptor.

Los factores mas importantes que afectan los límites de tolerancia son la dispersión modal y la dispersión cromática.

3.5.1 Dispersión modal

Puesto que la explotación de una fibra óptica como medio de telecomunicación se hará normalmente, utilizando un sistema de modulación de impulsos codificados (MIC o PCM) conviene saber la respuesta del medio de transmisión cuando se aplica un impulso de luz a su entrada.

La fig. 24 muestra la forma en que la fibra actúa sobre un impulso de luz aplicado a su entrada. Aparte de la atenuación, el impulso de salida presenta una asimetría que no existía en el de entrada, con una cola añadida al flanco de caída tanto mas acusada conforme aumentan la longitud del tramo de fibra de prueba y las dispersiones modal y cromática de la fibra. Estudiemos con cierto detalle estos fenómenos.

Supongamos una fibra multimodo de índice en escalón. Basándonos en dos situaciones extremas correspondientes a rayos que se propagan axialmente y describiendo una quebrada contenida en un plano meridional (es decir, que incluye al eje de la fibra) según ángulos determinados por la condición crítica de reflexión total (véase fig. 25) podremos comprender de una manera clara y concisa el fenómeno de la dispersión modal.

Figura 24. Efecto de la dispersión modal

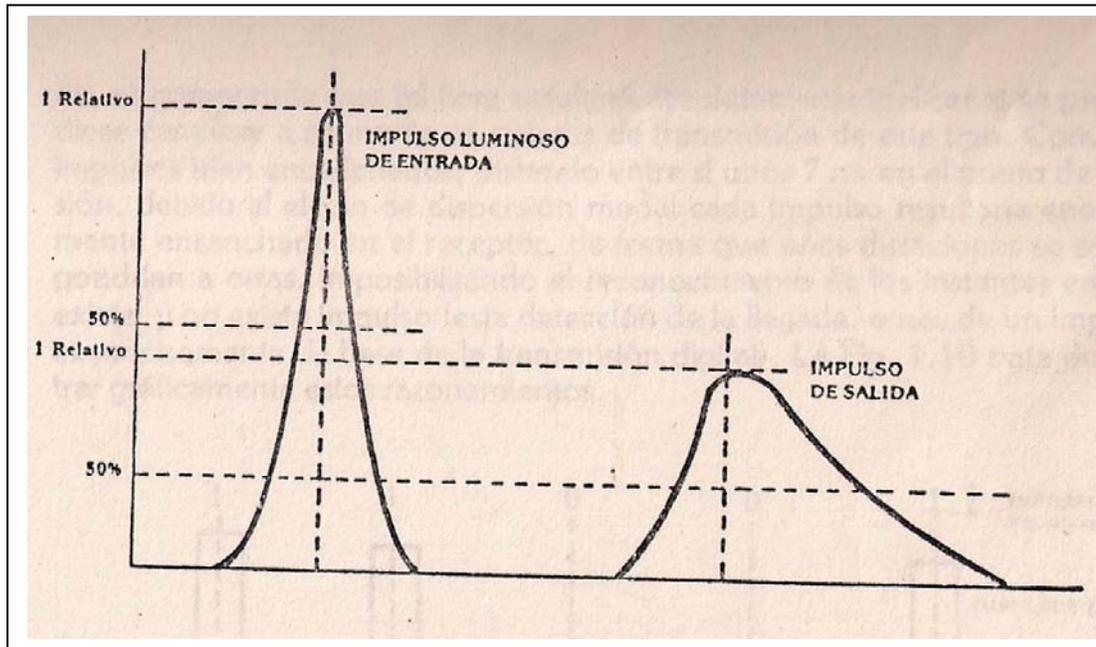
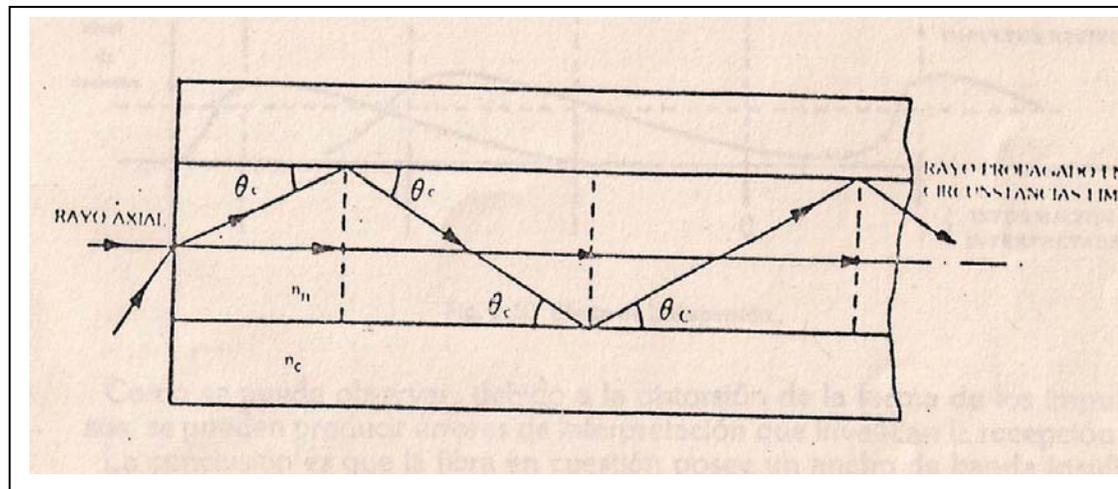


Figura 25. Rayos meridionales propagados en circunstancias extremas



Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de fibra óptica Italtel Sit

Si bien la velocidad lineal de ambos casos es idéntica, e igual a

$$V_n = c/N_n$$

Siendo c , la velocidad de la luz en el espacio libre

La velocidad de fase en dirección axial del rayo que se propaga en zig-zag es:

$$V_x = V_n \cos \theta_c$$

Y teniendo en cuenta la expresión $\theta_c = \arccos(N_c/N_n)$ se obtiene

$$V_x = c N_c/N_n^2$$

Si T_1 y T_2 son los tiempos que tardan ambos rayos en recorrer la fibra, supuesto es L su longitud, se tiene

$$T_1 = L/V_n$$

$$T_2 = L/V_x$$

Por lo que el intervalo temporal, Δt , que separa la llegada de los dos rayos al otro extremo de la fibra es:

$$\Delta t = T_2 - T_1 = L/c N_n (N_n/N_c - 1)$$

Habiendo tenido en cuenta las expresiones $V_n = c/N_n$ y $V_x = c N_c/N_n^2$

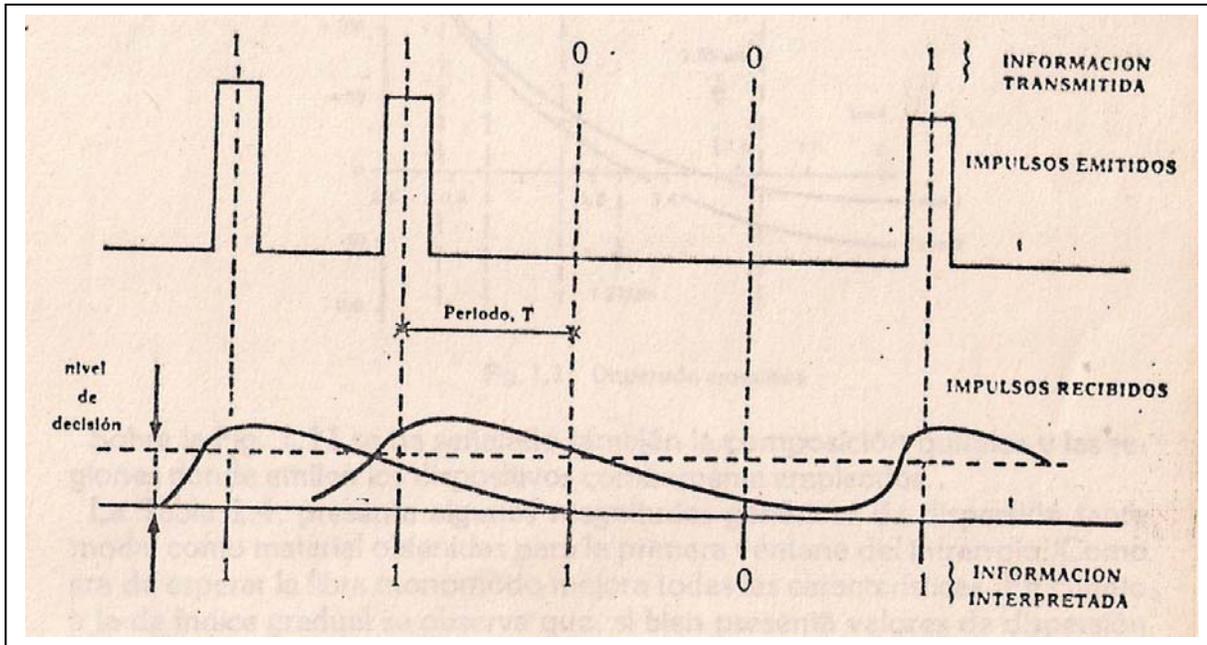
Aunque este tiempo puede parecer pequeño, veremos con un ejemplo que en determinados casos es importante.

Supongamos una fibra con $N_n = 1.48$ y $N_c = 1.46$. Mientras que el rayo axial recorre 1 km., el que realiza la trayectoria en zig-zag camina aproximadamente 14 metros mas, lo cual implica que emerge por el extremo remoto 69 ns después.

