

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TRANSMISION DIGITAL ENTRE CENTRALES TELEFONICAS USANDO
FIBRA OPTICA. APLICACION EN EL DISEÑO DE UN ENLACE DE
MEDIANA CAPACIDAD

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN
ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

FABIAN VINICIO CORRAL CARRERA

QUITO, DICIEMBRE DE 1989

Certifico que el presente trabajo ha sido totalmente
realizado por el Sr. FABIAN VINICIO CORRAL CARRERA.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Adolfo Loza', written over a horizontal line.

Ing. Adolfo Loza
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A Jasmina y Verito, a mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional, a la cual debo mi formación profesional, a todas las personas que han contribuido en la elaboración del presente trabajo, en especial al Ing. Adolfo Loza, por su valiosa guía y ayuda.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I: ASPECTOS TEORICOS

1.1.-	Ventajas de la fibra óptica	1
1.1.1.-	Bajas pérdidas	1
1.1.2.-	Elevado ancho de banda	4
1.1.3.-	Inmunidad a interferencia electromagnética	5
1.1.4.-	Pequeño tamaño y peso	5
1.1.5.-	Aislamiento eléctrico	6
1.2.-	Elementos de un sistema de comunicación por fibra óptica	6
1.3.-	Propagación de la luz en fibras ópticas	9
1.3.1.-	Espectro electromagnético	9
1.3.2.-	Reflexión	10
1.3.3.-	Índice de refracción	10
1.3.4.-	Reflexión total	15
1.3.5.-	Banda de paso	22
1.3.6.-	Tipos de fibras	24
1.3.6.1.-	Fibras multimodo	28
1.3.6.2.-	Fibras monomodo	38
1.4.-	Transmisores ópticos	40
1.4.1.-	Diodo emisor de luz (LED)	40
1.4.2.-	Diodos láser (LD)	43
1.5.-	Receptores ópticos	48
1.5.1.-	Fotodiodo PIN	49
1.5.2.-	Fotodiodos de avalancha	51
1.5.3.-	Receptores PIN/FET	52
1.6.-	Equipo terminal de línea óptica	53
1.6.1.-	Lado de transmisión	54
1.6.2.-	Lado de recepción	56

1.7.-	El cable de fibra óptica. Diferentes estructuras	57
-------	---	----

CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA POR FIBRA OPTICA.

2.1.-	Descripción general	63
2.2.-	Equipo terminal PCM-30	66
2.2.1.-	Multiplexer VF	71
2.2.2.-	Multiplexer de señalización	74
2.3.-	Equipo multiplex de 2/8/34 Mb/s	75
2.3.1.-	Modurack multiplexer digital de 8 Mb/s	79
2.3.2.-	Modurack multiplexer digital de 34 Mb/s	81
2.4.-	Equipo multiplex de 4to. orden (140 Mb/s)	84
2.5.-	Equipo terminal de línea óptico de 140 Mb/s	85
2.5.1.-	Convertor eléctrico/óptico	91
2.5.2.-	Convertor óptico/eléctrico	92
2.5.3.-	Análisis de los parámetros	95
2.5.3.1.-	Cálculos	98

CAPITULO III: DISEÑO DE UNA RED DE MEDIANA CAPACIDAD

3.1.-	Descripción general	103
3.1.1.-	Situación actual de la EPN	103
3.1.2.-	Proyección futura	108
3.1.3.-	Solución con concentrador y PBX digital	110
3.2.-	Determinación de los parámetros ópticos	128
3.2.1.-	Criterios de selección de los componentes	128

