

8  
2ej-



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
" ARAGON "

ESTUDIO DE LOS MEDIOS DE TRANSMISION DE  
DATOS A ALTA VELOCIDAD PARA ENLAZAR DOS  
CENTROS DE INVESTIGACION DEL IIE UBICADOS  
EN LAS CIUDADES DE MEXICO Y CUERNAVACA

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
QUE PRESENTAN:  
CELSO SANTOS GARCIA MORALES  
CARCO ANTONIO TRUJILLO QUINTANA

TESIS  
CON  
FALLA DE ORIGEN

DIRECTOR DE TESIS  
ING. NARCISO ACEVEDO HERNANDEZ



SAN JUAN DE ARAGON, ESTADO DE MEXICO,

AGOSTO DE 1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# Índice general

## Introducción

<b>CAPITULO I: Antecedentes</b> .....	<b>1</b>
I.1 Portadores de comunicación públicos (PTT) .....	1
I.2 Primer enlace para procesamiento remoto de datos .....	1
I.3 Evolución del enlace .....	1
I.4 Evolución del equipo de teleproceso .....	4
I.5 Cambios en la estructura del enlace con el equipo de teleproceso .....	6
I.6 Perspectivas de mejoramiento .....	6
<b>CAPITULO II: Consideraciones teóricas</b> .....	<b>8</b>
II.1 Componentes de un sistema de comunicación .....	8
II.2 Señales analógicas y digitales .....	9
II.3 Modulación .....	11
II.3.1 Técnicas de modulación por pulsos .....	12
II.3.2 Modulación por Código de Pulsos (PCM) .....	13
II.3.3 Modulación en Delta (MD) .....	16
II.3.4 Modulación binaria .....	17
II.3.4.1 Modulación por Corrimiento de Amplitud (ASK) .....	17
II.3.4.2 Modulación por Corrimiento de Frecuencia (FSK) .....	18
II.3.4.3 Modulación por Corrimiento de Fase (PSK) .....	18
II.3.4.4 Modulación por Corrimiento de Fase en Cuadratura (QPSK) .....	18
II.3.4.5 Modulación por Amplitud en Cuadratura (QAM) .....	19
II.4 Espectros en frecuencia de las señales digitales .....	20
II.4.1 Espectro de una señal ASK .....	20
II.4.2 Espectro de una señal FSK .....	21
II.4.3 Espectro de una señal PSK .....	21
II.5 Sincronización .....	23
II.6 Códigos de corrección de errores .....	23
II.7 Elementos de un sistema de transmisión de datos .....	23
II.8 Modos de transmisión .....	24
II.8.1 Transmisión simplex .....	24
II.8.2 Transmisión semiduplex (Half-Duplex) .....	24
II.8.3 Transmisión duplex (Full-Duplex) .....	24
II.9 Conceptos fundamentales para transmisión de datos .....	25
II.9.1 Comunicación de datos .....	25
II.9.2 Transmisión de datos paralelo y serie .....	26
II.9.3 Sincronismo .....	26
II.9.4 Tipos de transmisión .....	26
II.9.5 Capacidad de un canal de comunicación .....	28
II.9.6 Protocolos de comunicación .....	28

II.9.6.1 Funciones de un protocolo de comunicación	29
II.9.6.2 Clasificación de los protocolos	29
II.9.7 Códigos de comunicación binaria	30

## CAPITULO III: Medios de transmisión para información digital . . . . . 32

III.1 Ancho de banda de los medios de transmisión	32
III.2 Sistemas de portadores digitales	32
III.2.1 Sistema Americano T1	33
III.2.2 Sistema Europeo E1	34
III.3 Jerarquía de los sistemas T1 a T4	36
III.4 Comportamiento de las líneas de transmisión	37
III.4.1 Parámetros de línea	39
III.4.2 Impedancia característica	39
III.5 Línea telefónica	40
III.5.1 Cables de pares de hilos	40
III.5.2 Canales telefónicos	40
III.5.2.1 Ancho de banda de un canal telefónico	40
III.5.2.2 Consideraciones para líneas telefónicas en transmisión de datos	40
III.5.2.3 Parámetros estacionarios	40
III.5.2.4 Parámetros de efectos transitorios	43
III.5.2.5 Especificaciones técnicas para línea telefónica	43
III.6 Cable Coaxial	43
III.6.1 Velocidad de transmisión	44
III.6.2 Distancia entre repetidores	45
III.7 Líneas para transmisión de datos por Fibra Óptica	45
III.7.1 Fibras ópticas	45
III.7.1.1 Clasificación de las fibras ópticas	46
III.7.2 Modos	47
III.7.3 Atenuación	47
III.7.4 Ventanas	48
III.7.5 Emisores y detectores ópticos	49
III.7.5.1 Tipos de emisores	49
III.7.5.2 Detectores ópticos	50
III.7.6 Modulación en fibras ópticas	50
III.7.7 Multiplexaje por división de longitud de onda	51
III.8 Radioenlaces terrestres para información digital	53
III.8.1 Modulación para sistemas de microondas por Distribución de Frecuencia FDM	54
III.8.2 Desvanecimiento	54
III.8.3 Propagación de las ondas de radio	55
III.8.4 Enlace por línea de vista	56
III.8.5 Ecuaciones de enlace por línea de vista	57
III.9 Comunicación vfa Satélite	58
III.9.1 Métodos de acceso	60
III.9.2 Elementos constitutivos en un sistema de comunicación vfa Satélite	61
III.9.3 Parámetros del sistema de comunicación vfa Satélite	62

<b>CAPITULO IV: Ventajas y desventajas técnicas de cada medio de transmisión</b> . . . . .	<b>65</b>
IV.1 Líneas telefónicas . . . . .	65
IV.1.1 Ventajas . . . . .	65
IV.1.2 Desventajas . . . . .	65
IV.2 Cable Coaxial . . . . .	67
IV.2.1 Ventajas . . . . .	67
IV.2.2 Desventajas . . . . .	68
IV.3 Fibras Ópticas . . . . .	69
IV.3.1 Ventajas . . . . .	69
IV.3.2 Desventajas . . . . .	73
IV.4 Microondas . . . . .	73
IV.4.1 Ventajas . . . . .	73
IV.4.2 Desventajas . . . . .	76
IV.5 Satélite . . . . .	76
IV.5.1 Ventajas . . . . .	76
IV.5.2 Desventajas . . . . .	76
IV.6 Tabla comparativa de los diversos medios de comunicación . . . . .	77
 <b>CAPITULO V: Selección y propuesta del medio más adecuado</b> . . . . .	 <b>79</b>
V.1 Terminología para RDSI . . . . .	79
V.1.1 Modelos de transmisión digital . . . . .	79
V.1.2 Comportamiento de errores en la transmisión . . . . .	80
V.1.3 Objetivos para secciones de línea digital . . . . .	82
V.1.4 Objetivos para secciones y trayectos digitales . . . . .	83
V.1.5 Tasa de deslizamiento . . . . .	83
V.2 Enlace México - Cuernavaca a través de Par Metálico y Radio de Microondas . . . . .	84
V.3 Enlace por Cable Coaxial . . . . .	85
V.3.1 Diseño del sistema . . . . .	85
V.4 Fibra Óptica . . . . .	88
V.4.1 Comportamiento de errores en un enlace por Fibra Óptica . . . . .	88
V.5 Microondas . . . . .	89
V.5.1 Dificultades en la transmisión . . . . .	90
V.5.2 Disponibilidad y calidad . . . . .	91
V.5.3 Funciones de los parámetros de error . . . . .	91
V.5.4 Segundos con muchos errores y minutos degradados . . . . .	91
V.5.5 Segundos con error y BER residual . . . . .	92
V.5.6 Enlace digital por microondas México - Cuernavaca . . . . .	93
V.6 Enlace digital por Satélite México - Cuernavaca . . . . .	93
V.7 Enlace digital México - Cuernavaca por Fibra Óptica y Par Torcido . . . . .	94
V.8 Selección y propuesta del medio de transmisión mas óptimo para el enlace México - Cuernavaca . . . . .	95
V.9 Diseño del enlace México - Cuernavaca por Fibra Óptica . . . . .	96
V.9.1 Características de los elementos del sistema de comunicación . . . . .	98
V.9.2 Interrelación entre los parámetros principales . . . . .	98
V.9.3 Cálculo del enlace por Fibra Óptica . . . . .	102

<b>CAPITULO VI: Estudio económico comparativo</b> . . . . .	<b>105</b>
VI.1 Cotización del enlace por Red Digital Integral (RDI) . . . . .	105
VI.2 Transmisión de datos vía Satélite . . . . .	107
VI.2.1 Red VSAT . . . . .	107
VI.2.2 Red Digital de Servicios Múltiples por Satélite TDMA/DAMA . . . . .	107
VI.2.2.1 Cotización para el enlace a través de la Red TDMA/DAMA con arrendamiento a TELECOMM . . . . .	107
VI.2.2.2 Cotización a través de la Red TDMA/DAMA con infraestructura propia . . . . .	109
VI.2.3 Servicio permanente de conducción de señales digitales por el Sistema de Satélites Morelos . . . . .	110
VI.3 Análisis comparativo de costos . . . . .	111
Conclusiones . . . . .	113
Apéndice	
Glosario	
Bibliografía	

## INTRODUCCION

La comunicación remota entre una computadora y otra o con dispositivos de entrada/salida se ha reconocido desde hace más de veinte años. Desde sus orígenes, cuando la salida en cinta perforada de una computadora se alimentaba a una teleimpresora para reproducción remota. La transmisión de datos se ha venido desarrollando notablemente, siendo en la actualidad una industria gigantesca.

El desarrollo de las telecomunicaciones va a la par con el de las computadoras, ya que la comunicación entre estas exige, no sólo mayor número de canales si no también mayor velocidad y por consiguiente calidad de transmisión.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas, creado por decreto presidencial el 1 de diciembre de 1975, es un organismo público descentralizado, cuya función es resolver los problemas de la Industria Eléctrica Nacional, con programas generales de trabajo que comprenden investigación aplicada, desarrollo experimental, estudios específicos, asesoría y asistencia técnica a usuarios.

El Instituto cuenta con varias instalaciones ubicadas en Cuernavaca, Morelos, México D.F., Mexicali, Baja California Norte y Salazar, Edo. de México.

Desde hace más de 10 años se creó una unidad de cómputo en Palmira, Cuernavaca, que enlaza las localidades de México, D.F. y Mexicali, con el objeto de poder procesar en forma remota los diferentes trabajos de investigación, administración y contabilidad.

El enlace entre las ciudades de México y Cuernavaca, es el que realiza mayor procesamiento de información digital, por lo que el equipo de teleproceso y el medio de transmisión utilizado se ha venido saturando y la calidad de transmisión en ocasiones no es muy buena. Lo que hace necesario un estudio de los diversos medios de transmisión de datos para poder seleccionar el medio más óptimo y cubrir las necesidades presentes y futuras del Instituto.

En el primer capítulo abordaremos como se han venido realizando las transmisiones de datos, en el enlace que hay entre las ciudades de México, D.F. y Palmira, Cuernavaca, desde su creación a la fecha.

La teoría necesaria para el desarrollo de la tesis será tratada en el segundo capítulo. En el tercero trataremos las características de cada uno de los medios por los que se transmite información digital en México, abordando con mayor detalle los medios de mas reciente disponibilidad o próximos a estar en uso, y que permitan enlazar las localidades en estudio.

Conociendo las características de cada medio de transmisión, en el cuarto capítulo se realizará una evaluación técnica de las ventajas y desventajas de cada medio. En el quinto capítulo se hará la selección y propuesta del medio más adecuado para el enlace. En el sexto se justificará el medio seleccionado desde un punto económico-administrativo y con relación a los demás medios de transmisión, finalmente se darán las conclusiones del estudio realizado.

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES

En la primera mitad de este siglo, la industria de la comunicación se dedicó por completo a la comunicación de voz, diseñando sistemas de comunicación analógica, y sólo en los últimos veinte años se ha dado importancia a la comunicación de información digital como tendencia de crecimiento dominante. Esta situación refleja una gran demanda por el uso de servicios de proceso remoto, demanda que ha sido resultado de las necesidades de las organizaciones públicas y privadas de tener información exacta y oportuna en todos los niveles de dirección para hacer planes en base a dicha información.

### 1.1 PORTADORES DE COMUNICACION PUBLICOS ( PTT )

Los portadores de comunicaciones públicos o autorizados, que en Europa se conocen como PTT ( algunos de compañías privadas y otras semiestatales ) en el país, están a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes bajo la Dirección general de telecomunicaciones, y comprende sistemas de redes densamente pobladas que cubren al país entero y tienen millones de puntos de entrada, tales como la red de telefonía, la red federal de microondas que está constituida por más de 114 estaciones terminales y 229 repetidoras, el sistema comunicación vfa satélite y la actual red digital integral.

La actividad en el IIE como organismo público descentralizado se basa en la información de cada uno de sus centros de investigación, información que se empezó a transmitir a través de líneas telefónicas y canales de microondas.

### 1.2 PRIMER ENLACE PARA PROCESAMIENTO REMOTO DE DATOS

De acuerdo a un estudio de viabilidad se instalaron terminales en los centros de investigación localizados en México, D.F. y Palmira, Cuernavaca, con el objeto de capturar y procesar información en forma local y remota por medio de enlaces telefónicos conectados al sistema UNIVAC-1110 de la C.F.E. en México, D.F., tal como se ilustra en la Fig.1.1.

Posteriormente se realizaron dos enlaces, al Sistema Nacional de Tiempo Compartido de C.F.E. el cual funcionó a través de red conmutada, Fig.1.2.

### 1.3 EVOLUCION DEL ENLACE

De acuerdo a un examen de las diversas áreas que integran al IIE y su interrelación en materia de información, se creo en 1977 una unidad de cómputo.

Para 1981 se contaba con dos computadoras VAX 11/780, una exclusivamente para dar servicio local a la unidad de cómputo de Palmira, Cuernavaca, y otra para dar servicio local y atender el teleproceso de la unidad de cómputo de México, D.F..



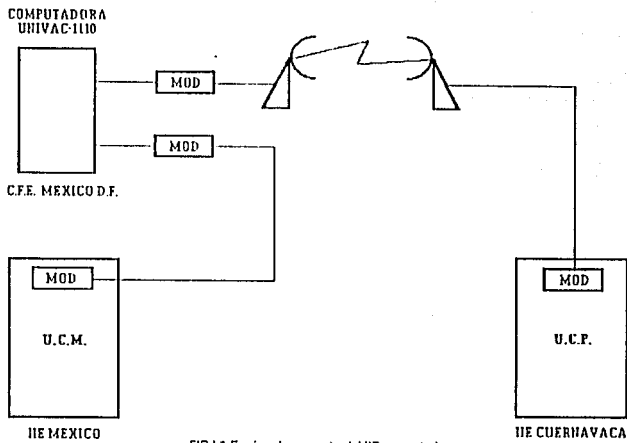


FIG. 1.1 Equipo de computo del IIE conectado a la UNIVAC -1110 de C.F.E.

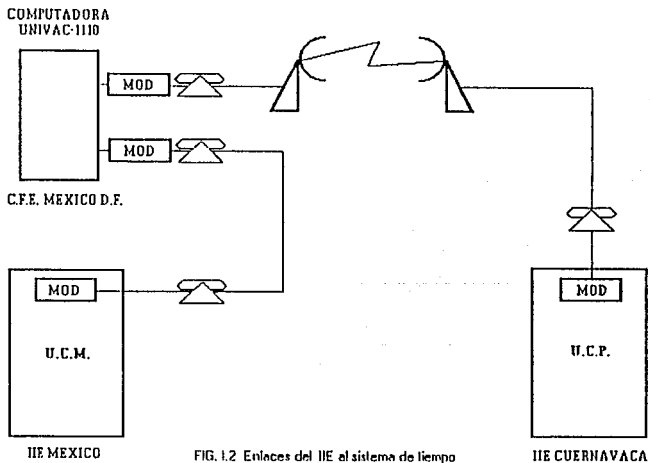


FIG. 1.2 Enlaces del IIE al sistema de tiempo compartido de C.F.E.

A principios de 1982 se abandonó el proceso en los sistemas UNIVAC-1110 y de tiempo compartido de la C.F.E..

A continuación se muestra de forma general como se han realizado los enlaces de teleproceso entre las unidades de cómputo de Palmira, Cuernavaca y México, D.F., a partir del año 1982.

En la Fig.1.3 se muestra el enlace entre Palmira y Leibnitz No.14.

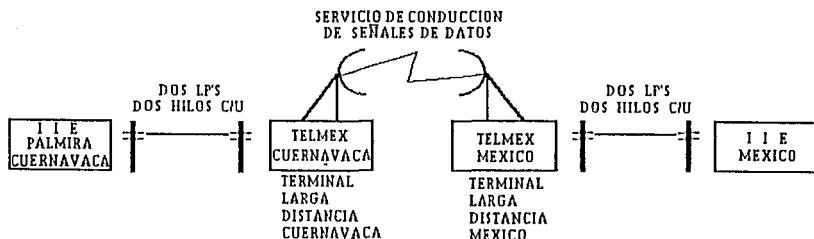


FIG.1.3 Enlace entre Palmira y Leibnitz #14.

Este enlace se realizó de la siguiente manera:

Dos líneas privadas de dos hilos cada una, del local de la unidad de cómputo Palmira a las instalaciones de servicios de larga distancia de TELMEX Cuernavaca, Morelos.

Un canal de transmisión Full-Duplex para conducción de señales de datos, de las instalaciones terminales en Cuernavaca a las instalaciones terminales de larga distancia de TELMEX en México, D.F., la velocidad de transmisión de datos a través de este canal fue de 2400 bps (bits por segundo).

Dos líneas telefónicas privadas de dos hilos cada una, de las instalaciones de servicio de larga distancia de TELMEX en México, D.F., al local de la unidad de cómputo, ubicada en Leibnitz No.14, México, D.F..

Posteriormente se contrataron seis líneas privadas de dos hilos cada una con las mismas características que las anteriores, las cuales se distribuyeron en la forma siguiente:

Cuatro líneas se instalaron en Leibnitz No.14 y dos en Dante No.36, con sus respectivos canales Full-Duplex para conducción de señales de datos a larga distancia, un canal por cada dos líneas.

La velocidad de transmisión ha ido aumentando desde 1200, 2400, 4800 hasta 9600 bps, y es, la velocidad con que se transmite en la actualidad.

Actualmente las líneas están colocadas de la misma forma, seis líneas de dos hilos cada una, en Leibnitz No.14, y dos líneas de dos hilos cada una, en Dante No.36. Enviándose la comunicación a larga distancia a través de cuatro canales de microondas Full-Duplex a 9600 bps, con cuatro hilos por canal. Fig.1.4

Se han hecho varias solicitudes a TELMEX, como son: la de instalar una línea que una a Leibnitz #14 con Dante #36. Cambiar todas las líneas de Leibnitz hacia Dante. Así como la de unir todas las líneas al sistema TELEPAC (SCT). Aún no se han realizado éstos cambios.

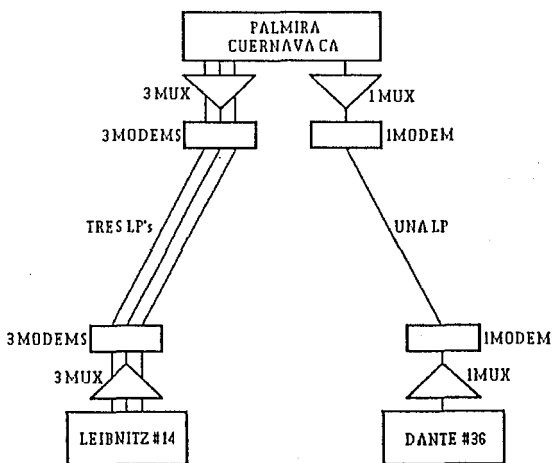


FIG.1.4 Configuración general del enlace.

#### 1.4 EVOLUCION DEL EQUIPO DE TELEPROCESO

La velocidad en la transmisión de datos ha ido aumentando conforme pasan los años, por lo que ha sido necesario renovar el equipo de teleproceso que enlaza México con Cuernavaca.

A continuación se muestran las características del equipo de teleproceso que se ha utilizado desde el primer enlace hasta la fecha.

Para adaptar las señales digitales a las líneas telefónicas y transmitir las por los enlaces de larga distancia se usaron los siguientes modems: Sicom 3-12, Sicom-24, Syntech MXM-48 y Sicom 96.

#### **Modem Sicom 3-12**

Cuando se empezaron a realizar las primeras transmisiones a larga distancia se usó este modem, transmitiendo y recibiendo a velocidades de 300, 600 y 1200 bps en forma asncrona, operando en forma normal, duplex y semiduplex.

#### **Modem Sicom-24**

Posteriormente se adquirieron modems que pueden transmitir y recibir en forma Simplex, Semiduplex y Duplex, operando a 1200 o 2400 bps

#### **Modem Syntech MXM-48**

Con éste modem se logro incrementar la velocidad en la transmisión y recepción hasta 4800 b.p.s, operando en forma Full-Duplex.

#### **Modem Sicom-96**

Actualmente las transmisiones se realizan con este modem que opera a una velocidad de 9600 bps, en modo Full-Duplex.

#### **Modem Penril 14.4M**

Este modem opera a velocidades de hasta 14400 bps en forma Full-Duplex, pero sólo se ha empleado en forma experimental, y de acuerdo a los resultados de las pruebas es probable se incluyan en el enlace.

Para aprovechar al máximo la capacidad de los Modems y canales de comunicación para obtener la máxima confiabilidad en la información recibida, se utilizaron los siguientes Multiplexores: Supermux-480, DLI-MUX X.25 y Sicom MUX 96.

#### **Supermux-480**

Es un multiplexor estadístico por división de tiempo, de cuatro a ocho canales que operan a una velocidad de 50 a 9600 bps.

#### **DLI-MUX X.25**

Es un multiplexor por división de tiempo, de cuatro a ocho canales Full-Duplex a 9600 bps.

#### **Sicom MUX 96**

Al igual que los multiplexores anteriores realiza el multiplexaje por división de tiempo, con cuatro canales Full-Duplex con una velocidad máxima de 9600 bps.

## Mux Penril 14.4M

Multiplexor por división de tiempo, con ocho canales Full-Duplex con una velocidad máxima de 14400 hps. Este multiplexor al igual que el modem Penril 14.4M sólo se ha empleado experimentalmente.

### 1.º CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL ENLACE CON EL EQUIPO DE TELEPROCESO

La manera como se acoplo inicialmente el enlace con el equipo de teleproceso se muestra en la Fig.1.5.

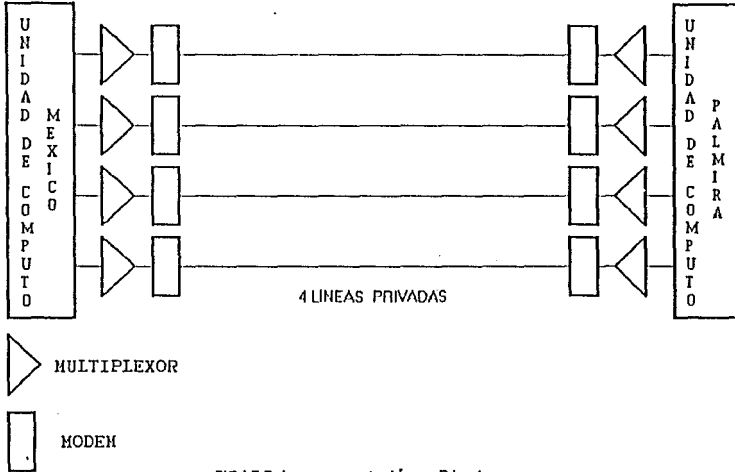


FIG.1.5 Enlace con cuatro Líneas Privadas.

Como se observa en la Fig.1.5, se cuenta con cuatro líneas privadas (LP). Lo que propiciaba que al abrirse alguna línea la capacidad del sistema disminuía, por lo que se requirió cambiar la estructura del sistema, Fig.1.6.

Este sistema fue creado con el objeto de tener dos líneas privadas de respaldo, para cuando alguna LP usada en la transmisión de datos fallara. El sistema que se muestra en la Fig.1.7 tiene tres LP's de respaldo, ya que en el enlace siguen teniendo cuatro LP's, aunque la información se transmite por una o dos LP's, como se muestra en las Figs. 1.6 y 1.7.

### 1.6 PERSPECTIVAS DE MEJORAMIENTO

A través del tiempo se han realizado varios cambios con el fin de mejorar el sistema de transmisión de datos, en cuanto a calidad y velocidad, por lo que se piensa cambiar el sistema actual por otro con las características antes mencionadas. Dichos cambios están planeados a realizarse próximamente.

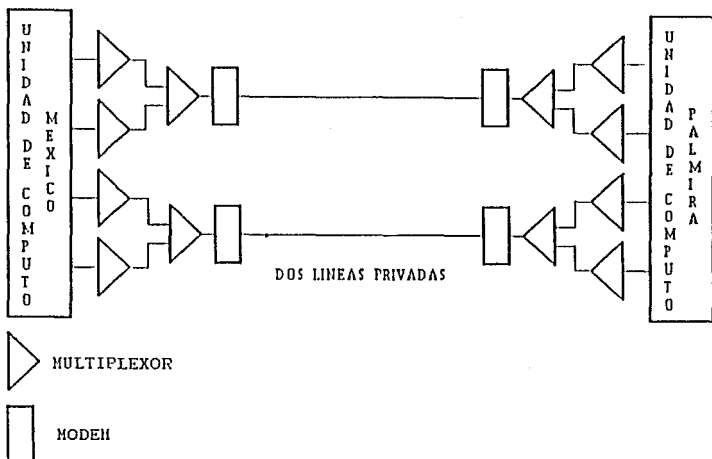


FIG.1.6 Enlace con dos Líneas Privadas y dos de respaldo.

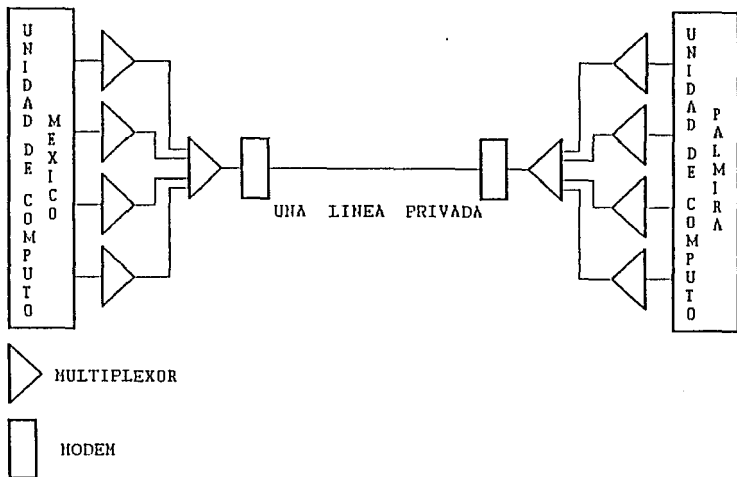


FIG.1.7 Enlace a través de una LP con tres de respaldo.

## CAPITULO II

### CONSIDERACIONES TEORICAS

#### II.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACION

Un sistema de comunicación es el mecanismo que proporciona el enlace para la información entre fuente y destino, Fig.II.1. Los elementos de este sistema son los siguientes:

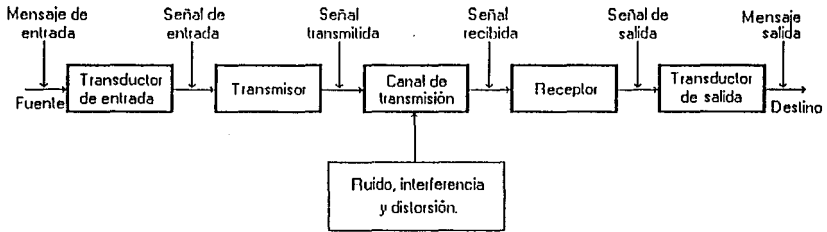


FIG.II.1 Componentes de un sistema de comunicación.

La *fente*, origina el mensaje como: voz humana, imagen de televisión, mensajes de teletipo, o simplemente datos. Si los mensajes anteriores no son eléctricos, deben convertirse mediante un transductor de entrada en una forma de onda eléctrica conocida como señal de banda base.

El término banda base se usa para designar la banda de frecuencias de la señal que entrega la fuente o el transductor de entrada. En telefonía, la banda base es la de audio (banda de las señales de voz) de 0 a 3.5 kHz. En televisión, la banda base es la de video que ocupa de 0 a 4.3 MHz. Para datos, la banda base es de 0 a  $f_c$  Hz ( $f_c$  esta limitada por el medio de transmisión).

El *transmisor*, modifica la señal de banda base para una eficiente transmisión en el canal de transmisión.

El *canal*, es el medio de enlace entre el transmisor y receptor, tal como un alambre, un cable coaxial, una gufa de ondas, una fibra óptica, o un enlace de radio.

El *receptor*, procesa la señal proveniente del canal y deshace las modificaciones introducidas por el transmisor y el canal. La salida del receptor alimenta al transductor de salida que convierte la señal eléctrica a su forma original, el mensaje.

El *destino*, es la unidad a la que se comunica el mensaje.

Durante la transmisión de la señal ocurren efectos no deseados. Uno de ellos es la atenuación la cual reduce la intensidad de la señal; pero son más serios la distorsión la interferencia y el ruido, los cuales alteran la forma de la señal.

*Distorsión*, es la alteración de la señal debida a la respuesta imperfecta del sistema, es decir, la forma de onda se distorsiona debido a las diferentes cantidades de atenuación y de corrimiento de fase que experimentan las distintas componentes de frecuencia de la señal.

*Interferencia*, es la contaminación por señales extrañas, generalmente artificiales de forma similar a las de la señal.

*Ruido*, son las señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas en forma natural dentro o fuera del sistema. Cuando estas variaciones se agregan a la señal portadora de la información, esta puede quedar parcialmente oculta, o eliminada totalmente.

## II.2 SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Muchos de los mensajes originalmente no son eléctricos, como la voz humana, la temperatura, la presión atmosférica, etc., por lo que deben convertirse mediante un transductor en una forma de onda eléctrica análoga a la original. Las señales eléctricas se pueden clasificar en analógicas y digitales.

Las señales analógicas, en el dominio del tiempo, se caracterizan por tener datos cuyo valor varía en un rango continuo y puede tomar un número infinito de valores posibles de amplitud, ver Fig.II.2.

Las señales digitales, son aquellas que sólo pueden tomar un número finito de valores en amplitud (generalmente binario), como se muestra en la Fig.II.3.

Cualquier señal periódica y uniforme, que tenga un intervalo T de repetición, puede representarse mediante una serie infinita de términos, seno y coseno, que son armónicos de la frecuencia fundamental ( $f_o = 1/T$ ). Ecuación de Fourier II.1.

$$h(t) = \frac{a_0}{T} + \frac{2}{T} \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos \omega_0 n t + b_n \sin \omega_0 n t]$$

II.1

donde

$$\omega_0 = 2\pi f_o$$

$a_0/T$  = componente continua o valor medio de  $h(t)$ .



$$\frac{a_0}{T} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} h(t) dt$$

es decir,

$$a_0 = \int_{-T/2}^{T/2} h(t) dt$$

II.2

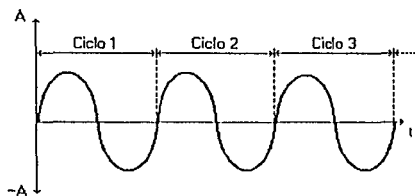


FIG.II.2 Señal analógica.

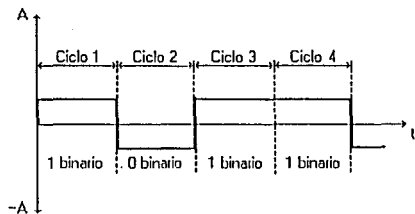


FIG.II.3 Señal digital.

Las amplitudes de los términos seno y coseno están dadas por

$$a_n = \int_{-T/2}^{T/2} h(t) \cos(\omega_0 n t) dt$$

II.3

$$b_n = \int_{-T/2}^{T/2} h(t) \sin(\omega_0 n t) dt$$

La serie de Fourier, en su forma más simple se muestra en la ecuación II.4.

$$h(t) = \frac{a_0}{T} + \frac{2}{T} \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(\omega_0 n t + \phi_n) \quad \text{II.4}$$

donde

$$C_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad \text{y} \quad \phi_n = \arctan \frac{-b_n}{a_n}$$

La representación gráfica de  $C_n$  en función de la frecuencia se conoce como *espectro de amplitudes* de  $h(t)$ , y la representación de  $\phi_n$  en función de la frecuencia se conoce como *espectro de fases* de  $h(t)$ . De acuerdo con las ecuaciones anteriores el espectro de una señal digital (tren periódico de pulsos rectangulares) queda definido por  $C_n = A t_1 \text{sinc}(\pi n f_s t_1) / \pi n f_s t_1$ , que suele escribirse de la siguiente forma  $C_n = A t_1 \text{sinc}(\pi n f_s t_1)$ , ver Fig.II.4.

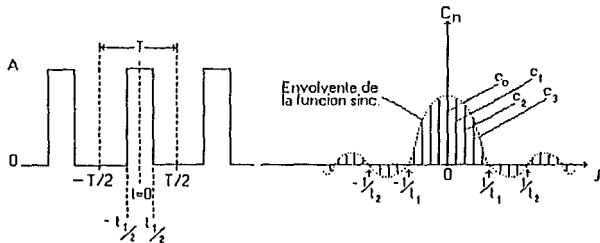


Fig.II.4 Espectro de amplitud de un tren de impulsos.

### II.3 MODULACION

Las señales analógicas y digitales desde la fuente o transductor de entrada, conocidas generalmente como señales en Banda Base, requieren para su transmisión eficiente que sean procesadas de alguna forma antes de que se transmitan por un determinado medio.

Comúnmente la transmisión de señales en Banda Base no puede utilizar el vasto espectro de frecuencias disponibles de un medio, por lo que conviene trasladar el espectro de una señal a un rango de frecuencias más altas mediante la modulación, y de esta manera emplear todo el *ancho de banda* (rango de frecuencias en que un canal puede transmitir con razonable fidelidad) disponible con más eficiencia.

La modulación se logra por medio de la variación de amplitud, frecuencia o fase de una onda senoidal portadora de alta frecuencia, de acuerdo con la información que se va a transmitir.

Las señales moduladas en pulsos ( PAM, PDM, PPM, PCM Y MD ), a pesar del término modulación, son señales de Banda Base cuyo esquema de modulación en pulso son en realidad esquemas de codificación de Banda Base, dando por resultado señales de Banda Base. Estas señales deben aún modular a una portadora a fin de trasladar sus espectros.