El efecto resultante es claro: un impulso de luz inyectado a la fibra estará compuesto por modos, o rayos, con velocidades de fase comprendidas entre las dos mencionadas. Aun suponiendo que la anchura de dicho impulso, en el punto de inserción a la fibra, fuera muy pequeña, en la salida su duración estará determinada por los momentos en que emerge el modo mas rápido (el axial) y el correspondiente al modo mas lento (el critico de reflexión total). El impulso resulta, de esta manera, ensanchado conforme pretende mostrar la fig. 25

Volviendo al ejemplo anterior, y considerando que el periodo de repetición de los impulsos correspondiente a la jerarquía de 140 Mb/s es menor de 8 ns, se comprende que tal fibra resultara absolutamente ineficaz si se pretendiese canalizar a su través un sistema de transmisión de este tipo. Como los impulsos irían encadenados, distando entre si unos 7 ns en el punto de emisión, debido al efecto de dispersión modal, cada impulso resultaría enormemente ensanchado en el receptor, de forma que unas duraciones se superpondrían a otras, imposibilitando el reconocimiento de los instantes en que existe, y no existe impulso (esta detección de la llegada, o no de un impulso es precisamente, la base de la transmisión digital). La fig. 26 trata de ilustrar gráficamente estos razonamientos.

Figura 26. Efecto de la dispersión



Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de fibra óptica Italtel Sit

Como se puede observar, debido a la distorsión de la forma de los impulsos, se pueden producir errores de interpretación que invalidan la recepción.

La conclusión es que la fibra en cuestión posee un ancho de banda insuficiente para transmitir la información de periodo T , o, lo que es lo mismo, la velocidad digital $1/T$ bits por segundo.

El hecho de interpretar un bit por otro (en ejemplo de la fig. 26, un uno por un cero) recibe el nombre de interferencia intersimbolos, y se da siempre en todo sistema de transmisión por defecto de ancho de banda.

La expresión $\Delta t = T_2 - T_1 = L/C N_n (N_n/N_c - 1)$ es solo aproximada, pues se ha deducido para dos rayos meridionales (que se mueven en un plano que contiene también el eje de la fibra), ignorando que la fibra es una guía de sección circular y algunos rayos recorren trayectorias helicoidales, lo cual puede retardar aun mas su llegada al extremo lejano.

Solo resta añadir que las fibras de índice gradual, debido al efecto de autoenfoco ya referido, presentan una dispersión modal notablemente mas reducida en mas de dos ordenes de magnitud que las de salto de índice, por lo cual su comportamiento a velocidades de conmutación elevadas es mucho mejor.

En cuanto a las fibras monomodo, por su propia naturaleza, no presentan problemas de este tipo; tanto menos cuanto menor es el número de modos que permiten, pues debe señalarse que el funcionamiento estrictamente monomodo es ideal, ya que en la practica resulta difícil reducir el diámetro del núcleo de la fibra a la longitud requerida (de 2 a 5 micras). Por otra parte, es fácil comprender que el problema de inyectar luz a la fibra se acrecienta conforme las dimensiones del núcleo disminuyen.

3.5.2 Dispersión cromática

Otro factor que también tiende a reducir el ancho de banda del portador óptico.

Por dispersión cromática se designa al efecto derivado de la diferente velocidad de cada componente de distinta longitud de onda de una radiación cuando se propaga a través de un medio.

El resultado es como si cada longitud de onda viese un índice de refracción diferente, y consecuentemente, su velocidad dependerá del valor de este parámetro. Se trata de un fenómeno intrínseco al material; el mismo que sucede en la descomposición espectral de la luz blanca al atravesar un prisma de vidrio. Por esta razón recibe en ocasiones el nombre de dispersión material.

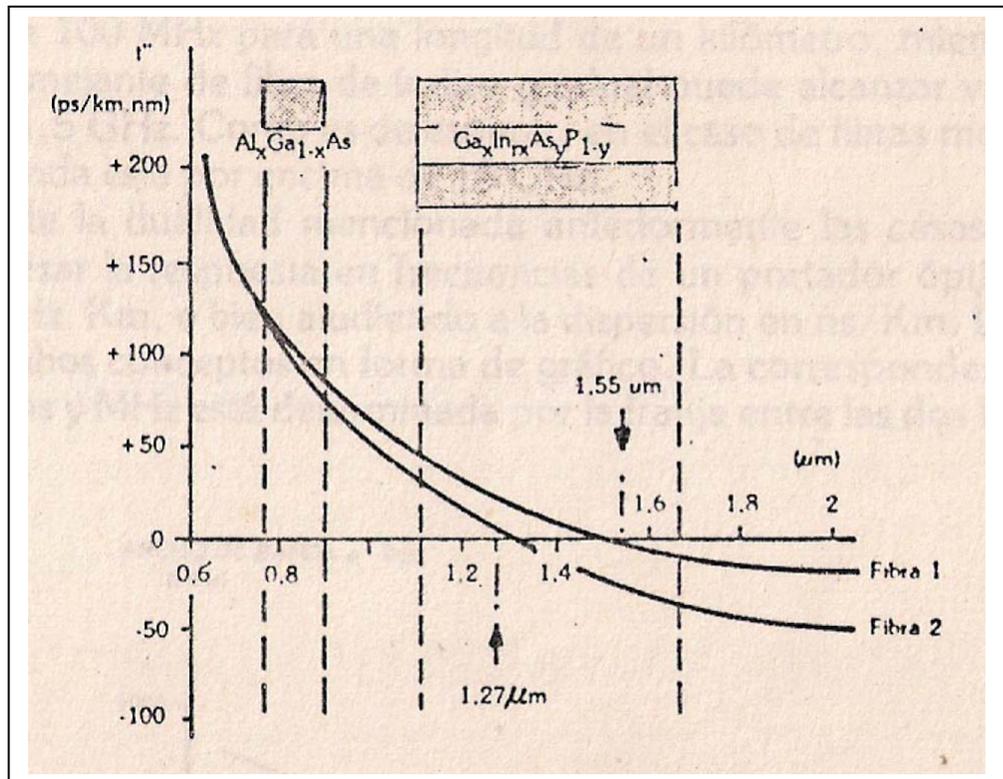
También dará lugar a una deformación de la silueta de los impulsos que se propagan a través de la fibra.

La magnitud de la dispersión cromática depende de la forma de variación del índice de refracción, de la longitud de onda, λ , y del ancho espectral de la radiación.

Para los materiales usados en la fabricación de fibras ópticas se verifica que la dispersión cromática se hace nula en el margen de longitudes de onda comprendidas entre 1.2 y 1.6 micras. La fig. 27 ilustra los resultados obtenidos con dos tipos de fibra.

Llegados a este punto merece la pena considerar que trabajando en estas últimas regiones con una fibra monomodo, la dispersión total, suma de modal más cromática, puede ser nula, con lo cual el ancho de banda es teóricamente infinito. Notemos que tal comportamiento no es mostrado por ningún otro portador de información: Una razón más para trabajar en las ventanas 2 μ y 3 μ y a ser posible, con fibras monomodo cuando se requiere un gran ancho de banda.

Figura. 27 Dispersión cromática



Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de fibra óptica Italtel Sit

Sobre la figura 27 se ha señalado también la composición química y las regiones donde emiten los dispositivos comúnmente empleados.

La tabla XVI presenta algunas magnitudes genéricas de dispersión tanto modal como material obtenidas para la primera ventana del infrarrojo. Como era de esperar la fibra monomodo mejora todas las características. En cuanto a la de índice gradual se observa que, si bien presenta valores de dispersión modal mucho mejores que la de índice en escalón, la dispersión cromática es algo superior, lo cual es lógico al existir dentro del núcleo una ley no constante del

índice de refracción. Debe repararse también en que para la forma de trabajo multimodo la dispersión cromática tiene normalmente menos importancia que la modal.

El valor global de la dispersión se suele medir al 50% de la amplitud, sobre la silueta correspondiente a la potencia del impulso de salida, en el extremo lejano de la fibra.

Puesto que la radiación procedente de un diodo laser (LD) posee un ancho espectral mucho mas estrecho que la emitida por un diodo luminiscente (LED) del orden de 2 a 5 nm frente a 50 u 80 nm, en uno y otro caso la dispersión cromática es despreciable en el primer supuesto, lo cual reincide en el interés que presentan las fibras monomodo excitadas mediante un LD.

En velocidades altas de transmisión el efecto limitativo de la dispersión puede ser mas restrictivo que la atenuación, mientras que en las jerarquías mas bajas de MIC el mayor peso específico recae sobre la limitación impuesta por la atenuación.

Tabla XVI. Valores típicos en la primera ventana para fibras de sílice

VALORES TÍPICOS DE DISPERSIÓN	TIPO DE FIBRA		
	MONOMODO	MULTIMODO	
MODAL	0	0.5 ns/km	50 ns/km
CROMÁTICA	60 ps/nm.km	100 ps/nm.km	60 ps/nm.km

Fuente: Escuela de entrenamiento GUATEL, Curso de fibra óptica Italtel Sit

3.6 Funcionamiento

A continuación describiremos el funcionamiento de los equipos RAD

Optimux-4E1 Circuitos impresos

Optimux-4E1 contiene los siguientes circuitos impresos:

- Tarjeta principal: incluyendo cuatro interfaces tributarias
- Una o dos tarjetas interface E2 (principal y respaldo)
- Tarjeta interface de Gestión.

Características de la interface E2 Link

Cada interface E2 link puede ser ordenada con una interface eléctrica o de fibra óptica.

Características de la Interface Eléctrica

La interface eléctrica E2 link tiene una interface coaxial de 75Ω *desbalanceada*, terminada en dos conectores coaxiales BNC. La señal de línea es HDB3-codificada (HDB3-coded) y su nivel nominal de transmisión es $\pm 2.37V$. La máxima atenuación es de 6 dB. El Jitter cumple con los requerimientos de la recomendación ITU-T Rec. G.823.

Opción redundante del E2 Link

El Optimux-4E1 puede ser ordenado con una o dos opciones de link interface. Cada interface opera independientemente, y puede ser ordenado de acuerdo con cualquiera de las opciones listadas arriba.

En la opción redundante del E2 link, El Optimux-4E1 soporta una conmutación automática total entre los link principal y de soporte. El link principal tiene prioridad; Normalmente este es seleccionado para usarse y el link de respaldo es deshabilitado. En el caso de que una falla ocurra en el link principal, El Optimux-4E1 automáticamente conmuta a link de respaldo y continúa proveyendo servicio normal. Después el link principal regresa a su operación normal y es automáticamente seleccionado.