3.2.2.-	Selección de los componentes para el enlace de la red de la EPN	134
3.2.3.-	Criterios generales para dimensionar un sistema de transmisión óptica	135
3.2.3.1.-	Limitaciones por atenuación	136
3.2.3.2.-	Limitaciones por ancho de banda	141
3.3.-	Equipo terminal de línea óptica de 8 Mb/s	140
3.4.-	Presupuesto de pérdidas del enlace (en dB)	149
3.4.1.-	Características técnicas del sistema de transmisión óptica a implementarse	153
3.5.-	Paso remoto de abonados (RSS)	155
3.5.1.-	Funciones y estructura del RSS	156
3.5.1.1.-	Módulo de concentración temporal	157
3.5.1.2.-	Circuito de línea analógico digital	157
3.5.1.3.-	Selector temporal	159
3.5.2.-	Principio del sistema de concentración por división de tiempo	160
3.6.-	Multiplexor remoto de abonados (RSM)	161
3.6.1.-	Conexión entre RSM y RSS	163
3.6.2.-	Ventajas en el uso de RSS y RSM	164
3.7.-	Características típicas del RSS, del RSM y de la PBX	166
3.8.-	Comparación entre los tipos de enlaces digitales	172
3.8.1.-	Comparación de costos entre los enlaces por cable de pares MIC y fibra óptica	176

CAPITULO IV: PRUEBAS REALIZADAS

4.1.-	Pruebas en el equipo terminal PCM-30	180
4.1.1.-	Medición del nivel de recepción	182
4.1.2.-	Respuesta de frecuencia	185
4.1.3.-	Variación de la ganancia respecto	

	del nivel de entrada	18
4.1.4.-	Ruido del canal en reposo	189
4.2.-	Pruebas en el multiplex	191
4.2.1.-	Medición del BER	192
4.3.-	Pruebas en el modurack óptico	195
4.3.1.-	Medición de la corriente de polarización del diodo láser	196

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

ANEXO 1: Códigos de línea

ANEXO 2: Recomendaciones del CCITT

ANEXO 3: Tablas de Erlang para accesibilidad completa

ANEXO 4: Características de los equipos de prueba y
unidades usadas en telecomunicaciones

INTRODUCCION

El objetivo básico de la tesis es hacer un estudio de la transmisión óptica entre centrales telefónicas, presentando las ventajas que representa el usar fibra óptica como medio de transmisión.

El capítulo I comprende un análisis de los aspectos teóricos fundamentales del sistema de comunicaciones por fibra, exponiendo brevemente sus componentes y características.

En el capítulo II se hace un estudio del comportamiento del sistema de 140 Mb/s, puesto en funcionamiento por el IETEL en Quito, describiendo, explicando sus características y haciendo un análisis de las razones que determinan la selección de los parámetros ópticos.

El capítulo III abarca el diseño del enlace para una red telefónica de carácter local y de mediana capacidad (8Mb/s). Lo novedoso de la idea es que hasta la actualidad se han venido desarrollando sistemas por fibra óptica de alta capacidad y para grandes distancias; tal es así que en nuestro país existen únicamente comunicaciones por fibra a nivel de 140 Mb/s. Pero a medida que se reduzcan los costos de los componentes ópticos, el uso de la fibra en sistemas de baja y mediana capacidad se irá imponiendo.

Se ha diseñado un enlace por fibra óptica entre la central digital del IETEL y un paso digital remoto de

abonados ubicado en la Escuela Politécnica Nacional, empleando multiplexers de abonados (RSM), cada uno con capacidad de hasta 30 canales para las líneas directas y el uso de una PBX digital para la red interna.

Finalmente, para que la tesis no sea de carácter puramente teórico y con el fin de complementar el estudio del sistema de transmisión digital; usando fibra óptica, se han realizado algunas pruebas en las centrales del IETEL.

CAPITULO I

ASPECTOS TEORICOS

1.1.- VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA

En los últimos años , la tecnología de fibras ópticas ha experimentado un gran desarrollo, el cual ha dado lugar a que las comunicaciones se orienten hacia este nuevo soporte de transmisión, que presenta numerosas ventajas con respecto a los medios de transmisión convencionales: cable de pares, cable coaxial y radioenlace.