### II.3.1 TECNICAS DE MODULACION POR PULSOS

En este tipo de modulación, la amplitud de un tren de pulsos de ancho constante varía en proporción de los valores muestreados de la señal moduladora. Usualmente los pulsos se toman a intervalos de tiempos equidistantes. En las señales PAM, la información va en la amplitud de los pulsos. Esta amplitud se podría mantener constante y variar la duración de los pulsos en proporción a los valores de  $f(t)$  en los instantes correspondientes, sistema conocido como modulación por duración de pulsos (PDM). También se puede transmitir la información, con amplitud y duración constantes y cambiando su posición en proporción a los valores-muestras de  $f(t)$  en los instantes correspondientes. Tal sistema se llama modulación por posición de pulsos (PPM). En la Fig.II.5 se ilustran señales de PAM, PDM y PPM para una onda  $f(t)$ .

La Fig.II.5 muestra la señal analógica  $f(t)$  y sus correspondientes formas de onda moduladas. Donde, en lugar de transmitir a  $f(t)$ , se transmite la señal modulada en pulsos correspondientes. En el receptor, se lee la información de la señal modulada en pulsos y se reconstruye la señal analógica  $f(t)$ .

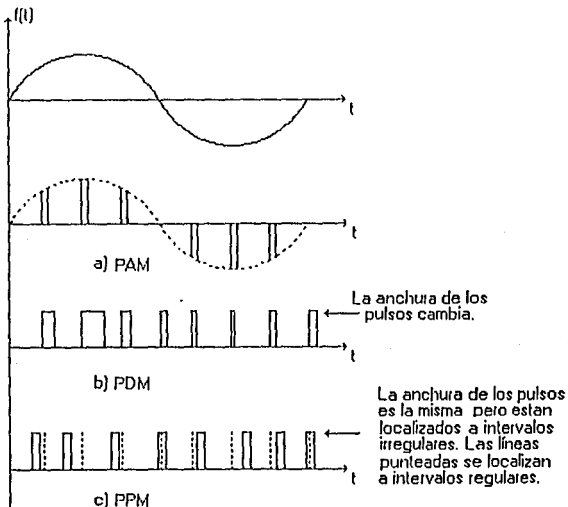


FIG.II.5 Representación de las señales de PAM, PDM y PPM.

La ventaja de utilizar la modulación por pulsos es que ésta permite la transmisión simultánea de varias señales de Banda Base sobre una base de tiempo compartido (Multiplexaje por división de tiempo, o TDM). Ya que una señal modulada en pulsos ocupa sólo una parte del tiempo del canal, se pueden intercalar varias señales moduladas en pulso en el mismo canal. La Fig.II.6 muestra el TDM de dos señales PAM.

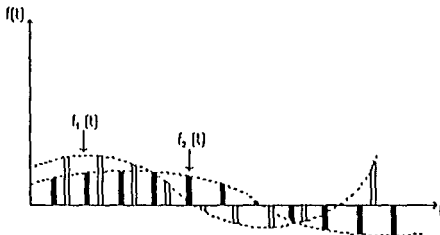


FIG.II.6 Multiplexión por división de tiempo de dos señales.

Dependiendo del canal que se disponga se podrán multiplexar varias señales. Aunque la Fig.II.6 se refiere al TDM de señales PAM, el mismo concepto del TDM se aplica a señales PCM, o cualquier tipo de pulso.

Otra forma de transmitir simultáneamente varias señales de Banda Base, es el multiplexaje por división de frecuencia (FDM). En el FDM, varias señales comparten la banda de un canal. Cada señal se modula mediante una frecuencia portadora diferente. Las diversas portadoras se separan adecuadamente para evitar traslapes (o interferencia) entre los espectros de las diferentes señales moduladas. Estas portadoras se conocen como *subportadoras*. Cada señal puede utilizar un tipo distinto de modulación (por ejemplo: AM, FM o MP). Los espectros de las señales moduladas pueden separarse mediante una pequeña guardabanda para evitar interferencia y facilitar la separación de las señales en el receptor.

### II.3.2 MODULACION POR CODIGO DE PULSOS (PCM)

Para convertir una señal analógica en una cadena digital de datos binarios se emplean diversos métodos. El método más usado es el de Modulación por Código de Pulsos, el cual se describe en tres etapas: Muestreo, Cuantización y Codificación. La PCM se utiliza básicamente en la transmisión digital de señales analógicas.

Lo anterior es posible mediante el *teorema de muestreo*, el cual establece que si la frecuencia más alta del espectro de la señal es  $f_m$ , la señal se puede reconstruir a partir de sus muestras, tomadas a una razón no menor que  $2f_m$  muestras/segundos. Esto significa que para transmitir la información dentro de una señal continua, se necesita solamente transmitir sus muestras.

Los valores de las muestras no son todavía digitales ya que se encuentran dentro de un rango continuo y pueden tomar un valor cualquiera contenido dentro del rango. Esto se resuelve mediante la

*cuantización*, la cual consiste en la subdivisión de las amplitudes de las señales en un predeterminado número de niveles discretos de amplitud.

En un sistema en específico los pulsos muestreados deben cuantizarse, o bien, los procesos de cuantización y muestreo pueden realizarse en forma simultánea, este último se representa en la Fig.II.7. La variación total de amplitud  $A_n = 7$  se divide en los niveles de amplitud igualmente espaciados  $a = 1$  Volt de separación. Existen así  $M = A_n/a + 1$  posibles niveles de amplitud, incluyendo el nivel cero. Las muestras de la figura anterior se toman cada segundo y se selecciona para ser transmitido el nivel discreto de amplitud que se encuentra más próximo. La versión cuantizada y muestreada se observa en la Fig.II.7b.

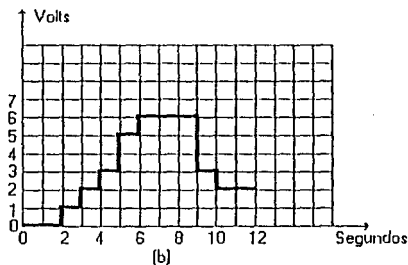
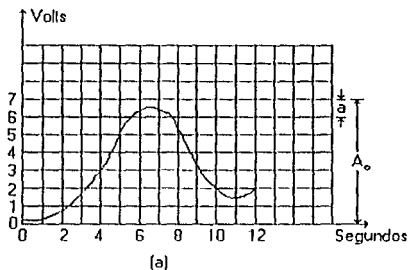


FIG.II.7 Muestreo y Cuantización: a) Señal original, b) Versión Muestreada y Cuantizada

La *codificación* de línea permite transmitir información digital mediante diferentes códigos de transmisión o de línea, tales como encendido-apagado, polar, bipolar y otros. Cada uno presenta sus ventajas e inconvenientes.

En la Fig.II.8 se muestran algunos de los métodos de codificación binaria.

*Código unipolar*. Si la señal toma valores negativos no toma nunca valores positivos o viceversa (es decir, su signo algebraico no cambia: 0 volts para el 1, y  $v(t)$  volts para el 0), Fig.II.8a.

*Código polar*. La señal toma valores positivos y negativos (los signos opuestos identifican los estados lógicos:  $v(t)$  y  $-v(t)$  volts), Fig.II.8b.

**Código bipolar.** Es el esquema de señalización que se utiliza más en la actualidad en PCM. Un 0 se transmite por ausencia de pulso y un 1 se transmite mediante un pulso  $v(t)$  o  $-v(t)$  dependiendo de si el 1 anterior se transmitió mediante  $-v(t)$  o  $v(t)$ , Fig. II.8c. Alternando pulsos consecutivos, se evita que vague la cd, ocasionando así una cd nula en la DEP. Esta señalización utiliza tres símbolos  $p(t)$ , 0 y  $-p(t)$ .

**Código duobinario.** En este esquema, un 0 se transmite por ausencia de pulso, y un 1 se transmite mediante un pulso [ejem:  $v(t)$  o  $-v(t)$ ], dependiendo de la polaridad del pulso anterior y del número de 0 entre ellos. La regla es como sigue: 1 se codifica mediante el mismo pulso que se usó para codificar el 1 que le precede si los dos 1 se encuentran separados por un número par de cero. De otra forma, se codifica mediante el negativo del pulso que se usó para codificar el uno anterior. La Fig. II.8d muestra un ejemplo de esta codificación.

**Codificación de fase dividida (Manchester).** Aquí cada bit se representa mediante dos pulsos sucesivos de polaridad opuesta. El binario 0 se transmite por ejemplo mediante  $-v(t)$  volts y el 1 como  $v(t)$  volts, como se muestra en la Fig. II.8e. Esta señalización se conoce como Manchester, de fase dividida o también binaria gemela.

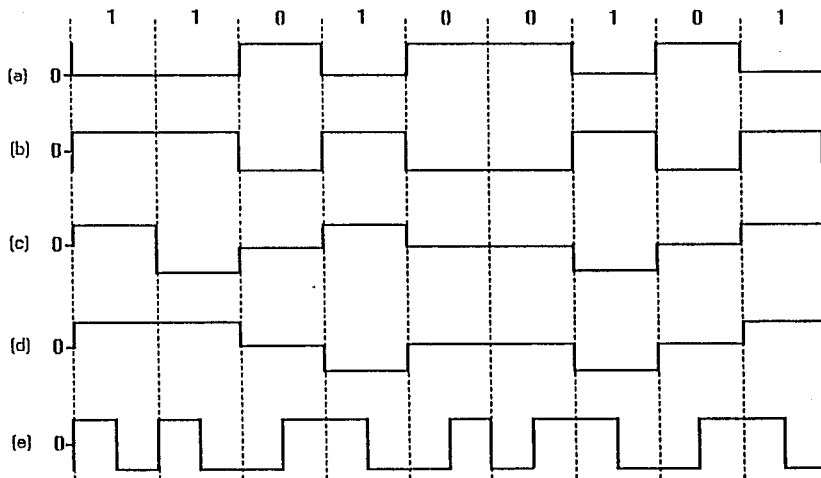


FIG. II.8 Códigos digitales: a) Unipolar, b) Polar, c) Bipolar, d) Duobinario, e) Fase dividida.

Estos son algunos de los distintos códigos empleados en la transmisión de datos. Cabe señalar que algunos de estos códigos son conocidos como de vuelta a polaridad (RB), retorno a cero (RZ) y de no retorno a cero (NRZ) con sus variantes.

El código RB, usa tres niveles (0, 1 y un nivel de polarización). El nivel de polarización puede elegirse por debajo de 0 entre los dos niveles. La onda vuelve al nivel de polarización durante la última mitad de cada intervalo de bit. Este método es autosincronizable.

El código RZ, introduce en la señal un cambio de nivel, al menos, en cada intervalo de bit, por lo que posee buenas características de sincronización. Su desventaja es que exige dos transiciones de la señal por cada bit, por lo que necesita un ancho de banda doble que los códigos NRZ.

En los códigos NRZ, el nivel de la señal permanece estable durante todo el intervalo de bit, es decir, la señal permanece en nivel bajo para representar un 1 y sube a nivel alto para expresar el 0. Emplea el ancho de banda con gran eficiencia, puesto que es posible representar un bit con cada baudio (cambio de la señal). No es autosincronizable.

### II.3.3 MODULACION EN DELTA (MD)

Básicamente la MD se puede considerar como un método simple de convertir señales analógicas en señales digitales. Se distingue de la PCM por su simplicidad y eficiencia. En la PCM, las muestras de la señal analógica se cuantifica en  $L$  niveles, y esta información se transmite mediante  $n$  pulsos por muestra ( $n = \log_2 L$ ). En la MD, la señal modulada porta información no acerca de las muestras de la señal si no acerca de la diferencia de las muestras sucesivas. Si la diferencia es positiva o negativa, se genera un pulso positivo o negativo (respectivamente) en la señal modulada  $d(t)$ . Por lo tanto, la MD porta la información acerca de la derivada de  $f(t)$  y en consecuencia, resulta el nombre de modulación en delta. Esto también se puede deducir del hecho de que la integración de la señal modulada da por resultado  $f'(t)$ , que es una aproximación de  $f(t)$ .

En la PCM, la información de cada muestra cuantificada se transmite mediante una palabra de código de  $n$ , mientras que en MD, la información de la diferencia entre muestras sucesivas se transmite mediante una palabra de código de un pulso. Por lo que se esperaría un gran error de cuantificación en MD, el cual se elimina mediante un factor de compensación, donde el índice de muestreo es mucho más alto, típicamente de cuatro a ocho veces más alto que el de la PCM. La Fig. II.9 muestra la modulación en delta (MD).

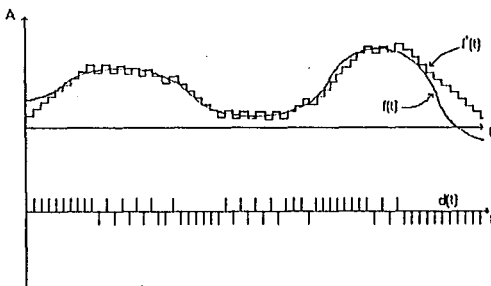


FIG. II.9 Modulación en Delta (MD).

### II.3.4 MODULACION BINARIA

Para los sistemas digitales de comunicación que emplean canales pasabanda, resulta ventajoso modular una señal portadora con la corriente digital de datos antes de la transmisión. Las tres formas básicas de la modulación digital correspondientes a AM, FM y PM, se conocen como *modulación por corrimiento de amplitud* (amplitude-shift keying, ASK), *modulación por corrimiento de frecuencia* (frequency-shift keying, FSK) y *modulación por corrimiento de fase* (phase-shift keying, PSK), Fig.II.10.

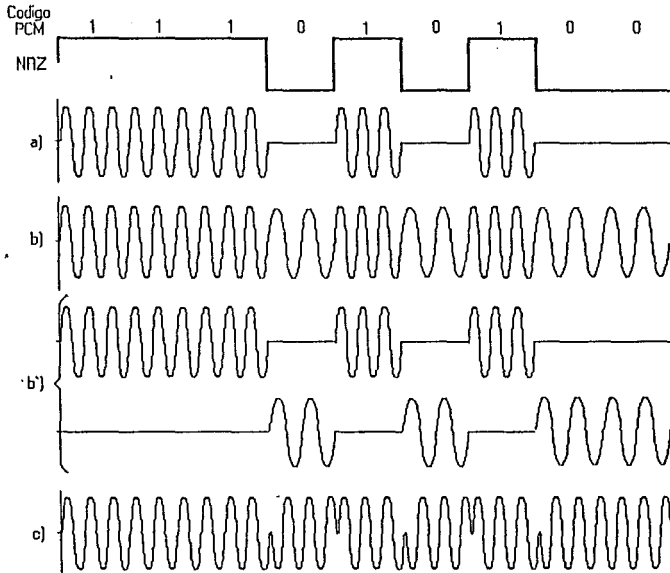


FIG.II.10 Formas de onda de modulación digital idealizada del mensaje binario 111010100. a) ASK, b) FSK  
b') Descomposición de una onda FSK en dos ondas ASK, c) PSK.

#### II.3.4.1 MODULACION POR CORRIMIENTO DE AMPLITUD (ASK)

Es la técnica de modulación más sencilla donde la amplitud de la portadora se conmuta entre dos o más valores, por lo general el *puesto* (on) y el *fuera* (off) de las señales binarias. La onda modulada resultante consiste de pulsos de RF o *marcas*, que representan al binario 1, y *espacios*, que representan al binario 0, como se muestra en la Fig.II.10a. Como en la AM, el ancho de banda base se duplica en el ASK.



La onda ASK para un pulso es:

$$\Phi(t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} \omega_c t & 0 < t \leq T, \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

### II.3.4.2 MODULACION POR CORRIMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

En este caso la frecuencia instantánea de la señal portadora se alterna entre dos (o más) valores. La Fig. II.10b muestra una señal FSK idealizada, la cual puede considerarse compuesta por dos ondas ASK de diferentes frecuencias portadoras, como se muestra en la Fig. II.10b'. Por lo tanto, para enviar cualquiera de los símbolos binarios pueden elegirse dos ondas:

$$\Phi_1(t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} m\omega_0 t & 0 < t \leq T, \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

$$\Phi_2(t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} n\omega_0 t & 0 < t \leq T, \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

### II.3.4.3 MODULACION POR CORRIMIENTO DE FASE (PSK)

Aquí la fase de la señal portadora se alterna entre dos (o más) valores en respuesta al código PCM. Para PCM binaria es conveniente un desfase de  $180^\circ$  porque simplifica el diseño del modulador y por ello se emplea a menudo, Fig. II.10c.

La onda PSK se expresa como:

$$\phi_1(t) = A \operatorname{sen}(w_c t) \quad , \quad \phi_2(t) = -A \operatorname{sen}(w_c t)$$

### II.3.4.4 MODULACION POR CORRIMIENTO DE FASE EN CUADRATURA (QPSK)

El principio fundamental de este tipo de modulación, es que este se realiza mediante el cambio de fase de la señal portadora, para que de está forma sean codificados los datos a transmitir. Por ejemplo,

considerando un sistema en el cual se combinan dos pulsos binarios sucesivos, donde el resultado es el conjunto de cuatro pares binarios 00, 01, 10 y 11, que se usarán para disparar una onda senoidal de alta frecuencia con cuatro posibles fases, una para cada una de los cuatro pares binarios. Donde la señal i-ésima, de las cuatro posibles pueden escribirse de la forma rectangular como sigue

$$S_i(t) = \cos(W_c t + \phi_i) \quad i = 1, 2, 3, 4$$

donde t varía en  $[-T/2, T/2]$

las posibles elecciones para las cuatro fases angulares son

$$\phi_i = 0, \pm \pi/2, \pi$$

$$\phi_i = \pm \pi/4, \pm 3\pi/4$$

en ambos casos las fases están espaciadas  $\pi/2$  radianes.

La señal anterior puede representarse por desarrollo trigonométrico, en la siguiente forma:

$$S_i(t) = a_i \cos W_c t + b_i \sin W_c t$$

donde t varía en  $[-T/2, T/2]$

Para el primer caso de  $\phi_i$ , los pares  $(a_i, b_i)$  están dados, respectivamente correspondiendo a los ángulos  $\phi_i = 0, -\pi/2, \pi$  y  $\pi/2$ , por

$$(a_i, b_i) = (1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1)$$

La transmisión de ese tipo se denomina *transmisión en cuadratura*, con 2 portadoras en cuadratura de fase entre sí ( $\cos W_c t$  y  $\sin W_c t$ ), y representado en un diagrama bidimensional, el eje horizontal corresponde a la ubicación de  $a_i$  llamado eje en fase. El eje vertical, donde se localiza  $b_i$ , es llamado eje en cuadratura<sup>1</sup>.

### II.3.4.5 MODULACION POR AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM)

Cuando  $a_i$  y  $b_i$  toman valores múltiples se generan esquemas multisimbólicos más generales. Las señales resultantes son denominadas señales de *modulación de amplitud en cuadratura (QAM)*.

La señal QAM de una forma general se escribe como

$$S_i(t) = r_i \cos(W_c t + \phi_i)$$

donde la amplitud  $r_i$  y la fase angular  $\phi_i$  dan las adecuadas combinaciones de  $(a_i, b_i)$ .

---

<sup>1</sup> Para mayor información consultar. *Transmisión de Información, Modulación y Ruido*. Schwartz, Mischa. Ed. Mc Graw Hill. Cap. 4.

## II.4 ESPECTROS EN FRECUENCIA DE LAS SEÑALES DIGITALES

Una señal binaria aleatoria con amplitudes de pulso de 0 o A Volts, y duración de pulso de  $t_1$ , segundos, tiene un espectro de amplitudes dado por

$$H(f) = At_1 \text{Sinc}(\pi ft_1)$$

Se observa en la Fig.II.11, que la mayor parte de la energía de la envolvente espectral está confinada a las frecuencias inferiores a  $f = 1/t_1$  Hz. El ancho de banda de la señal de datos, suele aproximarse al inverso de la duración del pulso.

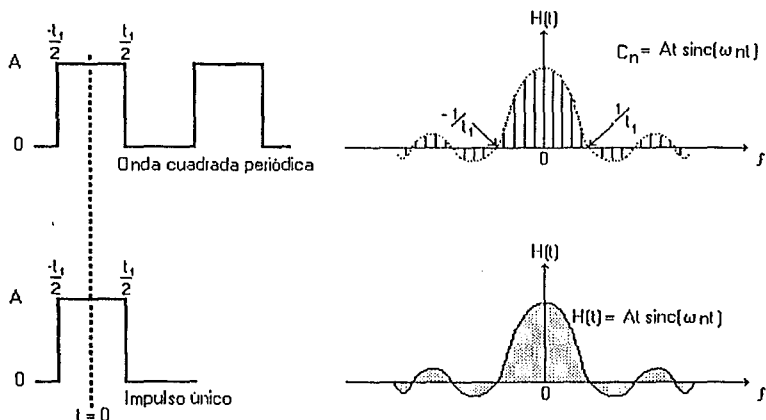


FIG.II.11 Espectro de amplitudes de las señales digitales.

### II.4.1 ESPECTRO DE UNA SEÑAL ASK

La señal ASK se genera multiplicando la señal de datos por una frecuencia portadora  $f_c$ , lo que hace que el espectro de la señal de datos se desplace a una frecuencia central igual a  $f_c$ . Esto se muestra en la Fig.II.12. El ancho de banda de la señal modulada es igual al doble del ancho de banda de la señal de datos original.

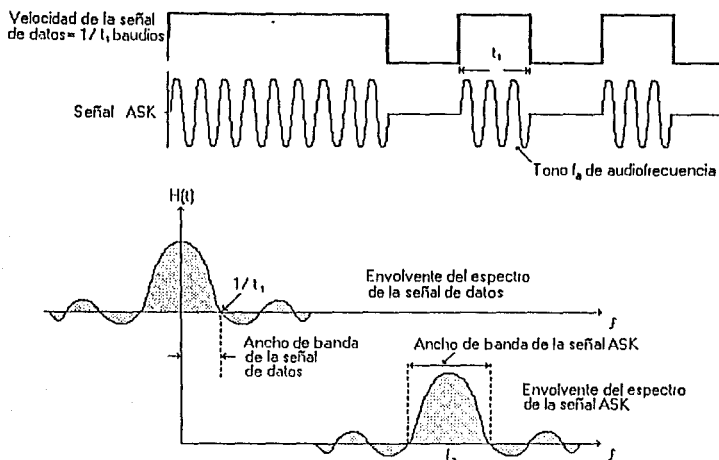


FIG.II.12 Espectro de amplitudes de una señal ASK

#### II.4.2 ESPECTRO DE UNA SEÑAL FSK

El espectro de la onda FSK, es igual a la suma de los espectros de dos ondas ASK, como se muestra en la Fig.II.13. Por analogía con la FM, es posible definir una " frecuencia de portadora",  $f_c = f_o + (f_1 - f_o)/2$ , y una " desviación de portadora"  $\delta f = (f_1 - f_o)/2$ . El índice de modulación  $\beta$  se define como  $\beta = \delta f/B$ , donde  $B = 1/t_1$  es el ancho de banda de la señal de datos. Usando estas definiciones, el ancho de banda de la señal FSK queda como

$$B_{FSK} = 2B(1 + \beta)$$

#### II.4.3 ESPECTRO DE UNA SEÑAL PSK

El ancho de banda es el mismo que en el caso ASK. Dado que no hay componente continua en la señal moduladora, la portadora estará suprimida en el espectro de la señal PSK. En la Fig.II.14, se observa la señal moduladora equivalente y la envolvente del espectro de la señal PSK. A este tipo de PSK suele denominarse PSK binario, pues el desplazamiento de fase está restringido a dos únicos valores posibles, y es equivalente al AM-DBL-PS digital (Amplitud Modulada-Doble Banda Lateral-Portadora Suprimida).

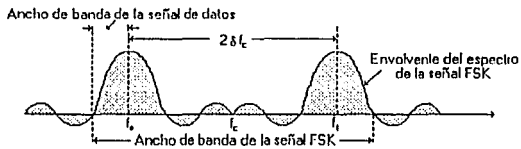
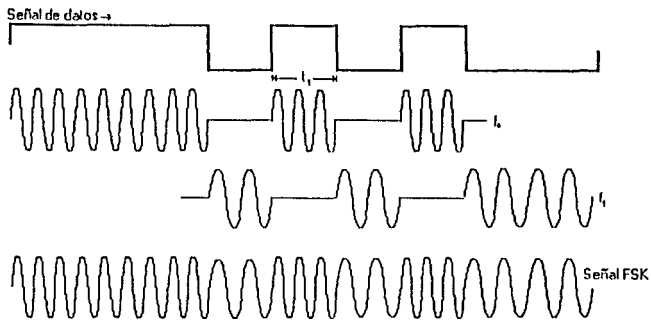


FIG.II.13 Espectro de amplitudes de una señal FSK.

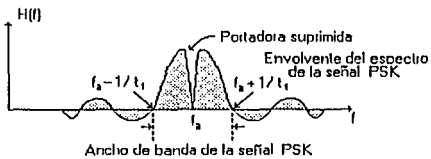
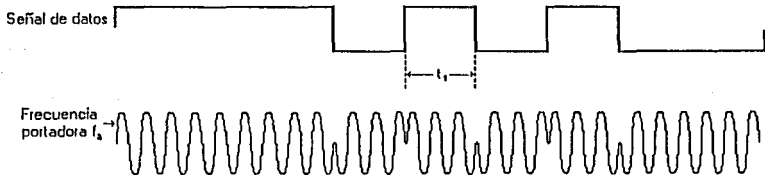


FIG.II.14 Espectro de amplitudes de una señal PSK.

## II.5 SINCRONIZACION

La señal digital recibida debe ser muestreada en instantes precisos. Esto requiere de una señal de reloj en el receptor sincronizada con la señal de reloj en el transmisor (sincronización de símbolo o de bit). Existen tres métodos generales de sincronización:

1. Derivación de un estándar primario o secundario (por ejemplo el transmisor y el receptor encadenados a una fuente maestra de temporización).
2. Transmisión de una señal de temporización independiente (reloj piloto).
3. Autosincronización, donde la información de temporización se extrae de la misma señal recibida.

El primer método es adecuado para grandes volúmenes de datos y para sistemas de comunicación de alta velocidad. En el segundo método, parte de la capacidad del canal se usa para transmitir información de temporización o sincronización y es adecuado cuando la capacidad disponible es grande en comparación con el índice de datos. El tercer método es muy eficiente para la extracción de temporización o recuperación de reloj, ya que la temporización se deriva de la misma señal digital.

## II.6 CODIGOS DE CORRECCION DE ERRORES

Los códigos de detección y corrección de errores binarios ayudan a mejorar el rendimiento de los sistemas binarios. Los esquemas más comunes para detección de errores y corrección de ellos consiste en la inserción de bits de comprobación en la secuencia binaria, con lo que se realiza la detección y/o corrección de un número específico de errores, además se diseña de acuerdo con las características del canal de transmisión.

## II.7 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS

La transmisión de datos se entiende como el movimiento de información que ha sido o va a ser procesada, codificada generalmente en forma binaria. Es preciso la existencia de una fuente de datos, un destinatario de los mismos y un camino de unión entre ambos.

Las técnicas y medios empleados para llevar a cabo esta transmisión varían en función de la distancia, existiendo una clara frontera cuando ésta supera algunas decenas de metros, por lo que es necesario recurrir a los medios de telecomunicación públicos o privados.

La Fig.II.15 esquematiza los elementos que constituyen un sistema de transmisión de datos entre dos puntos A y B.

Tales elementos son:

- ETD: Equipo terminal de datos. Tiene dos funciones: ser fuente o destino final de datos y controlar la comunicación. Comúnmente son computadoras, terminales de video o impresoras.
- ETCD: Equipo de terminación del circuito de datos, también conocido como equipo de comunicación de datos (ECD). Transforma las señales del ETD para ser enviadas a largas distancias.

**LINEA:** Conjunto de medios de transmisión que une los ETCD cuya constitución depende de la distancia, velocidad, etc.. Además debe cumplir determinadas normas de acuerdo a la infraestructura de comunicación.

**ED:** Enlace de datos: Unión entre fuente y destino de datos, formado por los controladores de comunicaciones, ETCD y LINEA.

**CD:** Circuito de datos. Conjunto formado por los ETCD y la LINEA. Su función es entregar la información en el ETD distante, tal como la envía el ETD fuente.

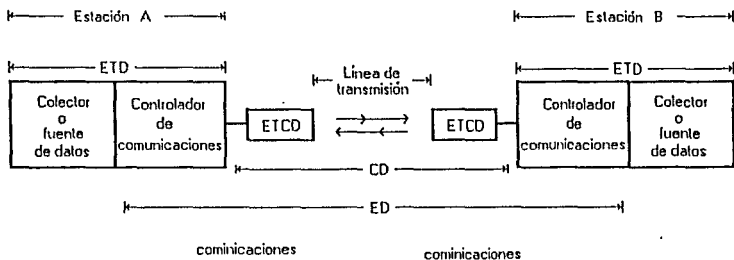


FIG.II.15.Elementos de un sistema de transmisión de datos.

## II.8 MODOS DE TRANSMISION

Existen varios modos de llevar a cabo la transmisión de información, esto dependerá de las necesidades y del equipo disponible. Fig.II.16.

### II.8.1 TRANSMISION SIMPLEX

La comunicación se realiza en un sólo sentido, ya sea para transmitir o recibir, pero nunca en ambas direcciones.

### II.8.2 TRANSMISION SEMIDUPLEX (HALF-DUPLEX)

Este modo de comunicación opera en ambas direcciones, pero sólo en un sentido a la vez.

### II.8.3 TRANSMISION DUPLEX (FULL-DUPLEX)

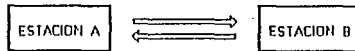
Consiste en la comunicación simultánea e independiente en ambos sentidos.



a) Comunicación simplex



b) Comunicación semidúplex



c) Comunicación dúplex

FIG. II.16 Modos de Comunicación

## II.9 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE TRANSMISION DE DATOS

A continuación se darán algunas definiciones importantes en la transmisión de datos.

### II.9.1 COMUNICACION DE DATOS

Este concepto se refiere a la transferencia de información entre dos puntos o dos soportes cualesquiera dentro de un sistema de comunicación.

El hablar de flujo de información, necesariamente nos hace pensar en la velocidad con la que se realiza. Hay tres conceptos que definen la velocidad:

a) Velocidad de modulación. Es el número máximo de veces por segundo que puede cambiar el estado de señalización de la línea, o sea la inversa de la duración del intervalo significativo mínimo, medido en segundos.

Se utiliza como unidad el baudio, equivalente a un intervalo significativo por segundo, o sea:

$$V_m = \frac{1}{t}$$

$t =$  duración en segundos del  
 intervalo significativo  
 mínimo.

El concepto anterior se asocia a la línea de transmisión y no al circuito de datos.

b) Velocidad de transmisión serie. Se define como el número máximo de elementos binarios (bits) que pueden transmitirse por un determinado circuito de datos durante un segundo. La unidad es el bit/s.



Cuando el tipo de modulación es tal que, a cada estado significativo en línea le corresponde un bit de información, el número de bits/s coincide con el de baudios.

En general, si el número de estados significativos de la modulación (posibles estados distintos en la línea) es  $n$ , a cada estado corresponderán  $\log_2 n$  bits de información. Por consiguiente la velocidad de transmisión sería:

$$V_t = \frac{1}{t} \log_2 n = V_m \log_2 n \text{ bits/s}$$

c) Velocidad de transferencia de datos. Representa la cantidad de información que puede transmitirse por unidad de tiempo. El CCITT la define como promedio de bits, caracteres o bloques por unidad de tiempo que pasan entre dos equipos correspondientes en un sistema de transmisión de datos. Los bits, caracteres o bloques son de información neta, es decir, desconectados los bits necesarios para llevar a cabo la transmisión (start, stop, sincronismo, etc.) así como los erróneos y las repeticiones que generan.

## II.9.2 TRANSMISION DE DATOS PARALELO Y SERIE

a) Transmisión de datos en paralelo: Se transmiten simultáneamente todos los bits de un carácter o palabra de máquina. Lo que presenta una mayor complejidad del medio de transmisión ya que se requieren tantos canales como bits contenga el elemento a transmitir. Se usa básicamente para transmisiones en distancias cortas.

b) Transmisión de datos en serie: Significa el envío de un bit después de otro a través de un único canal. Es la forma normal de transmitir datos a larga distancia.

## II.9.3 SINCRONISMO

Cualquiera que sea la forma en que se transfieren los datos, es preciso que la fuente y el destino de los mismos, tengan una base de tiempo común a fin de dar el mismo valor a los niveles lógicos "1" y "0" de cada instante.

La sincronización en toda transmisión de datos, debe hacerse, al menos, en tres niveles.

a) Sincronismo de bit, determina el instante en que debe comenzar a contarse un bit.

b) Sincronismo de carácter. El equipo receptor identifica qué  $n$  bits corresponden a un carácter.

c) Sincronismo de mensaje o de bloque, en el se define el conjunto de caracteres que van a constituir la unidad base para el tratamiento de errores, etc. y que forma parte del protocolo de comunicaciones.

## II.9.4 TIPOS DE TRANSMISION

Comúnmente se emplea más la transmisión de datos en serie, la cual puede ser de dos tipos.

a) Asíncrona o Start/Stop. Los  $n$  bits que forman la palabra del código correspondiente, van siempre precedidos de un bit "0" llamado "arranque" o Start y seguidos de, al menos, un bit "1" conocido como "parada" o Stop, que puede ser, en algunos sistemas, de 1.5 ó 2 bits. El conjunto citado constituye un "carácter", pudiendo mediar, entre dos consecutivos cualquier separación.

Este tipo de transmisión se basa en la existencia de una base de tiempos (reloj), teóricamente igual la del transmisor que la del receptor. Este tipo de transmisión es utilizado generalmente en bajas velocidades ( $< 1200$  b.p.s.).

El formato completo de un carácter de siete bits más un bit de paridad con un bit de inicio y dos bits de parada, se ilustra en la Fig.II.17.

b) Transmisión síncrona. Es cuando existe sincronismo a nivel de mensaje, es decir, cuando existe regularidad entre los caracteres de un bloque, (Fig.II.18). Sus características son:

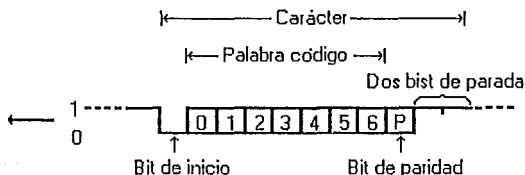


FIG.II.17 Transmisión asíncrona start/stop.

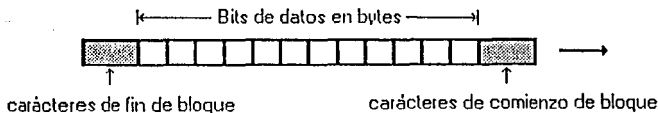


FIG.II.18 Transmisión síncrona.