Cada interface de link tiene su propio juego de indicadores que muestran su estado actual.

Características de la interface Tributaria

Las interfaces tributarias del Optimux-4E1 reúnen todos los requerimientos de la recomendación ITU-T Rec. G.703. Cada puerto tributario tiene dos interfaces de línea:

- Interface de línea 120Ω balanceada, terminada en un conector RJ-45 de ocho pines.

- *Interface 75Ω desbalanceada*, terminada en dos conectores coaxiales BNC.

El código de línea es HDB-3. El nivel de transmisión nominal balanceado de la interface es $\pm 3V$, y el nivel de transmisión de la interface desbalanceado $\pm 2.37V$. La atenuación máxima de línea es hasta un máximo de 6 dB, y cada señal E1 es procesada por un ecualizador adaptador que compensa para varias longitudes de cable para asegurar funcionamiento óptimo. Loops de fase (Phase locked loops) (PLL) son usados para recuperar la señal de reloj, y el jitter resultante cumple con la recomendación ITU-T Rec. G.823.

Cada interface tributaria tiene su propio juego de indicadores que muestran el estado actual del enlace. El usuario puede deshabilitar las indicaciones de alarma generadas para las interfaces sin utilización. Datos AIS son transmitidos en caso de falla o indicaciones de tributario desconectado.

Canal de Servicio

Cuando se utilice la interface de fibra óptica, El Optimux-4E1 provee un full-dúplex canal de servicio de voz. Este canal permite a los operadores de dos unidades conectadas en un enlace para comunicarse. La comunicación se realiza utilizando teléfonos estándar conectados al receptor localizado en el frente del Optimux-4E1. Una llamada push-button es provista para alertar al operador remoto cuando un operador local quiere hablar. Cuando el push-button es presionado un indicador de llamada se enciende intermitentemente y un timbre suena en el Optimux-4E1 remoto.

El método de modulación propietario utilizado para el canal de servicio no afecta el rango, y permite al canal de servicio operar independientemente de la carga del tráfico, siempre y cuando la señal óptica pueda ser recibida en el extremo remoto. Esto permite a los operadores coordinar actividades de mantenimiento.

Probando y diagnosticando Capacidades

El Optimux-4E1 Posee pruebas con la capacidad de diagnosticar que incluye local loopback en la interface del E2 link, loopbacks remotos y locales sobre los link de cada tributaria. En la unidad remota, los loopbacks son activados sobre todos los link de los tributarios. El mantenimiento es mejorado por un auto prueba de funcionamiento mientras este alimentado.

Alarmas e Indicaciones de Alarma

El Optimux-4E1 puede detectar las siguientes condiciones de alarma sobre cada interface E1 y E2:

- Pérdida de la señal de entrada (Loss of input signal).
- Pérdida de trama de sincronización (Loss of frame synchronization).
- Recepción de indicación de alarma (Reception of alarm indication)

(AIS) señal, que transmite un secuencia de 1s continuos.

Nota

Cuando un AIS es recibido, Pérdida de trama de sincronización ocurre, de cualquier manera en este caso la alarma de pérdida de trama de sincronización es suprimida.

Cuando no todos los tributarios están en uso, el usuario puede deshabilitar la indicación de alarma relacionada con los tributarios no utilizados.

La respuesta a la condición de alarma es la siguiente:

- La detección de pérdida de la señal de entrada E2, La recepción de AIS en la entrada de E2, o pérdida de trama de sincronización E2, resulta en la transmisión de AIS en la salida de cada tributario.

- Por cada tributario, un AIS es enviado en lugar de la transmisión de datos a través del E2 link, cuando se detecta la pérdida de la señal de entrada en el tributario, la recepción de AIS en la entrada del tributario o la pérdida de trama de sincronización del tributario.

El indicador del panel frontal muestra la condición de cada alarma. Además un conector especial es utilizado para proveer indicaciones de alarma mayor y menor, por medio de contactos secos.

La alarma mayor es activada en los siguientes casos:

- El Optimux-4E1 no está alimentado, o falla total de alimentación (ej., cuando dos fuentes de alimentación son instaladas, falla de ambas fuentes).

- Pérdida de la señal de entrada E2, o pérdida de trama de sincronización E2.

- Pérdida de la señal de entrada de tributario, o pérdida de trama de sincronización.

La alarma menor es activada en los siguientes casos:

- Recepción de señal AIS en la entrada E2.

- Recepción de señal AIS en la entrada de los tributarios.
- Administración y Monitoreo

Las unidades Optimux-4E1 son equipadas con un puerto de administración serial RS-232 en el panel frontal. Este puerto opera a velocidades de 9.6, 19.2, y 38.4 Kbps seleccionadas por el usuario sobre un cable null-modem, EYN250.

La interface de Administración soporta dos métodos de administración:

- Supervisión Terminal. Una terminal ASCII conectada al Puerto RS-232 (o una PC corriendo un programa de emulación) puede ser usada como supervisión terminal. Todo el software requerido para el funcionamiento de varias funciones de administración están disponibles a través de la terminal están contenidos en el Optimux-4E1.

- Administración SNMP. la interface de administración también incluye un agente SNMP que permite la administración del Optimux-4E1, usando el protocolo UDP-over-SLIP (Protocolo de enlace internet serial). Las capacidades del agente SNMP también permite gráficos totales, administración de usuario amigable de las vistas de las estaciones RAD ofrecidas por RAD, como también la administración por otros sistemas basados en SNMP.

Características Físicas

Optimux-4E1 es una unidad compacta, hecha para ser instalada en bastidores y gabinetes. Su ancho es solamente 1U (1.75 pulgadas). Un kit de montaje opcional permite la instalación de la unidad Optimux-4E1 en un rack de 19 pulgadas.

3.7 Alimentación del sistema

3.7.1 Requerimientos de alimentación

El Optimux-4E1 puede ser ordenado con una o dos Fuentes de alimentación.

Cada fuente de alimentación puede ser ordenada para operación en AC (100 a 240 VAC) o en DC (-48 VDC o 24 VDC).

Cada fuente de alimentación instalada en el Optimux-4E1 tiene su propio interruptor ON/OFF .Cuando dos fuentes son instaladas, estas comparten la carga; en caso de que una fuente falla o la entrada es desconectada, la otra fuente de alimentación continua alimentando el Optimux-4E1.

3.7.2 Conectando la alimentación

Para conectar el Optimux-4E1L a la fuente de alimentación refiérase a la apropiada sección de abajo, dependiendo de la versión de la la unidad (Ac o DC).

3.7.2.1 Conectando la alimentación AC

Fuente de alimentación AC debe ser suministrada al Optimux-4E1L a través de un cable estándar de 1.5m (5 ft) terminado por un conector plug de 3 pines. El cable es provisto con la unidad.

Para conectar la fuente de AC:

- Conecte el cable de alimentación primero al conector del panel trasero del Optimux-4E1L, y luego al tomacorriente principal.

El Optimux-4E1L se encenderá automáticamente cuando se conecte al tomacorriente.

Conectando la fuente de DC

Para conectar la fuente de Dc:

- Refiérase al suplemento de conexión de alimentación de DC.

3.8 Transmisor y receptor óptico

3.8.1 Características de la interface de fibra óptica

La interface de fibra óptica puede ser usada para proveer un enlace de seguridad en ambientes hostiles o peligrosos, incrementa el máximo rango de conexión y provee inmunidad contra interferencias eléctricas y protección contra el peligro de los efectos en lasos de tierras. La interface de fibra óptica E2 cumple con los requerimientos de la recomendación ITU-T Rec. G.956, y utiliza un formato de señal propietario que asegura su funcionamiento optimo. Para optimizar reúne un amplio rango de requerimientos del sistema, la interface de fibra óptica puede ser ordenado para operación sobre 62.5/125 fibras micron multimodal (atenuaciones típicas de -3.5 dB/km), como también sobre bajas pérdidas 9/125 fibras micrón single modo (atenuaciones típicas -0.4 dB/km a 1300 nm, y 0.25 dB/km a 1550 nm). Cada opción puede ser ordenada con conectores ST, SC, o FC-PC. La opción de fibra single puede ser ordenada con conectores ST o FC-PC solamente.

La Tabla XVII provee información sobre las características del subsistema óptico, incluyendo el máximo rango sobre cables de fibra óptica típicos. Interfaces de fibra óptica marcados con un asterisco (*) son soportados únicamente por unidades para el Optimux-4E1L.

Tabla XVII Características de la interface de fibra óptica

Wavelength [nm]	Fiber Type [μm]	Transmitter Type	Power [dBm]	Receiver Sensitivity [dBm]	Typical Max. Range [km / miles]
850	62.5/125 multimode	LED	-18	-32	4 / 2.4
1300	62.5/125 multimode	LED	-18	-32	5.5 / 3.4
1300	9/125 single mode	LED	-18	-34	26 / 16.1
1300	9/125 single mode	Laser	-12	-34	44 / 27.3
1300*	9/125 single mode	Laser (long haul)	-2	-34	64 / 39.7
1550	9/125 single mode	Laser	-12	-34	88 / 54.6
1550*	9/125 single mode	Laser (long haul)	-1	-34	110 / 68.3
1300/1550	9/125 single mode	Laser (WDM), SF1, SF2	-12	-34	40 / 24.8
1300*	9/125 single mode	Laser, SF3	-12	-27	20 / 12.4

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Todas las interfaces de fibras ópticas ofrecen opciones de alto funcionamiento y tiene un amplio rango dinámico, el cual asegura que el receptor no se satura incluso cuando se usan cables de fibra óptica cortos (la saturación es causada cuando la potencia óptica aplicada al receptor excede su máxima potencia permisible en la entrada y resulta en un alto rango de errores de bit).