Las ventajas de la fibra óptica sobre el cable de pares o el coaxial son las siguientes:

- Bajas pérdidas
- Elevado ancho de banda
- Inmunidad a interferencia electromagnética
- Pequeño tamaño y peso
- Aislamiento eléctrico

1.1.1.- BAJAS PERDIDAS

Las pérdidas de una fibra standar están en el orden de 2-3 dB/Km a 0.95 μm y de 0.7 dB/Km a la longitud de onda de 1.3 μm ; esto hace que la distancia entre regeneradores de la señal transmitida sea más grande.

Por ejemplo, los sistemas que utilizan pares simétricos y coaxiales necesitan una amplificación cada 2 Km; en tanto que los que emplean fibra óptica requieren de 10 a 40 Km para cada paso de regeneración, dependiendo del tipo de fibra, emisor y receptor, tal cual se aprecia en la figura 1.1.

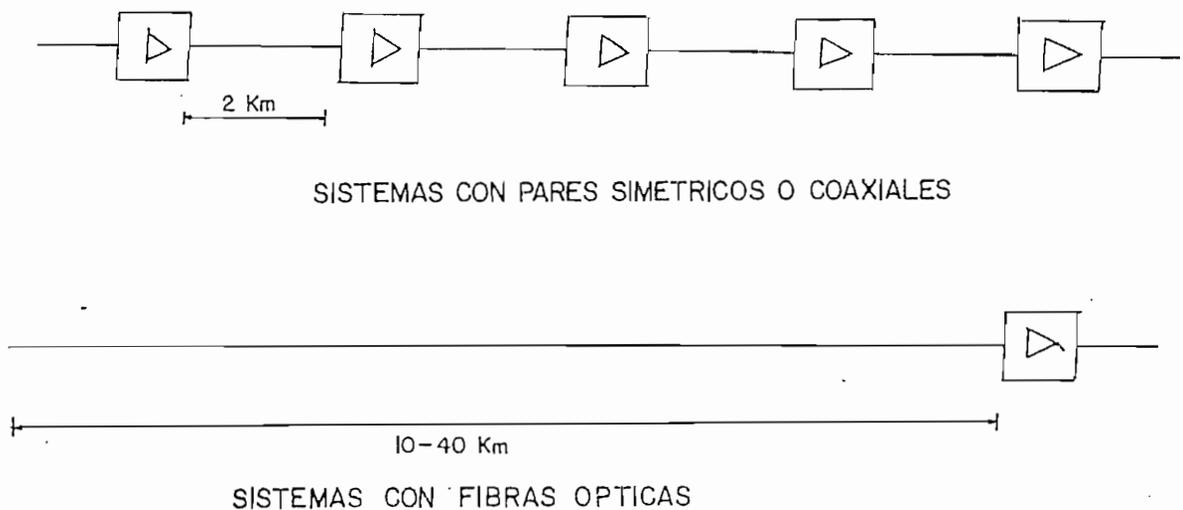
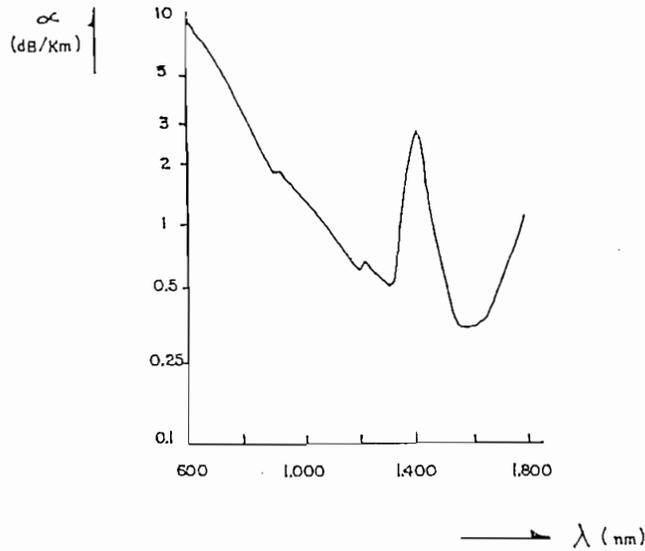