- Los datos se almacenan temporalmente en un registro (Buffer) antes de su transmisión. Cuando todo el bloque (Mensaje) está listo, se intenta su envío.
- Los datos se transfieren en bloques y no carácter a carácter.
- No se usan bits de start/stop por lo que el largo total es menor.
- La transmisión de datos síncrona permite velocidades más altas que la asíncrona.

## II.9.5 CAPACIDAD DE UN CANAL DE COMUNICACION

La capacidad máxima de un canal, se describe como la máxima velocidad a la cual la información puede ser enviada sobre un canal de comunicaciones sin errores, y para transmisión de datos se mide en bits/seg (bps).

a) Línea ideal de ancho de banda B y sin ruido alguno. La capacidad máxima obtenible en el canal, esta dada por:

$$C = B \log_2 n$$

Donde  $n$  es el número de estados posibles de señalización en línea.

De acuerdo con esto, la capacidad de un canal podría ampliarse indefinidamente aumentando el valor de  $n$ ; pero no es posible debido a que:

- En la práctica no existen canales completamente libres de ruido y otras perturbaciones.
- El número de estados de señalización viene limitado por la potencia máxima de la señal, problemas de codificación, sensibilidad del receptor, etc.

b) Línea real de ancho de banda B y con ruido. Los equipos empleados en un sistema para transmitir información y las condiciones de diseño del mismo, determinan el ancho de banda disponible para la transmisión y éste, como lo describe la ecuación de Shannon es factor fundamental para determinar la capacidad máxima de transmisión de un canal, la cual esta dada por la siguiente ecuación:

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

donde

- C** = Capacidad máxima en bps que puede transportar un canal.
- B** = Ancho de banda.
- S/N** = Relación señal a ruido.

## II.9.6 PROTOCOLOS DE COMUNICACION

Un protocolo para el control de enlaces de datos, (DLC-Data Link Control) es un conjunto de reglas bajo las cuales los datos entre equipos de cómputo son intercambiados entre sí, mediante un canal de comunicaciones.

Un protocolo de comunicaciones entre equipos para transmisión de datos, define la inicialización de la comunicación, el control de intercambio de datos, la terminación de la comunicación y lo más importante, tiene implementadas dentro del mismo, técnicas para la detección y en su caso recuperación de condiciones anormales de proceso de transmisión de datos; las cuales deben garantizar la integridad de la información en tránsito.

## II.9.6.1 FUNCIONES DE UN PROTOCOLO DE COMUNICACION

Los procedimientos para control de líneas o sistemas de control para enlaces de comunicación de datos, son protocolos usados para la transferencia de datos y control de información de dispositivos de computo separados. Para lograr este objetivo, debe realizar las siguientes funciones:

- *Establecimiento del enlace.* Una vez que el ETCD ha conseguido una conexión física con el ETCD remoto, el DLC "dialoga" con el DLC remoto para asegurarse de que ambos sistemas están preparados para intercambiar datos de usuario.

- *Transferencia de información.* Ambas máquinas intercambian datos a través del enlace. El DLC comprueba todos los datos por si existe algún error en la transmisión, y envía validaciones de los mismos a la máquina que transmite.

- *Terminación del enlace.* El DLC renuncia al control del enlace (canal), lo cual significa que no pueden transmitirse más datos hasta que se restablezca el enlace. Por lo general, un DLC mantiene activo el enlace siempre que la comunidad de usuarios desee enviar datos a través del mismo.

## II.9.6.2 CLASIFICACION DE LOS PROTOCOLOS

Los ETD se comunican entre sí mediante las técnicas<sup>2</sup> mostradas en la Fig.II.19.

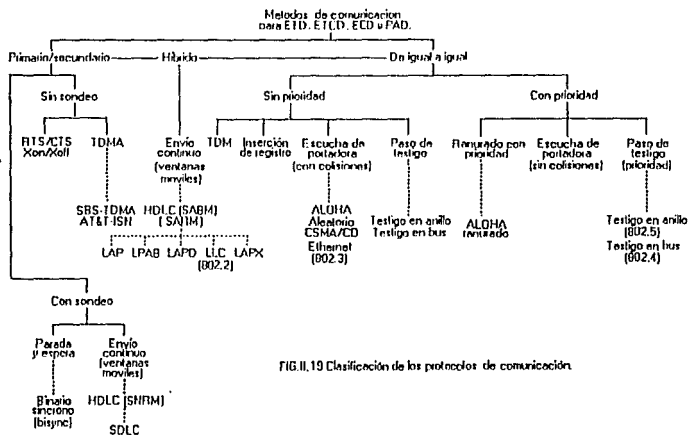


FIG.II.19 Clasificación de los protocolos de comunicación.

<sup>2</sup> Estas técnicas son conocidas como protocolos, para mayor información ver, capítulo 13 de *Redes de Computadoras: protocolos, normas e interfaces.* Ulyess, Black. Ed. Macrobis.

## II.9.7 CODIGOS DE COMUNICACION BINARIAS

En las tablas II.1 y II.2 se representan dos de los códigos más utilizados en comunicación de datos: el código EBCDIC (IBM), y el código ASCII (Instituto Americano de Normalización). EBCDIC es un código de 8 bits. En la tabla II.2 aparecen los cuatro primeros bits en la parte superior de la tabla, y los cuatro bits restantes a un lado de la misma. El ASCII es un código de 7 bits, aunque muchos fabricantes le añaden un octavo bit para comprobación de errores (bit de paridad).

Los códigos se encargan de tres importantes funciones:

- Control de dispositivos
- Representación de los datos
- Control de protocolos

Posiciones de bits				7	0	0	0	0	1	1	1	1
				6	0	0	1	1	0	0	1	1
4	3	2	1	5	0	1	0	1	0	1	0	1
0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p	
0	0	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q	
0	0	1	0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r	
0	0	1	1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s	
0	1	0	0	EDT	DC4	\$	4	D	T	d	t	
0	1	0	1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u	
0	1	1	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	
0	1	1	1	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w	
1	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x	
1	0	0	1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y	
1	0	1	0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z	
1	0	1	1	VT	ESC	+	:	K	[	k	[	:
1	1	0	0	FF	FS	'	<	L	\	l	:	
1	1	0	1	CR	GS	-	"	M	]	m	]	
1	1	1	0	SO	RS	.	>	N	^	n	^	
1	1	1	1	SI	US	/	?	O	_	o	_	DEL

Tabla II.1 Juego de caracteres ASCII (IA5) del ANSI y del CCITT/ISO.

Posiciones de bits				4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
				3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
				2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
				1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
R	7	B	6																		
0	0	0	0	NUL	SOH	STX	ETX	FF	IIT	LC	DEL			SMM	VT	FF	CR	SO	SI		
0	0	0	1	DLE	DC <sub>1</sub>	DC <sub>2</sub>	DC <sub>3</sub>	RES	NL	BS	IL	CAN	EM	CC		IFS	GS	IRS	IUS		
0	0	1	0	DS	SOS	FS		BYF	LF	EOB	PNE			SM			ENG	ACK	BEL		
0	0	1	1			SYN		PN	RS	UC	EOI					DC <sub>4</sub>	NAK		SUB		
0	1	0	0	SP										#	*	<	Γ	†	‡		
0	1	0	1	&										!	!	*	!	;	!		
0	1	1	0	-	/											%	-	>	?		
0	1	1	1											:	#	#	.	=	''		
1	0	0	0		a	b	c	d	e	f	g	h	i								
1	0	0	1		l	k	l	m	n	o	p	q	r								
1	0	1	0			t	u	v	w	x	y	z									
1	0	1	1																		
1	1	0	0		A	B	C	D	E	F	G	H	I								
1	1	0	1		J	K	L	M	N	O	P	Q	R								
1	1	1	0			S	T	U	V	W	X	Y	Z								
1	1	1	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						0		

Tabla II.2 Código EBCDIC de IDM.

## CAPITULO III

### MEDIOS DE TRANSMISION PARA INFORMACION DIGITAL

El medio de transmisión o canal de comunicaciones es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, Fig.II.1, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Estos medios pueden ser: un par de alambres, cable coaxial, guía de ondas, ondas de radio, fibras ópticas ó rayo láser.

Antes de abordar cada medio de transmisión, a través del cual se pueda enviar información digital es importante hablar del ancho de banda que tiene cada uno.

#### III.1 ANCHO DE BANDA DE LOS MEDIOS DE TRANSMISION

Una medida de la velocidad de la señal es su ancho de banda, o el ancho del espectro de la señal. La transmisión de una gran cantidad de información en una pequeña cantidad de tiempo, requiere señales de banda ancha. Si el ancho de banda es insuficiente, es necesario disminuir la velocidad de señalización, incrementándose así el tiempo de transmisión.

La Fig.III.1 muestra aquellas porciones del espectro electromagnético en uso o potencialmente disponible para la comunicación. Se indican en ella las aplicaciones representativas y los medios de transmisión.

#### III.2 SISTEMAS DE PORTADORES DIGITALES

Varios factores han actuado para que la telefonía evolucione de un funcionamiento analógico a uno digital.

Tradicionalmente, los dos elementos básicos de un sistema telefónico eran la transmisión analógica y conmutación. Tras el desarrollo de los sistemas PCM, se instalaron enlaces PCM entre centrales analógicas. Estas centrales funcionan con un formato básico de 24 canales (Estándar Americano) o 32 canales (Estándar Mundial)<sup>1</sup> con un codificador y un decodificador, con velocidades de 1.544 y 2.048 Mbps respectivamente. Debido al temprano desarrollo del sistema T1 de 24 canales y su adopción en ciertas partes del mundo, se exigen el empleo de apropiadas interfases para que las señales telefónicas en PCM se conviertan de los sistemas de 24 canales a los de 30.

El sistema T1, es un sistema portador para información digital, basado en PCM para transmisión de voz y datos. Originalmente el sistema T1 fue para corto alcance, y éste es la base para una completa jerarquización de los sistemas multicanalizados de orden superior, utilizados ya no sólo a cortas distancias, sino también, para transmisión a larga distancia, o para la transmisión en áreas urbanas

---

<sup>1</sup> El sistema de 30 canales es el estándar recomendado por el *Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT)*.

altamente pobladas. También constituye la base para la transmisión de sistemas puramente digitales.

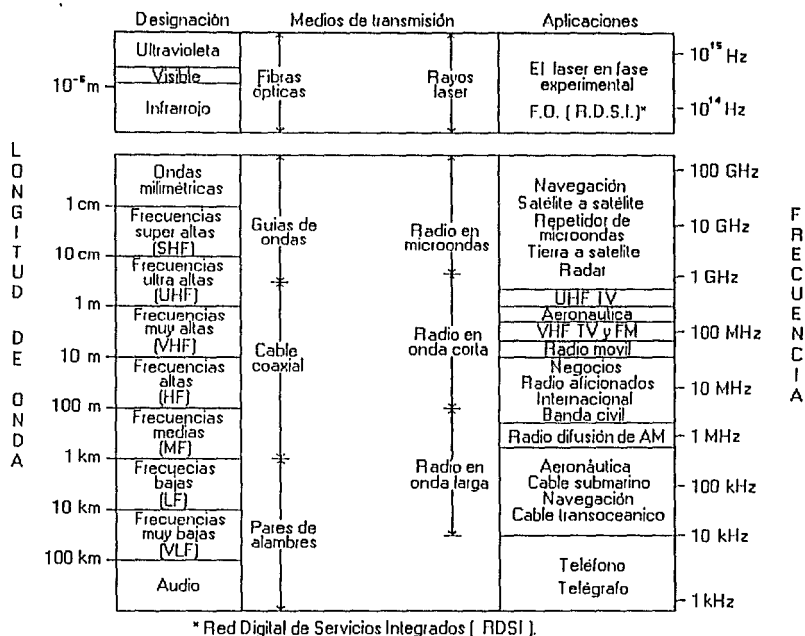


FIG.III.1 Espectro electromagnético.

### III.2.1 SISTEMA AMERICANO TI

En éste sistema se multicanalizan 24 canales telefónico en PCM a 1.544 Mbps. El sistema TI originalmente usaba  $2^7 = 128$  niveles de cuantización para cada uno de los 24 canales de voz multicanalizados. Recientemente se han adoptado 256 niveles, dando lugar a un sistema con menor ruido y menos distorsión. El formato de señalización para el sistema agrupa 24 palabras PCM de 8 bits, cada una de las cuales corresponde a una muestra codificada en PAM, a una velocidad de 8 000 muestras por segundo, mas un bit de la estructura para la que se tiene un tiempo de 125  $\mu$ s. La velocidad de transmisión resultante, correspondiente a 193 bits transmitidos en 125  $\mu$ s, es 1.544 Mbps. Cada sexta estructura, el octavo bit (el menos significativo) de cada canal se intercambia por un bit de señalización. La forma de la estructura presenta el formato de la Figs.III.2 y III.3.



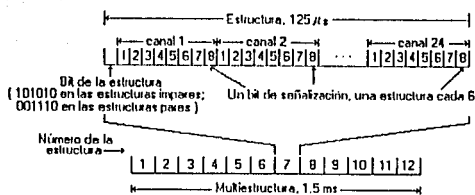
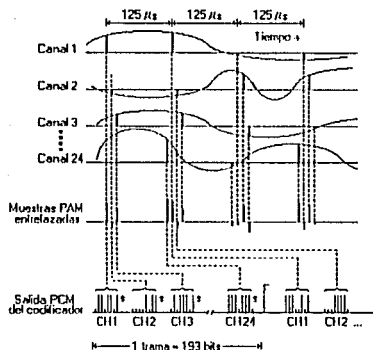


FIG. III.2 Portador digital T1 (Estándar Americano).



- Notas:
1. El bit de enrutamiento es el 193 (F)
  2. En cada canal, el bit de señalización es el octavo, en una de cada seis tramas (s)
  3. La velocidad binaria de los pulsos es de 1.544 Mbps.

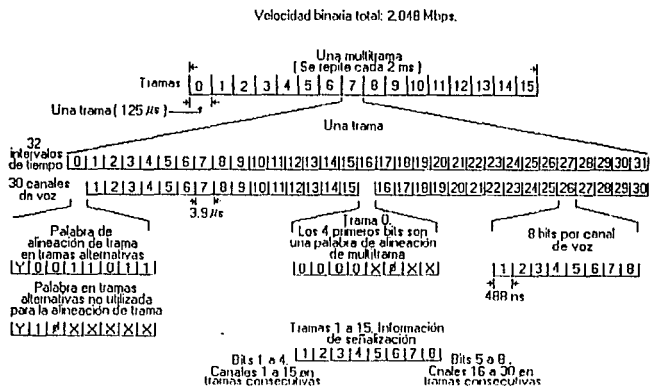
FIG. III.3 Trama digital TDM.

### III.2.2 SISTEMA EUROPEO E1

El sistema E1 está formado por 32 canales telefónicos en PCM a 2.048 Mbps. En sentido estricto se le debería denominar sistema de 30 intervalos que corresponden a canales de voz, y 2 intervalos de tiempo que contienen información de señalización y sincronización, y no muestras vocales.

La Fig. III.4 muestra el formato del sistema de 32 canales. La frecuencia de muestreo de cada canal de voz determina la duración de cada intervalo de tiempo. En telefonía se utiliza una frecuencia de muestreo de 8 kHz, lo que indica, que el tiempo entre muestras adyacentes de un mismo canal es de 125

$\mu s$ . Una trama, que consta de 32 intervalos de tiempo, tiene esta duración. Por su parte, un intervalo de tiempo tiene una duración aproximada de 3.9  $\mu s$ . Con 16 tramas se forma una multitrama de duración igual a 2 ms. Esta multitrama es la unidad básica del sistema PCM aplicado a la telefonía.



X: Bits no asignados a ninguna función particular y puestos a estado uno.  
 Y: Bits reservados para uso internacional (normalmente puestos a estado uno).  
 Los bits puestos normalmente a estado 0 y que cambian a estado 1 cuando ocurre una pérdida de alineación de trama, y/o una alarma de avería del sistema (únicamente IT0), o cuando ocurre una pérdida de alineación de multitrama (únicamente IT15).

FIG. III.4 Portador digital 1 (Estándar Europeo).

Dentro de un intervalo de tiempo determinado, está la información codificada de la muestra de voz del canal que corresponde. En la mayor parte de los sistemas, esta información se codifica en 256 niveles (igual a  $2^8$  niveles), y por lo tanto hay 8 bits en cada intervalo de tiempo; cada bit debe tener una duración de 0.48  $\mu s$ . La técnica PCM se expuso en el capítulo II.

Los bit de un canal que transportan la información de voz deben enviarse a su destino correcto, y deben controlarse continuamente para detectar el comienzo de la comunicación, así como su final. Por lo tanto, las señales deben estar asociadas con cada canal, y en la telefonía PCM esto se consigue asignando una palabra de señalización a cada canal, una vez por multitrama. En una palabra de 4 bits hay información suficiente para la señalización de un canal, por lo que una palabra de 8 bits puede contener 2 señales. De aquí que un intervalo de tiempo de señalización pueda tener información suficiente para 2 señales.

La Fig. III.4 indica que el intervalo de tiempo dieciséis (IT16) se utiliza para llevar la señalización. En la segunda trama lleva las señales relacionadas con los canales de voz 1 y 16, en la tercera trama las de los canales 2 y 17, y así sucesivamente hasta la última trama de la multitrama (trama 15 de la Fig. III.4) en la que IT16 lleva las señales de los canales de voz 15 y 30. La trama que viene a continuación es la primera de la siguiente multitrama, y la secuencia se repite.

El IT0 de cada trama, y el IT16 de la primera, llevan palabras de alineación y sincronización para asegurar que la transmisión y la recepción se realizan acompasadamente.

### III.3 JERARQUIA DE LOS SISTEMAS T1 A T4

Análogo a la jerarquía de multicanalización por división de frecuencia, el sistema T tiene una jerarquía de multicanalización por división de tiempo, en la cual la rapidez de pulsos binarios o *rapidez de bits* tiene el mismo papel que el ancho de banda en la multicanalización por división de frecuencia. Por lo común, los bloques construidos de las "líneas" de T1 a T4 (pares torcidos o cables coaxiales) tienen rapidez de bits de, en forma aproximada, 1.5, 6.3, 45, 274 Mbps, respectivamente y sujetas a los avances tecnológicos. Estas líneas transmiten señales digitales de datos o señales analógicas en PCM en diferentes velocidades.

El arreglo de la multicanalización de la señal de voz T1 se muestra en la Fig.III.5. Se muestrean (según Estándar Americano, Fig.III.2) veinticuatro señales de voz a una frecuencia de 8 kHz y la señal resultante se multicanaliza por división de tiempo, una vez que se ha convertido de PAM a PCM. Los pulsos binarios adicionales para sincronización y señalización se insertan elevando la rapidez de salida a 1.544 Mbps. Se pueden combinar así cuatro señales T1 empleando el multicanalizador M12 para producir una señal T2, y así sucesivamente elevando la jerarquía.

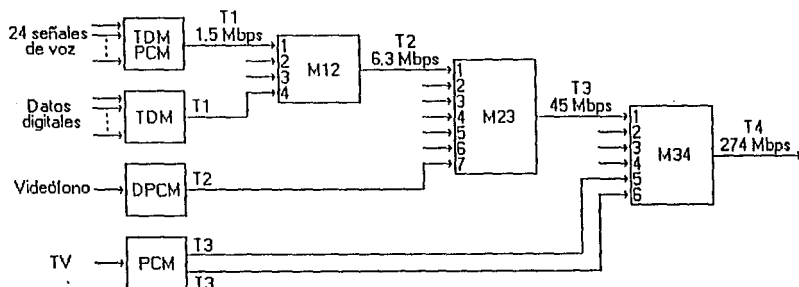


FIG.III.5 Configuración ilustrativa de la jerarquía del sistema T1 (Estándar Americano) de la multicanalización por división de tiempo digital.

La Fig.III.5 indica la flexibilidad, y muestra como la voz, datos, teléfono televisivo o videófono y señales de TV a color se pueden combinar para una transmisión sobre una línea T4. Las señales T1 incluyen voz en PCM, y datos digitales multicanalizados por división de tiempo. Las señales T2 son T1 multicanalizadas o de videófono con modulación por codificación de pulsos diferencial (frecuencia de muestreo de 2 MHz). Un multicanalizador M23 combina siete señales T2 para formar una señal T3.

Puesto que la TV a color con PCM requiere 90 Mbps (frecuencia de muestreo de aproximadamente 10 MHz), debe emplear dos líneas T3 para este objeto. Por último, la señal T4 se genera a partir de seis señales T3.

La tabla III.1 muestra las características de los sistemas PCM Americano y Europeo.

Jerarquía del sistema		Medio	Canales vocales		Velocidad (Mbps)		Distancia entre repetidores (km)
Americano	Europeo		Americano	Europeo	Americano	Europeo	
T0	E0	cable metálico	1	1	0.064	0.064	
T1	E1	cable metálico	24	30	1.544	2.048	1.8 - 4.5
T1C		cable metálico	48		3.152		1.8 - 4.5
T2	E2	cable metálico	96	120	6.312	8.448	1.8 - 4.5
T3	E3		672	480	44.736	34.368	
T4M	E4	cable coaxial	4032	1920	274.176	139.264	2
FT3	E5	fibra óptica	672	7680	44.736	565.148	7.5
FT3C		fibra óptica	1344		90.524		7.5
FT-4E-144		fibra óptica	2016		140.000		15 - 22
FT-4E-432		fibra óptica	6048		432.000		15 - 22

Tabla III.1

### III.4 COMPORTAMIENTO DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

Una línea de transmisión, sean pares de hilos o cables coaxiales, está formada por conductores continuos en los que su sección transversal permanece constante a lo largo de toda su longitud.

Los parámetros utilizados para describir las líneas son:

a) Resistencia [R]. Los conductores que componen la línea ofrecen cierta resistencia al paso de la corriente. Normalmente R incluye la resistencia total de ambos conductores (conductores de ida y retorno).

b) Inductancia [L]. La señal de la línea varía con el tiempo por lo que existirá una reactancia inductiva asociada a la línea. Donde L depende de la sección transversal del conductor y de la frecuencia de la señal.

c) Conductancia [G]. Los conductores que forman la línea son mantenidos en su posición

mediante un material dieléctrico, que no es un aislante perfecto por lo que permitirá una pequeña corriente de fuga entre éstos.

d) Capacitancia [C]. Los conductores y el dieléctrico entre ellos, forman un condensador por lo que se formara una reactancia capacitiva para cualquier señal que varfe con el tiempo.

Como se muestra en la Fig.III.6, la aproximación a la distribución continua de dichos parámetros se hace representando la línea como una red de elementos en cascada, teniendo cada elemento una longitud  $\delta x$ .

Los parámetros mencionados se refieren a una unidad de longitud de línea, por lo que deben multiplicarse por la longitud de la línea para encontrar la resistencia, inductancia, conductancia y capacitancia totales de dicha línea.

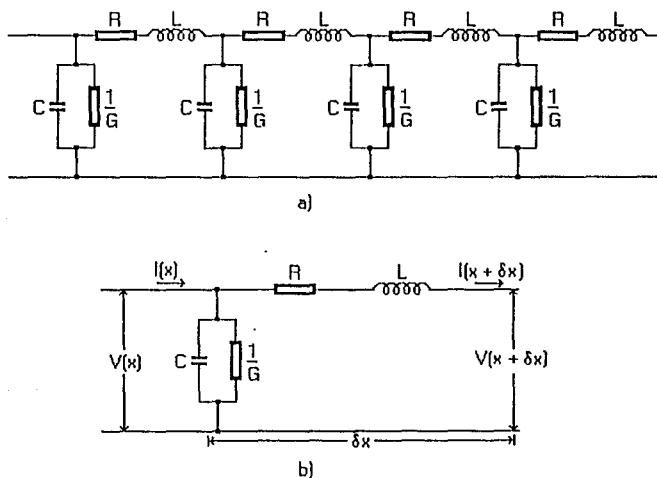


FIG.III.6 a) Representación de una línea de transmisión mediante redes en cascada.  
b) Circuito equivalente para un elemento de longitud  $\delta x$ .

La tensión y la corriente en un punto de la línea, situado a una distancia  $x$  del extremo emisor, es la suma de las tensiones o corrientes de las ondas incidente y reflejada en ese punto, como lo definen las siguientes ecuaciones

$$V = V_1 \exp(-\sigma x) + V_2 \exp(\sigma x)$$

$$I = I_1 \exp(-\sigma x) + I_2 \exp(\sigma x)$$

donde

$$\sigma = \alpha + j\beta$$

### III.4.1 PARAMETROS DE LINEA

Refiriéndose a las ecuaciones anteriores,  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros que están determinados por las características de la línea, y tiene la siguiente interpretación:

$\alpha$  *Coefficiente de atenuación.* Tanto la onda incidente como la reflejada se atenúan exponencialmente con la distancia a un ritmo  $\alpha$ . La parte real de  $\sigma$  ( $\alpha$ ) es función de todos los parámetros de la línea. Si  $R$ ,  $L$ ,  $G$  y  $C$  se expresan en unidades normales,  $\alpha$  estará en Neppers/metro, comúnmente llamada dB/m.

$$\text{donde } \alpha = [RG]^{1/4}$$

$\beta$  *Constante de fase.* La parte imaginaria de  $\sigma$  ( $j\beta$ ) muestra la tendencia de las ondas incidente y reflejada, con  $x$ . Si  $x$  cambia en una longitud de onda  $\Omega$  (desde  $x_1$  hasta  $x_1 + \Omega$ ), la fase de la onda debe cambiar en  $2\pi$ .  
De este modo

$$\beta = 2\pi/\Omega$$

$\sigma$  *Constante de propagación.* A la suma compleja de los coeficientes de atenuación y fase se le denomina constante de propagación, ya que determina como varía la tensión de la línea en función de  $x$ .

### III.4.2 IMPEDANCIA CARACTERISTICA

Es útil considerar la impedancia característica ( $Z_o$ ) por los siguientes puntos de vista:

- Como el valor que debe tener la impedancia de carga para quedar adaptada a la línea.
- Como la impedancia vista desde el extremo emisor de una línea infinitamente larga.
- Como la impedancia vista mirando hacia la carga desde cualquier punto de una línea adaptada: desplazamiento a lo largo de la línea no produce ningún cambio en el valor de la impedancia vista mirando hacia la carga.

La impedancia característica queda definida por la siguiente ecuación

$$Z_o = [(R + j\omega L)/(G + j\omega C)]^{1/4}$$

### **III.5 LINEA TELEFONICA**

Dentro de los servicios de telecomunicaciones que existen en el país, están los sistemas de redes telefónicas que cubren el país entero. Inicialmente estas redes se instalaron para tráfico de voz, pero, debido a la necesidad del intercambio de información entre sistemas digitales, se han usado también para el tráfico de datos.

#### **III.5.1 CABLES DE PARES DE HILOS**

El cable consiste de varios pares de hilos, aislados y empaquetados en una cubierta aislante general. Esto minimiza la interferencia electromagnética entre un par y otro, este medio de comunicación puede soportar frecuencias de transmisión de datos de hasta 10 Mbps sin un grado de atenuación alto; pero debido a que la sección es pequeña y la distancia entre los alambres de un par también se reduce, existen problemas de atenuación y capacitancia, los cuales se resuelven mediante repetidores y acondicionamiento de las líneas.

#### **III.5.2 CANALES TELEFONICOS**

Un canal de comunicación de datos que utiliza las líneas telefónicas convencionales resulta muy lento. Los canales se clasifican por categorías en canales de baja, media y alta velocidad:

- Baja velocidad: 0-600 bps
- Velocidad media: 600-4,800 bps
- Alta velocidad: 4,800-14,400 bps

##### **III.5.2.1 ANCHO DE BANDA DE UN CANAL TELEFONICO**

El oído humano es capaz de detectar señales con frecuencias de aproximadamente 40 a 18,000 Hz como lo muestra la Fig.III.7. Se toma en cuenta el hecho de que la concentración de mayor potencia está en el rango de frecuencias de 300 a 3,300 Hz y que este ancho de banda es suficiente para lograr entender la voz. De acuerdo a este criterio, los circuitos electrónicos fueron diseñados exclusivamente para transportar señales con frecuencias comprendidas en un ancho de banda de 4 kHz. La respuesta en frecuencia de un circuito telefónico se muestra en la Fig.III.8.

##### **III.5.2.2 CONSIDERACIONES PARA LINEAS TELEFONICAS EN TRANSMISION DE DATOS**

A continuación se dará un panorama de los parámetros que intervienen en un enlace de datos vía línea telefónica, la importancia relativa de estos sobre la calidad del enlace la manera en que se estiman los márgenes a los que se deben mantener para contar con un comportamiento aceptable del mencionado enlace, además, podrá servir para aislar la fuente (o fuentes), de problemas así como para ayudar al mantenimiento preventivo.

##### **III.5.2.3 PARAMETROS ESTACIONARIOS**

En este grupo tenemos a aquellos parámetros que por lo regular son compensables (a excepción del ruido de fondo y la turbulencia de fase) y por lo tanto existe la forma de limitar sus efectos hasta dejarlo dentro de los límites tolerables.

FIG.III.7 Rango de frecuencias registradas por el oído humano.

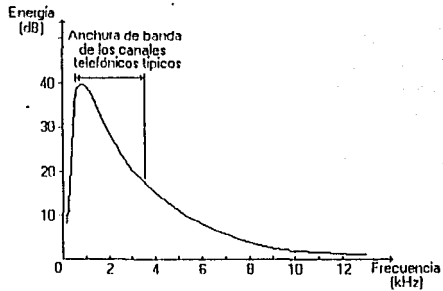
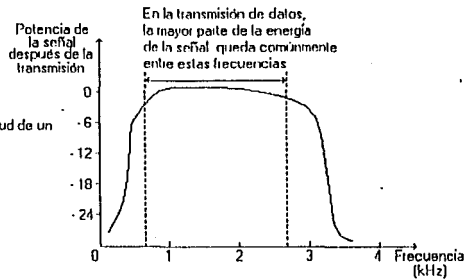


FIG.III.8 Espectro de amplitud de un canal telefónico.



Estos parámetros son:

**atenuación.** Es la diferencia de niveles de un tono normal de prueba (800 Hz, según CCITT) entre los puntos de transmisión y recepción, expresada en dB, Fig.III.10.

**Distorsión de amplitud.** Sus efectos sobre la señal de datos son similares a los provocados por la pérdida. Se presenta más en transmisiones de 2400 bps en adelante, ver Fig.III.9.

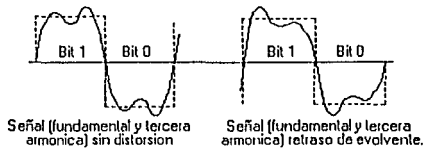


FIG.III.9 Efectos que puede ocasionar el retraso de envoltente durante la transmisión de datos.



*Distorsión de retardo de grupo.* Las señales digitales pueden descomponerse, para su análisis, en armónicas, las cuales al transmitirse por los circuitos telefónicos sufren retrasos en la propagación; es decir, algunas componentes de frecuencia, son recibidas antes que otras, ver Fig.III.10.

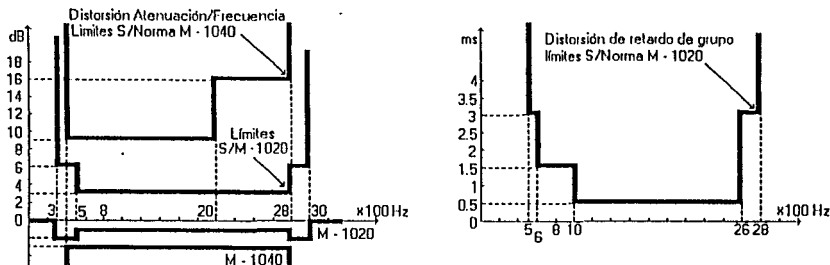


FIG.III.10 Gráficas de Distorsión Atenuación frecuencia y Distorsión de retardo de grupo.

*Ruido de fondo.* Como resultado de procesos térmicos en amplificadores, interferencia de radiofrecuencia, diafonía y otras perturbaciones, el ruido de fondo siempre esta presente en un sistema de comunicaciones.

Para una operación aceptable, un enlace de:

9600 bps requiere un mínimo de 25 dB relación S/N

4800 bps requiere un mínimo de 20 dB relación S/N

2400 bps requiere un mínimo de 15 dB relación S/N

*Turbulencia de fase.* Es el resultado del rizo originado por falta de regulación o por un filtrado deficiente de las fuentes de alimentación. Los enlaces de datos con modulación PSK y QAM, son especialmente sensibles a este tipo de interferencia.

*Corrimiento en frecuencia.* Es un desplazamiento fijo en todas las componentes de frecuencia de la señal recibida respecto a la señal originalmente transmitida. No causa problemas en PSK o QAM, sólo sucede en sistemas FSK.

### III.5.2.4 PARAMETROS DE EFECTOS TRANSITORIOS

Son parámetros en los cuales poco se puede hacer para aminorar sus efectos; solamente podemos ver si un circuito dado esta o no dentro de los límites de calidad aceptables.

Estos parámetros son:

*Ruido impulsivo.* Afecta en forma considerable a las señales de datos y es frecuente en líneas de la red pública conmutada, ya que este ruido es provocado por la operación de contactos electromagnéticos de conmutadores telefónicos. Las descargas atmosféricas provocan también este tipo de ruido que provoca ráfagas de errores en los enlaces de datos.

*Golpe de fase y golpes de ganancia.* Ocurren cuando se conmuta un canal en servicio a otro de respaldo o sistemas de enrutamiento dinámico según carga de tráfico, en el que se cambia de una trayectoria a otra, estas dos perturbaciones son raras en nuestro país.

### III.5.2.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LINEAS TELEFONICAS

Los límites dentro de los cuales los parámetros de transmisión son aceptables dependen básicamente de la capacidad del enlace, es decir, de los parámetros fijos tales como: velocidad de transmisión, terminación a dos o cuatro hilos y modo de transmisión. Para estos límites, se han emitido recomendaciones.

En México la recomendación dada por el CCITT para especificaciones de la línea para datos es la M.1020, tabla III.2.

Parámetro medido	Calidad normal M-1040	Calidad especial M-1020
Pérdida de inserción a 800 Hz	< 19 dB	< 19 dB
Ruido impulsivo: umbral para n<18 cuentas en 15 min	-20 dBm0	-23 dBm0
Nivel de señal de datos	-15 dBm0	-15 dBm0
Fluctuación de fase a 1000 Hz	—	<15 pp
Distorsión de armónicas 1a, 2a, 3a	—	-40 dBm0
Tasa de bits erróneos (BER)	< 5x10 <sup>-5</sup>	< 5x10 <sup>-5</sup>

Tabla III.2 Líneas de transmisión. Valor de los parámetros según calidad.