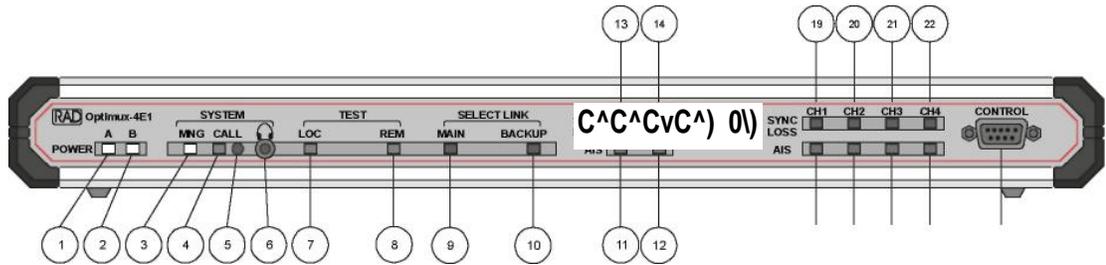
3.9 Sistemas de alarmas

La información presentada en esta sección incluye una descripción de los controles del panel frontal del optimux-4E1, y procedimientos de operación (encendido, indicaciones del panel frontal y apagado).

3.9.1 Indicadores e interruptores del panel frontal

La Figura 28 *muestra el panel frontal del* Optimux-4E1. La Tabla XVIII lista las funciones de los controles del Optimux-4E1, conectores e indicadores, localizados en el panel frontal del Optimux-4E1.

Figura 28 Optimux-4E1 front panel Tabla XVIII Optimux-4E1



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Tabla XVIII. Funciones de los controles del Optimux-4E1

Controles, Conectores e Indicadores

NO	Control o indicador	Función
1	POWER A indicador	ON (verde) – La fuente de alimentación principal esta encendida y opera normalmente.
		ON (roja) – La fuente de alimentación principal esta encendida y una operación mala ha sido detectada, En este caso el Optimux-4E1 continua operando usando la fuente de respaldo (cuando esta instalada).
		Off – La fuente de alimentación no esta alimentada.

2	POWER B indicador	ON (verde) – La fuente de respaldo esta encendida y opera normalmente.
		ON (rojo) – La fuente de alimentación de reserva esta encendida y una operación mala ha sido detectada. En este caso el Optimux-4E1 continua operando usando la fuente de alimentación principal (cuando esta instalada).
		Off – La fuente de alimentación principal no esta alimentada o instalada.

Tabla XVIII. Optimux-4E1 Controles, Conectores e Indicadores (Cont.)

NO	Control o Indicador	Función
3	SYSTEM MNG indicador	ON – Tablero de administración opcional esta instalada y esta active una sesión de administración Cuando el indicador MNG luce, todos los interruptores del panel frontal son deshabilitados. De todas maneras el boton de llamada continua funcionando.
4	SYSTEM CALL indicador	ON – Una llamada de alerta es recibida a través del canal de servicio desde el lado remoto del operador.
5	SYSTEM CALL button	Cuando el canal de servicio esta habilitado, presionando este botón se envía una alerta al operador remoto, la señal de que el operador local quiere hablar.
6	SYSTEM headset jack	Receptáculo en miniatura para conectar el teléfono del canal de servicio.
7	LOC TEST indicador	ON – Un loopback local esta activado en el Optimux-4E1 local.
8	REM TEST indicador	ON – El comando de activación de loopback remoto fue enviado a la unidad remota. Parpadeando – Loopback remoto esta activo (en esta unidad).

9	MAIN indicador	ON –El link principal esta en modo forzado OFF – Link principal opera en modo normal.
10	BACKUP indicador	ON – El link de respaldo esta activado en modo forzado OFF – Link de respaldo opera en modo normal.
11	AIS MAIN indicador	ON – Una señal de AIS se recibe en el link principal E2.
12	AIS BACKUP indicador	ON – Una señal de AIS se recibe en el link de respaldo E2.
13	SYNC LOSS MAIN indicador	ON (Interface eléctrica) – Perdida de sincronización Local, o perdida de señal de entrada se detecta en el link principal. ON (interface óptica) – El link principal excede una tasa de error de bit 10^{-6} .
14	SYNC LOSS BACKUP indicador	ON (interface eléctrica) – Perdida de sincronización Local, o perdida de señal de entrada se detecta en el link de respaldo. ON (interface óptica) – El link de respaldo excede una tasa de error de bit 10^{-6} .
15	AIS CH1 indicador	ON – Una señal de AIS es recibida por la interface tributaria Correspondiente.
16	AIS CH2 indicador	
17	AIS CH3 indicador	
18	AIS CH4 indicador	

19	SYNC LOSS CH1 indicador	ON – La interface tributaria correspondiente reporta perdida de señal de entrada.
20	SYNC LOSS CH2 indicador	
21	SYNC LOSS CH3 indicador	
22	SYNC LOSS CH4 indicador	
23	CONTROL conector	19 Conexión opcional para la interface de administración.

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

4. DISEÑO, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

4.1 Metodología para el análisis de problemas, mediante el sistema de Gestión

Modos de gestión mediante un Terminal

Las principales ventajas de un sistema de gestión están directamente ligadas con la tecnología, utilizada para extraer/enviar la información a un centro de control.

Básicamente se recolectan datos sobre el estado de los equipos, estos datos una vez evaluados permiten tomar acciones para optimizar el funcionamiento del sistema así como también interrogar los equipos remotos y programar o recolectar alarmas.

Esto permite tomar acciones correctivas a distancia y coordinar los recursos necesarios para la operación y el mantenimiento. La eficiencia y productividad mediante el uso adecuado de esta herramienta se ven notoriamente incrementados lo que permite un mayor índice de disponibilidad y un mejor servicio al cliente.

Existen diversas marcas y equipos que puedan realizar la función de transportar E1's en este trabajo se utilizara el Optimux-4E1

El Optimux-4E1 provee dos modos de gestión

- **Monitor** – Un terminal de supervisión ASCII ANSI o una terminal emulador de PC ASCII ANSI conectado directamente al puerto de control del Optimux-4E1
- **SLIP** – Una conexión multidrop hacia una SNMP estación de trabajo de gestión (management Workstation).

El Optimux-4E1 soporta varias bases de mantenimiento de información (MIBs).

Configuración de la Terminal de Comunicación

Configurando los parámetros de la Terminal de Comunicación

Para configurar los parámetros de comunicación:

1. Conecte la terminal al conector de control de 9-pines sobre el panel frontal del Optimux-4E1 a un cable null-modem – CBL-DB25/9-EYN250. Si usa una PC, corra el programa de emulación de la terminal.
2. Selección e los parámetros por default del puerto de comunicaciones a un baud rate de 9,600 bps, 8 bits por carácter, un stop bit y paridad de bit no.

3. Restablezca el Optimux-4E1 o enciéndalo.

Presione <Enter> por lo menos cuatro veces.

4. El Optimux-4E1 automáticamente detecta y se adapta el mismo a la velocidad de la terminal a 9,600, 19,200, 38,400 y 57,600 bps.

El Optimux-4E1 empieza a enviar datos por un periodo de 5 segundos, cuando un baud rate correcto es detectado. Si el baud rate seleccionado difiere del Optimux-4E1, Estos datos son recibidos como basura o relleno. En este caso restablesca (reset) el programa de emulación del terminal.

5. Presione la tecla punto (.) una vez para seleccionar la paridad y para completar la detección de la terminal.

Si la auto detección falla, El Puerto de control del Optimux-4E1 usa el ultimo baud rate escrito en la memoria no volátil RAM.

La pantalla abierta aparece (vea la figura 29).

Figura 29. Optimux-4E1 Pantalla abierta

Para el modo MONITOR teclé <CR>monitor<CR>

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

El Optimux-4E1 asume modo SLIP, cuando se entra en una sesión terminal.

6. Para seleccionar el modo Monitor, presione <Enter>, teclee monitor y presione <Enter> nuevamente.

7. Ingresar la palabra clave (password).

Abriendo una Sesión Terminal

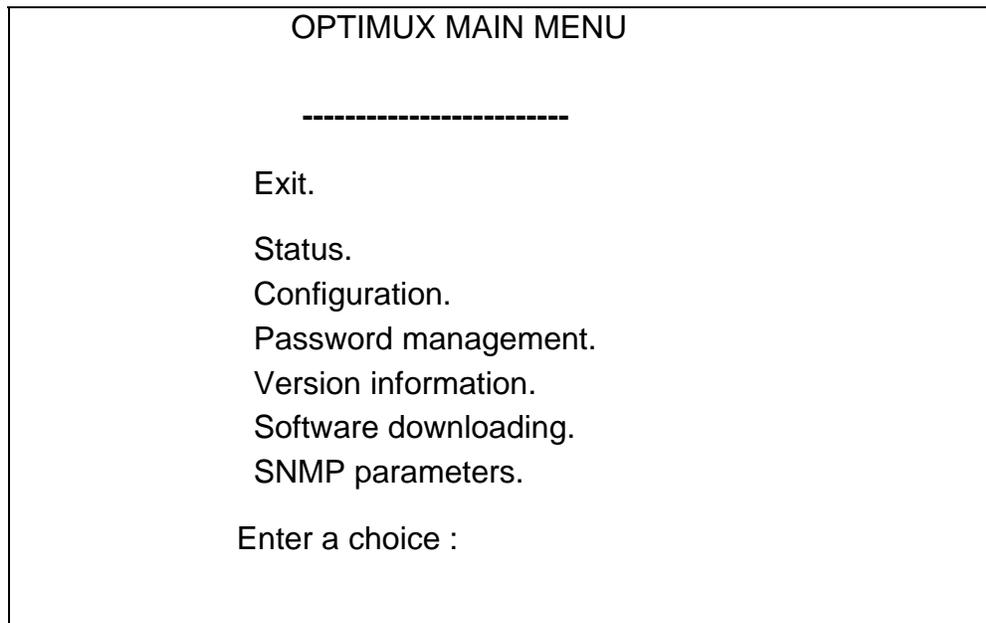
La palabra clave para iniciar las Operaciones con la terminal es 'Optimux '(el octavo carácter es un espacio).