FIG. 1.1

DISTANCIA TIPICA ENTRE REGENERADORES

En condiciones experimentales, en la actualidad se han obtenido ya atenuaciones de 0.16 dB/Km y se han superado los 200 Km entre puntos de repetición y velocidades de hasta 90 Mb/s. El objetivo es lograr atenuaciones en el orden de 10^{-3} dB/Km.

Una curva típica del coeficiente de atenuación es la siguiente:



COEFICIENTE DE ATENUACION EN FUNCION DE LA LONGITUD DE ONDA

FIG. 12

En ella se aprecia que las pérdidas dependen de la longitud de onda y que los valores recomendados y a los cuales se trabaja son: 0.85 μm , 1.3 μm y 1.55 μm ; en función de la existencia de emisores y detectores adecuados a esa longitud de onda.

Una de las causas para pérdidas lumínicas es la absorción de la luz por aditivos indeseados de la fibra de vidrio, efecto que surge solo a determinadas longitudes de onda como 1.4 μm .

Por otra parte hay que tomar en cuenta que una atenuación de fibras menor es aún más importante que una potencia lumínica altamente acoplada, puesto que a lo largo de las fibras la potencia lumínica disminuye de acuerdo a la ley:

$$P(L) = P(0) * 10^{(-\alpha L/10)}$$

Siendo:

L : Longitud de la fibra

α : Coeficiente de atenuación

P(0): Potencia luminica acoplada a la fibra

P(L): Potencia luminica disponible al final de la fibra.

Por lo tanto P(L) depende linealmente de P(0) pero exponencialmente de α . Una fibra con una atenuación de 3 dB, de la potencia luminica acoplada, solo queda un 50% en el extremo de la fibra y con 1 dB, queda el 80%.

Es decir que la fibra óptica facilita:

- Una ~~mayor~~ distancia entre regeneradores.
- La posibilidad de enlace sin repetidores.

Por ejemplo, un sistema que trabaje a 140 Mb/s (1920 canales de voz) necesita regeneradores a 4.5 Km con cable coaxial; 7.5 Km con fibra óptica a $\lambda = 0.85 \text{ um}$ y 20 Km con fibra óptica a $\lambda = 1.3 \text{ um}$.

1.1.2.- ELEVADO ANCHO DE BANDA.-

El ancho de banda de la fibra (BF) es la frecuencia de modulación a la cual la amplitud de la potencia luminosa comparada con el valor que tiene a la frecuencia nula,

decae ópticamente en un 50%, es decir 3 dB menos.

El ancho de banda limita la capacidad de transmisión y cuanto más ancho sea, mayor es su capacidad, posibilitando la prestación de otros servicios; el empleo de la fibra conjuntamente con los láseres y los LED hace que se pueda llegar a transmitir teóricamente, tasas superiores a 10 Gb/s.

1.1.3.- INMUNIDAD A INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA.-

El carácter dieléctrico de la fibra hace que presente un total aislamiento, frente a interferencias electromagnéticas e inducciones eléctricas como por ejemplo: emisiones de radio, tormentas, ruido de motores, etc, lo cual le da la posibilidad de transmisión de información sin perturbaciones.

Durante la transmisión sobre fibra óptica no se generan campos electromagnéticos perturbadores; inversamente, la transmisión tampoco puede ser interferida externamente por estos campos.

1.1.4.- PEQUEÑO TAMANO Y PESO.-

El diámetro de la fibra es muy pequeño en relación al cable coaxial, por ejemplo un cable de 10 fibras ópticas puede tener un diámetro exterior de 10 a 12 mm, ofreciendo la misma posibilidad de información de un

cable coaxial de 10 tubos y 8 cm de diámetro. El poco tamaño influye en el peso: una fibra óptica pesa apenas unos gramos por Km, para un diámetro de 125 μm ; este peso reducido y su flexibilidad brindan una serie de ventajas en cuanto a transporte, tendido y espacio necesario en tramos de líneas de cables.