### III.6 CABLE COAXIAL

La explotación en alta frecuencia de cables de pares de hilos, se limita a unos centenares de kHz en transmisiones analógicas o a pocos Mbps en transmisiones digitales, lo que traducido a canales telefónicos, representa unas cuantas decenas de los mismos, y difícilmente podría cubrirse con esos medios las necesidades de comunicaciones existentes. Esta limitación ha sido superada con la utilización,

de los cables coaxiales como portadores de sistemas múltiples de gran número de canales telefónicos. Un sistema multiplex utiliza como portadores, generalmente dos pares coaxiales, uno para cada sentido de transmisión.

Dentro del campo de las telecomunicaciones se ha normalizado por el CCITT los diámetros  $D_1$  (diámetro del conductor central) y  $D_2$  (diámetro de la malla coaxial al conductor central, Fig.III.11) de los conductores coaxiales, las bandas de frecuencias utilizables, número de canales según el tipo del sistema, separación entre repetidores, etc. La tabla III.3 muestra alguno de estos parámetros.

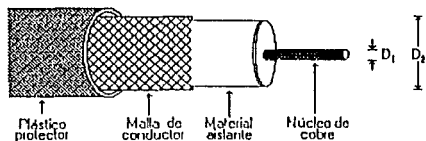


FIG.III.11 Cable coaxial.

$D_1/D_2$ mm	Banda de frecuencia	Velocidad Mbps	Distancia entre repetidores	No. de canales
1.2/4.4	60 kHz a 4 MHz	—	4 km	960
	300 kHz a 12 MHz	—	2 km	2700
	—	34	4 km	480
	—	140	2 km	1920
	—	560	1 km	7680
2.6/9.5	60 kHz a 4 MHz	—	9 km	960
	300 kHz a 12 MHz	—	4.5 km	2700
	4 MHz a 60 MHz	—	1.5 km	10800
	—	140	4.5 km	1920
	—	560	1.5 km	7680
3.7/13.5	4 MHz a 60 MHz	—	2 km	10800

Tabla III.3

### III.6.1 VELOCIDAD DE TRANSMISION

Para los sistemas digitales con velocidades binarias de 8.448, 34.368, 139.264 y 564.992 Mbps se han previsto cables coaxiales de diferentes tipos de relación  $D_1/D_2$  ( 0.7/2.9 mm, 1.2/4.4 mm y 2.6/9.5 mm ).

Los cables de pares de hilos, según el CCITT se emplean para sistemas con capacidades de transmisión pequeñas, como son:

- Sistemas de portadoras (TF): hasta 120 circuitos telefónicos
- Digital: hasta 30 canales o circuitos telefónicos.

En el tráfico interurbano ( sistemas con mayor capacidad de transmisión ) se emplean cables coaxiales, y en los niveles superiores aquellos que tienen diámetros de 2.6/9.5 mm. Como en los sistemas de:

- hasta 10 800 canales telefónicos ( TF analógicos)
- hasta 7 680 canales telefónicos ( digitales )

### III.6.2 DISTANCIA ENTRE REPETIDORES

De acuerdo con la ley que especifica el aumento de la atenuación con la raíz cuadrada de la frecuencia, en el caso de que haya tramos largos tienen que insertarse repetidores (amplificadores intermedios), por ejemplo, para los pares coaxiales, según normas del CCITT, de 2.6/9.5 mm cada

9.3 km	en el sistema TF, V960 (4 MHz) y sistema de 34 Mbps LA 34 KX
4.65 km	el sistema TF V2700 (12 MHz) y V3600 (18 MHz) y sistema 140 Mbps LA 140 KX
1.55 km	sistema TF V10800 (60 MHz) y sistema 565 Mbps LA 565 KX.

### III.7 LINEAS PARA TRANSMISION DE DATOS POR FIBRA OPTICA

Los sistemas de comunicación por fibras ópticas han encontrado en los últimos años una gran aceptación en diversos sectores, debido principalmente a la gran versatilidad para el manejo de grandes volúmenes de información a altas velocidades. Las propiedades intrínsecas de la F.O. como son su inmunidad a la interferencia electromagnética, su aislamiento dieléctrico, su gran ancho de banda, su sección transversal y peso reducido le han permitido su aplicación en zonas expuestas a grandes interferencias como son las plantas nucleares y las plantas generadoras de electricidad.

#### III.7.1 FIBRAS OPTICAS

En su constitución más simple, las Fibras Ópticas tiene una región que guía la luz conocida como el núcleo (con un índice de refracción  $n_1$ ), rodeada por una capa de material (revestimiento con un índice de refracción  $n_2$  menor a  $n_1$ ). La F.O. esta diseñada para conducir energía electromagnética de ciertas longitudes de onda particulares, en el rango del espectro de la luz visible ( $10^8$  MHz). El mecanismo básico para la transmisión de la luz a lo largo de la fibra, es la reflexión interna total, que ocurre cuando un haz de luz emerge de un medio denso a uno menos denso.

Las fibras están diseñadas para desempeñar diferentes funciones. La fibra monomodal tiene el máximo ancho de banda, mientras las fibras de índice gradual proporciona una capacidad adecuada de portar información combinada con un manejo relativamente fácil. Las fibras de índice escalonado con núcleos grandes son convenientes cuando la máxima cantidad de luz va a ser recolectada de una fuente de luz.

### III.7.1.1 CLASIFICACION DE LAS FIBRAS OPTICAS

Los diferentes tipos de fibras pueden clasificarse en dos categorías generales:

- a) *Fibras ópticas de índice escalonado.* En este tipo de fibras el núcleo tiene un índice de refracción constante,  $n_1$ , esta rodeado de un revestimiento con un índice de refracción  $n_2$ , produciéndose así a lo largo del diámetro de la fibra un cambio brusco del índice de refracción al pasar del núcleo hacia el revestimiento. Para que los rayos de luz puedan ser guiados en el núcleo, el índice de refracción del núcleo debe ser ligeramente mayor que el índice de refracción del revestimiento, Figs. III.12 y III.14.

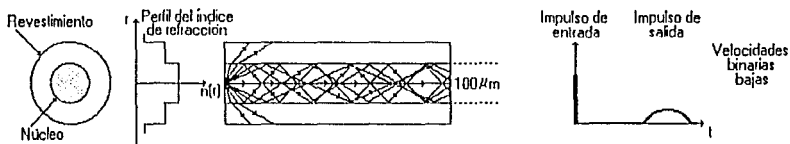


FIG.III.12 Fibra óptica multimodo de índice escalonado (para usos industriales).

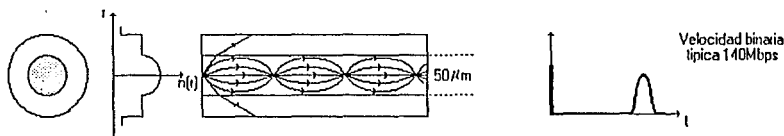


FIG.III.13 Fibra óptica multimodo de índice gradual (Fibra estándar según el CCITT).

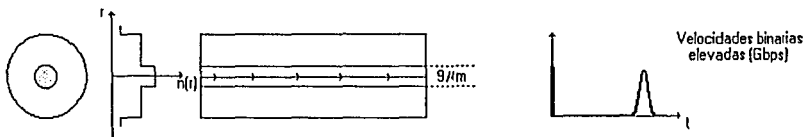


FIG.III.14 Fibra óptica monomodo de índice escalonado (según el CCITT para 1300nm).

- b) *Fibras ópticas de índice gradual.* En este tipo de fibras, el núcleo tiene un índice de refracción variable, que es una función de la distancia radial desde el eje de la fibra. El índice de refracción

se hace progresivamente más pequeño al alejarse del eje, produciéndose así a lo largo del diámetro de la fibra un cambio continuo en el índice de refracción desde el centro del núcleo hasta el revestimiento, Fig.III.13.

### III.7.2 MODOS

Los modos son arreglos específicos de ondas electromagnéticas en un medio de transmisión, particularmente en una guía de ondas, por ejemplo una F.O. Para cada F.O., dependiendo del tipo de variación del índice de refracción, del diámetro del núcleo y la frecuencia de operación, se demuestra que la luz tiene ciertos modos propios de propagación. Estos modos corresponden a los diferentes caminos ópticos que toma la luz dentro de la fibra. Por ejemplo en una F.O. de índice escalonado pueden formarse una gran cantidad de modos diferentes, cada uno caracterizado por una determinada inclinación de los rayos con respecto al eje central, como se muestra en la Fig.III.12.

El estudio de los modos es importante porque determina el ancho de banda disponible en una fibra de longitud dada, a menor número de modos mayor ancho de banda. La fibra de modo único es la que posee mayor ancho de banda.

### III.7.3 ATENUACION

La atenuación de la señal conforme se propaga a lo largo de la fibra esta provocada por varios factores, fundamentalmente absorción o pérdida de calor y por dispersión o pérdidas por radiación. La Fig.III.15 nos muestra la gráfica de atenuación de las fibras.

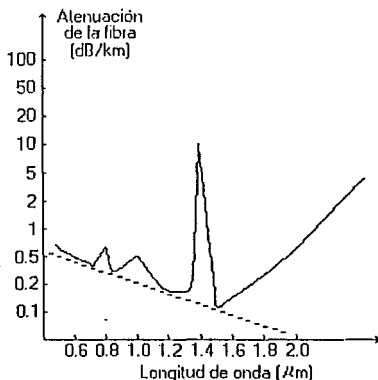


FIG.III.15 Características típicas de atenuación de las fibras.

La absorción es el proceso por el cual la energía electromagnética del campo luminoso, excita un sistema atómico que tiene una resonancia de atenuación a la misma frecuencia que el campo incidente. El efecto es la absorción de la energía luminosa en un campo de vibración mecánica del sistema atómico.

La dispersión o radiación en las fibras ocasiona que un rayo dirigido de luz se disperse en una infinidad de rayos, algunos de los cuales no son ya guiados por la fibra, perdiéndose por lo tanto a lo largo de la trayectoria. La dispersión es causada por fluctuaciones de temperatura, fluctuaciones de densidad y por los efectos de la variación del índice de refracción radial del valor teórico a lo largo de la longitud de la fibra.

Conforme se han ido mejorando los métodos de producción de fibras y se han optimizado los límites en sus condiciones de funcionamiento, la atenuación ha quedado determinada, finalmente, por las pérdidas por dispersión.

### III.7.4 VENTANAS

Existen varios tipos de F.O. con diversas características, de acuerdo a su aplicación. En un principio, las primeras F.O. poseían un núcleo de algunas micras de diámetro pudiendo transmitir luz en un modo de propagación. Debido a la dificultad de acoplamiento óptico en un núcleo reducido, lo que implicaba altas pérdidas, se buscó el desarrollo de fibras con núcleos de varias decenas de micras, a fin de poder soportar varios modos de propagación. Dichas fibras fueron utilizadas comercialmente en conjunto con fuentes semiconductoras láser GaAlAs con longitudes de onda de 850 nm, también conocida como primera ventana. Posteriormente, la investigación ha demostrado que se pueden obtener más bajas atenuaciones y mayor ancho de banda trabajando a 1300 nm, denominada segunda ventana, a través de láseres de tipo InGaAsP. Ya se encuentra disponible una tercera ventana con mayor ancho de banda operando a 1550 nm y con atenuaciones de 0.15 dB/km, permitiendo espaciamiento entre repetidores hasta de 100 km. En la Fig. III.16 se muestran las diferentes generaciones correspondientes a cada ventana en los sistemas de comunicación por F.O.

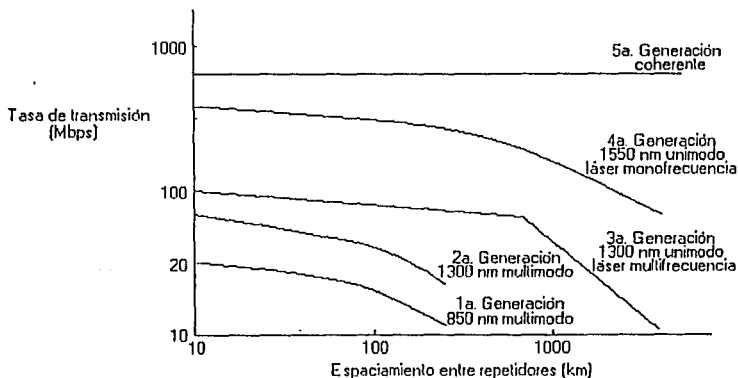


FIG. III.16 Generaciones en sistemas de comunicación por fibra óptica.

### III.7.5 EMISORES Y DETECTORES OPTICOS

Los conversores electroópticos se hacen por medio de compuestos formados por la combinación de elementos químicos del tercer, cuarto y quinto grupo de la tabla periódica de elementos. Para la emisión de luz en la ventana de 850 nm, se emplea el Galio (Ga), Aluminio (Al) y Arsénico (As), para la emisión en la ventana de 1300 y 1550 nm se requiere adicionar Indio (In) y Fósforo (P). De este modo se forman compuestos como: GaAs, AlGaAs, InGaAsP. Esta unión compuesta por semiconductores diferentes da la estructura de los diferentes fotoemisores.

Los parámetros más importantes de los LED's son los siguientes:

- 1.- Flujo de radiación o potencia óptica de salida  $P_o$ , es la potencia óptica que sale del dispositivo y se da en mW.
- 2.- Eficiencia externa  $\eta = P_o/P_e$ , donde  $P_e$  es la potencia eléctrica de entrada y se da en %.
- 3.- Longitud de onda pico. Es la longitud de onda a la cual el espectro de la fuente tiene su valor máximo de  $P_o$ , en nm.
- 4.- Tiempo de elevación ( $T_r$ ). Es el tiempo para que  $P_o$  aumente del 10% al 90% del valor final, cuando la corriente de entrada tiene una forma de onda de escalón.
- 5.- La respuesta de un LED es lineal, es decir, la corriente de polarización directa produce una potencia óptica en proporción lineal.

#### III.7.5.1 TIPOS DE EMISORES

##### DIODO EMISOR DE LUZ (LED)

Existen dos tipos básicos de LED's, que son los de emisión de superficie y emisión de borde. El primer tipo se conoce como Burrus. En el patrón de radiación de este led la potencia disminuye de acuerdo al coseno del ángulo. En el segundo tipo, conocido como ELED la radiación es más concentrada que en el primero.

Los LED's en comparación con los Láser, acoplan mayor potencia a la fibra. El acoplamiento a la fibra unimodo es impráctico.

Los LED's tienen características que los hacen atractivos: son muy confiables, sus tiempos de vida son de  $10^5$  hrs. aproximadamente, es poco afectado por los cambios de temperatura, su linealidad es buena, su circuitería y fabricación es sencilla lo que hace que el Led sea más barato que el Láser.

##### DIODO LASER (LD)

El Láser funciona por medio de la emisión estimulada que se obtiene con una unión PN polarizada directamente. Emite una luz altamente monocromática y su patrón de radiación es muy direccional.



### III.7.5.2 DETECTORES OPTICOS

El detector óptico es un dispositivo que convierte los fotones en electrones. Un receptor óptico se compone de un fotodetector y de los circuitos electrónicos asociados que lo convierten en un sistema de comunicaciones ópticas, transformando señales de frecuencias ópticas a frecuencias inferiores con la mínima adición de ruidos indeseables, y con el ancho de banda suficiente para no distorsionar la información contenida en la señal ya sea analógica o digital.

Comúnmente en telecomunicaciones la detección de la señal óptica se efectúa por medio de un diodo PIN y un foto diodo de avalancha APD.

El fotodetector más adecuado se basa en el tipo de aplicación y en las características del detector tales como: sensibilidad, velocidad de respuesta, ancho de banda, ganancia, etc.

Sensibilidad del receptor. La sensibilidad indica la potencia óptica requerida por el receptor para una transmisión de señales con bajo nivel de ruido. La transmisión digital normalmente es indicada por la potencia óptica medida (en W o dBm), con la cual se logra una proporción de errores de bit de  $10^2$ .

### III.7.6 MODULACION EN FIBRAS OPTICAS

Modulación óptica de intensidad.

- \* Continua: La señal óptica varía proporcionalmente a la señal eléctrica de modo similar a la modulación en amplitud.
- \* Discreta: La señal óptica varía entre dos niveles distintos (alto-bajo) y la señal eléctrica es conducida por una subportadora (PPM, PWM, PFM).

Modulación directa de intensidad (MI).

Este tipo de modulación requiere una alta linealidad para evitar los productos de la intermodulación, lo que no es compatible con el comportamiento medianamente lineal de los transductores electroópticos (LED).

Modulación de intensidad por medio de una subportadora o Modulación eléctrica (FM).

La combinación de una modulación eléctrica FM y modulación óptica de intensidad (MI), disminuye los problemas de linealidad y ruido reflejados directamente en la información recibida, pero esta combinación requiere una mayor banda de transmisión.

Modulación temporal de pulsos y modulación de intensidad óptica (PFM, PPM, PWM).

La señal modulada temporalmente toma únicamente dos valores (alto-bajo) con una modulación óptica ( $P_{e, 0}$ ). Este régimen no exige ninguna linealidad y favorece el funcionamiento de las emisiones ópticas.

### III.7.7 MULTIPLEXAJE POR DIVISION DE LONGITUD DE ONDA

Existen varias maneras en las que las señales pueden ser multiplexadas, los más importantes son: Multiplexaje por División de Espacio (SDM), Multiplexaje por División en el Tiempo (TDM) y Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM)<sup>2</sup>.

La evolución y desarrollo de las fibras ópticas ha generado la necesidad de aprovechar en forma eficiente y económica el medio de transmisión óptico (fibra óptica), llegándose al concepto de multiplexaje por longitud de onda WDM.

En el WDM, todos los canales se transmiten simultáneamente y, cada canal hace uso completo del ancho de banda del medio de transmisión. En este esquema de transmisión, a cada señal de información de entrada se le asigna una longitud de onda por un demodulador óptico que convierte la señal eléctrica en un haz luminoso de una longitud de onda específica y se transmite en forma simultánea a las otras señales sobre la F.O.

La Figs.III.17 y III.18 muestran la configuración del sistema WDM típico. Las señales de varios transmisores ópticos, cada uno emitiendo a diferente longitud de onda, son combinados por un multiplexor de longitud de onda (MUX-WDM), y son transmitidas sobre una misma fibra óptica. En el receptor, las señales ópticas son separadas de acuerdo a sus longitudes de onda por un demultiplexor de longitud de onda (DEMUX-WDM), y conducidas a sus respectivos receptores. La integridad del mensaje de cada señal se ha preservado para una conversión posterior a las señales eléctricas correspondientes.

La técnica WDM permite la transmisión full-duplex sobre la misma F.O. utilizando diferentes longitudes de onda en cada dirección.

Los elementos para cualquier sistema WDM son:

- Fuente de luz que emita a diferentes longitudes de onda.
- Multiplexor óptico para combinar la luz emitida a longitudes de onda individuales sobre una fibra común.
- Fibra óptica que tenga baja pérdida para la transmisión de señales en las longitudes de onda de interés.
- Demultiplexor óptico que separe las longitudes de onda.
- Fotodetectores para efectuar la conversión de la señal óptica a eléctrica.

---

<sup>2</sup> TDM y FDM se describieron en el Capítulo II. Para mayor información sobre TDM, FDM y SDM consultar: Curso de telecomunicaciones vía Fibras Ópticas. Año 1991. Curso abierto de la División de Educación Continua de la U.N.A.M. Palacio de Minería.

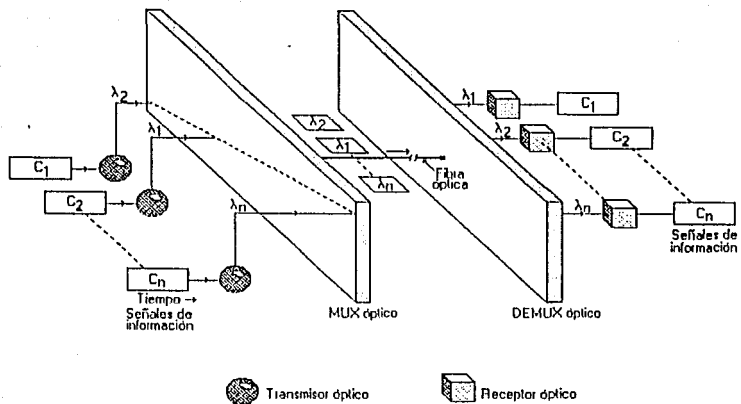


FIG. III.17 Sistema WDM Simplex.

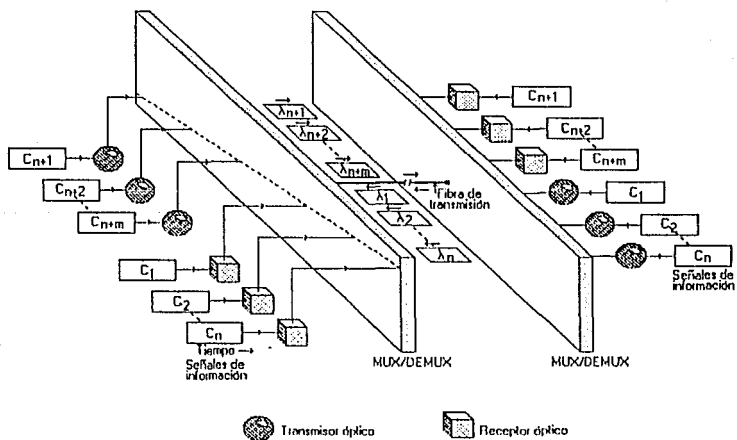
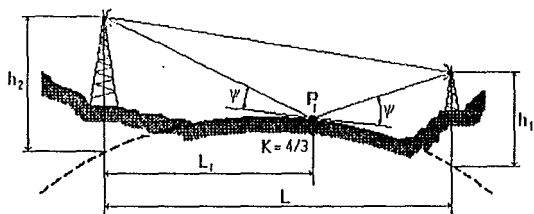


FIG. III.18 Sistema WDM Full - Dúplex.

### III.8 RADIOENLACES TERRESTRES PARA INFORMACION DIGITAL

La transmisión por radioenlaces es una alternativa equiparable a la transmisión por cable, por lo que respecta en la calidad de transmisión. En redes complejas, ambas estructuras se complementan con máxima fiabilidad. Con los radioenlaces se puentean en forma ventajosa terrenos muy desfavorables para los cables como las zonas montañosas.

Las ondas de radio se propagan en línea recta, por lo que es necesario que entre dos estaciones de radioenlaces haya visibilidad óptica (Fig.III.19). Esto es característico para frecuencias por encima de los 50 MHz. Los sistemas de radioenlaces digitales están recomendados por el CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones) para frecuencias a partir de 1 700 hasta 20 000 MHz (tabla III.5). Pero incluso por debajo de estas frecuencias hasta alrededor de los 200 MHz pueden explotarse estos sistemas.



- K Coeficiente de curvatura con relación al radio terrestre ( $= 4/3$  con una atmósfera normal)
- $L_1$  Distancia al punto de reflexión P
- L Distancia del alcance óptico
- $\psi$  Ángulo de incidencia y de reflexión
- $h_2, h_1$  Altura de las antenas por encima de la superficie de reflexión

FIG.III.19 Propagación de las ondas de radio.

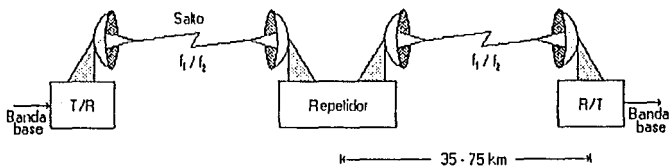


FIG.III.20 Elementos básicos que forman un sistema de microondas.

En la Fig.III.20 se muestra un diagrama a bloques de los elementos básicos que forman un sistema de microondas, el cual está formado por dos estaciones terminales y un número determinado de estaciones repetidoras separadas a intervalos de 35 a 75 km.

### III.8.1 MODULACION PARA SISTEMAS DE MICROONDAS POR DISTRIBUCION DE FRECUENCIA FDM

En sistemas de microondas con línea de vista, se pueden acomodar canales telefónicos mediante FDM y TDM.

La FDM para propósitos de transmisión (y recepción) se lleva a cabo mediante un proceso sucesivo de modulación (demodulación) en amplitud en doble banda lateral y portadora suprimida (AM-DBL-PS) se lleva a cabo en los equipos terminales de multicanalización (multiplex), los cuales reciben los canales de voz y entregan una señal compuesta que lleva la información de todos los canales de voz, acomodados en frecuencia y conocida comúnmente como banda base.

La tabla III.4 indica la interconexión en las frecuencias en banda base ( Rec. 380-3 del CCIR).

Número de canales telefónicos	Límites de banda ocupada por un canal telefónico [kHz]	Límite de frecuencia banda base [kHz]	Nivel relativo de potencia por canal [dB]	
			Entrada del equipo de radio	Salida del equipo de radio
60	60 - 300	60 - 300	-15	-45
120	60 - 552	60 - 552	-15	-45
300	60 - 1300	60 - 1364	-18	-42
600	60 - 2540	60 - 2792	-20	-45
960	60 - 4028	60 - 4287	-20	-45
1260	60 - 5636	60 - 5680	-28	-37
1800	312 - 8204	300 - 8248	-28	-37
2700	312 - 12388	300 - 12435	-28	-37

Tabla III.4 Interconexión en las frecuencias de banda base [Rec. 380 - 3 del CCIR].

### III.8.2 DESVANECIMIENTO

La transmisión por radioenlaces está caracterizada por una inestabilidad que afecta a la vía de radio, condicionada por el tiempo atmosférico y el terreno, denominada desvanecimiento. Los fenómenos de desvanecimiento son fluctuaciones en el comportamiento de propagación de radio; estos fenómenos influyen en la disponibilidad y calidad de transmisión momentánea de los radioenlaces. Puede diferenciarse entre desvanecimiento plano que es independiente de la frecuencia, y desvanecimiento dispersivo selectivo, función de la frecuencia:

- El desvanecimiento plano se origina con frecuencias por encima de los 10 GHz debido a la atenuación provocada por la lluvia. Otra causa es la atenuación debida a sombras (obstáculos en la vía de transmisión, que está motivada por variaciones del índice de refracción en la atmósfera.
- El desvanecimiento por interferencias se presenta como consecuencia de una propagación por vías múltiples. Las causas de este desvanecimiento son, por ejemplo, reflexión en capas de inversión o en superficies de agua, reflexiones de dispersión en obstáculos fijos o en la troposfera. Dentro de la banda de transmisión el desvanecimiento, dependiendo de la causa, puede presentarse en formas diferentes (selectivo); se habla entonces de desvanecimiento dispersivo, que conduce a distorsiones de la señal.

Para una señal de recepción sin desvanecimiento se considera un circuito de 2500 km con 54 saltos de aproximadamente 46 km cada salto, de acuerdo con el CCIR. De acuerdo a un previo análisis, la potencia de portadora requerida en la entrada del receptor en ausencia de desvanecimiento, es de -38 dB<sub>m</sub>. Considerando también una ruta de microondas, para recepción de señales con desvanecimiento, formada por 54 saltos en una ruta de microondas de 2500 km, y estimando que aproximadamente el 30% de los saltos estén afectados por un fuerte desvanecimiento, mientras que el resto permanezca sin desvanecimientos muy severos, por lo tanto 16 de los 54 saltos estarán afectados por un fuerte desvanecimiento. La potencia de recepción requerida para prever o compensar los efectos de desvanecimiento en los 16 saltos es de -12.4 dBm (en el espacio libre).

### III.8.3 PROPAGACION DE LAS ONDAS DE RADIO

La propagación de las ondas de radio, aunque se dan en forma rectilínea, están limitadas incluso en terrenos totalmente llanos por la finalización de la visibilidad óptica, ocasionada por la forma geométrica casi esférica de la tierra. Aunque esto puede aplicarse solamente en forma aproximada, sin tener en consideración la refracción del haz radioeléctrico en la atmósfera. Para la atmósfera normal se calcula un coeficiente de curvatura  $k = 4/3$ , de lo que se deduce un alcance aproximadamente de un 30% mayor. En la práctica, realmente el haz radioeléctrico no tiene que rozar la superficie terrestre o cualquier otro obstáculo (Fig. III.21), más bien hay que mantener una distancia de seguridad sobre esos obstáculos.

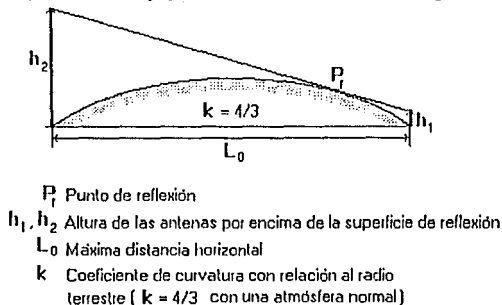


FIG. III.21 Máxima distancia horizontal.

Para asegurar que el haz radioeléctrico mantenga la visibilidad sin interferencias entre dos radioenlaces, en los terrenos llanos, las antenas de los radioenlaces altamente concentradas tienen que montarse y alinearse cuidadosamente sobre torres que tengan la altura correspondientes. La altura necesaria de las torres se obtiene básicamente a partir de la distancia que hay que cubrir, las perturbaciones debidas a la atenuación atmosférica (atenuación aérea) y los obstáculos eventuales en la vía de transmisión. Referente a esto pueden hacerse dos afirmaciones:

- Con frecuencias por debajo de los 10 GHz se alcanzan, por lo general, tramos de repetidores de alrededor de 46 km.
- La atenuación aérea (directa) que es función de la radiofrecuencia aumenta con frecuencias crecientes y al aumentar la distancia; por encima de los 10 GHz habrá de contar con tramos de repetición más cortos, ya que se hacen mayores las influencias limitadoras causadas por la lluvia, evaporación, etc.

Para una regulación internacional, el CCIR ha asignado determinados márgenes de frecuencias a los radioenlaces. Se evitan con ello, interferencias sobre otros radioenlaces y con otros servicios de radio, y se hace factible una transmisión directa vía radio más allá de las fronteras de un país.

La tabla III.5 muestra los márgenes de radiofrecuencias normalizados. Fueron definidas las frecuencias para la tecnología analógica, teniendo que mantener también para los radioenlaces digitales, la recomendación referente a la separación de canales que es básicamente de 14, 28, 40 MHz. Por encima de la cuales esta en discusión en el CCIR la definición de otras bandas, por ejemplo, en el margen de los 40 GHz.

1.7 a 2.3 GHz	}	Para una cantidad media y pequeña <sup>1</sup> de circuitos telefónicos
2.5 a 2.7 GHz		
3.4 a 4.2 GHz	}	Para una cantidad media <sup>2</sup> de circuitos telefónicos
6.43 a 7.11 GHz		140 Mbps
2.7 a 11.7 GHz	}	Para una cantidad media y alta <sup>3</sup> de circuitos telefónicos
12.75 a 13.25 GHz		Para una cantidad media y alta de circuitos telefónicos
14.5 a 15.35 GHz	}	Para una cantidad media y alta de circuitos telefónicos
17.7 a 19.7 GHz		
[21.2 GHz]		
<sup>1</sup> Cantidad pequeña de 60 - 300 <sup>2</sup> Cantidad media de 300 - 960 <sup>3</sup> Cantidad alta de 960 - 2700		

Tabla III.5 Bandas de frecuencias para radioenlaces digitales terrestres según el CCIR.

### III.8.4 ENLACE POR LINEA DE VISTA

El primer paso en el enlace para un sistema de microondas, es definir un circuito de referencia (recomendación 392 del CCIR), el cual consiste en una ruta de microondas de larga distancia formada

de muchos enlaces (saltos) de radio de microondas (o estaciones repetidoras). Esta ruta se define por un "circuito ficticio de referencia" de 2500 km de largo, capaz de conducir 600 canales telefónicos.

### III.8.5 ECUACIONES DE ENLACE POR LINEA DE VISTA

Las ecuaciones para el enlace por línea de vista del circuito de referencia (recomendación 392 = 2500 km, del CCIR), son las siguientes:

1. Ganancia de antena en DB.

$$G = 10 \text{ Log}_{10} (\pi D/\Omega)^2$$

donde

D = diámetro de la antena [m]

$\Omega$  = longitud de onda de la frecuencia de operación [m]

2. Pérdida de transmisión en el espacio libre entre antenas isotrópicas.

$$L_b = 32.46 + 20 \text{ Log}_{10} d \text{ (km)} + 20 \text{ Log}_{10} f \text{ (MHz)}$$

donde

d = distancia entre antenas [km]

f = frecuencia de operación [MHz]

3. Potencia de ruido térmico en las terminales de entrada del receptor en dBw.

$$N_i = 10 \text{ Log}_{10} K T_o + 10 \text{ Log}_{10} BIF + F_{rp}$$

donde

K = constante de Boltzman

$T_o = 290 \text{ }^\circ\text{K}$

BIF = ancho de banda del ruido del receptor FI [Hz]

$F_{rp}$  = figura del ruido de operación del sistema receptor [dB].

4. Potencia de la portadora de RF a la entrada del receptor en dBw.

$$C_i = S/N_t + F_{rp} + 10 \text{ Log}_{10} K T_o + 10 \text{ Log}_{10} 2B + 20 \text{ Log}_{10} (F_{rp}/Fd)$$

donde

S/N<sub>t</sub> = razón de la potencia de la señal a la potencia del ruido del receptor en dB de un canal de voz relativos a un tono de 800 Hz y 0 dBm.

B = ancho de banda a 3 dB de un canal de voz [Hz].



$F_d$  = desviación pico de la frecuencia portadora debido a un canal de voz en Hz para un tono con nivel de 0 dBm.

5. Razón de la potencia portadora del receptor a potencia de ruido del receptor.

$$C/N_i = S/N_t + 10 \text{ Log}_{10} 2B - 10 \text{ Log}_{10} B_{IF} + 20 \text{ Log}_{10} (f_m/F_d)$$

donde

$f_m$  = frecuencia media del canal de voz superior en un sistema multicanal en Hz.

6. Potencia de portadora requerida para producir la razón señal a ruido (S/N) calculada en un canal de voz en un salto, esta dada por

$$C = S/N_t + F_{\text{pp}} + 10 \text{ Log}_{10} K T_o + 10 \text{ Log}_{10} 2B + 20 \text{ Log}_{10} (f_m/F_d)$$

La potencia requerida en el transmisor  $P_T$ , es igual a la potencia requerida de la portadora en el receptor, más las pérdidas del circuito (receptor y transmisor), menos la ganancia de las antenas, más la pérdida por trayectoria.