Cuando se inicia una sesión Terminal la primera vez

Teclee la palabra clave [un asterisco (*) aparece sobre la pantalla después de cada carácter tecleado y presione <Enter>.

El menú principal del Optimux aparece (vea la figura 30).

Figura 30. Optimux-4E1 Main Menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Las opciones para cambiar las configuraciones de la interface local y remota sobre la opción de CONFIGURATION refiérase a la selección de conexiones de loopback locales en ambas unidades (local y remota) del Optimux-4E1. El menú de acciones especiales contiene la selección del link E2 redundante, teclee y seleccione el loopback remoto del E1.

Monitoreando el estado

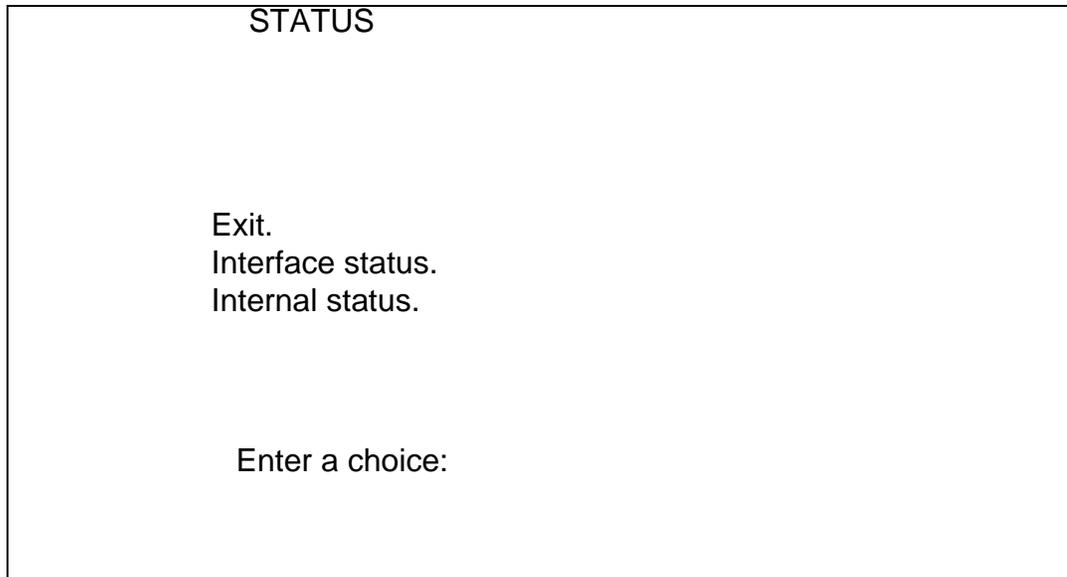
El usuario puede monitorear el estado de la transmisión de las interfaces del E1 y E2 (Interface Status) y el estado funcional de los bloques del Optimux-4E1 (estados internos).

Estado de las interfaces E1 y E2

Para monitorear el estado de las interfaces E1 y E2:

1. En el Menú principal del Optimux seleccione la opción 1. El menú de estados aparece (vea la *Figura-31*).

Figura 31. Status Menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Seleccione la opción 1.

La pantalla de estado de la interface aparece mostrando uno de los siguientes estados por cada interface de E1 y E2 en el modo local y remoto de las unidades del Optimux-4E1 (vea la *Figura 32*):

- | | |
|--------------------|--|
| Data signal | Señal de entrada es detectada en la línea respectiva. |
| Signal loss | Pérdida de la señal de entrada en la línea respectiva. |
| AIS | Señal de indicación de Alarma (Todos unos) son detectados en la línea respectiva |

Figura 32. Interface Status Screen

INTERFACE STATUS			
Input to interface	Local	Remote	
E1 channel 1	Signal loss	Signal loss	
E1 channel 2	Signal loss	Signal loss	
E1 channel 3	Signal loss	Signal loss	
E1 channel 4	Signal loss	Signal loss	
E2 main	Signal loss	Signal loss	
E2 backup	Signal loss	Signal loss	

0.Exit.			

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Seleccione 0 para regresar al menú de estados (Status menu)

Estado Funcional de los Blocks

Para monitorear el estado funcional de los blocks del Optimux-4E1

1. En la pantalla de estados, seleccione la opción 2.

La pantalla de estados aparece mostrando uno de los siguientes estados por cada bloque funcional en ambas unidades del Optimux-4E1 (local y remota) (vea *Figura 33*):

Figura 33 Internal Status Screen 1.

Block	State	Indicates
Elastic Store	Valid	Block is functioning properly
	Not valid	Block failure or incorrect tributary frequency
Demultiplexer	Valid	Block is functioning properly
	Not valid	Block failure or loss of E1 frame
Power Supply	Valid	Block is functioning properly
	Not valid	No output voltages are supplied
	Not present	Power supply is not installed

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Figura 34 Internal Status Screen 2.

INTERNAL STATUS			

Element	Local	Remote	

Elastic store E1 channel 1	Valid	Valid	
Elastic store E1 channel 2	Valid	Valid	
Elastic store E1 channel 3	Valid	Valid	
Elastic store E1 channel 4	Valid	Valid	
Demultiplexer	Valid	Valid	
Power supply 1	Valid	Valid	
Power supply 2	Not present	Not present	

0.Exit.			

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Seleccione 0 para regresar a pantalla de estados (Status screen).

Configuración del Optimux-4E1

El uso de una terminal le permite

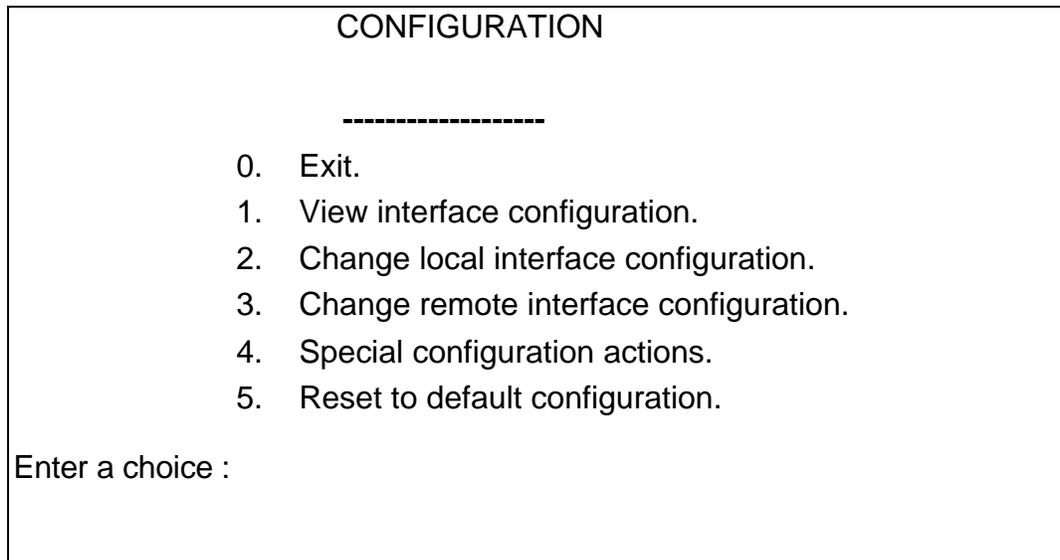
- Ver la configuración de las interfaces E1 y E2, siempre que las interfaces se encuentren en el modo normal o en el modo de loop.
- Seleccione la conexión de loop local en ambas interfaces E1 y E2 del optimux-4E1.
- Seleccione la conexión de loop remoto en ambas interfaces E1 y E2 del optimux-4E1.
- Seleccione el modo de redundancia de la interface E2.
- Seleccione la conexión de loopback remoto en el E1.
- Restablezca la configuración de fabrica (default) del Optimux-4E1 (removiendo los loops y conmutando al modo normal de redundancia).

Viendo las configuraciones de la Interface

Para ver la configuración de las interfaces E1 y E2

1. En la pantalla del menú principal del Optimux, seleccione la opción 2. El menú de configuración aparece (vea *Figura 35*).

Figura 35. Configuration Menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

2. Seleccione opción 1.

La vista de la configuración de la interface aparece en la pantalla.

La pantalla muestra si algún loop es conectado en el Optimux-4E1 local o en el Optimux-4E1 remoto (vea *Figura 36*).

Figura 36. View Interface Configuration Screen

VIEW INTERFACE CONFIGURATION			
Interface	Local	Remote	
E1 channel 1	Normal	Normal	
E1 channel 2	Normal	Normal	
E1 channel 3	Normal	Normal	
E1 channel 4	Normal	Normal	
E2 main	Normal	Normal	
E2 backup	Normal	Normal	

0.Exit.

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Los estados asociados con cada unidad del Optimux-4E1 son:

Normal Ningún loopback esta conectado.

Local Un loopback local esta seleccionado en el Optimux-4E1 Local o remoto

Remoto Un loopback remoto esta seleccionado en el Optimux- 4E1 remoto.

4.2 Mantenimiento

Acciones útiles para el mantenimiento del sistema.

Seleccionando/Restableciendo Loopbacks en el Optimux-4E1 local

Para seleccionar/restablecer un local loopback en el E1 o E2 link en el Optimux-4E1 local:

1. En el menú de configuración, seleccione opción 2.

En el menú de configuración aparecen los cambios en la interface local (vea *Figura 37*).

Figura 37. Change Local Interface Configuration Menu

CHANGE LOCAL INTERFACE
CONFIGURATION

NOTA: Para cambiar la configuración de la interface, seleccione en el siguiente formato: un decimal desde 1 hasta 6, 1 para el E1 canal 1, 2 para el E1 canal 2, ..., 5 para el E2 link principal y 6 para el E2 link de respaldo.

- 0. Exit.
- 1. Interface. E1 channel 1
- 2. Configuration.