Con fibra óptica se puede tender de una sola vez tramos de líneas de 2 a 5 Km, disminuyendo el número de empalmes y los costos de instalación; en cambio, para cables de pares por ejemplo, no es práctico sobrepasar distancias de 200 a 300 metros en tramos de tendido.

1.1.5.- AISLAMIENTO ELECTRICO.-

Las fibras proporcionan un total aislamiento eléctrico entre transmisor y receptor. Ello posibilita ciertas ventajas: los cables de fibra pueden atravesar zonas con fuertes inducciones sin peligro de descarga eléctrica ni riesgo de que ocurran cortocircuitos. Por otra parte debido a que no existe ninguna conductividad eléctrica, no son necesarias disposiciones de puesta a tierra y protección contra rayos.

1.2.- ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA.-

El esquema simple de un enlace clásico se lo representa en la figura 1.3

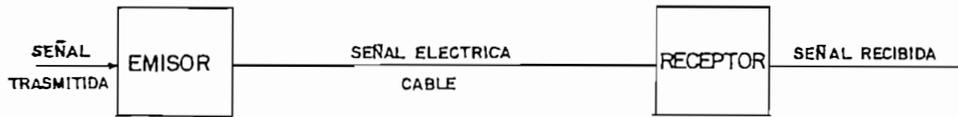


FIG. 1.3

Este incluye: un emisor que transforma el mensaje que hay que transmitir (voz, imágenes, datos, etc) en una señal eléctrica. Un soporte de transmisión (cable, espacio libre) que transporta esta señal, y un receptor que readapta la señal recibida en una de igual naturaleza que la original.

Los principales elementos de la comunicación a través de un tramo de fibra óptica, en el cual la onda lumínica es conducida por delgadas fibras, se representan en la figura 1.4

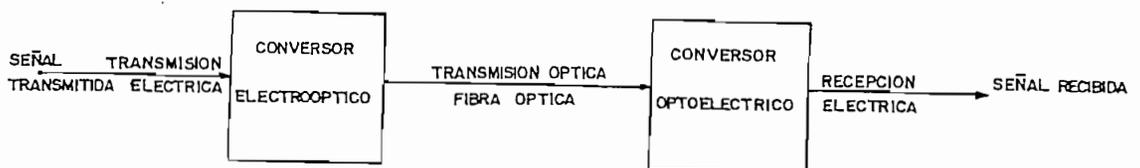


FIG. 1.4

Si se trata de transmisión telefónica convencional, el micrófono del aparato telefónico transforma las ondas sonoras de la voz del abonado en señales eléctricas. En el lugar de recepción el microteléfono vuelve a transformar las señales eléctricas en ondas sonoras audibles para el otro abonado. Para la transmisión con ayuda de ondas luminosas, las señales eléctricas deben ser convertidas en señales lumínicas y éstas nuevamente en eléctricas.

Esto se consigue mediante componentes semiconductores como conversores optoelectrónicos, en ambos lados del tramo de transmisión, como determinados cristales (por ejemplo: arseniuro de galio) que emiten luz durante el paso de la corriente eléctrica, cuya longitud de onda se encuentra apenas por encima del espectro visible para el ojo humano. Una fibra delgada conduce esta luz con escasas pérdidas al receptor, el cual también es un cristal semiconductor (por ejemplo: Si, Ga, InGaAs) que reaccionan en forma muy sensible a la luz aportada por la fibra mediante entrega de una corriente.