### III.9 COMUNICACION VIA SATELITE

Las comunicaciones vfa satélite representan una forma específica de los radioenlaces. El tráfico de telecomunicaciones, tanto nacional como intercontinental se realiza a través de un repetidor que se encuentra en el espacio. Para la transmisión de comunicaciones comerciales se utilizan satélites exclusivamente geostacionarios que, tomando como referencia la superficie terrestre tienen una posición fija en el espacio a una altitud de aproximadamente 36 000 km. Para el sistema occidental INTELSAT hay tres posiciones a una latitud del ecuador por encima del océano Atlántico, Índico y del Pacífico. Diversos países tienen además satélites nacionales que están estacionados a la misma altura.

En las comunicaciones vfa satélite se emplean antenas de microondas para recibir las señales de radio procedentes de las estaciones emisoras en la Tierra para devolver estas señales a otras estaciones terrenas, (Fig. III.22).

El satélite sirve de repetidor electrónico. Una estación terrena A, transmite al satélite señales de una frecuencia determinada ( canal de subida ). Por su parte, el satélite recibe estas señales y las retransmite a otra estación terrena B, mediante una frecuencia distinta (canal de bajada). La señal de bajada puede ser recibida por cualquier estación situada dentro del cono de radiación del satélite, y puede transportar voz, datos o T.V..

Comparándolas con los radioenlaces terrestres y debido a la gran altitud, dan lugar a condiciones físicas adicionales. La vfa de transmisión de aproximadamente 78 000 km da como resultado una atenuación del alrededor de 200 dB (6 GHz) para la vfa entre la tierra y el satélite. Eso significa que de la potencia transmitida llega al receptor solamente la 1/10<sup>20</sup> parte (Fig. III.23).

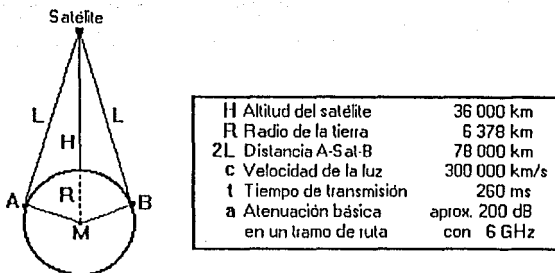


FIG.III.22 Datos para satélites geostacionarios.

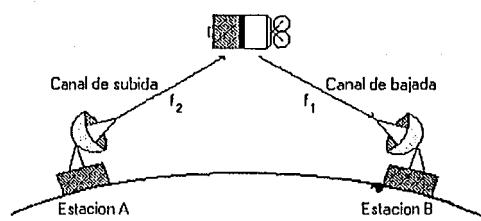


FIG.III.23 Comunicaciones vía satélite.

El poder puentear atenuaciones tan grandes es solamente posible con potencias de transmisión elevadas, ganancias de antenas elevadas y una extremada sensibilidad de recepción. La elevada ganancia de antena requiere un alineamiento o directividad muy precisa de la misma mediante un seguimiento automático, ya que el satélite oscila de forma insignificante alrededor de su posición. A causa de la potencia de recepción extremadamente pequeña hay que proteger bien las antenas receptoras contra interferencias perturbadoras externas.

La transmisión de datos basada en satélites se envía en cualquier canal de voz con restricciones normales, sobre todo velocidad. Sin embargo un satélite puede realizar la transmisión a alta velocidad haciendo uso directo del gran ancho de banda soportado por los transponders de frecuencia del satélite, debido a que emplean portadoras de alta frecuencia (por ejemplo, 4/6, 12/14 o 20/30 GHz, etc). El transponder de frecuencia es un circuito activo del satélite que recibe en una portadora de frecuencia y retransmite en otra, y está alimentado por celdas solares. El satélite puede llevar muchos transponders

con sus antenas diseñadas para recibir y transmitir en áreas geográficas particulares. El ancho de banda de un transponder podría ser, por ejemplo, de 80 MHz, lo que permite transportar datos a velocidades de transmisión de 4 Mbps con un modem adecuado.

En forma general un transponder de 36 MHz podría manejar 1000 canales telefónicos, uno o dos canales de televisión o datos hasta 60 Mbps.

Dado que se transmite a alta velocidad a través de un satélite geoestacionario, por un canal de voz, deben tenerse en cuenta dos aspectos importantes:

1. Hay un retardo tierra-satélite-tierra de 260 ms, ya que el satélite se encuentra a una altura de 36,000 km para mantener su posición geoestacionaria.
2. El retardo significa que si la velocidad de transmisión es, por ejemplo 4 Mbps, existe tal vez un Mbit en tránsito en cualquier momento. Esto tiene serias consecuencias para un receptor que tenga problemas con el espacio de buffers o en la detección de errores en los datos recibidos, ya que los datos en tránsito no se pueden detener, y pueden transmitirse muchos mientras el mecanismo de detección está en operación.

Aunque se desee el acceso a un canal de 4 Mbps, habrá muy pocos que quieran ese acceso o estén dispuestos a pagarlo durante una hora, y mucho menos 24 hrs diarias. El volumen de tráfico por usuario no lo justifica. Esto lleva a la conclusión de que aunque el operador del satélite esté preparado para programar la utilización de una parte del transponder por varios usuarios cada hora, muchos usuarios potenciales no encontrarán el servicio rentable. La solución sigue siendo un acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) dinámico; un mecanismo dinámico para dar a los usuarios el derecho de transmitir por el canal de alta velocidad.

### III.9.1 METODOS DE ACCESO

Son las técnicas con las cuales más de dos estaciones terrenas pueden utilizar simultáneamente un segmento espacial.

- **FDMA:** (Acceso Múltiple por División de Frecuencia)

SCPC (Single Channel Per Carrier - Un canal por acarreo)

MCPC (Múltiple Channel Per Carrier - Múltiples canales por acarreo)

- **TDMA:** (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

Se comparte en tiempo el ancho de banda y las estaciones transmiten en ráfagas.

- **CDMA:** (Acceso Múltiple por División de código)

Cada bit de datos es transformado en una secuencia de bit (chips).

- **DAMA:** (Acceso Múltiple por Asignación de Demanda).

### III.9.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS EN UN SISTEMA DE COMUNICACION VIA SATELITE

Existen muchos métodos TDMA para satélites. Los componentes básicos se ilustran en la Fig.III.24 y son los siguientes:

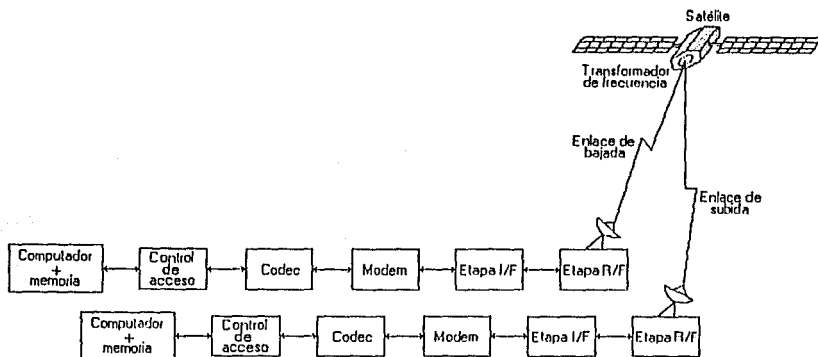


FIG.III.24 Componentes de un sistema para transmisión de datos vía satélite.

- Un dispositivo informático, con una memoria considerable, actúa como fuente y sumidero de datos.
- Un interfase con controlador de acceso (CA) que determina cuando puede transmitir la estación, pidiendo datos desde el computador según corresponda, y que entrega los datos procedentes de aquella estación al computador. Además, se requiere que el CA tenga un gran buffer de memoria.
- El CA está conectado a otros circuitos digitales, como un mezclador/desmezclador y un codificador/decodificador (CODEC) para corrección de errores, y desde ahí al modem.
- Los modems típicos para satélite utilizan modulación por doble o cuádruple desplazamiento de fase. La parte analógica hace interfase con la etapa de frecuencia intermedia (F/I) del transmisor/receptor.
- La etapa de F/I hace interfase con la etapa de radiofrecuencia (R/F) que emite, a través de un amplificador de potencia, a una gafa de onda y de ahí a la antena, que hace una entrada desde

la guía de onda a un amplificador de bajo ruido.

- Una antena parabólica de 2 a 3 m de diámetro.

### III.9.3 PARAMETROS DEL SISTEMA DE COMUNICACION VIA SATELITE

Los parámetros significativos que determinan la calidad del enlace de telecomunicación vfa satélite son:

Temperatura de Ruido  
Figura de Ruido  
Figura de Mérito  
Relación portadora a ruido (C/N)  
Potencia Efectiva Isotrópicamente Radiada (PIRE)  
Confiabilidad

Tanto la temperatura de ruido equivalente como la figura de ruido se utilizan para la descripción de las características de ruido de un sistema de comunicaciones. Entre las fuentes de ruido en el sistema están los amplificadores, mezcladores, convertidores switches, combinadores y multiplexores. El ruido producido por estos sistemas y/o componentes es activo al ruido producido en dos enlaces por los efectos de radiopropagación.

La figura de ruido de una fuente de ruido con una temperatura equivalente  $T_e$  está dada por

$$NF = 10 \text{ Log}_{10} [1 + T_e (290)^{-1}] \quad \text{dB}$$

donde,  $T_e$  está en °K

La potencia de ruido total  $n$  en un ancho de banda de  $B$  [Hz]

$$n = k T_e B$$

Donde,  $k$  es la constante de Boltzman (-198.6 dBm/°K/Hz) por lo que la densidad de ruido es

$$n_0 = k T_e$$

La calidad o eficiencia del receptor de un enlace de comunicación vfa satélite es normalmente especificada por la figura de mérito  $M$  del sistema

$$M = G - 10 \text{ Log}_{10} T_e \quad \text{dB/°K}$$

Donde,  $G$  es la ganancia de la antena en dB, y  $T_e$  es la temperatura equivalente en °K.

la relación entre la potencia promedio de la portadora  $C$ , y la potencia de ruido, en el mismo ancho de banda  $n$ , se define como relación portadora a ruido  $C/N$ . Esta relación es un parámetro fundamental para la definición de la calidad de funcionamiento global del sistema de comunicaciones. Este parámetro puede ser calculado tanto para enlace ascendente, descendente y global. También es común

obtener la relación portadora a densidad de ruido. Para comunicaciones digitales, la energía por bit  $e_b$  es el parámetro fundamental, y este se obtiene por

$$e_b = c T_b$$

donde  $c$  es la potencia del carrier, y  $T_b$  es la duración del bit.

La expresión equivalente a  $(C/N)$ , para el caso digital es la relación  $(e_b/n_b)$  energía por bit a densidad de ruido, utilizándose para la evaluación del enlace digital, relacionándose de la siguiente manera:

$$(e_b/n_b) = (c T_b)/n_b$$

La PIRE es la medida más común de la capacidad de transmisión de un sistema, se define como:

$$PIRE = pg \quad [W]$$

donde  $p$  es la potencia transmitida y  $g$  es la ganancia de la antena, en términos logarítmicos se tiene

$$PIRE = P + G \quad [dBw]$$

En la Fig.III.25 se muestran los principales factores que afectan la calidad de la recepción que puede esperarse en la portadora de interés dependiendo de las características de la señal, del satélite y las estaciones terrenas enlazadas.

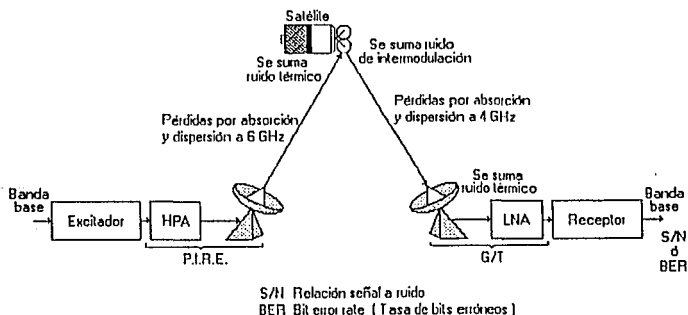


FIG.III.25 Pérdidas que caracterizan los enlaces vía satélite.

La calidad en los enlaces en las transmisiones vfa satélite es determinada calculando las relaciones (C/N) ascendente, (C/N) descendente y (C/N) por ruido interferente. En forma general se consideran dos puntos de transponder en el satélite, el primero y convencional es aquel que únicamente efectúa una traslación de frecuencias, el segundo realiza procesamiento de señal a bordo, éste último permite la consideración de las relaciones (C/N) ascendente y descendente de manera independiente.

En el caso de un transponder convencional, las degradaciones de la señal en el modo ascendente así como el ruido añadido, estas son trasladadas en modo descendente, por lo que la calidad total dependerá de ambos modos. La relación portadora a densidad de ruido total (C/No)<sub>T</sub>, esta en función de (C/No)<sub>A</sub>, (C/No)<sub>D</sub> y (C/No)<sub>I</sub>. Esta relación portadora a densidad de ruido total, esta dada por la relación:

$$[C/No]_T = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{\text{Antilog}_{10} \left[ \frac{[C/No]_A}{10} \right]} + \frac{1}{\text{Antilog}_{10} \left[ \frac{[C/No]_D}{10} \right]} + \frac{1}{\text{Antilog}_{10} \left[ \frac{[C/No]_I}{10} \right]} \right]$$

Para el caso de enlaces digitales se utiliza la relación

$$(e_b/T_b \eta_c) = (C/N_s)$$

y sustituyéndola en la relación (C/N)<sub>T</sub> obtenemos la relación (e<sub>b</sub>/N<sub>s</sub>)<sub>T</sub> del sistema.

## CAPITULO IV

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS TECNICAS DE CADA MEDIO DE TRANSMISION

En este capítulo se resumen las ventajas y desventajas más significativas para cada medio de transmisión, desde un punto de vista técnico.

#### IV.1 LINEAS TELEFONICAS

##### IV.1.1 VENTAJAS

###### 1. Redes extensas.

La red telefónica es extensa y llega con frecuencia a áreas muy remotas, siendo muy densas en los centros urbanos, por lo que constituye todavía el principal medio para la transmisión remota de datos.

###### 2. Gran flexibilidad al hacer modificaciones.

###### 3. Alta seguridad en distancias cortas (menores a 110m).

###### 4. Facilidad de conexión del enlace.

###### 5. Facilita el aislamiento en caso de detección de fallas.

###### 6. Facilita el mantenimiento.

###### 7. Alta velocidad a distancias cortas, del orden de 10 Mbps.

###### 8. Facilita la detección de fallas y minimiza el tiempo de caídas de los enlaces.

##### IV.1.2 DESVENTAJAS

###### 1. Ancho de banda reducido.

El ancho de banda para cable telefónico de Cu balanceado de  $\phi = 0.9$  mm es de aproximadamente 10 MHz, Fig. IV.3.

###### 2. Gran atenuación a distancias largas.

Como se observa en la Fig. IV.3 el cable telefónico es el que presenta mayor atenuación respecto a los demás medios de transmisión.



3. Tiene mayor número de fallas que los demás medios existentes, como:

Inducción electromagnética  
Menor calidad de transmisión

4. No permite flexibilidad en la detección de información, ya que al incrementar la velocidad de transmisión los efectos se agravan.

5. A mayor frecuencia mayor atenuación.

En la Fig.IV.3 se muestra que a una frecuencia de 10 MHz la atenuación es de aproximadamente 40 dB por kilómetro.

6. Mantenimiento frecuente.

Un factor importante que determina la frecuencia del mantenimiento es la humedad del medio ambiente, la cual se introduce en los cables provocando electrólisis en los conductores eléctricos, esto a su vez induce a la sulfatación de los cables.

7. Baja privacidad en la transferencia de información.

Es debido a la inducción electromagnética entre pares de hilos.

8. Existencia de problemas de tierra.

9. Peso y dimensiones grandes.

10. Baja capacidad de canales.

En el estándar Americano hasta 96 canales telefónicos.

En el estándar Europeo hasta 120 canales telefónicos.

11. A mayor frecuencia mayor retardo en la señal, Fig.IV.1.

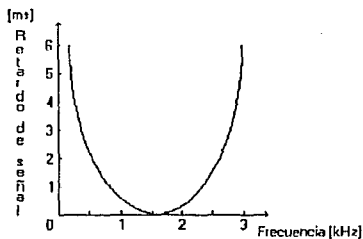


FIG.IV.1 Retardo de señal en cable telefónico.

## IV.2 CABLE COAXIAL

### IV.2.1 VENTAJAS

1. Buena inmunidad electromagnética.

2. Gran ancho de banda.

Comúnmente se considera un ancho de banda de aproximadamente 450 MHz, pero en algunos casos puede alcanzar hasta 1 GHz, dependiendo de los diámetros del cable  $D_1/D_2$  Fig.IV.3.

3. Gran capacidad de canales, tabla IV.1.

$D_1/D_2$ mm	No. de canales
1.2/4.4	960
	2700
	400
	1920
	7680
2.6/9.5	960
	2700
	10000
	1920
3.7/13.5	7680
	10000

Tabla IV.1

4. Altas velocidades de transmisión, tabla IV.2.

$D_1/D_2$ mm	Banda de frecuencia	Velocidad Mbps
1.2/4.4	60 kHz a 4 MHz	—
	300 kHz a 12 MHz	—
	—	34
	—	140
2.6/9.5	—	560
	60 kHz a 4 MHz	—
	300 kHz a 12 MHz	—
	4 MHz a 60 MHz	—
	—	140
3.7/13.5	—	560
	4 MHz a 60 MHz	—

Tabla IV.2

6. Facilidad de instalación.

7. Muy alta seguridad en los datos.

8. Fácil mantenimiento.

## IV.2.2 DESVENTAJAS

1. A mayor capacidad de transmisión y frecuencia, menor distancia entre repetidores, Fig. IV.2.

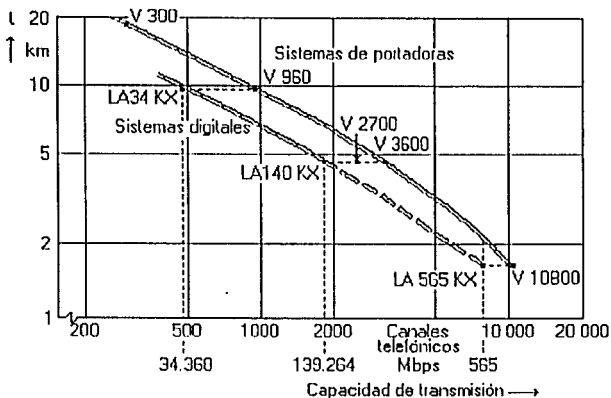


FIG. IV.2 Tramos de repetición y regeneración para sistemas de transmisión analógicos y digitales por pares coaxiales de 2.6/9.5 mm.

2. Peso y dimensiones grandes.

3. Corta distancia entre repetidores (generalmente entre 1 y 4 km, como se observa en la tabla IV.3).

Tabla IV.3

$D_1/D_2$ mm	Distancia entre repetidores
1.2/4.4	4 km
	2 km
	4 km
	2 km
2.6/9.5	1 km
	9 km
	4.5 km
	1.5 km
	4.5 km
3.7/13.5	1.5 km
	2 km

## IV.3 FIBRA ÓPTICA

### IV.3.1 VENTAJAS

Las comunicaciones mediante fibras ópticas ofrecen grandes ventajas técnicas y económicas, entre las cuales se citan las siguientes:

#### 1. Inmunidad electromagnética.

La fibra óptica presenta una gran inmunidad a la interferencia electromagnética. El tipo de material que la constituye es dieléctrico, de tal forma que la inducción electromagnética en el medio no influye en la transmisión de información. Por otra parte, las señales ópticas en el cable no causan radiación electromagnética, por lo tanto no se afecta la comunicación entre usuarios.

#### 2. Menor atenuación.

Por lo que respecta al uso de repetidores, el uso de cable óptico de alta calidad tiene menor atenuación que el par telefónico o el cable coaxial, como se muestra en la Fig.IV.3 de ahí que un sistema de fibras ópticas requiere menos repetidores que un sistema convencional de cobre, tabla IV.4.

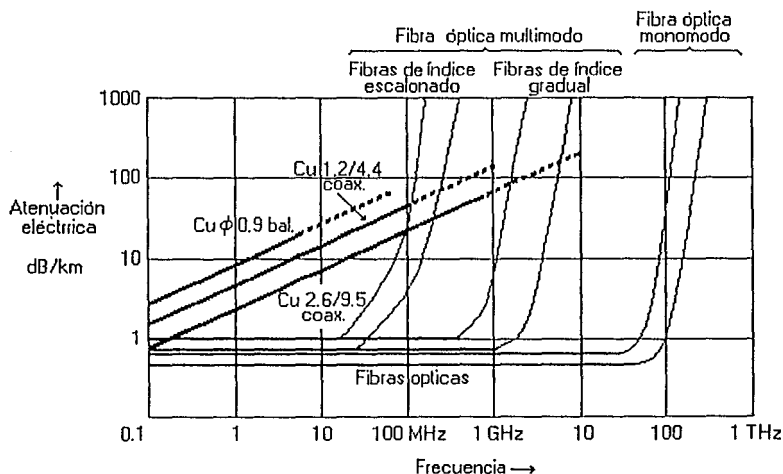


FIG.IV.3 Gráficas de atenuación contra frecuencia de cables metálicos (pares de hilos, coaxial) y fibra óptica.

Tabla IV.4

Cable	Longitud de onda o frecuencia	Atenuación [dB/km]	Distancia máxima sin repetidor [km]
Coaxial	100 MHz	61	0.570
F.O. MM*	850 nm	2.4 - 3.2	10
F.O. MM**	1300 nm	1.0 - 1.5	20
F.O. UM	1300 nm	< 0.5	60
F.O. UM	1550 nm	< 0.25	120

\* MM Monomodo

\*\* UM Unimodo

Cuadro comparativo de atenuación y rango dinámico típico a 35 dB.

### 3. Resistencia a altas temperaturas y a la corrosión.

Esta característica hace que la fibra óptica se puede instalar en medios en donde normalmente el cable metálico no resistiría.

### 4. Menor diámetro.

El cable de fibra óptica multipar es mucho menor el diámetro que un cable de cobre multipar con la misma capacidad de transmisión. Es una ventaja considerable sobre todo cuando se hacen instalaciones en ductos saturados; además, el cable óptico posee mayor flexibilidad que uno de cobre, lo que facilita su instalación.

### 5. Competitividad con otros medios de comunicación en distancias medias (Mayor a 1 km y menor a 30 km).

### 6. Larga vida por tramo.

20 a 100 años, comparado a 12 a 15 años para el cable convencional.

A media distancia, la combinación capacidad-distancia, favorece en costo a la fibra óptica con respecto al cable coaxial y al cable de cobre multipar.

### 7. Mayor ancho de banda.

Las fibras ópticas poseen un mayor ancho de banda que el cable metálico (Líneas telefónicas y cable coaxial), lo que permite el manejo de un mayor volumen de información, tabla IV.5.

El ancho de banda es del orden de  $10^{15}$  Hz cuando la fuente de emisión es un diodo láser (LD) y de  $10^{12}$  Hz si la fuente es un LED.

Tabla IV.5

Longitud de onda [nm]	Atenuación [dB/km]	Tipo de fibra	Perfil del índice de refracción	Ancho de banda	Distancia entre repetidores [ km ]
850	2 a 3	Multimodo	Gradual		10 y 12
130	0.7 a 1.2	Multimodo	Escalonado	800 a 1300 MHz	30 y 50
	0.5 a 0.8	Monomodo	Escalonado	Varios GHz	
155	0.2 a 0.3	Monomodo	Escalonado	Varios GHz	100

8. Gran capacidad de canales, tabla IV.6.

Orden	Velocidad Mbps	Canales telefónicos	Longitud de onda	Fibra	Fuente
E1	2	30	850	MM	LED
E2	8	120	850	MM	LED
E3	34	480	850	MM	LED
			1300	MM,UM	LED,LD
E4	140	1220	1300	UM	LD
			1550	UM	LD
			1300	UM	LD
E5	560	7680	1550	UM	LD

Tabla IV.6 Sistema de Multiplexores para Fibra Óptica.

9. Facilidad de expansión para aumentar la capacidad del sistema.

10. Gran rentabilidad y fácil mantenimiento.

Esto es posible por la gran distancia entre repetidores. Las pérdidas de transmisión son más bajas en un cable de fibra óptica que en un cable coaxial, permitiendo un incremento en la distancia entre repetidores, tabla IV.7.

	Cable de 144 Fibras Ópticas 45 Mbps	Cable coaxial de 22 elementos 274 Mbps	Unidades
Capacidad	45 000	40 000	Canales de voz
Diámetro	0.5	3.0	in
Sección transversal	0.2	7.0	in <sup>2</sup>
Peso	0.1	10	lb/ft
Costo (materiales)	Comparable		
Espaciamiento entre repetidores	4	1	Millas

Tabla IV.7 Comparación entre cable coaxial y fibra óptica.

En la tabla IV.8 se muestran las características más importantes de la fibra óptica.

Generaciones	Longitud de onda [ $\mu$ m]	Fibra	Atenuación [dB/km]	Emisor	Detector	Tasa de transmisión [Mbps]	Distancia entre repetidores [km]
1a. 1977	0.85	Multimodo	2.5	LASER GaAsAl	APD	2 a 140	10 a 17
2a. 1780	1.3	Multimodo	2	LASER InGaAsP	APD	2 a 140	28 a 44
3a. 1983	1.3	Monomodo	0.36	LASER	PIN FET	140 a 565	35 a 39
4a. 1986	1.5	Monomodo	0.25	LASER tipo C <sup>3</sup>	APD	140 a 565	mas de 50
5a. 1987	1.5	Monomodo	< 0.1	LASER	(detección heterodinal APD)		100

Tabla IV.8

Generalmente, el mayor uso que se le ha dado a los sistemas de comunicación por fibras ópticas es el de troncales digitales entre centrales telefónicas. Una gran parte de las necesidades futuras de comunicaciones telefónicas será cubierta por esta tecnología en lugar de los sistemas convencionales de par telefónico, cable coaxial y microondas.

Para larga distancia (mayor a 30 km), el decremento del uso de repetidores hace que la tecnología actualmente desarrollada (fibras ópticas multimodales a longitudes de onda de 850 nm y 130 nm) empiece a ser lo suficientemente competitiva con los enlaces de microondas actualmente empleados. Quizá

el desarrollo de la tecnología de longitud de onda de 130 nm y 155 nm, con su consecuente disminución de repetidores, permita que los sistemas de comunicación por fibras ópticas resulten mucho más atractivos económicamente a largas distancias.

#### **IV.3.2 DESVENTAJAS**

##### **1. Complejidad de repetidores.**

Aunque un sistema por fibras ópticas requiere menos repetidores que un sistema convencional de cobre, estos son más complejos que el repetidor empleado en los sistemas de conductores metálicos.

##### **2. Poco costeable a distancias cortas.**

Para enlaces a muy corta distancia (menor a 100 m), la justificación del uso de fibras ópticas debe ser muy especial, ya que cualquier otra alternativa de comunicación puede suplir su aplicación, reduciendo los costos de inversión (alta interferencia electromagnética).

A corta distancia (mayor a 100 m y menor a 1 km), la fibra difícilmente compite económicamente con los sistemas convencionales, excepto a muy altas frecuencias y bajo condiciones especiales como las ya indicadas.

##### **3. Pérdidas de transmisión por absorciones del material debido a las impurezas en él.**

##### **4. Requiere de tecnología de punta.**

##### **5. Pérdida por radiación debido a la curvatura de la fibra, en especial las de radio pequeño.**

#### **IV.4 MICROONDAS**

##### **IV.4.1 VENTAJAS**

Las ventajas de los enlaces por microondas son las siguientes:

##### **1. Alta ganancia de la antena.**

Suponiendo que el área de una antena es constante, entonces la ganancia de la antena será inversamente proporcional a la longitud de onda. Por lo tanto es fácil hacer una antena con alta ganancia en la región de microondas debido a que la longitud de onda es pequeña. También la pérdida de propagación en el espacio libre es proporcional al cuadrado de la longitud de onda.

##### **2. Alta directividad de la antena.**

La interferencia en una estación repetidora con cuatro antenas parabólicas es más pequeña en la región de microondas, por su alta directividad.

##### **3. Adaptabilidad de la transmisión de banda ancha.**



En virtud de que la frecuencia es alta en la región de microondas, como se observa en la tabla IV.9, la relación del ancho de banda ocupado por las señales multicanal a la frecuencia de portadora es pequeña. Esto facilita el diseño de componentes y equipo para microondas.

CCIR Referencias	Banda de frecuencias [ GHz ]	Capacidades Máxima/Típica (Mbps)
Rec. 497	12.75 - 13.25	34
Rec. 636	14.4 - 15.35	34/17
Rec. 595	17.7 - 19.7	2200 aprox.
Rec. 635	21.2 - 23.6	140 aprox.
		34

Tabla IV.9 Bandas de frecuencias para media y alta capacidad en sistemas de microondas operando en frecuencias mayores a 12 GHz.

Es posible emplear una antena de microondas en banda ancha para transmitir varios sistemas de microondas en paralelo.

#### 4. Características de propagación de las microondas.

Las características de propagación de las microondas dentro de línea de vista son totalmente estables.

#### 5. Relación señal a ruido (S/N).

Dado que la directividad de las antenas puede hacerse muy aguda y la propagación de microondas está limitado a líneas de vista, se adopta el sistema de modulación en frecuencia. Así la relación (S/N), puede mejorarse y la variación del nivel de salida de la señal puede hacerse pequeño, aún cuando exista desvanecimiento en la propagación.

#### 6. Ruidos artificiales y naturales.

Cuando la frecuencia aumenta los ruidos naturales y artificiales vienen siendo pequeños.

#### 7. Alta confiabilidad de las redes de microondas.

Los sistemas de microondas no emplean líneas de transmisión, lo que hace al sistema más confiable, contra inundaciones, tifones, temblores, etc.

#### 8. Gran flexibilidad de reestructuración geográfica del sistema de comunicación.

#### 9. Amplio rango de radiofrecuencias, tabla IV.10.

Range de frecuencias para bandas fijas  
en sistemas de radio-microondas (GHz)

0.440 - 0.470	12.75 - 13.25
0.606 - 0.960	14.30 - 15.35
1.427 - 1.525	17.70 - 19.70
1.700 - 2.690	21.20 - 23.60
3.400 - 4.200	25.25 - 29.50
4.400 - 5.000	36.00 - 40.50
5.650 - 6.500	47.20 - 51.40
10.50 - 10.68	54.25 - 59.20
10.70 - 11.70	59.00 - 64.00

Tabla IV.10

10. Alta velocidad en transmisión de datos, como se observa en la tabla IV.11.

Tabla IV.11 Bandas de frecuencias para media y alta capacidad en sistemas de microondas operando en frecuencias menores a 12 GHz.

Caso No.	CCIR Referencias	Banda de frecuencias [ GHz ]	Capacidades Máxima/Típica
1	Rec. 283	1.7 - 1.9 1.9 - 2.1 2.1 - 2.3 2.3 - 2.7	70/43,45,70
2	Rec. 382 Rep. 934 - 1 (Anexo I)	1.7 - 2.1 1.9 - 2.3 3.8 - 4.2	140/70,90,135,140
3	Rec. 382 Anexo I	3.7 - 4.2	90/90
4	Rec. 635 Rep. 934	3.6 - 4.2	140/140
5	(Anexo II, Anexo VI y ejemplo adicional)	3.6 - 4.2 3.5 - 4.2	200/200 140/140
7	Rec. 383	5.925 - 6.425	140/90,135,140
8	Rec. 384	6.43 - 7.11	140/135,140
9	Rep. 934 Anexo V	7.1 - 7.75	140/70,140
10	Rep. 934 Anexo III	7.725 - 8.275	90/90
11	Rep. 934 Rec. 386 (Anexo I)	7.725 - 8.275	140/90,135,140
12	Rep. 1055 Anexo III	8.275 - 8.5	34 (2 x 8)
13	Rec. 387	10.7 - 11.7	140/70,90,135,140
14	Rep. 782 - 2 Anexo I	10.7 - 11.7	140/140
15	Rep. 782 - 2 Anexo II	10.7 - 11.7	140/140

#### **IV.4.2 DESVENTAJAS**

##### **1. Espacio en frecuencia reducido.**

Aunque el espectro asignado para radio de microondas es muy amplio, existen límites para las frecuencias utilizadas. Se puede asumir que el más bajo límite práctico de frecuencias disponibles para radio-microondas está entre 1 - 1.4 GHz, y el límite más alto está entre 60 - 70 GHz, sin embargo, la utilización de frecuencias más altas que 30 - 40 GHz es rara. Para aplicaciones en trayectos largos donde la distancia entre saltos es de 30 - 40 km debe mantenerse el costo del sistema dentro de un límite razonable. Los límites de frecuencia más altos están entre 8 - 13 GHz, dependiendo de las condiciones climatológicas.

##### **2. Afectación de las señales por condiciones climatológicas.**

##### **3. Se afecta por la presencia de campos eléctricos y magnéticos.**

#### **IV.5 SATELITE**

##### **IV.5.1 VENTAJAS**

##### **1. Fácil acceso a lugares remotos.**

##### **2. Alternativa contra cables submarinos.**

##### **3. Posibilidad de asignación de capacidad en función de la demanda.**

##### **4. Amplia cobertura (cobertura nacional e internacional) .**

##### **5. Implementación rápida (retrasos mínimos en instalación).**

##### **6. Alta disponibilidad y confiabilidad.**

##### **7. Amplia capacidad de transmisión.**

##### **8. Tendencia a mayor utilización de la banda Ku (14/12):**

- Ya que no es usada generalmente en comunicaciones terrestres, lo que significa menor interferencia
- Permite el uso de antenas de menores dimensiones
- Posible utilizar potencias mayores

##### **IV.5.2 DESVENTAJAS**

##### **1. Inadecuado e incosteable para enlaces cortos.**

##### **2. Sensible a lluvia, nieve, niebla o nubes.**

##### **3. Retardo entre una estación y otra.**

4. Si una señal no esta convenientemente codificada pueden presentarse problemas de seguridad de ella.

5. Presencia de transitorios solares.

Periódicamente, el Sol, la estación terrestre y el satélite quedan alineados. En esta situación, los rayos del sol caen directamente sobre la antena terrena, lo que provoca un transitorio solar, fenómeno que consiste en un nivel de ruido térmico que supera la intensidad de la señal recibida.

6. Eclipse solar.

Fenómeno que ocurre en primavera y en otoño, durante el cual la Tierra se encuentra entre el Sol y el satélite, lo que hace que las celdas solares cesen de producir energía y los circuitos electrónicos dejen de funcionar. Este fenómeno ocurre cada 23 días.