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Normal Enter a choice:

2. Seleccione la opción 1.

3. Seleccione un dígito entre 1 y 4 para seleccionar/restablecer un loopback local en una de las interfaces E1. Seleccione 5 o 6 para seleccionar/restablecer loopback local para el link principal E2 o para el respaldo del link E2.
4. loopback local aplica para link activo únicamente.
5. Seleccione 2 y teclee 1 para seleccionar un loopback. Teclee 0 para restablecer un loopback.
6. Seleccione 0 para regresar al menú de configuración.

Seleccionando/Restableciendo Loopbacks en el Optimux-4E1 Remoto

Para seleccionar /restablecer local loopback en el E1 o E2 link en el Optimux-4E1 remoto

1. En el menú de Configuración, seleccione la opción 3.

El menú de configuración de la Interface de cambio remota aparece (vea *Figura 38*).

Figura 38. Change Remote Interface Configuration Menu

CHANGE REMOTE INTERFACE
CONFIGURATION

NOTE: To change the configuration of the interface, select it in the next format: decimal number from 1 to 6, 1 for E1 channel 1, 2 for E1 channel 2, ..., 5 for main link and 6 for backup link.

- 0. Exit.
- 1. Interface. E1 channel 1
- 2. Configuration. Normal

Enter a choice :

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

- 2. Seleccione la opción 1.

Seleccionando el local loopback E2 link en el Optimux-4E1 remoto desconecta el link

Precaución

La acción es irreversible. Para remover este loopback, conecte una terminal a la unidad remota o apague la fuente de alimentación de la unidad remota.

- 3. Seleccione un dígito entre 1 y 4 para seleccionar/restablecer un local loopback en una de las interfaces E1. Seleccione 5 o 6 para seleccionar/restablecer un local loopback para el E2 principal o link de respaldo (backup link)

El loopback local E2 link aplica para link activo únicamente.

4. Seleccione 2 y teclee 1 para seleccionar un loopback. Teclee 0 para restablecer un loopback.

5. Seleccione 0 para salir al menú de Configuración.

Invocando Acciones Especiales

Un menú de Acciones especiales en la opción de Configuración le permite al usuario:

- Seleccionar el modo de redundancia del E2 link.
- Seleccionar/restablecer los loopback remotos de los E1.

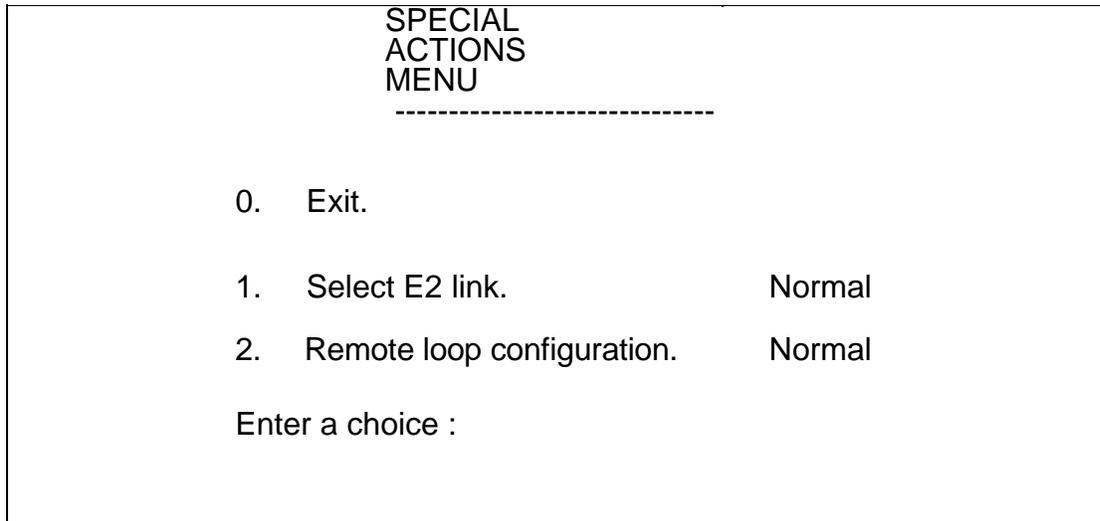
Seleccionando el modo de redundancia del E2 Link

Para seleccionar el modo de redundancia del **E2 link**:

1. En el menú de Configuración, elija la opción 4.

El menú de acciones especiales aparece (vea *Figura 39*).

Figura 39 Special Actions Menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

2. Seleccione 1 y seleccione una de las siguientes opciones

Figura 40 Special Actions Menu Screen 2

No.	Option	To
0	Normal	Select the main link as the preferred
1	Main	Force the main link as the active link.
2	Backup	Force the backup link as the active link.

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

3. Seleccione 0 para regresar al menú de Configuración.

Seleccionando/Restableciendo el loopback Remoto del E1

Para seleccionar el Loopback Remoto del E1

1. En el menú de Configuración, seleccione la opción 4.

El menú de acciones especiales aparece (vea *Figura 39*).

2. Seleccione 2 y teclee 1 para seleccionar el loopback o teclee 0 para restablecer el loopback.

3. Seleccione 0 para regresar al menú de Configuración.

Restableciendo la configuración de fabrica (Default Configuration)

Para restablece la configuración de fabrica (default configuration) en el optimux-4E1

1. En el menú de Configuración, seleccione la opción 5.

El menú de configuración para restablecer la configuración de fabrica (default configuration) aparece (vea *Figura 41*).

Restableciendo la configuración de fabrica (default configuration) restablece el sistema a una trayectoria normal de transmisión (no loops) y al modo de redundancia normal como fue definido en la sección previa.

Figura 41. Reset to Default Configuration Menu

RESET TO DEFAULT
CONFIGURATION

NOTE: After performing this operation all interfaces will
be set to NORMAL configuration.

- 0 . Exit.
- 1 . Reset to default configuration.

Enter a choice:

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

- 2. Seleccione opción 1 y teclee 'reset'.
- 3. Seleccione 0 para regresar al menú de Configuración.

4.3 Sistemas de seguridad y condiciones ambientales

4.3.1 Sistemas de seguridad

Cambiando la Password del Optimux-4E1

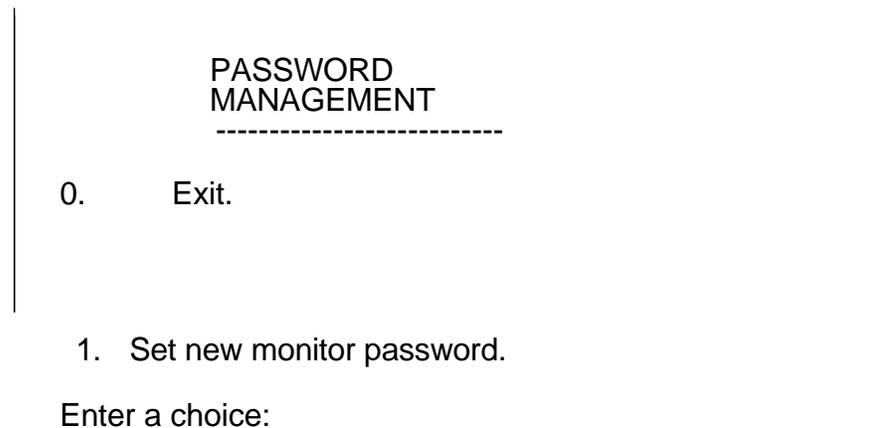
La password de fabrica (default) para principiar las operaciones desde la terminal es 'Optimux '(El Octavo carácter es un espacio).

Para cambiar la password actual

- 1. Seleccione la opción 3 desde el menú principal del Optimux.

La Password del menú de mantenimiento aparece (vea *Figura 42*).

Figura 42. Password Management



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Menu 2. Seleccione la opción 1

Nota

3. Teclee una password de 8-caracteres y presione <Enter>. Agregue espacio (s) para una password menor a 8 caracteres. Un asterisco (*) aparece en la pantalla después de cada carácter tecleado.

Debido a que la password del Optimux-4E1 discrimina usted deberá usar caracteres minúsculos y mayúsculos.

4. Seleccione 0, para regresar al menú principal del Optimux.

En el caso de que sea olvidada la nueva password, refiérase a su distribuidor local para asistencia.

Revisando actualizaciones de Hardware y Software

Para ver la última actualización del hardware y software del Optimux-4E1

1. En el menú principal del Optimux, seleccione la opción 4.

La información de la Versión aparece en pantalla (vea *Figura 43*)

Figura 43. Version Information Screen 2.

```
VERSION
INFORMATION
-----

Hardware revision is      F

Software version is      1.00

0.Exit.

Seleccione 0 para salir al menú principal del Optimux
```

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

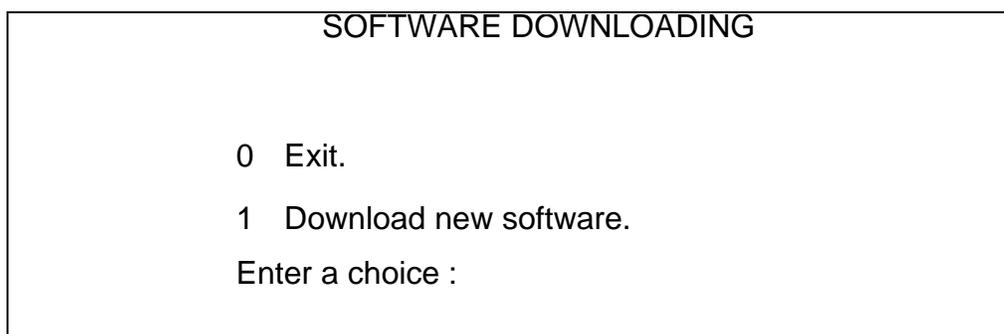
Actualizaciones de Software

Para bajar una nueva revisión de software:

1. En el menú principal del Optimux, seleccione la opción 5.

El menú de descarga del Software aparece (vea *Figura 44*).