Es decir que el sistema por fibra óptica básicamente está constituido por un transmisor, sea éste un láser de semiconductor (LD) o diodo electroluminiscente (LED); un receptor, sea fotodiodo PIN, fotodiodo de avalancha (APD); o receptor PIN/FET y la fibra óptica que puede ser multimodo (de índice escalonado o índice gradual) o monomodo.

Si el sistema requiere de un regenerador, el diagrama de bloques para sistemas de comunicaciones por fibra sería el que se aprecia en la figura 1.5

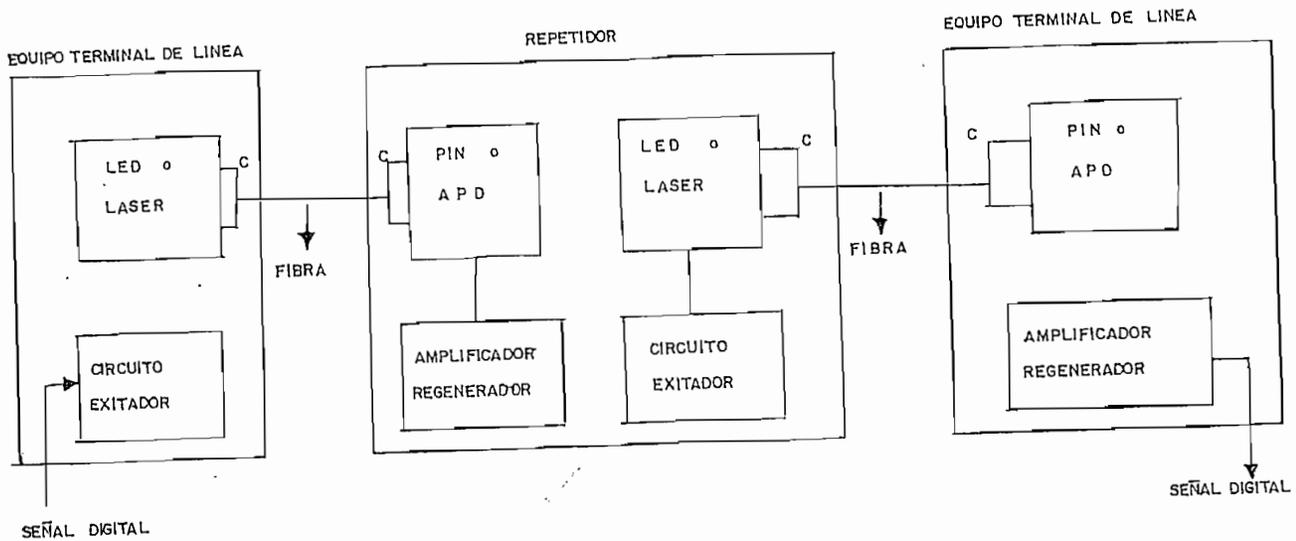


FIG. 1.5

1.3.-PROPAGACION DE LA LUZ EN FIBRAS OPTICAS

1.3.1.- ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Las ondas electromagnéticas se utilizan en la transmisión de información por cuanto tienen la virtud de propagarse no solo a través de un conductor eléctrico, sino también en el vacío o en un medio dieléctrico (material no conductor).

El espectro electromagnético abarca las zonas de baja frecuencia, alta frecuencia, microondas, radiación infrarroja, luz visible y radiación ultravioleta; la luz visible ocupa el pequeño rango que va desde los $0.380 \mu\text{m}$ (violeta) de longitud de onda, hasta los $0.780 \mu\text{m}$ (rojo).

En telecomunicaciones por fibra óptica se usa el rango del infrarrojo cercano desde 0.8 μm hasta 1.6 μm .

Considerando la óptica geométrica, el principio de funcionamiento de la propagación de la luz en la fibra óptica, es el de la reflexión total en la superficie que separa el núcleo de revestimiento en el conductor de fibra.

La fibra óptica básicamente está constituida por un medio de índice de refracción (n_1); llamado NUCLEO o CORAZON, rodeado de un medio de índice (n_2), denominado MANTO o REVESTIMIENTO. El índice del núcleo es mayor que el del manto: $n_1 > n_2$.