7. El número de canales en la banda C (6/4) y Ku (14/12) que utilizan los satélites es limitada.

8. El número de satélites que pueden ponerse en órbita es limitado.

9. Limitaciones del espectro y de posiciones orbitales.

#### IV.6 TABLA COMPARATIVA DE LOS DIVERSOS MEDIOS DE COMUNICACION

Parámetros	Cables metálicos *			Fibra óptica	Radio de microondas	Satélite
	Pares de hilos	Coaxial Banda base	Coaxial Banda ancha			
Cobertura	local	local	local metropolitano	local metropolitano regional	metropolitano regional nacional	nacional internacional
Ancho de banda	3kHz-10MHz	50MHz	440MHz	800MHz a 70 GHz	1.7-20GHz	1.53-31GHz
Velocidad	9.6/64kbps	50Mbps	10Mbps por canal	560Mbps	140Mbps	9.6/48Mbps
Seguridad de datos BER	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-11}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$
Número de canales	uno	uno	10 800	7680	2700	1000 por transponder
Distancia entre repetidores	aprox. 120m (sin modems)	1,5 a 3.5 km	4.5 km	120 km	35 a 75km	36 000 km

Tabla IV. 12 Comparación de los diversos medios de transmisión de acuerdo a sus características mas relevantes.

En la tabla IV.12 se hace una comparación de las características más relevantes de los medios de comunicación. Y muestra como cada medio reúne ciertas características que lo hacen apropiado para aplicaciones específicas; se observa que la cobertura que puede tener cada uno es determinante para definir que medio utilizar. Por ejemplo, el par de hilos es utilizado para cubrir distancias cortas. Pero en distancias largas es utilizado otro medio como: Cable Coaxial, Fibra Óptica, Microondas o Satélite.

**De todos los medios de transmisión que se muestran en la tabla IV.12 la Fibra Óptica es la que ofrece mayores ventajas.**

## CAPITULO V

SELECCION Y PROPUESTA DEL MEDIO  
MAS ADECUADO

La actual red de telecomunicaciones en el país se moderniza constantemente evolucionando de una red analógica a una digital. Una red de éste tipo se conoce como Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), y es capaz de proporcionar conectividad digital extremo a extremo, soportando un amplio rango de servicios (voz, señalización, datos, etc.).

La RDSI integra varios medios de transmisión como son: fibra óptica, radio de microondas terrestres, satélite, cable coaxial y par metálico, para cobertura nacional e internacional.

## V.1 TERMINOLOGIA PARA RDSI

*Minutos Degradados (MD)*. Es un conjunto de 60 segundos consecutivos, tras excluir los segundos con muchos errores, con una tasa de error mayor o igual a  $10^{-6}$ .

*Segundos con Error (SE)*. son aquellos segundos que contienen al menos un error.

*Segundos con Muchos Errores (SME)*. Es aquel segundo con una tasa de error mayor o igual a  $10^{-3}$ . Se considera también como SME aquel segundo con pérdida de señal o pérdida de sincronización.

*Segundo Sin Error (SSE)*. Relación entre el número de intervalos de un segundo en los que reciben bits erróneos y el número total de intervalos de un segundo del tiempo total considerado.

*Tasa de deslizamientos*. Es el conjunto de bits perdidos o duplicados que ocurren en un cierto intervalo de tiempo y es proporcional a la diferencia de exactitudes de los relojes de los equipos enlazados. Se especifica en bps. Este tasa de deslizamiento se subdivide a su vez en:

*Deslizamiento controlado*. Se define como la pérdida o ganancia irreversible de un conjunto de posiciones de dígitos consecutivos de una señal digital en la cual están controlados tanto la magnitud como el instante en que se produce dicha pérdida o ganancia, con el objeto de ajustar la señal a una velocidad diferente de la propia.

*Deslizamiento incontrolado*. Es la pérdida o ganancia de una posición de dígito o de un conjunto de posiciones consecutivas de dígito, resultante de un desajuste de procesos de temporización asociados a la transmisión o conmutación de una señal digital, la cual se produce sin que esté controlada la magnitud ni el instante de la pérdida o ganancia.

## V.1.1 MODELOS DE TRANSMISION DIGITAL

Los modelos de transmisión digital, son entidades ficticias de longitud y composición definidas que se utilizan para el estudio de las degradaciones de la transmisión digital.

Una conexión ficticia de referencia (CFR) es aquella que considera una longitud máxima de 27,000 km, como se muestra en la Fig. V.1. La conexión se considera totalmente digital a 64 kbps.

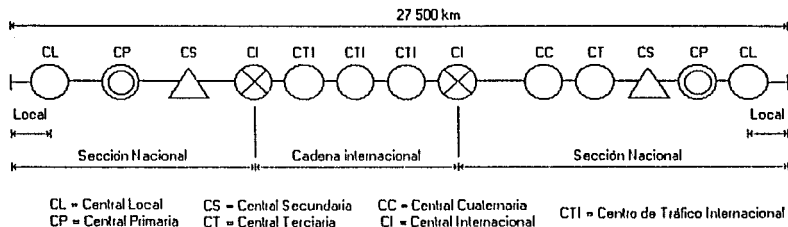


FIG.V.1 Conexión ficticia de referencia de longitud máxima para la RDSI-TELMEX a 64 kbps.

El nivel de degradación experimentado en una conexión real se considera satisfactorio si es compatible con el estipulado para la CFR mas larga. Para una gran proporción de conexiones reales es probable que la calidad de funcionamiento sea considerablemente mejor.

### V.1.2 COMPORTAMIENTO DE ERRORES EN LA TRANSMISION

El comportamiento de los errores se caracteriza con los cuatro parámetros siguientes:

- a) Minutos Degradados (MD)
- b) Segundos con Muchos Errores (SME)
- c) Segundo con Error (SE), y
- d) Segundos Sin Error (SSE)

Los objetivos globales (aplicables a una conexión internacional a 64 kbps para servicios de voz o datos), de los cuatro parámetros de características de error se especifican en la tabla V.1. La asignación de estos objetivos se basa en el modelo de referencia de la Fig.V.1, el cual establece de manera combinada, el CFR y la delimitación de la calidad de los circuitos en tres grados (grado local, medio y alto).

CAPACERISTICA DE ERROR	OBJETIVO TOTAL (% MAX. DE TIEMPO)	DISTRIBUCION DEL OBJETIVO TOTAL		
		GRADO LOCAL ②	GRADO MEDIO ③	GRADO ALTO ④
Minutos ① Degradados (MD)	10 %	1.5 % en C/ extremo	1.5 % en C/ extremo	4 %
Segundos con Muchos Errores (SME)	0.2 %	0.015 % en C/ extremo	0.015 % en C/ ext.	0.04 %
Segundos con Error (SE)	8 %	1.2 % en C/ extremo	1.2 % en C/ extremo	3.2 %
Segundos Sin Error (SSE)	92 %	98.8 % en C/ extremo	98.8 % en C/ extremo	96.8 %

- NOTAS: ① Sesenta segundos con 4 errores no se considera un minuto degradado [equivalente a una tasa de error de  $1 \times 10^{-6}$ ]
- ② Se considera grado local a sistemas que operan entre la localidad del usuario y las centrales locales, a velocidades típicas inferiores a 2 Mbps. La asignación para este grado es en bloque, independiente de la longitud.
- ③ Se considera grado medio a sistemas que operan entre las centrales locales, o bien, entre la central local y su centro primario. La asignación para este grado es en bloque, independiente de la longitud.
- ④ El grado alto abarca conexiones nacionales e internacionales de larga distancia que operan a altas velocidades de transmisión. La asignación para este grado es en base a la longitud del trayecto, es decir, una asignación equivalente a 0.00016 % / km.
- ⑤ Asignación en bloque que debe añadirse, para tener en cuenta las condiciones desfavorables en los enlaces de radio de los grados medio y alto.

Tabla.V.1 Objetivos totales de parámetros de error.

Como puede observarse en la tabla V.1, la distribución del objetivo total es la siguiente:

- Grado local = 15 % del objetivo total en cada extremo
- Grado medio = 15 % del objetivo total en cada extremo
- Grado alto = 40 % del objetivo total de extremo a extremo

Sin embargo, para el caso de los SME sólo la mitad del objetivo total, es decir, sólo 0.1 % del tiempo se distribuye de la forma descrita, ya que el 0.1 % restante se reserva como asignación en bloque para tener en cuenta condiciones desfavorables de los enlaces de radio. La distribución de este 0.1 % extra se divide en 0.025 % para el grado medio en cada extremo y 0.05 % para el grado alto.

Para la correcta interpretación de la tabla.V.1 se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El objetivo total indica el porcentaje máximo del tiempo total de la medición ( $T_L$  = un mes cualquiera del año).
- Lo que se distribuye es también un porcentaje de tiempo máximo.



- La contribución de error de los equipos de conmutación y/o multiplexaje se considera pequeño en comparación con la contribución de los medios de transmisión.
- Los objetivos no incluyen el efecto de los deslizamientos controlados, los cuales producen pequeñas ráfagas de errores.
- En el caso de que la parte de grado alto de la conexión esté constituida por un trayecto vfa satélite, los objetivos mostrados en la tabla se reducen a la mitad. Esta reducción se debe a que un trayecto vfa satélite tiene una distancia terrestre equivalente de  $\approx 12\ 500$  km.

### V.1.3 OBJETIVOS PARA SECCIONES DE LINEA DIGITAL

Una aplicación directa de los límites de la calidad de funcionamiento para períodos de tiempo más cortos (24 hrs.), a partir de los objetivos de calidad de funcionamiento mensual del punto anterior, puede no ser adecuada para secciones de línea digitales, especialmente para el caso de secciones digitales que contienen sistemas de repetidores radioeléctricos, en los cuales la degradación importante de la calidad de transmisión tiende a concentrarse en unos días e incluso horas (períodos de desvanecimientos severos).

La tabla V.2 muestra los objetivos de características de error con respecto a minutos degradados (MD), segundos con muchos errores (SME), segundos con error (SE) y segundos (SSE), para secciones de línea digitales. Estos objetivos son aplicables a una conexión a 64 kbps.

CLASIFICACION DE LA CALIDAD DE LA SECCION	CLASIFICACION DE LA SECCION	TIPOS DE MEDIOS DE TRANSMISION APPLICABLES	LONGITUD DE LA SECCION	OBJETIVOS DE PARAMETROS DE ERROR			
				MD	SME	SE	SSE
1	Grado alto	- Fibra óptica - Radio de medio y largo alcance	280 km	0.045 %	0.00045 % 0.00595 % ②	0.036 %	99.964 %
2	Grado medio	- Radio de corto alcance	280 km	0.2 %	0.002 % 0.0075 % ②	0.16 %	99.84 %
3	Grado medio	- Cable coaxial	50 km	0.2 %	0.002 %	0.16 %	99.84 %
4	Grado medio	- Par metálico	50 km	0.5 %	0.005 %	0.4 %	99.6 %

① Si una sección de línea digital real es más corta, no habrá reducción del objetivo. Si la sección de línea digital real es más larga, el objetivo corresponderá a aquel número entero de secciones cuya longitud combinada sea al menos tan larga como la sección real. Por ejemplo si la sección real es de 450 km, dicha longitud se cubre con dos secciones de 280 km ( $2 \times 280$  km), por lo tanto, el objetivo marcado en esta tabla se multiplica por dos.

② Este objetivo es el que debe tomarse cuando se trate de secciones de radio (tiene en cuenta condiciones de propagación adversas). Este objetivo considera que cuando se trate de una sección digital de radio de 280 km debe añadirsele un 0.0055 % al objetivo, para tener en cuenta condiciones severas de propagación.

Tabla V.2 Objetivos de parámetros de error (% máximo de tiempo) para las secciones de línea digitales.

#### V.1.4 OBJETIVOS PARA SECCIONES Y TRAYECTOS DIGITALES

El objetivo total para las secciones y trayectos digitales es la suma de los objetivos de las secciones de línea digital que las constituyen, (los objetivos se indican en las tablas V.1 y V.2). Esto lleva a una asignación de objetivos basada en la configuración física real del trayecto.

Se denomina con  $A$  al objetivo de comportamiento a error de la sección digital y esta dada por:

$$A = \sum_{j=1}^4 N_j Q_j$$

en donde:

$j$  = calidad de la sección de línea: 1, 2, 3 ó 4 (ver tabla V.2).

$N_j$  = número de secciones de calidad  $j$ .

$Q_j$  = objetivo para la sección de calidad  $j$ .

#### V.1.5 TASA DE DESLIZAMIENTOS

El objetivo de la tasa de deslizamientos de octetos para una conexión de 64 kbps efectuada a través del número máximo de centrales<sup>1</sup> se muestra en la tabla V.3.

CATEGORIA DE LA CALIDAD	TASA PROMEDIO DE DESLIZAMIENTOS	PROPORCION DE TIEMPO QUE DEBE CUMPLIRSE <sup>ⓐ</sup>
Satisfactoria	≤ 5 desl. en 24 hrs.	> 98.9 %
Degradada	> 5 desl. en 24 hrs. y ≤ 30 desl. en 1 hr.	< 1.0 %
Inaceptable	> 30 desl. en 1 hr.	< 0.1 %

<sup>ⓐ</sup> Se considera un tiempo total de un año

Tabla V.3 Tasa de deslizamientos controlados para una conexión a 64 kbps.

<sup>1</sup>Se establece en el Plan Fundamental de conmutación de la RDSI-TELMEX.

## V.2 ENLACE MEXICO-CUERNAVACA A TRAVES DE PAR METALICO Y RADIO DE MICROONDAS

Para realizar este enlace se considerarán los datos de una conexión interurbana de poca longitud<sup>2</sup>, como se muestra en la Fig.V.2. La longitud del enlace es de  $\approx 100$  km. En este caso el enlace interurbano se realiza entre centros primarios (centros de larga distancia) y centros locales.

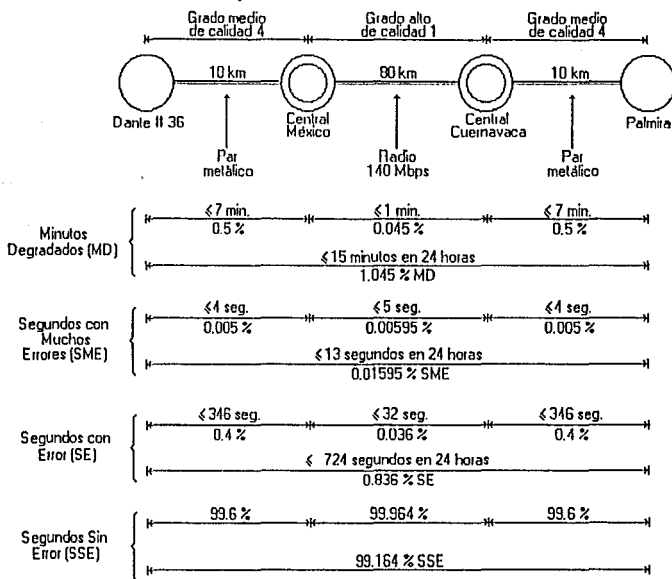


FIG.V.2 Asignación de objetivos para el comportamiento de errores para un enlace por par metálico y microondas (período de medición de 24 horas = 1 440 min. = 86 400 seg.).

En esta figura se muestran los medios de transmisión utilizados a lo largo de este trayecto donde se incluye pares de hilos y radio de microondas para superar los obstáculos naturales. También se muestra la asignación de los minutos degradados (MD), segundos con muchos errores (SME), segundos con error (SE) y segundos sin error (SSE).

<sup>2</sup> Datos tomados del Plan Fundamental de Transmisión de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) de TELMEX, para líneas digitales de usuario utilizando como medio de transmisión, pares de hilos.

Realizar un enlace utilizando únicamente par metálico resulta impráctico e ineficiente debido a que no se cuenta con tendidos a través de terrenos desfavorables (lagunas, montañas, etc.), además de que presenta un alto índice de errores.

Se puede disminuir el número de errores combinando otros medios de transmisión, por ejemplo: cable coaxial y radio de microondas, fibra óptica con cable coaxial y radio de microondas, etc.

En nuestro caso utilizamos par metálico y radio de microondas, ya que sería imposible e incosteable tender un cable de pares de hilos desde México hasta Cuernavaca por las condiciones desfavorables del terreno, además de que así disminuimos el número de errores en la transmisión de datos.

### V.3 ENLACE POR CABLE COAXIAL

Una de las ventajas de los sistemas por cable coaxial es la reducción en la acumulación de ruido en relación con los radioenlaces. Para telefonía multicanal punto a punto (en configuración MDF-Multiplexaje por División de Frecuencia) la frecuencia de línea se aplica directamente al cable sin necesidad de más pasos de modulación como en el caso de los radioenlaces y, por lo tanto, se reduce substancialmente el ruido del sistema. En la mayoría de los casos los radioenlaces pueden ser menos costosos que el cable coaxial, a pesar de eso, puesto que existe congestión en los radioenlaces, el cable coaxial es otra alternativa. El cable coaxial se debe considerar en lugar de los radioenlaces en base a las siguientes recomendaciones:

- En áreas con alta densidad de IRD (Índice de Radio Frecuencias).
- Sobre rutas de alta densidad en las que el cable es menos costoso que los radioenlaces.

#### V.3.1 DISEÑO DEL SISTEMA

La Fig.V.3 es el diagrama simplificado de la aplicación del sistema de cable coaxial al servicio telefónico multicanal de gran alcance. Para lograr lo anterior, se necesitan dos cables coaxiales, uno en cada sentido. Los canales de voz o datos se conectan con el equipo multiplexor en el sentido de "ida" y "regreso" en una configuración a cuatro hilos. La salida del equipo multiplexor para alimentar el cable es la frecuencia de línea (Banda Base). La operación del sistema consiste en la aplicación de una frecuencia de línea MDF al sistema de cable coaxial a través de la unidad terminal de línea; la señal de línea alimenta al repetidor terminal, el cual realiza las siguientes funciones:

- Combina los pilotos de control de línea con la frecuencia de línea del multiplexor
- Iguala el ancho de banda de la señal de entrada
- Suministra energía a los repetidores dependientes

Los repetidores dependientes se separan uniformemente a todo lo largo del sistema de cable; estos repetidores reciben energía directamente del cable.

En el diseño de un sistema por cable coaxial de largo alcance, la salida consiste en un voltaje de cd superior a 650 V con una corriente regulada de 110 mA. El repetidor principal alimenta hasta 15 repetidores dependientes en cada sentido. Por lo tanto, la cantidad máxima de repetidores en una cadena para cada repetidor terminal o principal es de 30. La distancia entre amplificadores dependientes es de

4.5 km con un sistema nominal de 12 MHz (con cable de 0.375 pulg.). Los amplificadores tienen un ajuste de ganancia de  $\pm 6$  dB equivalente a la variación en la separación de los repetidores de  $\pm 570$  m.

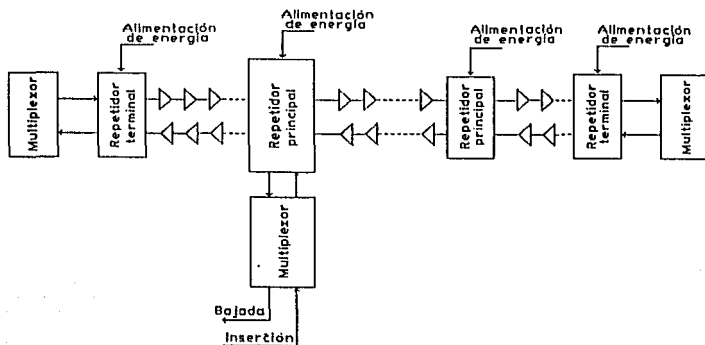


FIG.V.3 Diagrama simplificado de la aplicación de un sistema por cable coaxial de largo alcance para telefonía multicanal.

El diseño del sistema de cable coaxial tiene mayor aplicación en telefonía multicanal de gran alcance y sistemas TV por cable que para transmisión de datos. El diseño del sistema implica fundamentalmente lo siguiente:

- Separación de los repetidores en función del tipo de cable y el ancho de banda.
- Regulación del nivel de la señal.
- Efectos de la temperatura sobre la regulación.
- Ecuilización.
- Irregularidades de impedancia en el cable.
- Localización de fallas.
- Alimentación de energía.

Si se realizará el enlace México - Cuernavaca exclusivamente con cable coaxial se tendría que usar un cable de 2.6/9.5 mm, ya que la distancia entre estos centros de investigación es de aproximadamente 100 km. Este sistema sería capaz de transmitir hasta 2700 canales de 4 kHz en configuración MDF y con un ancho de banda de 12 MHz.

La atenuación del cable a la frecuencia más alta, 12 MHz sería de aproximadamente 8.3 dB/km, como se muestra en la Fig.V.4. La pérdida total para los 100 km sería de  $8.3 \times 100 = 830$  dB. Para compensar este nivel de atenuación se requerirían 30 amplificadores de 27.67 dB con intervalos de separación de 3.33 km, considerando un límite superior para la acumulación de ruido de 3 pWp/km.

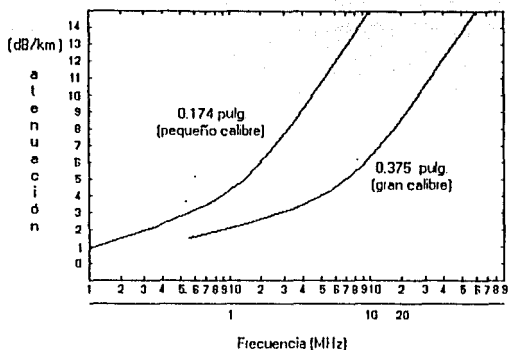


FIG. V.4 Respuesta de atenuación y frecuencia por kilómetro de cable coaxial.

De acuerdo a lo anterior la inversión del IIE para este enlace sería muy grande. Por lo tanto, sería conveniente utilizar sistema de microondas entre centrales de larga distancia, y cable coaxial de las centrales de larga distancia a los centros de investigación, como se muestra en la Fig.V.5, donde se muestra la calidad de cada sección y la asignación de objetivos del comportamiento de errores (MD,SME,SE,SSE), Fig.V.5.

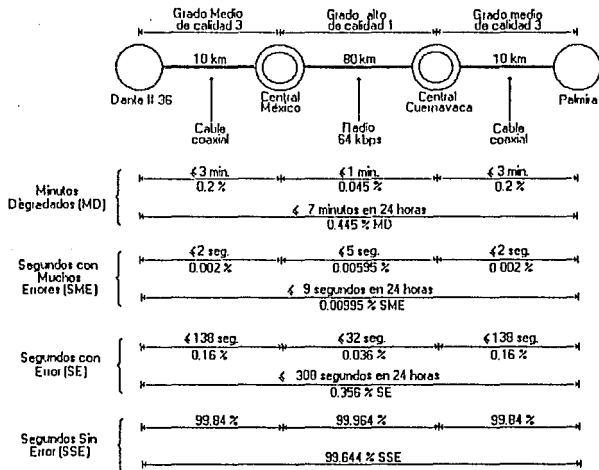


FIG.V.5 Comportamiento de errores del enlace por cable coaxial y radio de microondas. [periodo de medición de 24 horas = 1 440 min. = 86 400 seg.]

## V.4 FIBRA OPTICA

Actualmente TELMEX esta realizando tendidos de cable de Fibra Optica enlazando las principales ciudades cercanas a la ciudad de México, entre ellas la ciudad de Cuernavaca, por lo que es factible realizar este enlace con Fibra Optica.

### V.4.1 COMPORTAMIENTO DE ERRORES EN UN ENLACE POR FIBRA OPTICA

En la Fig.V.6 se muestra la conexión del enlace México - Cuernavaca por Fibra Optica. Se indican los medios de transmisión de cada sección digital, el grado y la calidad a que pertenecen según la tabla V.2, y la asignación de objetivos en cuanto a Minutos Degradados (MD), Segundos con Muchos Errores (SME), Segundos con Error (SE) y Segundos Sin Error (SSE).

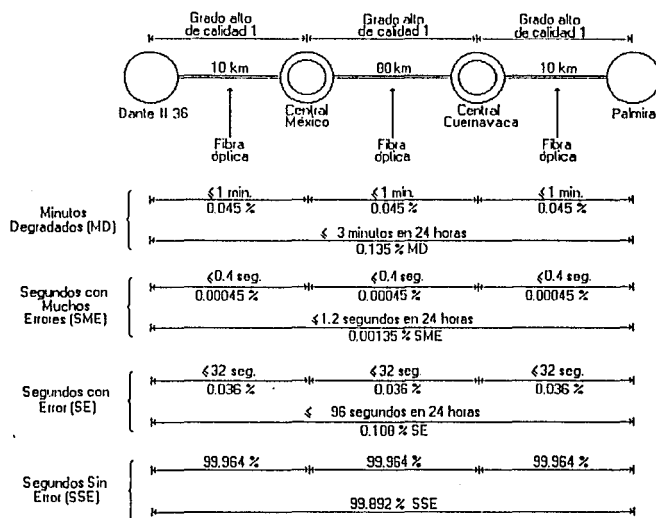


FIG V.6 Comportamiento de errores del enlace por cable de Fibra Optica  
(periodo de medición de 24 horas = 1 440 min. = 86 400 seg.)

Como se puede ver en la Fig. V.6, el enlace estaría constituido por tres secciones de Fibra Optica, dos secciones que irían de las centrales de larga distancia a los centros de investigación del IIE y una sección entre centrales de larga distancia. De acuerdo a lo anterior le corresponde una clasificación de grado alto y calidad uno, como se especifica en la tabla V.2.

Los objetivos mostrados en la Fig.V.6 se encuentran en forma de porcentajes de tiempo de medición, y como minutos o segundos que se esperan en un periodo de medición de 24 horas.

## V.5 MICROONDAS

La Ruta Digital Hipotética de Referencia (HRDP) para radio de microondas esta dada en la recomendación 556 [14] del CCIR, y es mostrada en la Fig.V.7. Esta consiste de nueve secciones, cada una de 280 km de longitud, con dos etapas intermedias de demultiplexaje a la velocidad de 64 kbps. El concepto de una Sección Digital Hipotética de Referencia (HRDS), es mostrada en la Fig.V.8, ha sido adoptada para facilitar la división de la red. Un HRDS consiste de una transmisión media homogénea que excluye equipo de multiplexaje y switcheo. El equipo de la Fig.V.8, representa las etapas de procesamiento de señal en el equipo de la estación terminal.

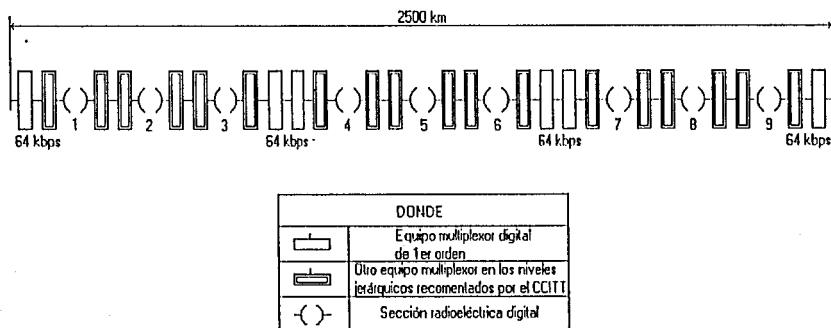


FIG.V.7 Trayecto digital ficticio de referencia para sistemas de retransmisores radioeléctricos con una capacidad superior al segundo nivel jerárquico.

La longitud de cada sección ha sido escogida para ser representativa de la sección digital encontrada en una red operacional real. Una HRDS puede tener un número de clasificación de funcionamiento diferente (clase 1, 2, 3 y 4) dependiendo del papel o aplicación de la red.

Una red de transmisión real puede diferir considerablemente de estos modelos hipotéticos. Cada sistema puede tener capacidad no jerárquica, o puede tener longitudes diferentes. Sin embargo el Grupo 9 del CCIR estudia recomendaciones para sistemas reales.



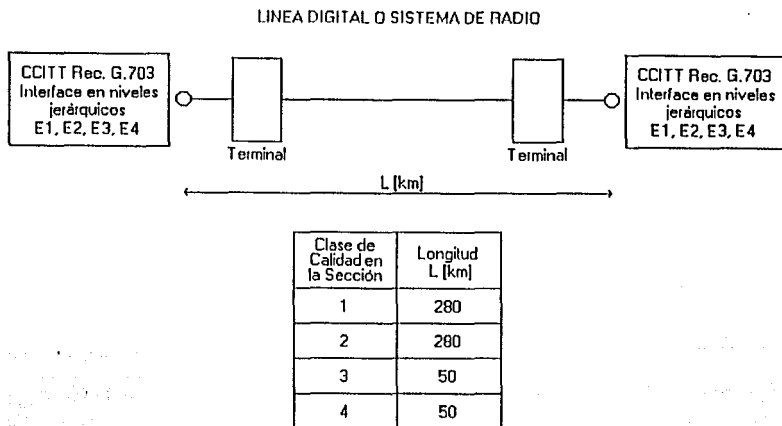


FIG.V.8 Sección digital hipotética de referencia (HRDS).

### V.5.1 DIFICULTADES EN LA TRANSMISION

Tres imperfecciones básicas pueden afectar la calidad de la transmisión digital:

1. *Error en la transmisión.* Es normalmente expresado como la razón del número de bits erróneos  $E_e$  al total de bits  $B$  transmitidos en un intervalo de tiempo dado. La fracción  $E_e/B$  es llamada razón de bits erróneos o BER. El BER puede ser considerado como la contraparte de ruido en un circuito de voz (en pW) en transmisiones analógicas. Mientras que en transmisión de voz es relativamente tolerante a variaciones en BER sobre décadas severas, la transmisión de datos puede sufrir fallas significativas con simples errores. El parámetro comúnmente usado para expresar calidad en aplicación de datos es el segundo con errores. Un segundo con error es el que contiene uno o más errores. Normalmente para 64 kbps.

2. *La variación de la posición en sincronización de cada bit de la posición esperada, esta definida por intervalos de reloj.* Es normalmente expresado como el radio de la variación absoluta de sincronización al período de reloj en intervalos de unidad y es llamado jitter y wander.

3. *Retraso absoluto de transmisión.* Es de particular importancia para el servicio telefónico donde surgen dificultades con los abonados por el incremento de retrasos. El sistema de radio digital introduce el más pequeño retraso que el cable coaxial, fibra óptica y particularmente sistema satelital, donde el retraso de la señal de ida y vuelta es de alrededor de 560 ms.

## V.5.2 INDISPONIBILIDAD Y CALIDAD

Dos criterios fundamentales para describir el funcionamiento de la transmisión digital son: indisponibilidad y calidad. Cuando una ruta de transmisión esta indisponible, no es posible transmisión útil. La indisponibilidad es definida por la recomendación G.821 [24] del CCITT como sigue:

Un periodo de tiempo indisponible comienza cuando el BER en cada segundo es peor que  $1 \times 10^3$  por un periodo de 10 segundos consecutivos. Estos 10 segundos están considerados a ser tiempo indisponible. El periodo de tiempo indisponible termina cuando el BER en cada segundo es mejor que  $1 \times 10^3$  por un periodo de 10 segundos consecutivos. Estos 10 segundos son considerados como tiempo disponible.

La calidad de un enlace es medido sólo en periodos cuando el enlace es disponible. La calidad de una conexión digital es expresada en términos de desempeño de error.

El criterio de los 10 segundos es el que divide la medida de desempeño de transmisión dentro de dos categorías básicas de calidad e indisponibilidad. El criterio de los 10 segundos puede ser evaluado en el futuro por que experiencias prácticas están comenzando a mostrar que algunos servicios de usuarios (datos a alta velocidad, usuarios de radio celular) tienen introducciones intolerantes del orden de 10 segundos o más.

## V.5.3 FUNCIONES DE LOS PARAMETROS DE ERROR

Las funciones de los parámetros de error encontrados en el CCIR y CCITT son llamados minutos degradados, segundos con muchos errores, segundos con error y BER residual (RBER). Cada uno es expresado en términos estadísticos. Durante condiciones de desvanecimiento, los errores en el radiotransmisor digital son normalmente el resultado de la combinación de tres tipos de señal desvanecida que pueden estar presentes. Estos son, ruido térmico que proviene del nivel de entrada del receptor, interferencia de canales adyacentes (y otras fuentes), e interferencia intersímbolo de amplitud y fase que distorsionan el canal de transmisión.

La Fig. V.9, ilustra la forma característica de la distribución de la razón de error que puede ser esperado para una sección de radio digital de alto grado de 280 km. Los puntos sobre la curva expresan el porcentaje de tiempo que da el BER, medido con un tiempo específico (un segundo o un minuto).

## V.5.4 SEGUNDOS CON MUCHOS ERRORES Y MINUTOS DEGRADADOS

Dos valores de entrada de BER tienen especial significado y son usados en la mayoría se las recomendaciones del CCITT y CCIR para funciones de error. Primero, el BER de entrada de  $1 \times 10^3$  es el punto más allá del cual la degradación se vuelve inaceptable para más servicios, y muchos procesos en una red de transmisión comienzan a fallar (los multiplexores pueden perder el alineamiento de bloques). Un tiempo de un segundo ha sido adoptado universalmente para la medida de este límite, correspondiendo a 64 errores por segundo en la tasa de 64 kbps. El término segundos con muchos errores (SME) es usado para describir estos periodos.

Segundo, el BER de entrada de  $1 \times 10^6$  es el punto en el cual la degradación para telefonía PCM se hace perceptible. El CCITT ha adoptado un tiempo de integración de un minuto para este BER, como un compromiso entre la duración típica de una conversación telefónica y un periodo práctico medido en

la tasa de 64 kbps. El término (MD), es usado para describir estos períodos. En la práctica un MD de 64 kbps es considerado por contener 4 o más errores, correspondiendo a un BER de  $1.04 \times 10^{-6}$ .

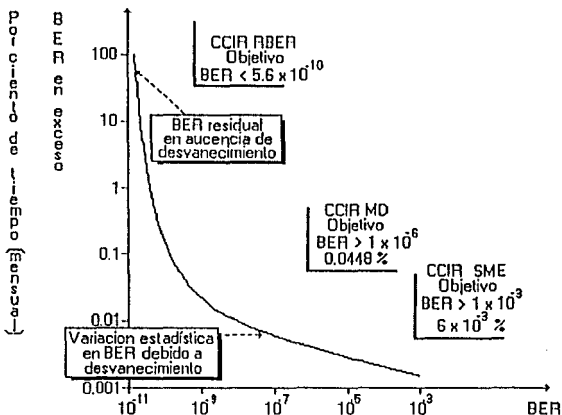


FIG.V.9 Distribución del BER para una sección de 280 km de radio digital de alto grado.