Figura 44. Software Downloading Menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

2. Seleccione la opción 1.

3. Teclee 'flash' y presione <Enter> para confirmar la descarga (downloading).

El Optimux-4E1 se restablece el mismo y borra la memoria flash.

4. Cuando este listo, ingrese el comando de descarga (downloading command).

La versión del Nuevo software es cargada a la memoria flash y el Optimux-4E1 es inicializado.

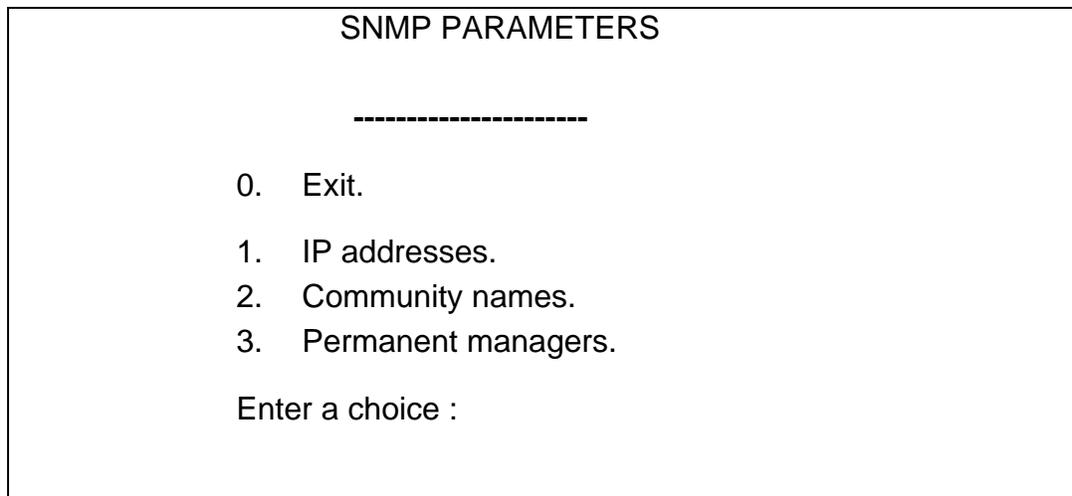
5. Seleccione 0 para salir al menú principal del Optimux.

Seleccionando Comunicación SNMP – Modo SLIP

En el menú principal del Optimux, seleccione la opción 6.

Los Parámetros del menú SNMP aparece (vea *Figura 45*).

Figura 45. SNMP Parameters Menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Para seleccionar la dirección IP (IP address) del Optimux-4E1

1. Seleccione la opción 1.

El menú IP addresses aparece (vea *Figura 46*)

Figura 46. IP Address Menu 1.

IP ADDRESSES

NOTES: 1. IP address should be typed in the following format: X.X.X.X
where: X - decimal number from 0 to 255. 2. Non-
contiguous subnet masks are not allowed.

```
0.   Exit.
1.   Inband IP address:      0.0.0.0
2.   Subnet mask:           0.0.0.0
Enter a choice : 0
```

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

Llene los campos de acuerdo con las notas en la
pantalla:

Figura 47. IP Address Menu 2.

Field	Used to specify
Inband IP address	The agent (Optimux-4E1) IP address.
Subnet mask	The address mask for the agent IP subnet.

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

3. Seleccione 0 para salir del menú de Parámetros del SNMP.

Para seleccionar nombres de la comunidad del mantenimiento de la red

1. En el menú Parámetros del SNMP, seleccione la opción 2.
El menú de los nombres de la comunidad aparece (vea *Figura 48*).

Figura 48. Community Names Menu

```
COMMUNITY NAMES
-----
0.   Exit.
1.   Trap community name.
2.   Read-only community names.
3.   Read-write community names.
```

Enter a choice: 1

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

2. Seleccione 1.

El menú Trap Community aparece (vea *Figura 49*).

Figura 49. Trap Community Name Menu

```
TRAP COMMUNITY NAME
-----
0.   Exit.
1.   Trap community name:   Public
Enter a choice : 0
```

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

3. Seleccione 1 y teclee una palabra de hasta 8 caracteres.
4. Seleccione 0 para salir del menú Community Names.
5. Seleccione 2.

El menu Read-Only Community Name aparece (vea *Figura 50*).

Figura 50. Read-Only Community Name Menu

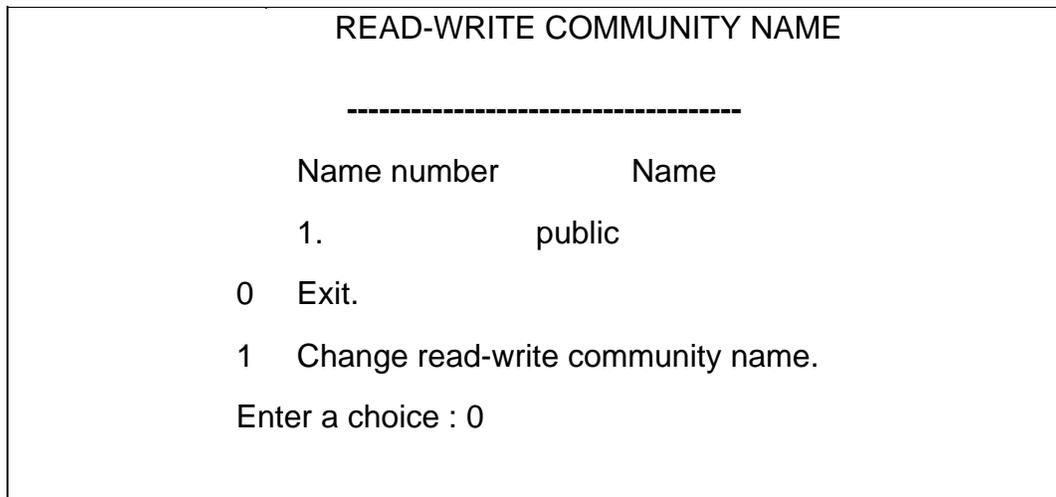
```
READ-ONLY COMMUNITY NAME
-----
Name number      Name
1.              public
0  Exit.
.
1  Change read-only community name.
.
Enter a choice : 0
```

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

6. Seleccione 1 para autorizar a la comunidad a leer los parámetros MIB usando SNMP obtiene comandos y teclee una palabra de hasta 8 caracteres.
7. Seleccione 0 para salir del a pantalla Community Names.
8. Seleccione 3.

El menu Read-Write Community Name aparece (vea *Figura 51*)

Figura 51: Read-write community name menu



Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

9. Seleccione 1 para autorizar la comunidad a leer/escribir (read/write) los parámetros MIB usando comandos SNMP obtener/seleccionar (get/set). Introduzca una palabra de hasta 8 caracteres.

10. Seleccione 0 para salir del menú Community Name.

Para seleccionar la dirección IP (IP address) de la red permanente

1. En el menú de Parámetros del SNMP, seleccione la opción 3.

El Menú Permanent Managers aparece (vea *Figura 52*).

Figura 52. Permanent Managers Menu

PERMANENT MANAGERS

NOTE: Permanent manager IP address should be typed in the following format: X.X.X.X
where: X - decimal number from 0 to 255.

Number	Permanent manager
1.	0.0.0.0

0. Exit.
1. Change permanent manager.

Enter a choice: 0

Fuente: INTTELGUA, manual de instalación y operación Optimux-4E1L

2. Seleccione 1 e ingrese la IP address como se indica por la nota en la pantalla

3. Seleccione 0 para salir del menú Community Name.

4.3.2 Condiciones ambientales

El fabricante recomienda que el equipo trabaje bajo las siguientes condiciones

Ambiente Temperatura de *Operación*

0° to 50°C (32° to 122°F)

Humedad relativa hasta 90%, no condensando (non-condensing)

Se recomienda

Iluminación adecuada

Aire acondicionado

Acceso restringido

Piso falso

Cielo falso

Area libre de ductos de agua potable y drenajes

Area libre de cables de altas tensiones

Espacio libre para efectos de mantenimiento

Consideraciones adicionales

Que exista respaldo de motor generador

Que exista respaldo de Ups

Medición del sistema de tierra

Medición de voltajes de la línea comercial

Línea a Línea, Línea a Neutro, Línea a Tierra y Neutro a tierra.

4.4 Diseño hipotético de un nuevo servicio

Producto

Qué es el producto?

Un facilitador de la migración de troncales analógicas a digitales mediante la oferta de

Una desviación de la llamada al nuevo numero de acceso.

Una grabación indicando el nuevo numero de acceso al cliente

Ventajas y Beneficios para el cliente

Facilitar el proceso de migración de troncales analógicas a digitales ya que el usuario final empezara a familiarizarse con la nueva numeración de la empresa.

Mantener contacto con su mercado y/o aumentar la completación de llamadas a su nuevo PBX digital resultando en mejores posibilidades de obtención de negocios.

Mercado

Empresas que pretendan digitalizar sus líneas y cuenten con un PBX

Empresas que se dispongan a adquirir el Acceso Empresarial

Requisitos de Contratación

1. Contratar un acceso empresarial para sustituir un acceso analógico
2. Identificar el PBX analógico a donde aplicar el paquete
3. No cancelar las líneas analógicas durante este periodo.

Cobertura

La misma que troncales digitales

Instalación/activación

Requerimientos de Instalación/Activación

Para el cliente

Integrar un PBX en una troncal digital con el propósito de sustituir un PBX analógico.

El PBX analógico debe pertenecer a una central telefónica que cuente con las funciones de desvío de llamadas y mensajes pregrabados.

Tipo de Instalación/Activación

La activación debe ser en forma manual y centralizada

Tiempo máximo de Instalación/Activación

El cliente tendrá su servicio/producto activado en un promedio de 1 día a partir de la integración del nuevo PBX digital.

Facturación

Sistemas de Facturación

El sistema de facturación debe ser el mismo utilizado para las líneas analógicas por el operador que preste el servicio.