1.3.2.- REFLEXION.-

Cuando una onda luminosa incide sobre la superficie de separación entre dos sustancias, una fracción de la misma se refleja; esta proporción de luz reflejada depende del ángulo (α_1) que forma el rayo de luz incidente con la perpendicular a la superficie de separación. El rayo luminoso reflejado forma un ángulo (α_2) igual a (α_1). Esto se aprecia en la figura 1.6

1.3.3.-INDICE DE REFRACCION.-

Si un rayo luminoso incide con un ángulo (α), desde una sustancia menos densa, por ejemplo el aire (de índice n_1) a otra más densa, por ejemplo el vidrio (de índice n_2), su dirección de propagación se desvía y su

trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción (β), como se observa en la figura 1.7.

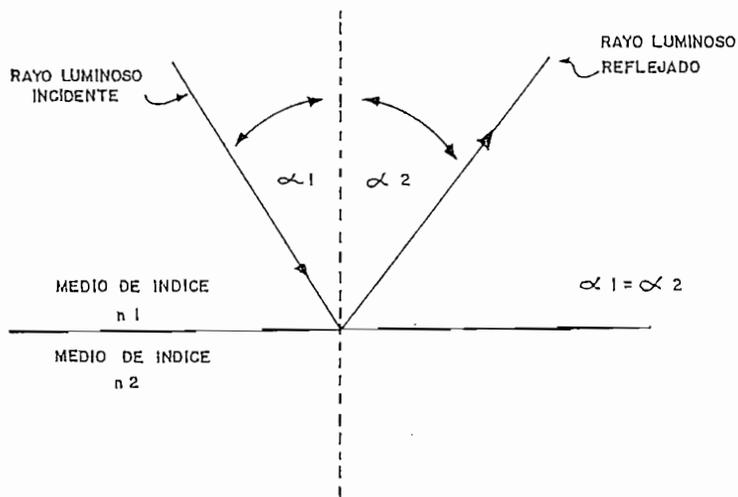


FIG. 1.6

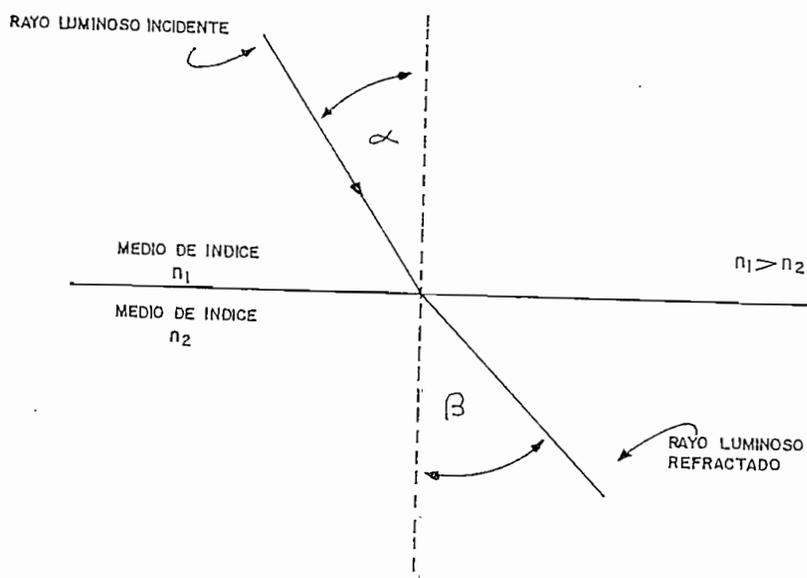


FIG. 1.7

Si el medio es isotrópico, es decir, si el material presenta idénticas propiedades en todas sus direcciones se cumple la ley de refracción de Snell:

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \beta} = \frac{C_1}{C_2}$$

Siendo (C_1) la velocidad de la luz en la sustancia 1 y (C_2) la velocidad de la luz en el medio 2.