### V.5.5 SEGUNDOS CON ERROR Y BER RESIDUAL

BERs de  $1 \times 10^{-6}$  usualmente sólo exceden por cortos períodos de tiempo (principalmente durante condiciones de desvanecimiento), y el objeto es restringir este a menos de 0.4 % de un mes para un circuito de 2500 km sobre un buen diseño de un sistema radiotransmisor. El segundo con error (SE), objetivamente es entendido como un camino alternativo (para criterio BER) de caracterización de desempeño de error, el cual es especialmente serio para transmisión de datos. Un SE es un segundo que contiene menos de un error, y el SE objetivo es normalmente especificado en 64 kbps. El SE resulta de muchas causas, incluyendo efectos los cuales ocurren en ausencia de desvanecimientos, así como, disturbios electromagnéticos o estáticos.

El CCITT estudia en el grupo 9, los usos del BER residual (RBER) para caracterizar el comportamiento de error en el sistema de tasa de bits durante condiciones de propagación en el espacios libre (sin desvanecimiento). Un RBER de entrada comparativamente bajo de  $5 \times 10^{-9}$  fue seleccionado para una ruta de 2500 km, para evitar la posibilidad de diseñar sistemas donde el BER distorsionar en un nivel sólo levemente mejor que  $1 \times 10^{-6}$  suficiente para satisfacer el criterio MD. Para rutas en cascada, MD adicionales resultarían de la suma de estos errores residuales, si cada una de las rutas exhiben una pobre característica de comportamiento de error. El valor RBER fue considerado también por CCIR para satisfacer el objetivo de SE para un pequeño margen [20]. Si los objetivos MD, SME y RBER son encontrados en el sistema de tasa de bits, entonces el objetivo SE deberá ser respecto a 64 kbps.

## V.5.6 ENLACE DIGITAL POR MICROONDAS MEXICO - CUERNAVACA

Realizar la totalidad del enlace México - Cuernavaca con los recursos del IIE a través de una ruta digital de radio de microondas, resultaría impráctico e incoachable, ya que se tendrían que superar dificultades considerables como: no poder construir estaciones repetidoras en propiedad de otras personas y, además las restricciones técnicas y legales para la realización de dicho enlace. Por lo tanto una opción factible sería realizar el enlace a través de antenas de microondas desde las instalaciones del IIE hacia la red federal de microondas o alguna otra empresa pública o privada que ofrezca estos servicios.

En la Fig.V.10 se observa el porcentaje de MD, SME, SE y SSE. También se indica el medio de transmisión en cada sección digital, así como el grado y calidad a la que pertenecen de acuerdo a lo indicado en la tabla V.2.

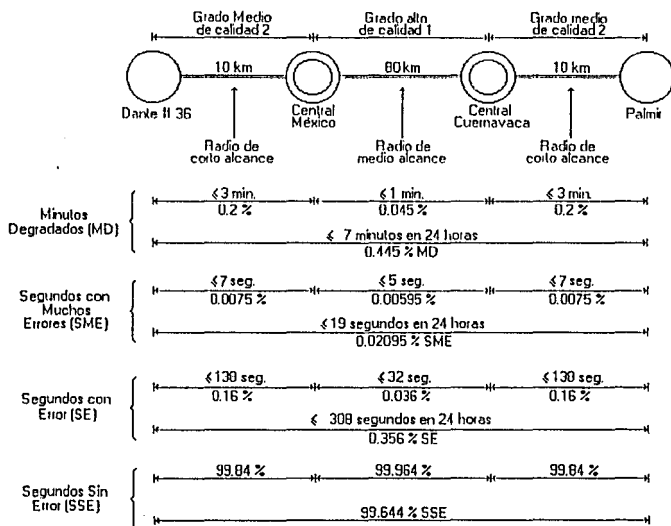


FIG.V.10 Comportamiento de errores del enlace por radio de microondas terrestres (periodo de medición de 24 horas = 1 440 min. = 86 400 seg.)

## V.6 ENLACE DIGITAL POR SATELITE MEXICO - CUERNAVACA

Dentro de las opciones para enlazar los centros de investigación del IIE se contempla también un enlace digital vía satélite, por lo que es importante hacer un estudio del porcentaje de los parámetros de error que se tendrían para este enlace en cuanto a MD, SME, SE y SSE.

Se debe tomar en cuenta que para secciones digitales por vía satélite, los objetivos mostrados en la tabla V.2 se reducen a la mitad, como se indica en el punto V.1.3.

Este tipo de enlace desde el punto de vista técnico tiene muchas ventajas. Debido a que un enlace por satélite se hace para una confiabilidad y disponibilidad del 99.99 %, el porcentaje de segundos con error es mínimo, como se muestra en la Fig.V.11, además permite librar fácilmente los obstáculos naturales y artificiales (cerros y edificios) entre la ciudad de México y Cuernavaca.

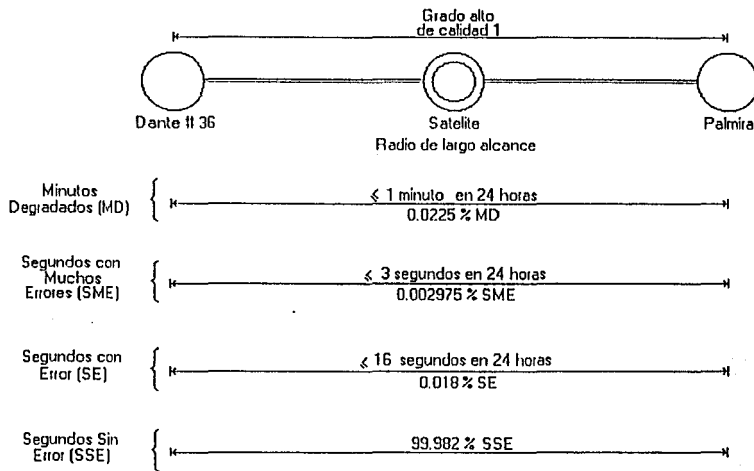


FIG.V.11 Comportamiento de errores del enlace por Satélite  
 (período de medición de 24 horas = 1 440 min. = 86 400 seg.)

### V.7 ENLACE DIGITAL MEXICO-CUERNAVACA POR FIBRA OPTICA Y PAR TORCIDO

Todos los enlaces hasta ahora tratados, han sido planteados para analizar el porcentaje de error que se tendría en las transmisiones digitales sin tomar en cuenta el aspecto económico.

Otra alternativa que se tiene, es realizar el enlace con par torcido de las centrales de larga distancia a los centros de investigación, y con Fibra Optica entre centrales de larga distancia, con lo cual se tendría un bajo nivel de errores aceptable como se muestra en la Fig. V. 12.

Esta aproximación es más práctica y además se encuentra dentro de los límites de disponibilidad que se establece para un circuito digital ficticio de referencia de 2500 km., el cual establece que la disponibilidad de un circuito debe ser de 99.7 % del tiempo de prueba (24 horas).

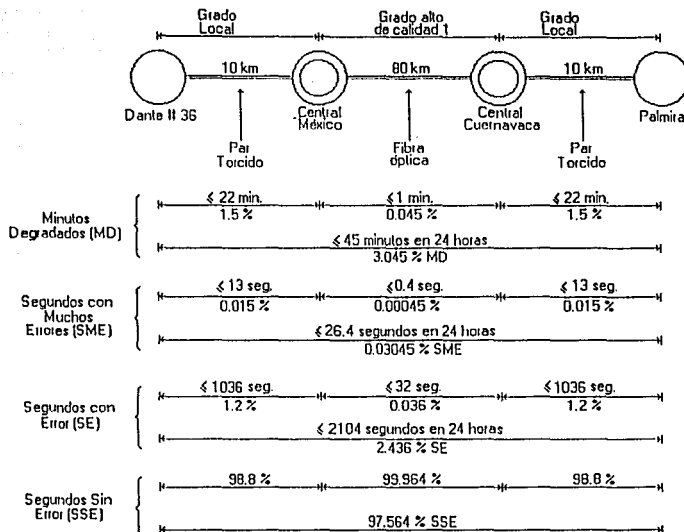


FIG.V.12 Comportamiento de errores del enlace por par torsido y cable de Fibra Óptica (período de medición de 24 horas = 1 440 min. = 86 400 seg.).

## V.8 SELECCION Y PROPUESTA DEL MEDIO DE TRANSMISION MAS OPTIMO PARA EL ENLACE MEXICO - CUERNAVACA

En este punto se hace un análisis de los parámetros de comportamiento a error en la transmisión de datos para el enlace México - Cuernavaca, considerando varias secciones de línea digital, y de acuerdo a esto seleccionar el enlace más óptimo para cubrir las necesidades del IIE.

Este enlace es más factible realizarlo con una de las alternativas que se muestran en la tabla V.6, donde se observa el porcentaje de error en un período de 24 horas correspondiente a cada tipo de enlace para minutos degradados (MD), segundos con muchos errores (SME), segundos con error (SE) y segundos sin error (SSE). En la tabla V.4 se muestra como el porcentaje de error en la transmisión de datos esta en función de la sección de línea digital que se utilice.

Como se observa en la tabla V.4, un enlace por Satélite ofrece el menor número de errores esperado en un tiempo de 24 horas (1440 min. = 86400 seg.), es decir, de los 86,400 segundos sólo el 0.018 % son segundos con error (16 seg.) y por consiguiente un 99.982 % son segundos sin error

<sup>3</sup> De acuerdo a datos proporcionados en el Plan Fundamental de Transmisión de la RDSI de TELMEX.

(86,384 seg). Sin embargo, un enlace por Fibra Óptica presenta más ventajas técnicas de manera global que un enlace por Satélite, como se menciona en el capítulo IV, y se resume en la tabla IV.12, por lo tanto, desde el punto de vista técnico, el enlace por Fibra Óptica es el más óptimo, por lo que es recomendable que el IIE adopte un enlace de este tipo.

ENLACE MEXICO - CUERNAVACA POR	MEDIOS DE TRANSMISION UTILIZADOS	CALIDAD DE LA SECCION	GRADO DE LA SECCION	OBJETIVOS DE PARAMETROS DE ERROR							
				MD		SME		SE		SSE	
				min	%	seg	%	seg	%	seg	%
Par torcido y Fibra Óptica Fig.V.15	Par torcido	Local	Local	45	3.045	26.4	0.03045	2104	2.436	84 296	97.564
	Fibra Óptica	1	alto								
Par Metálico y Microondas Fig.V.4	Par Metálico	4	medio	15	1.045	13	0.01595	724	0.836	85 273	99.164
	Microondas	1	alto								
Cable Coaxial y Microondas Fig.V.7	Coaxial	3	medio	7	0.445	9	0.00995	308	0.356	86 092	99.644
	Microondas	1	alto								
Microondas Fig.V.13	Corto alcance	2	medio	7	0.445	19	0.02095	308	0.356	86 092	99.644
	Largo alcance	1	alto								
Fibra Óptica Fig.V.8	Fibra Óptica	1	alto	3	0.135	1.2	0.00135	96	0.108	86 304	99.892
Satélite Fig.V.14	Satélite	1	alto	1	0.0225	3	0.00297	16	0.018	86 304	99.902

MD = Minutos degradados  
 SME = Segundos con muchos errores  
 SE = Segundos con error  
 SSE = Segundos sin error

Tabla V.4 Comparación de los objetivos de comportamiento a error de las diferentes opciones para el enlace México - Cuernavaca. (Período de medición de 24 hrs. = 1 440 min. = 86 400 seg)

Ya que se ha seleccionado y propuesto un enlace por Fibra Óptica, a continuación se hace un análisis para éste enlace.

## V.9 DISEÑO DEL ENLACE MEXICO-CUERNAVACA POR FIBRA OPTICA

Los requerimientos que se consideran más significativos en un sistema de comunicación por Fibra Óptica son:

- Distancia
- Tipo de señal (Análogica o digital)
- Ancho de banda del canal o velocidad de transmisión
- Calidad deseada de transmisión (S/N o BER)

La tasa de bits erróneos (BER) está dada por la razón de bits identificados incorrectamente, al número total de bits transmitidos. En aplicaciones de Fibra Óptica un valor típico de BER es  $10^{-9}$ .

Los factores de distancia y capacidad de transmisión son esenciales en el diseño por que determinan, el sistema de comunicación por Fibra Óptica que va a utilizarse, además, el uso de repetidores ópticos. Estos dos factores tienen que ver directamente con las dos limitantes de los sistemas

de comunicación por Fibras Ópticas: La atenuación y la dispersión.

Las Fibras Ópticas pueden considerarse los siguientes rasgos de distancias:

- Corta distancia ( $l < 1 \text{ km}$ )
- Media distancia ( $1 \text{ km} < l < 30 \text{ km}$ )
- Larga distancia ( $l > 30 \text{ km}$ )

Atendiendo a cada una de ellas, puede proponerse la calidad de la Fibra, el tipo de emisor y fotodetector, así como la separación y número de repetidores que resulten más adecuados.

El cálculo de la atenuación se realiza mediante la suma de las componentes siguientes:

- La atenuación en la Fibra Óptica a la longitud de onda de transmisión utilizada.
- Pérdidas por acoplamiento, de la fuente de emisión a la Fibra Óptica y de la Fibra Óptica al fotodetector.
- Pérdidas en los empalmes necesarios para unir dos secciones de Fibra Óptica.

En base a lo anterior la separación máxima entre repetidores  $L$ , considerando únicamente la limitante de atenuación, puede expresarse como:

$$\alpha L + k_{aj} = 10 \log (P_t/P_r) \quad (1)$$

donde:

- $\alpha$  = Atenuación de la Fibra (dB/km)
- $k_{aj}$  = Pérdida por empalme promedio (dB)
- $P_t$  = Potencia acoplada a la Fibra Óptica (Watts)
- $P_r$  = Potencia mínima requerida en el receptor (Watts)

La dispersión, a su vez, depende de:

- La longitud de onda de transmisión.
- Tipo de graduación del índice de refracción, ya sea gradual o escalonado.
- La apertura numérica.
- El ancho espectral de la fuente de emisión.

La dispersión llega a ser significativa cuando la distorsión por retardo del pulso transmitido, llega a ser lo suficientemente grande como el intervalo entre bits. Eventualmente, después de un cierto límite, cualquier incremento de velocidad de transmisión causa una disminución en el espaciamiento entre repetidores. Este límite de dispersión puede ser estimado por la ecuación:

$$\sigma_{\text{ret}} L = 0.25 T = 1/(4f_0) \quad (2)$$

donde:

$\sigma_{\text{ret}}$  - es el valor cuadrático medio de la distorsión por retardo por unidad de longitud.



Debe considerarse, además, los componentes de este ensanchamiento, como son el ensanchamiento debido a la dispersión modal y el ensanchamiento cromático ocasionado por la dispersión del material:

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{modal}^2 + \sigma_{crom}^2 \quad (3)$$

A partir de las ecuaciones (1) y (2) puede estimarse la frecuencia límite de modulación ( $f_{lim}$ ), más allá de la cual, el enlace de la Fibra está limitada por la dispersión.

$$f_0 > f_{lim} = (\alpha / 4\sigma_{tot}) [1/(10 \log \{P_t/P_r\} - k\alpha)] \quad (4)$$

### V.9.1 CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE COMUNICACION

Los elementos de un sistema de comunicación por Fibra Optica son los que se muestran a continuación.

- \* Subsistema transmisor
- \* Cable óptico
- \* Subsistema receptor

Presentan las siguientes características:

Para el subsistema transmisor deben considerarse:

- La longitud de onda de transmisión
- La potencia de la fuente
- El ancho espectral de la fuente, lo que determinará si se utiliza un LED o un LD.

Para la Fibra Optica:

- La atenuación espectral
- El perfil del índice de refracción ( gradual o escalonado)

Para el subsistema receptor:

- La sensibilidad.

El término Sensitividad de refiere a la potencia óptica mínima a la entrada del receptor requerida para lograr la relación S/N o la BER. De este factor, dependerá el tipo fotodetector que será utilizado; ya sea fotodiodo PIN o APD.

### V.9.2 INTERRELACION ENTRE LOS PARAMETROS PRINCIPALES

En la Fig. V.13 se muestra la interrelación existente entre los parámetros descritos anteriormente con el fin de mostrar las características principales del proceso de diseño de un enlace óptico de comunicación.

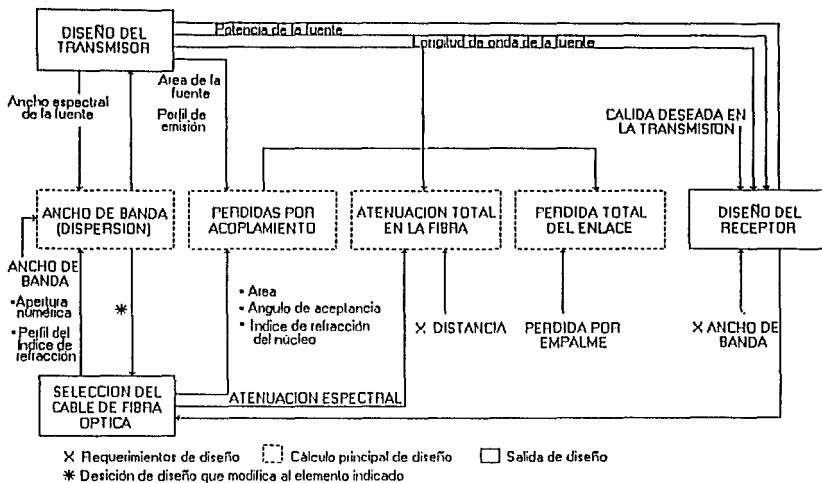


FIG.V.13 Elementos principales en el proceso de diseño de un sistema de comunicación por fibra óptica.

Por ejemplo, si tomamos como base el diseño en el receptor vemos que este se ve influido por:

- La potencia óptica disponible
- La longitud de onda
- El ancho de banda de la información

La potencia óptica recibida se determina por:

- La potencia óptica de la fuente
- Las pérdidas totales del enlace

Las pérdidas totales del enlace se dividen en:

- Pérdidas por acoplamiento
- Pérdidas en la transmisión

Las pérdidas por acoplamiento están dadas por:

- Características de la fuente
- Area de radiación efectiva
- Perfil de emisión

- Características de la Fibra
  - Apertura numérica
  - Area de radiación efectiva
  - Índice de refracción del núcleo

Las pérdidas en la transmisión están determinadas por:

- Características de atenuación espectral de las Fibras
- Longitud de onda
- Pérdidas por empalme
- Distancia entre la fuente y el detector

De lo anterior se deduce que, el proceso en el diseño de un enlace de comunicación por Fibras Ópticas es un problema que involucra muchas variables y requiere de varios ensayos antes de completarse, ya que la selección de un elemento final (transmisor, receptor o cable óptico) afecta la selección de los otros dos. Generalmente es necesario suponer las características de ciertos elementos del sistema para proceder de una manera sistemática a interrelacionar y redefinir los elementos restantes.

En las Figs. V.14, V.15 y V.16 se proporcionan los diagramas de flujo que describen un método de diseño para los sistemas de comunicación por Fibra Óptica.

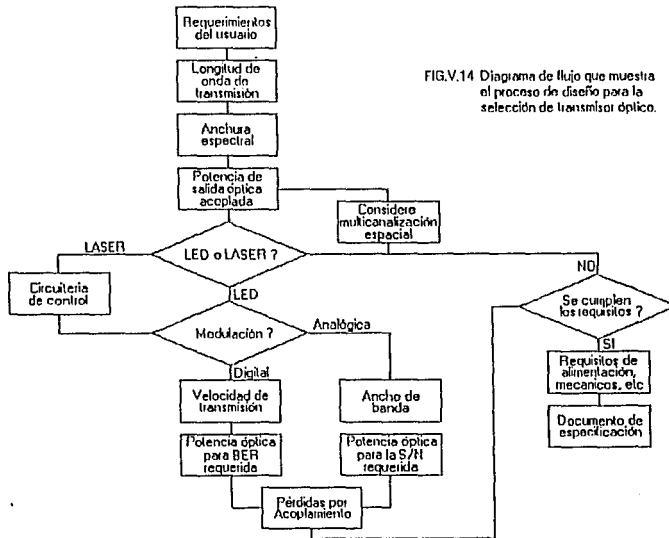


FIG.V.14 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección de transmisor óptico.

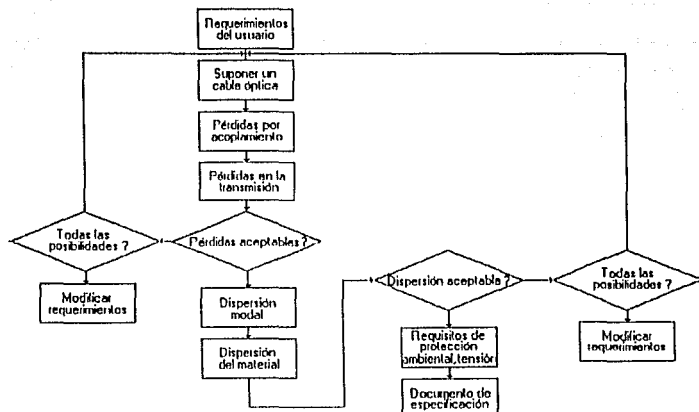


FIG.V.15 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del cable de fibra óptica.

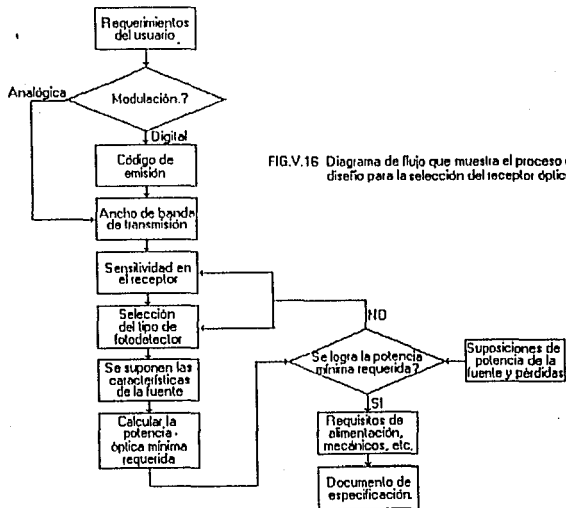


FIG.V.16 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del receptor óptico.

### V.9.3 CALCULO DEL ENLACE POR FIBRA OPTICA

Los requisitos básicos del sistema a diseñar son:

1. Distancia de transmisión: México-Cuernavaca (aproximadamente 100 km).
2. Velocidad de datos: Se propone un sistema E1 de 2.048 Mbps, con 30 canales a 64 kbps c/u.
3. Coeficiente de error (BER):  $10^{-9}$
4. Código de línea: 3B4B (el código de línea utilizado cambia 3 bits a 4 bits).
5. Tipo de codificación: NRZ

Para cumplir estos requisitos se utilizarán las características de los sistemas de Fibra Óptica introducidos en el proyecto de reconfiguración de la red telefónica de TELMEX.

#### FIBRA OPTICA

Tipo de Fibra: Monomodo

Ancho de banda: Aproximadamente 10 GHz

Atenuación: 0.5 dB/km

Perfil de índice de refracción: Escalonado

Longitud de onda: 1300 nm

Pérdida por empalme: 0.3 dB

Pérdida por conector: 1.0 dB

Tiempo medio de vida: Mayor a 100 años

Distorsión por retardo por unidad de longitud total: 4 ns/km

Longitud de instalación ( $L_o$ ): 2 km

#### INTERFASES OPTICAS

Fuente Óptica: Diodo láser, emisión coherente de InGaAsP

Longitud de onda: 1300 nm

Ancho del espectro: 5 nm (3 dB)

Potencia de salida ( $P_1$ ): -4 dBm

Velocidad de respuesta: hasta 264 Mbps

Tiempo mínimo de vida: 5 años (mayor a 10 años a 20 °C)

Receptor óptico: Fotodiodo APD

sensibilidad ( $P_2$ ): -44 dBm (máxima), -20 dBm (mínima)

BER:  $10^{-9}$

Máxima velocidad de recepción: 140 Mbps

Ventana de recepción: 1300 nm

Ancho de banda: -3 dB 126 MHz

Los elementos que forman el sistema de comunicación por Fibra Óptica han sido elegidos fundamentalmente por la distancia entre unidades de cómputo (aprox. 100 km) y por la velocidad de transmisión (64 kbps por canal). La longitud de onda de 1300 nm fue elegida por la distancia a cubrir, ya que a esa longitud de onda la atenuación y dispersión son pequeñas. Las interfases ópticas también se elegirán de acuerdo a la distancia y a la tasa de transmisión.

La elección de la Fibra Óptica es función de la fuente óptica elegida, y de la velocidad de transmisión.

Para determinar si el enlace está limitado por atenuación o dispersión se utiliza la expresión (4), y sustituyendo valores se tiene:

$$f_{lim} = 0.5 / \{4 \times 4 \times 10^9 \times \{-4 - (-44) - 50(0.3)\}\}$$

$$= 1.25 \text{ Mbps}$$

$$f_o = 2.048 \text{ Mbps} \times \text{código de línea}$$

$$= 2.048 \text{ Mbps} \times (4/3)$$

$$= 2.731 \text{ Mbps}$$

$$f_o = 2.731 \text{ Mbps}$$

De acuerdo a los resultados obtenidos el enlace por Fibra no esta limitado por dispersión o atenuación, ya que

$$f_o > f_{lim}$$

Calculo de la distancia máxima entre repetidores considerando que no es significativa la limitante por dispersión

De la ecuación (1) despejando L se tiene:

$$L = [10 \log (P_t/P_r)] / [\alpha + (a_j/L_o)]$$

$$= [-4 - (-44)] / [0.5 + (0.3/2)]$$

$$= 61.538 \text{ km}$$

$$L = 61.538 \text{ km}$$

Para la distribución de potencia óptica se supondrá un margen de tolerancia de 5 dB.

$$\text{Pérdida de acoplamiento Fuente-Fibra } (k_1) = 1 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdida de acoplamiento Fibra-Detector } (k_2) = 1 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdida por empalme} = 0.3 \text{ dB}$$

Nivel de potencia de entrada a la guía de onda:

$$P_1' = P_1 - k_1$$

$$= -4 - 1$$

$$= -5 \text{ dB}$$

Nivel de potencia de salida de la guía de onda:

$$P_2' = P_2 + k_2$$

$$= -44 + 1$$

$$= -43 \text{ dB}$$

**Pérdidas totales en la transmisión:**

$$P_1' - P_2' = -5 - (-43)$$

$$= 38 \text{ dB}$$

$$P_1' - P_2' = 38 \text{ dB}$$

**Pérdidas en los empalmes:**

$$a_{jk} = 0.3 \text{ dB (50 empalmes)}$$

$$= 15 \text{ dB}$$

$$n_{jk} = 15 \text{ dB}$$

**Margen de tolerancia kr = 5 dB**

**Atenuación total:**

$$\alpha L + a_{jk} + K_r = 0.5(61.568) + 15 + 5$$
$$= 50.77 \text{ dB}$$

$$\alpha L + n_{jk} + K_r = 50.77 \text{ dB}$$

## CAPITULO VI

### ESTUDIO ECONOMICO COMPARATIVO

En este capítulo se hace una comparación económica de los medios de transmisión digital existentes en nuestro país, que permitan enlazar las Ciudades de México y Cuernavaca.

En el capítulo anterior se hizo la propuesta de un enlace por Fibra Optica. Un enlace de éste tipo sería incosteable con los propios recursos del IIE, por lo que es más conveniente hacer uso de los servicios que ofrecen empresas públicas o privadas como: TELMEX, a través de su Red Digital Integral (RDI) constituida por radio de microondas terrestres, satélite y Fibra Optica; y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con múltiples servicios de transmisión de señales de datos vía de Satélite.

#### VI.1 COTIZACION DEL ENLACE POR RED DIGITAL INTEGRAL (RDI)

La Fig. VI.1 muestra un diagrama a bloques del enlace entre los centros de investigación del IIE a través de RDI, mostrando los medios de transmisión que se emplearían para dicho enlace.

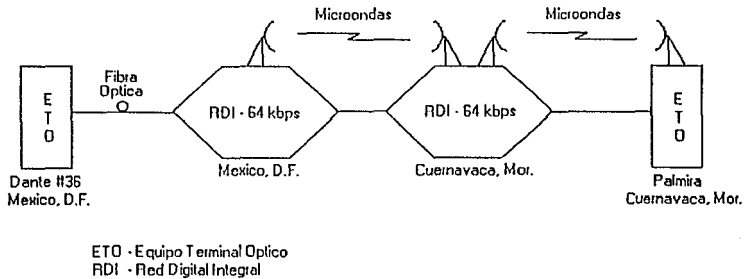


FIG.VI.1 Enlace México - Cuernavaca por un canal Eo de 64 kbps a través de RDI.



Actualmente el IIE realiza la transferencia de datos a través de cuatro líneas privadas (LP's) a una velocidad de 9600 bps cada una, por lo que con un canal Eo a 64 kbps bastará para cubrir sus necesidades.

A continuación se hará la cotización para la contratación y renta de un canal Eo. Esta se realizará en base a la tabla VI.1 obtenida de las tarifas para RDI que rigen actualmente (15 de Julio de 1992). Ver apéndice A.

**INCREMENTO DE TARIFAS RDI  
A PARTIR DEL 14 DE DICIEMBRE DE 1991  
TERRESTRE**

SERVICIO RDI	CONTRATACION		CUOTA FIJA		CARGO POR DISTANCIA ANT.	CARGO POR DISTANCIA ACT.	DISTANCIA
	ANTERIOR	ACTUAL	ANTERIOR	ACTUAL			
E1 Nacional	12,100	14,157	5,600	6,552	18/km	21/km	
Eo Nacional	12,100	14,157	1,950	2,282	10/km	12/km	0 - 81 kms.
			2,240	2,621	5/km	6/km	82 - 161 kms.
			2,440	2,855	3/km	3.5/km	162 - 805 kms
			3,480	4,072	2/km	2.5/km	Mas de 805 kms.

Nota. Todas las cantidades son en dolares

TABLA VI.1

De acuerdo a la tabla VI.1 para un canal Eo, y considerando una distancia aproximada de 100 km entre los centros de investigación del IIE, se tienen los siguientes costos:

$$\begin{aligned}
 \text{Contratación por cada extremo} &= 14,157 \text{ dls.} \\
 \text{Cuota fija} &= 2,282 \text{ dls.} \\
 \text{Cargo por distancia} &= (6 \times 100) \\
 &= 600 \text{ dls.} \\
 \text{Contratación total para el enlace} &= (14,157 \times 2) \\
 &= 28,314 \text{ dls.} \\
 \text{Renta mensual} &= 2,282 + 600 \\
 &= 2,882 \text{ dls.}
 \end{aligned}$$

El acceso a la RDI por vía Satélite no es considerado, ya que sólo se utiliza en zonas donde no

exista infraestructura terrestre (Fibra Optica, Microondas terrestres) de RDI.

## **VI.2 TRANSMISION DE DATOS VIA SATELITE**

El sistema nacional de satélites constituido por los Morelos I y Morelos II, tienen una cobertura que abarca la totalidad del territorio mexicano, el sur de E.U.A. parte de Centroamérica y del Caribe. Cada uno de los satélites tiene un total de 22 transponders, 18 en banda C, de los cuales 12 son de 36 MHz y 6 de 72 MHz. En banda Ku se tienen 4 transponders de 108 MHz. El satélite Morelos I se encuentra totalmente ocupado proporcionando servicios de: Televisión permanente y ocasional (voz y datos), señales digitales (teleaudición) y telefonía rural (INFOSAT).

El satélite Morelos II se encuentra ocupado totalmente en la banda Ku. La capacidad en banda C es la única que presenta disponibilidad para señales digitales.

La SCT a través del sector Telecomunicaciones de México (TELECOMM) cuenta con los siguiente servicios para transmisión de datos: Red Vsat y Red TDMA/DAMA.

### **VI.2.1 RED VSAT**

La Red Vsat consiste básicamente de una estación terrena maestra con técnica de acceso al Satélite TDM/TDMA, que enlaza con las estaciones terrenas remotas Vsat del usuario, ubicadas en cualquier lugar del país, configurando de esta manera una red tipo estrella. La conexión de usuarios se puede realizar a velocidades de información desde 1,200 a 19,200 bps como máximo.

Una Red Vsat no satisface las condiciones de velocidad de 64 kbps requerida por el IIE para el enlace México - Cuernavaca. Además se requiere mínimo 15 localidades para tener acceso a esta red.

### **VI.2.2 RED DIGITAL DE SERVICIOS MULTIPLES POR SATELITE TDMA/DAMA**

La Red digital de servicios múltiples por Satélite, Acceso Múltiple por División de Tiempo/ Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (TDMA/DAMA), es una Red pública digital de tipo malla multipunto que utiliza la técnica de acceso múltiple por división de tiempo como acceso al sistema de Satélites Morelos y posteriormente a los Satélites Solidaridad. Ofrece servicios de conducción de señales de voz datos y videoconferencia sin necesidad de realizar grandes inversiones en la adquisición de infraestructura propia para instalar una Red Privada Satelital.

Ofrece velocidades de transmisión de 64 kbps a 2.048 Mbps. La velocidad de 64 kbps puede ser con interfaces V.35 o G 703.

Tiene una cobertura en 15 Ciudades de la República Mexicana entre ellas México, D.F. y Cuernavaca, Mor., que entrara en servicio el segundo semestre del 1993.

#### **VI.2.2.1 COTIZACION PARA EL ENLACE A TRAVES DE LA RED TDMA/DAMA CON ARRENDAMIENTO A TELECOMM**

La conexión de usuario a la Red digital de servicios múltiples por Satélite TDMA/DAMA se puede realizar en base a las necesidades específicas que se tengan. En la Fig.VI.2 se muestran los tipos

de acceso dependiendo el tipo de servicio que se requiera, por ejemplo, para datos exclusivamente se utiliza un Radio-Modem de 64 kbps. Para transmitir voz, datos, facsímil y video, se precisa de un enlace radioeléctrico a 2.048 Mbps; para voz datos o facsímil, se requiere un radioacceso múltiple (RAM). Cada uno de estos servicios tiene un costo diferente, como se indica en el apéndice B.

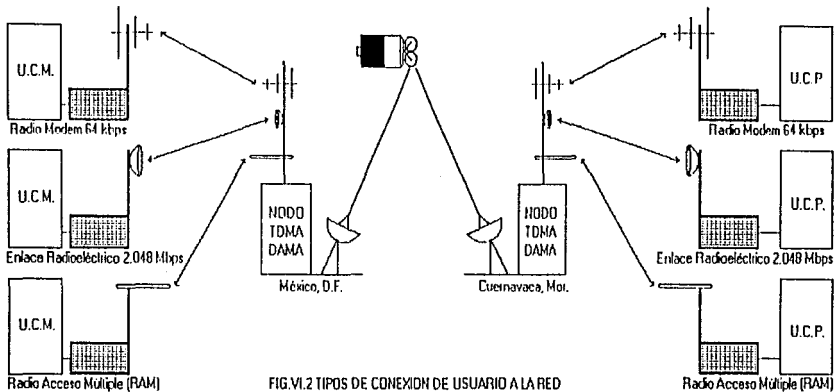


FIG.VI.2 TIPOS DE CONEXION DE USUARIO A LA RED

De acuerdo a las necesidades del IIE la opción de acceso a la red que se utilizaría, sería con un Radio-Modem de 64 kbps.