Desarrollo operativo

Para realizar la instalación

Se procede con la alimentación y configuración del sistema y se realizan las pruebas de calidad de acuerdo con el siguiente orden

1. Se evalúa la atenuación del tramo y los límites de atenuación
2. Los límites de tolerancia.
3. Tasa de error
4. Forma del pulso
5. Se verifican alarmas
6. Pruebas de señalización
7. Se realiza una matriz de llamadas

La matriz de llamadas es para verificar el correcto acceso a todos los nodos y centrales telefónicas nacionales e internacionales.

Características y funciones

El desvío de llamadas desde un PBX analógico hacia el nuevo PBX digital se hace de manera automática, sin interacción de ninguna operadora, permitiendo mayor confiabilidad y seguridad en la operación.

Se le pueden ofrecer al cliente tres alternativas de mensajes pregrabados.

El periodo de prestación del servicio puede ser modificado a solicitud del cliente, de acuerdo a como se ajuste a sus necesidades y de acuerdo a las tarifas propuestas.

En el proceso de desviación de la llamada, la segunda llamada generada tiene cargo para ese número.

Capacidad instalada disponible

El 99% de las centrales telefónicas de los operadores en Guatemala son digitales y por lo tanto son capaces de desviar llamadas y dejar mensajes pregrabados. No existe ninguna limitante de tipo técnico u operativo que impida que se implementen estos servicios o que puedan limitar de alguna manera la cantidad de servicios a poder implementarse.

Inversión estimada y calendario de aplicación de recursos

No se considera necesario ninguna inversión para los servicios de desvío de llamada o grabación de mensaje.

Marco regulatorio aplica plan de numeración

Entorno competitivo En la actualidad todas las empresas pueden ofrecer la integración de PBX con troncales digitales, lo cual garantiza una buena competitividad.

Beneficios de comunicación que se obtienen con estos servicios

Identificador de Llamadas

Marcación directa entrante (DID)

Número de Grupo

Líneas bidireccionales

Líneas unidireccionales (llamadas de entrada o de salida)

Números 800's

Planes tarifarios

Servicios de valor agregado como por ejemplo (dependiendo del equipamiento y sistema de señalización utilizado)

Videoconferencias

Llamadas tripartita

Llamadas en espera

Marcación automática por abonado ocupado.

Despertador

El servicio DID lo acerca con sus oportunidades de negocio, evitando el paso por la operadora. Se comercializa en paquetes de 10 números

Las conexiones a Internet por vía telefónica son más eficientes, por lo que se convierten en herramientas más productivas.

Se garantiza una continuidad del servicio de un 99.9% del tiempo, aumentando la posibilidad de hacer negocios.

El mínimo de contratación es de 10 líneas digitales y 2 años

El costo de contratación dependiendo del operador puede oscilar entre:

Instalación: US \$300.00 + IVA

Renta mensual: US \$ 10.00 + IVA

Modalidad de cobro: por línea

Precio del tráfico: Tarifas vigentes para tráfico local, nacional e internacional

El costo de contratación de un paquete de DID dependiendo del operador puede oscilar entre

Instalación: US \$ 400.00 + IVA

Renta mensual: US \$ 40.00 + IVA

Modalidad de cobro: Por paquete de 10 DID.

Precio del tráfico: Tarifas vigentes para tráfico local, nacional e internacional.

La figura 53 nos muestra el diagrama de bloques del diseño básico de funcionamiento.

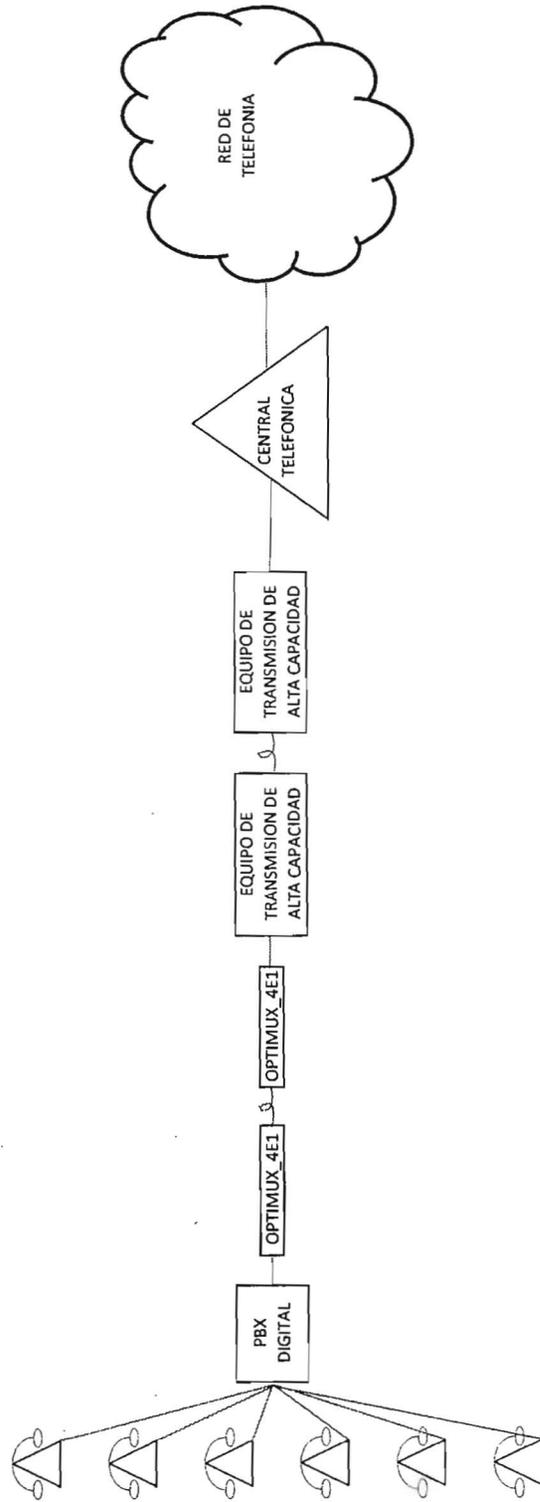


Figura 53. Diagrama de bloques diseño básico de funcionamiento

CONCLUSIONES

1. El subequipamiento de un equipo no hace proyectos económicamente factibles, porque limita la disponibilidad inmediata de sus funciones y capacidades, lo cual encarece su costo. Esto se puede apreciar viendo los servicios de valor agregado que se mencionan en el capítulo 4.
2. En usuarios con mayor número de líneas resulta más económico planificar un mayor número de funcionalidades y servicios, si se considera que la capacidad mínima que se puede contratar son 10 líneas y 2 años de acuerdo con los planes tarifarios y servicios que brinde el operador, lo cual encarece el costo de los circuitos de 2 MB/s.
3. Elegir al operador más barato no siempre es la mejor opción, si éste restringe la capacidad de la compañía de ser competitiva, distribuir productos y servicios rápidamente y crecer sin dificultades.

RECOMENDACIONES

1. Es adecuado utilizar sistemas PDH cuando se tiene considerada una interconexión punto a punto.
2. Al utilizar enlaces PDH de 2 MB/s, se hace más óptimo el uso de fibras ópticas y la distribución de los circuitos de baja jerarquía.
3. El equipo PDH configurado 1+1 es la manera en que se puede aprovechar las ventajas del sistema de protección, facilitando las labores de mantenimiento.
4. Al analizar expansión de circuitos de 2 MB/s es adecuado considerar: el total de circuitos pendientes por conectar, proyecciones de tráfico, envejecimiento de los equipos y la tendencia de la tecnología y operadores para brindar nuevos servicios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Escuela de Entrenamiento. **Curso de telefonía básica**, (Guatemala: Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones, GUATEL; 1988), pp. 1 - 15.
2. Padilla González Isidoro. **Sistemas de conmutación digital**, (España: AHCET, ICI, 1986), pp. 1 - 17, 217 - 305, 369 - 414.
3. SIEMENS. **Conceptos sobre la técnica PCM**, (s.l.; División Transmisiones Centro de Entrenamiento Clientes, 1988), pp. 1 - 35.
4. Erdmenger Herbert. **Curso de fibra óptica**, (Guatemala: Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones GUATEL, 1989), pp. 1-11, 14-18,19-25,52-54.
5. Escuela de Entrenamiento. **Curso señalización saliente**, (Guatemala: Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones, GUATEL; 1994), pp. 1 - 18, 35 - 42, 71 - 85, 119-127.
6. Héctor Cifuentes Aguirre. **Decreto número 94-96**, (Guatemala: Diario de Centro América, Órgano oficial de la República de Guatemala, Tomo CCLV, 1996), Capítulos 3 – 5.
7. Héctor Cifuentes Aguirre. **Decreto número 115-97**, (Guatemala: Diario de Centro América, Órgano oficial de la República de Guatemala, Tomo CCLVII, 1997), Artículos 28 y 37.
8. Juan Bedmar Izquierdo. **Telecomunicación a través de fibra óptica**, (España: AHCET-ICE), pp. 12-24, 30-37.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELLAMY, John. **Digital Telephony**. 2a. ed. Estados Unidos: a Willey-Interscience Publucation John Wiley & Sons, INC.,1992, pp. 381 - 391.
2. CIFUENTES Aguirre, Héctor. **Decreto número 115-97**. Guatemala: Diario de Centro América, Órgano oficial de la República de Guatemala, Tomo CCLVII, 1997.
3. CIFUENTES Aguirre, Héctor. **Decreto Número 94-96**. Guatemala: Diario de Centro América, Órgano oficial de la República de Guatemala, Tomo CCLV, 1996.
4. MINOLI, Daniel. **Tecnologías de Telecomunicaciones**. España: AHCJET, 1994, pp. 7 – 9, 34 – 43, 119 - 446, 459 - 555, 698 - 876.
5. Northern Telecom. **Protocolos de aceptación para los sistemas digitales de fibra óptica**. S.l.; Northern Telecom Europe Limited., 1992, pp. 1 - 150.