Las siguientes cotizaciones incluyen gastos de instalación y mantenimiento.

Para un enlace por TDMA se tienen los siguientes costos<sup>1</sup>:

Cargo único por contratación = 5,000 dls.

Cargo mensual para un canal punto a punto en un sentido mediante la técnica de acceso TDMA = 1,350 dls.

Cargo mensual por acceso de abonado por Radio-Modem = 1,570 dls.

Las cuotas señaladas anteriormente, se refieren a un canal y dos canales conforman un circuito.

<sup>1</sup> Cuotas obtenidas conforme a los servicios de conducción de señales digitales, a través de la red digital pública de acceso múltiple por división de tiempo por el sistema de Satélites Morelos. Libro Tarifario TELECOM 1992.

$$\begin{aligned}\text{Cargo total por contratación} &= 5,000 \times 2 \\ &= 10,000 \text{ dls.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cargo mensual total} &= (1,350 \times 2) + (1,570 \times 2) \\ &= 5,840 \text{ dls.}\end{aligned}$$

Para un enlace por Acceso Múltiple por Asignación de Demanda (DAMA) se tienen los siguientes costos:

$$\begin{aligned}\text{Cargo único por contratación} &= 5,000 \text{ dls.} \\ \text{Cargo mensual para un canal punto a punto en} \\ \text{un sentido mediante la técnica de acceso DAMA} &= 130 \text{ dls.} \\ \text{Cargo por minuto} &= 0.25 \text{ dls.} \\ \text{Cargo mensual por acceso de abonado} \\ \text{por Radio-Modem} &= 1,570 \text{ dls.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cargo total por contratación} &= 5,000 \times 2 \\ &= 10,000 \text{ dls.}\end{aligned}$$

Considerando un tiempo aproximado de trabajo de 8 hrs. diarias se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}\text{Cargo mensual total} &= (130 \times 2) + (1,570 \times 2) \\ &\quad + (14,400 \times 0.25) \\ &= 7,000 \text{ dls.}\end{aligned}$$

#### VI.2.2.2 COTIZACION A TRAVES DE LA RED TDMA/DAMA CON INFRAESTRUCTURA PROPIA

Para tener acceso a los servicios de la red digital por Satélite TDMA/DAMA, se debe contar con el medio de acceso a la red (Radio-Modem) propiedad del usuario o arrendado a TELECOMM.

El costo aproximado de un par de Radio-Modem es de 10,000 a 14,000 dls. Para el enlace se requieren dos pares de Radio-Modem (un par por extremo, como se muestra en la Fig. VI.2), por lo que se tendría una inversión inicial de aproximadamente 28,000 dls, en el equipo que tiene una vida útil de aproximadamente 7 años, más el cargo único por contratación, de esta manera sólo se cubriría el cargo mensual por el uso del canal, con lo que se tendrían los siguientes costos:

$$\begin{aligned}\text{Inversión inicial por Radio-Modem} &= 28,000 \text{ dls.} \\ \text{Cargo total por contratación} &= 10,000 \text{ dls.} \\ \text{Total de la inversión inicial} &= 28,000 + 10,000 \\ &= 38,000 \text{ dls.} \\ \text{Cargo mensual total por TDMA} &= 2,700 \text{ dls.} \\ \text{Cargo mensual total por DAMA} &= 3,600 + 260 \\ &= 3,860 \text{ dls.}\end{aligned}$$

### VI.2.3 SERVICIO PERMANENTE DE CONDUCCION DE SEÑALES DIGITALES POR EL SISTEMA DE SATELITES MORELOS EN BANDA C

Para tener acceso al servicio permanente vía Satélite (un Sólo Canal Por Portadora-SCPC), se debe de contar con infraestructura propia, es decir, con las estaciones terrenas en los centros de investigación del IIE, además de cubrir los cargos mensuales por el uso de canales digitales satelitales. El costo aproximado por las dos estaciones terrenas, que incluye todo el equipo de comunicación, es de 35,000 a 40,000 dls.

Un enlace de este tipo es punto a punto, como se muestra en la Fig.VI.3. Las velocidades de información que se pueden obtener a través de este sistema son de 9.6 kbps hasta 4.096 Mbps. A cada velocidad le corresponde una tarifa, como se indica en el apéndice C.

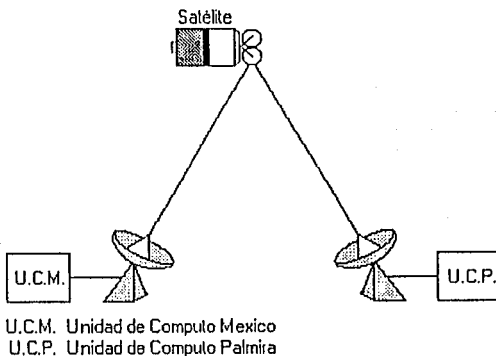


FIG.VI.3 Enlace México - Cuernavaca vía Satélite a través de un canal SCPC en banda C del Satélite Morelos II.

Las cuotas por el Servicio Permanente de Conducción de Señales Digitales, a través del Sistema de Satélites Morelos, son las siguientes:

I. Para canales digitales con velocidades de información agregada al usuario:

A) Segmento Espacial en BANDA C, por canal, con velocidad de información agregada, a 64 kbps con potencia de 9.3 dBw, mensualmente:

Servicio Protegido = 380 dls. portadora  
Servicio Sujeto a Interrupción = 300 dls. portadora

Cuota mensual total por Servicio Protegido =  $380 \times 2$   
 = 760 dls.

Cuota mensual total por Servicio Sujeto a Interrupción =  $300 \times 2$   
 = 600 dls.

Las cuotas anteriores se multiplicaron por dos, debido a que un circuito punto a punto se constituye por dos portadoras (canales satelitales).

### VI.3 ANALISIS COMPARATIVO DE COSTOS

Hasta ahora las opciones se han analizado desde el punto de vista de inversión inicial (costos por contratación e inversión en infraestructura) y cuotas mensuales, como se muestra en la tabla VI.2 en base a los datos de los puntos anteriores.

Tabla VI.2

OPCION		INVERSION INICIAL Y/O CONTRATACION	CUOTA MENSUAL
R D I	Eo	28,314	2,882
S A T E L I T E	TDMA*	38,000	2,700
	TDMA**	10,000	5,840
	DAMA*	38,000	3,860
	DAMA**	10,000	7,000
	SCPC	40,000	760

\* Con equipo propio

\*\* Con equipo rentado

Nota. Todas las cantidades están en dolares

Para poder determinar que opción es más factible desde un punto de vista económico, consideraremos un plazo de 4 años, y de acuerdo a las cotizaciones de la tabla VI.2 se tiene la gráfica de costo vs tiempo para cada opción, como se muestra en la Fig.VI.4.

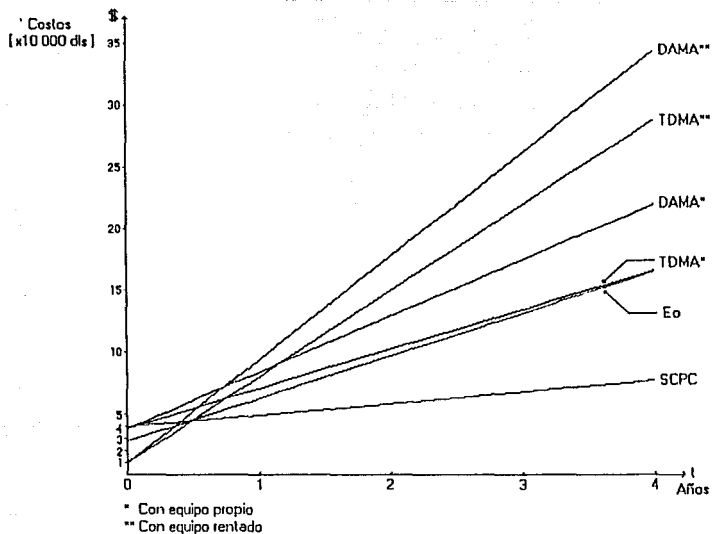


FIG.VI.4 Gráficas de Costo vs Tiempo para el enlace México - Cuernavaca a una velocidad de 64 kbps.

En la gráfica de la Fig.VI.3 se observa que la opción más adecuada, desde un punto de vista económico, para realizar el enlace entre los dos centros de investigación del IIE ubicados en las ciudades de México y Cuernavaca, es a través del sistema satelital Morelos II (en banda C), con la renta de un Sólo Canal Por Portadora (SCPC), y con infraestructura propia del IIE.

## CONCLUSIONES

Existen muchos medios para enviar información digital, como: Par Torcido, Cable Coaxial, Fibra Optica, Radio de Microondas Terrestres y Satélite. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas técnicas para una aplicación específica (distancia por cubrir, velocidad de transmisión, seguridad en la información, etc.), pero no se debe considerar sólo el aspecto técnico, sino también el aspecto de disponibilidad y costo del medio.

En la actualidad muchas empresas públicas y privadas realizan la transferencia de datos a través de línea telefónica (Línea privada o Conmutada). El tráfico de señales digitales a través de líneas analógicas presenta muchos problemas por lo que no se pueden enviar grandes volúmenes de información ni aumentar su velocidad a más de 9,600 bps, ya que no se puede garantizar que la información llegue sin error.

Las telecomunicaciones en el país se están modernizando continuamente, implementando los avances tecnológicos más recientes en la transformación de una red analógica en una digital, tal es el caso de TELECOMM a través del sistema de Satélites Morelos (próximamente los Solidaridad); TELMEX a través de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI, actualmente en fase experimental) y de la Red Digital Integral (RDI, actualmente en servicio) constituida básicamente por Fibra Optica y Radio de Microondas terrestres.

Del estudio realizado se obtuvo que para obtener altas velocidades de transmisión se requiere medios de transmisión con amplios anchos de banda, y el medio de transmisión que ofrece esto y las mayores ventajas técnicas, es la Fibra Optica. Sin embargo un enlace de éste tipo no es posible realizarlo en su totalidad, ya que RDI sólo cuenta con secciones de línea digital de Fibra Optica, además de que su costo es más elevado que el de otras alternativas.

En la práctica, las opciones para realizar el enlace entre las ciudades de México y Cuernavaca se reducen, ya que lo más conveniente es aprovechar la infraestructura con que cuenta el país, en este sentido, las opciones para realizar el enlace son únicamente a través de la Red Digital Integral (RDI) de TELMEX o por Satélite (TELECOMM).

Un enlace a través de RDI presenta muchas ventajas desde un punto de vista técnico (Capítulo IV y V), pero no lo es desde el punto de vista económico ya que las rentas son muy altas comparadas con la renta de un canal satelital.

Un enlace por Satélite se puede realizar de dos formas: una es arrendando equipo a TELECOMM y otra con infraestructura propia. En el capítulo VI se observó que la forma más económica es con infraestructura propia, además de que presenta suficientes ventajas técnicas.



**Después de realizar el estudio de las alternativas que existen: RDI y Satélite, para el enlace México - Cuernavaca. Se concluye que la mejor opción desde un punto de vista técnico y económico es a través del Satélite Morelos II, en banda C, por el servicio permanente de conducción de señales de datos, por un Sólo Canal por Portadora (SCPC), a una velocidad de 64 kbps, ya que técnicamente se diseña para una confiabilidad del 99.99 %, y económicamente la inversión en infraestructura propia para acceder al satélite se amortiza rápidamente con el tiempo.**

**INCREMENTO DE TARIFAS RDI  
A PARTIR DEL 14 DE DICIEMBRE DE 1991**

TERRESTRE

APENDICE A

SERVICIO RDI	CONTRATACION		RENTA	
	ANTERIOR	ACTUAL	ANTERIOR	ACTUAL
Trenes Digital	1,200	1,404	35	41
Líneas de Alta Calidad	700	819	15	18
Servicio DiD			4	5
E-1 Local	12,000	14,040	2,000	2,340
E-1 Multipunto	12,000	14,040	3,000	3,510
E-0 Local	510	597	715	837

SERVICIO RDI	CONTRATACION		CUOTA FIJA		CARGO POR	CARGO POR	DISTANCIA
	ANTERIOR	ACTUAL	ANTERIOR	ACTUAL	DISTANCIA ANT.	DISTANCIA ACT.	
E-1 Nacional	12,100	14,157	5,600	6,552	18/Km	21/Km	
E-0 Nacional	12,100	14,157	1,950	2,282	10/Km	12/Km	0- 81 kms.
			2,240	2,621	5/Km	6/Km	82-161 kms.
			2,440	2,855	3/Km	3.5/Km	162-205 kms.
			3,480	4,072	2/Km	2.5 km	Más de 205 kms.
E-1 Cruz	12,000	14,040	1,069	1,251			
E-0 Cruz	12,000	14,040	528	618			
E-1 Internacional	14,200	16,614	6,669	7,803	18/Km	21/Km	
E-0 Internacional	13,170	15,409	2,478	2,900	10/Km	12/Km	0- 81 kms.
			2,768	3,239	5/Km	6/Km	82-161 kms.
			2,966	3,473	3/Km	3.5/km	162-205 kms.
			4,006	4,690	2/Km	2.5 Km	Más de 205 kms.

**INCREMENTO DE TARIFAS RDI  
A PARTIR DEL 14 DE DICIEMBRE DE 1991**

**SATELITAL**

SERVICIO RDI	CONTRATACION		VENTA	
	ANTERIOR	ACTUAL	ANTERIOR	ACTUAL
Enlace Privado de Datos a 9.6 Kbps Nacional TDM/TDMA	20,000	23,400	1,000	1,170
Enlace Privado de Datos a 19.2 Kbps Nacional TDM/TDMA	20,000	23,400	1,200	1,404
Enlace Privado de Voz Nacional SPCC/DAMA	20,000	23,400	1,200	1,404
E-0 Antena-VSat	20,000	23,400	3,500	4,095
E-0 VSat-VSat	20,000	23,400	7,000	8,190
E-0 Inter. VSat-Antena	3,000	3,500	4,120	4,821
E-0 Inter. Antena-Antena	20,000	23,400	4,120	4,821

*Servicio de Conducción de Señales Digitales, a través de la Red Digital Pública de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) por el Sistema de Satélites Morelos*

Se aplicará al Servicio de Conducción de Señales Digitales, a través de la Red Digital Pública de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) por el Sistema de Satélites Morelos, conforme a las siguientes cuotas:

I. Cargo único por contratación, por puerto, con velocidad máxima de:

	<i>Cuota</i>
64 kbps	( 5,000.00)
2,048 kbps	( 15,000.00)

II. Para cada canal punto a punto en un sentido, mediante la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), se le aplicarán los siguientes cargos mensuales, con velocidades máximas de:

	<i>Cuota</i>
64 kbps	( 1,350.00)
2,048 kbps	( 18,200.00)

A las velocidades intermedias entre las anteriores, se les aplicará la cuota señalada para 64 kbps tantas veces como sea necesaria hasta cubrir la velocidad solicitada.

III. Para cada canal punto a punto en un sentido, mediante la técnica de Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (DAMA), se aplicarán los siguientes cargos mensuales, para velocidades de hasta 64 kbps:

	<i>Cuota</i>
1.- Cargo Fijo	( 130.00)
2.- Cargo por minuto	( 0.25)

IV. Las cuotas que señalan las fracciones I y III, se refieren a un canal y dos canales conforman un circuito.

V. Si el usuario no dispone de acceso a la Estación Maestra, TELECOMM ofrece las alternativas que se señalan en la tarifa 0022 de este Libro.

*NOTA: LAS CANTIDADES ENTRE PARENTESIS SE ENCUENTRAN EXPRESADAS EN DOLARES DE LOS E. U. A. SERÁN FACTURADOS EN MONEDA NACIONAL Y SE APLICARÁ EL TIPO DE CAMBIO LIBRE A LA VENTA EN BILLETE, PROMEDIO DEL MES EN QUE SE PROPORCIONE EL SERVICIO.*

*Conexión entre Redes de Usuarios e Infraestructura de TELECOMM*

Se aplicará al Servicio de conexión de Redes de usuarios e Infraestructura de TELECOMM, por medio de Radiomodem, Radioacceso Múltiple (RAM) y enlace Radioeléctrico Digital, conforme a las siguientes cuotas:

**I. Acceso de Abonado por Radiomodem**

<i>Velocidad Hasta</i>	<i>Cuota Mensual</i>
A) 9.6 kbps	(1,070.00)
B) 19.2 kbps	(1,150.00)
C) 64.0 kbps	(1,570.00)

**II. Acceso de Abonado por Radioacceso Múltiple (RAM), con velocidad hasta de 64 kbps.**

	<i>Cuota Mensual</i>
A) Cargo Fijo	( 60.00)
B) Adicionalmente por minuto de conexión	( 0.20)
C) Renta mensual por terminal de abonado	( 177.00)
D) La cuota por tiempo de conexión, se aplicará a las cantidades acumuladas mensualmente por este concepto para formular la cuenta a pagar.	

**III. Acceso de Abonado por Enlace Radioeléctrico Digital de 2.048 mbps.**

	<i>Cuota Mensual</i>
A) Enlace radioeléctrico Digital con capacidad de 30 canales telefónicos en configuración de 1 + 0	( 3,090.00)
1.- Si requiere Equipo Múltiple, adicionalmente	( 608.00)
2.- Si requiere utilizar parte del enlace con capacidad de 120 canales (4 x 2.048 mbps) en configuración 1+1 adicionalmente	( 827.00)
3.- Si requiere utilizar parte del enlace con capacidad de 480 canales (16 x 2.048 mbps) en configuración 1+1 adicionalmente	( 292.00)

B) Si se requiere velocidad intermedia entre 64 kbps y 2.048 mbps se aplicarán las cuotas señaladas para 2.048 mbps.

**NOTA: LAS CANTIDADES ENTRE PARENTESIS SE ENCUENTRAN EXPRESADAS EN DOLARES DE LOS E.U.A. SERAN FACTURADOS EN MONEDA NACIONAL Y SE APLICARA EL TIPO DE CAMBIO LIBRE A LA VENTA EN BILLETE, PROMEDIO DEL MES EN QUE SE PROPORCIONE EL SERVICIO.**

*Servicio Permanente de Conducción de Señales Digitales, por el Sistema de Satélites  
Morelos*

Se aplicará al Servicio Permanente de Conducción de Señales Digitales, por el Sistema de Satélites Morelos, conforme a las siguientes cuotas:

I. Para canales digitales con velocidades de información agregada del usuario:

A) Segmento espacial en **BANDA "C"**, por canal, con velocidad de información agregada, en kilobits por segundo, mensualmente:

<i>Velocidad de Información Agregada (kbps) Hasta</i>	<i>Potencia (dbw) Hasta (**)</i>	<i>Servicio Protegido</i>	<i>Cuota</i>	<i>Servicio Sujeto a Interrupción</i>
9.6	1.5	( 96.00)	( 76.00)	
19.2	3.5	( 191.00)	( 151.00)	
32.0	6.3	( 287.00)	( 227.00)	
64.0	9.3	( 380.00)	( 300.00)	
128.0	12.3	( 761.00)	( 601.00)	
256.0	15.3	( 1,519.00)	( 1,200.00)	
512.0	18.4	( 1,889.00)	( 1,493.00)	
768.0	20.0	( 2,833.00)	( 2,238.00)	
1,544.0	23.1	( 5,693.00)	( 4,498.00)	
2,048.0	24.1	( 7,538.00)	( 5,956.00)	
4,096.0	27.1	( 15,188.00)	( 12,000.00)	

B) Segmento Espacial en BANDA "Ku", por canal, con velocidad de información agregada, en kilobits por segundo mensualmente:

<i>Velocidad de Información Agregada (kbps) Hasta</i>	<i>Potencia (dbw) Hasta (**)</i>	<i>Servicio Protegido</i>	<i>Cuota Servicio Sujeto a Interrupción</i>
9.6	5.0	( 173.00)	( 138.00)
19.2	7.0	( 345.00)	( 276.00)
32.0	9.8	( 518.00)	( 414.00)
64.0	12.8	( 690.00)	( 552.00)
128.0	15.8	( 1,380.00)	( 1,105.00)
256.0	18.8	( 2,760.00)	( 2,208.00)
512.0	21.9	( 3,432.00)	( 2,746.00)
768.0	23.5	( 5,148.00)	( 4,119.00)
1,544.0	26.6	( 10,350.00)	( 8,281.00)
2,048.0	27.6	( 13,800.00)	( 11,041.00)
4,096.0	30.6	( 27,600.00)	( 22,081.00)

C) Segmento Terrestre en cada Estación Terrena Transreceptora, propiedad de TELECOMM, por circuito, para velocidad de información en kilobits por segundo, mensualmente: BANDA "C" y "Ku".

<i>Velocidad de Información Agregada (kbps) Hasta</i>	<i>Cuota</i>
9.6	( 252.00)
19.2	( 378.00)
32.0	( 504.00)
64.0	( 630.00)
128.0	( 1,260.00)
256.0	( 1,890.00)
512.0	( 2,520.00)
768.0	( 3,150.00)
1,544.0	( 5,000.00)
2,048.0	( 5,000.00)
4,096.0	( 5,000.00)

(\*\*) Potencia Isotrópica Radiada efectiva producida por la portadora en el contorno del país.

II. La tarifa de la fracción I corresponde a las modalidades de Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) y Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), sin espectro ensanchado y/o extendido es decir, para portadoras con ancho de banda o espaciamentos normalizados.

En el caso de cualquier otro sistema de acceso, la cuota aplicable corresponderá al número de portadoras BPSK equivalentes a la máxima velocidad de portadora FDMA, que ocupen el mismo ancho de banda y potencia en el contorno del país.

La potencia (PIRE) que se asigne a cada servicio, será calculada de acuerdo a la ubicación real de las Estaciones Terrenas. Telecomunicaciones de México señalará el tipo de modulación, el ancho de banda o el espaciamento de las portadoras y el valor de potencia a transmitir por la estación terrena correspondiente de acuerdo con el estudio técnico que se realice.

Dos canales dispuestos adecuadamente conforman un circuito.

III. Para portadoras con velocidades de información mayores de 32 kbps que operen en la modulación BPSK, se aplicará una sobretasa del 50 %, a las cuotas del segmento espacial.

IV. Las tarifas de la fracción I corresponden a relaciones para corrección de error (FEC) de 1/2. Para FEC de 3/4 se aplicará una reducción del 30 %

V. Para velocidades de información agregada mayores a la más alta señalada en la fracción I las cuotas serán proporcionales al número y fracción de portadoras equivalentes de esta que ocupen el mismo ancho de banda y potencia que lo asignado.

VI. Para el caso en que se requiera potencia en dBw mayor a la establecida en la fracción I, las cuotas se incrementarán por el factor que corresponda a la diferencia en dBw entre la potencia total consumida y la asignada en la tarifa, de acuerdo con la siguiente tabla.

En el caso de ahorro de potencia en dBw la cuota se reducirá entre el factor que corresponda a la diferencia en dBw entre la potencia total consumida y la asignada en la tarifa y la potencia total consumida, de acuerdo con la siguiente tabla:

<i>Exceso o Ahorro de Potencia (dbw)</i>	<i>Factor</i>
1	1.26
2	1.59
3	2.00
4	2.52
5	3.18
6	4.00
7	5.04
8	6.36
9	8.00
10	10.00



Los incrementos de potencia con valores fraccionarios estarán sujetos al factor que resulte de interpolar entre valores enteros.

VII. Las portadoras asignadas que no sean utilizadas en un lapso de seis meses para sus redes privadas, pagarán diez veces las cuotas establecidas en esta tarifa, cuando la capacidad no ocupada por el usuario sea menor del 20 % del Ancho de Banda asignado por TELECOMM, quien tendrá la facultad de reasignar a otros solicitantes cualquier excedente a dicho 20 %, a menos que se justifique plenamente a TELECOMM que este se requerirá a corto plazo.

VIII. El Segmento Espacial que se asigne a los usuarios se facturará desde la fecha de su asignación en base al número de portadoras equivalentes de 64 kbps, con modulación QPSK que se puedan alojar en dicho segmento.

*NOTA: LAS CANTIDADES ENTRE PARENTESIS SE ENCUENTRAN EXPRESADAS EN DOLARES DE LOS E.U.A. SERAN FACTURADOS EN MONEDA NACIONAL Y SE APLICARA EL TIPO DE CAMBIO LIBRE A LA VENTA EN BILLETE, PROMEDIO DEL MES EN QUE SE PROPORCIONE EL SERVICIO.*

## GLOSARIO

- Ancho de banda:** Intervalo de frecuencias que un canal puede aprovechar para transmitir información.
- Atenuación:** Es la pérdida progresiva de energía de una señal conforme se propaga en un medio.
- Baudio:** Unidad de rapidez de transmisión, en bits por segundo.
- Bit:** Abreviatura de Binary Digit (Dígito Binario), es la unidad mínima discreta de información digital.
- Canal:** Es el medio de enlace entre transmisor y receptor, tal como un alambre, un cable coaxial, una guía de ondas, una fibra óptica o un enlace de radio.
- Capacidad de un canal de comunicaciones:** La capacidad máxima de un canal se describe como la máxima velocidad a la cual la información puede ser enviada sobre un canal de comunicaciones sin errores.
- CCIR:** Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones
- CCITT:** Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía.
- Conexión punto a punto:** Conexión física que enlaza dos DTE.
- Conexión multipunto:** Conexión física que enlaza más de dos DTE.
- DAMA:** Acceso Múltiple por Asignación de Demanda.
- DCE:** Equipo de Comunicación de Datos.
- Detector óptico:** Dispositivo que convierte los fotones en electrones.
- Desvanecimiento:** Inestabilidad que afecta a la vía de radio, condicionada por el tiempo atmosférico y el terreno.
- Distorsión:** Es la alteración de la señal debida a la respuesta imperfecta del sistema.
- DTE:** Equipo Terminal de Datos.
- FDMA:** Acceso Múltiple por División de Frecuencia.
- HRDP:** Ruta Digital Hipotética de Referencia.
- HRDS:** Sección Digital Hipotética de Referencia.
- IIE:** Instituto de Investigaciones Eléctricas.

**Interferencia:** Es la contaminación por señales extrañas, generalmente artificiales de forma similar a las de la señal.

**LED:** Diodo Emisor de Luz.

**LD:** Diodo Láser.

**Microonda:** Radiación electromagnética con longitud de onda en el intervalo de 1 a 30 cm, utilizada como portadora de información.

**Minutos Degradados (MD):** Es un conjunto de 60 segundos consecutivos, tras excluir los segundos con muchos errores, con una tasa de error mayor o igual a  $10^{-6}$ .

**Modelo de transmisión digital:** Son entidades ficticias de longitud y composición definidas que se utilizan para el estudio de las degradaciones de la transmisión digital.

**Modem:** Contracción de "modulador-demodulador". Es un equipo DCE que proporciona interfaz digital en serie al DTE y que finaliza un circuito telefónico (voz). Un modem convierte señales digitales en analógicas adecuadas para su transmisión en el circuito de voz y viceversa.

**Modo:** Corresponden a los diferentes caminos ópticos que toma la luz dentro de una fibra óptica.

**Modulación:** Proceso por el cual una onda portadora se modifica por señales que representan la información.

**Modulación digital:** Método para enviar señales digitales por un circuito.

**Multiplexaje:** Soporte de muchos canales de manera simultánea en un sólo medio físico.

**Multiplexaje por División de Frecuencia (MDF):** Proceso en el cual están disponibles varios canales simultáneos en un circuito, por asignación de una porción de frecuencia restringida del ancho de banda disponible para cada canal.

**Multiplexaje por División de Tiempo (MDT):** Método de multiplexaje en el que se dan a cada canal, a intervalos regulares o irregulares, breves períodos de tiempo (segmentos de tiempo), sobre recursos compartidos, y en el que se puede transmitir y recibir información.

**Multiplexor:** Dispositivo que mezcla canales independientes, cada uno en su propio circuito en un sólo medio físico común; es decir, efectúa la multiplexación.

**Portadora:** Una señal continua, en general senoidal que se envía por un canal de comunicación y que se puede modular en transmisión por medio de una señal de información. En recepción, la señal de información se extrae de la portadora por demodulación.

**Protocolo de comunicaciones:** Es un conjunto de reglas bajo las cuales los datos entre equipos de computo son intercambiadas entre si mediante un canal de comunicaciones.

**PIRE:** Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.

**PTT:** Portadores de comunicaciones públicos o autorizados.

**RBBER:** BER Residual.

**RDI:** Red Digital Integral.

**RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados.

**Ruido:** Son las señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas en forma natural dentro o fuera del sistema.

**S/N:** Razón de la potencia de la señal a la potencia de ruido.

**Segundos con Error (SE):** Son aquellos segundos que contienen al menos un error.

**Segundos con Muchos Errores (SME):** Es aquel segundo con una tasa de error mayor o igual a  $10^{-3}$ .

**Segundos Sin Error:** Relación entre el número de intervalos de un segundo en los que reciben bits erróneos y el número total de intervalos de un segundo del tiempo total considerado.

**Señales analógicas.** En el dominio del tiempo, se caracterizan por tener datos cuyo valor varía en un rango continuo y puede tomar un número infinito de valores posibles de amplitud.

**Señales digitales:** Son aquellas que sólo pueden tomar un número finito de valores en amplitud.

**Tasa de error (BER):** Proporción de bits erróneos en un mensaje binario o en un canal. Una BER de  $10^{-5}$  significa que un bit de cada  $10^5$  es, en promedio, erróneo.

**TDMA:** Acceso Múltiple por División de Tiempo.

**Transmisión asíncrona:** Término empleado para referirse a la transmisión de tipo inicio-parada, que es una forma de transmisión en la que caracteres codificados y delimitados por bits de inicio y parada se envían a intervalos irregulares.

**Transmisión en banda base:** Sistema de transmisión en el que la información, codificada en forma de ondas adecuadas, se envía directamente al canal sin recurrir a una onda portadora ni, por tanto, a modulación, de manera que en cualquier momento sólo puede estar presente una señal de información sin distorsión.

**Transmisión duplex:** Consiste en la comunicación simultánea e independiente en ambos sentidos.

**Transmisor óptico:** Dispositivo que convierte los electrones en fotones.

**Transmisión en paralelo:** Envío de información digital relacionada sobre circuitos paralelos de manera simultánea; por ejemplo, sobre una línea común.

**Transmisión en serie:** Significa el envío de un bit después de otro a través de un único canal.

**Transmisión semiduplex:** Este modo de comunicación opera en ambas direcciones, pero sólo en un sentido a la vez.

**Transmisión simplex:** La comunicación se realiza en un sólo sentido, ya sea para transmitir o recibir, pero nunca en ambas direcciones.

**Transmisión síncrona:** Transmisión en la que los dispositivos trabajan en sincronía controlados por un reloj común.

**Velocidad de modulación:** Es el número máximo de veces por segundo que puede cambiar el estado de señalización de la línea, se utiliza como unidad el Baudío.

## BIBLIOGRAFIA

- Schwartz, Mischa.  
Transmisión de información, Modulación y Ruido.  
Ed. McGraw Hill, 1987.
- Bruce Carlson A.  
Sistemas de Comunicación.  
Ed. McGraw Hill, 1980.
- Lathi Bhagwandas, Pannalal.  
Sistemas de comunicación.  
México: Nueva Editorial Interamericana, 1986.
- Feher, Kamilo  
Digital Communication: Microwave Application.  
Ed. Prentice Hall, 1981.
- Oliva Ruiz Alberto  
Introducción a la teleinformática  
Ed. Trillas. 1a edición. México, 1979.
- Optical Society of America IEEE.  
Optical fiber communications.  
Washington, D.C., 1979.
- Fundacion Arturo Rosenblueth  
Telecomunicaciones y redes de computo.  
México, 1981.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas.  
Memoria Técnica Descriptiva  
de la Red Privada del IIE, 1984.
- Siemens Aktiengesellschaft  
Telecomunicación digital  
Ed. Marcombo, Barcelona, 1988.

- Dunlop, John.  
Ingeniería de las Telecomunicaciones.  
Barcelona: G. Gili, 1988.
  
- Black, Uyles  
Redes de Computadoras: Protocolos, Normas e interfaces.  
Ed. Macrobít, 1990.
  
- Purser, Michael  
Comunicación de datos para programadores.  
Ed. SITESA, 1985.
  
- Stremler G., Ferrel  
Sistemas de Comunicación.  
México: Fondo Educativo Interamericano, 1985.
  
- Edward A. Lacy  
Fiber optic  
Ed. Prentice-Hall, 1985.
  
- Ivanek, Ferdo. Editor  
Terrestrial Digital Microwave Communications.  
Ed. Norwood, 1989.
  
- Ingeniería de transmisión.  
(Diseño de sistemas de microondas).  
Japan International Cooperation Agency.  
Escuela Nacional de Telecomunicaciones  
México, 1988.
  
- Plan fundamental de transmisión de la RDSI.  
Teléfonos de México, S.A. de C.V.  
Planeación estructural de la red.  
Agosto de 1990.
  
- Revista. Comunicaciones eléctricas:  
Transmisión, Ingeniería y Redes.  
ALCATEL. Volumen 63, No. 3, 1989.

- Curso sobre telecomunicaciones vfa Fibra Optica.  
Años 1991,1988. Cursos abiertos de la División  
de Educación Continua de la U.N.A.M.  
Palacio de Minerfa.
  
- Curso sobre telecomunicaciones vfa satélite.  
Año 1990. Curso abierto de la División  
de Educación Continua de la U.N.A.M.  
Palacio de Minerfa.
  
- Curso sobre telecomunicaciones vfa microondas.  
Año 1988. Curso abierto de la División  
de Educación Continua de la U.N.A.M.  
Palacio de Minerfa.
  
- Libro tarifario 1992  
TELECOMM: Telecomunicaciones de México.
  
- Freeman Roger, L.  
Ingeniería de sistemas de telecomunicaciones:  
diseño de redes digitales y analógicas.  
México D.F.. Ed. Limusa, 1989.
  
- Soto Toledo, Fernandina.  
Tesis: Sistemas de comunicación por Fibras Opticas.  
Poza Rica Ver., 1987.
  
- Bedmar Izquierdo, Juan.  
Telecomunicaciones a través de fibras ópticas.  
Madrid: Asociación Hispanoamericana de Centros de  
Investigación y Estudios de Telecomunicaciones.  
Instituto de Cooperación Iberoamericana, 1986.
  
- Killen Harold, B.  
Fiber optic communication.  
Ed. Prentice-Hall, 1991.
  
- Palais, Joseph C.  
Fiber optic communication  
Ed. Prentice-Hall, 1984.