El índice de refracción de un medio, (n), se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío (C_0) y en la sustancia (C) y es una constante del material.

$$n = \frac{C_0}{C}$$

Para dos sustancias diferentes con índices (n_1) y (n_2) y las correspondientes velocidades de la luz (C_1) y (C_2) se tiene:

$$C_1 = \frac{C_0}{n_1}$$

$$C_2 = \frac{C_0}{n_2}$$

De lo cual se obtiene otra expresión de la ley de refracción de Snell:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

En un conductor de fibra óptica que utiliza vidrio, de índice de refracción típico $n=1.5$, la velocidad de propagación de la luz será:

$$C = \frac{C_0}{n} = \frac{300.000 \text{ Km/s}}{1.5} = 200.000 \text{ Km/s}$$

O sea 5 microsegundos por cada kilómetro de fibra

óptica.

El índice de refracción depende de la longitud de onda de la luz; el valor de (n) se aplica únicamente para ondas luminosas que se propagan con una única longitud de onda y con amplitud constante. En estas condiciones las ondas no pueden transmitir informaciones, lo cual se logra solo cuando se aplica modulación a las mismas. En las comunicaciones ópticas digitales, la modulación se efectúa por medio de pulsos luminosos; se trata de grupos de ondas de corta duración que contienen ondas luminosas de diferentes longitudes.

Las diferentes ondas que integran estos grupos no se propagan con la misma velocidad ya que sus longitudes de onda difieren. La velocidad de propagación de un grupo de ondas se llama velocidad de grupo, para lo cual se define el índice de refracción, (Ng) por medio de la expresión:

$$N_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

En el caso del vidrio de cuarzo usado en fibras ópticas y para longitudes de onda del infrarrojo (aproximadamente 800 nm) el índice de refracción (n) decrece conforme aumenta la longitud de onda. El índice de refracción de grupo, (Ng), es mayor que (n) para cada longitud de onda, por cuanto la variación $dn/d\lambda$ es

negativa para las longitudes de onda consideradas (infrarrojo) e indica la pendiente de la curva (n) en función de (λ) .

El índice de-refracción de grupo presenta un mínimo a $\lambda = 1300 \mu\text{m}$, como se observa en la figura 1.8

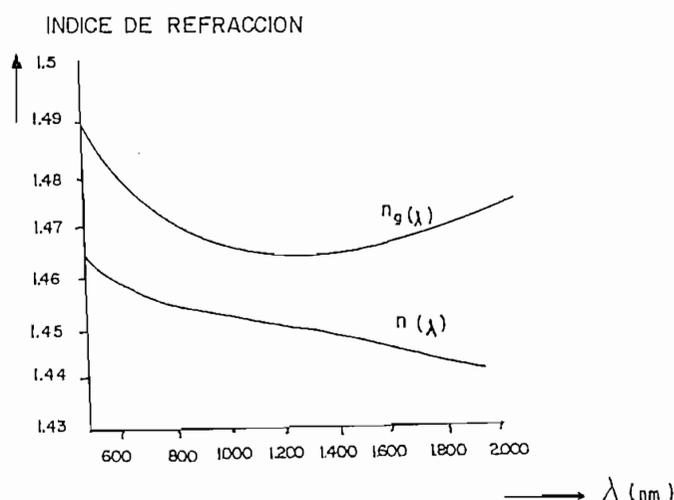


FIG. 1.8

1.3.4.- REFLEXION TOTAL.-

Cuando el rayo luminoso incide desde un índice de refracción (n_1) hacia un medio con índice (n_2) , siendo $n_1 > n_2$ y con ángulos de incidencia (α) , cada vez mayores con respecto a la perpendicular a la superficie de separación, el ángulo de refracción (β) también aumenta, como se observa en la figura 1.9

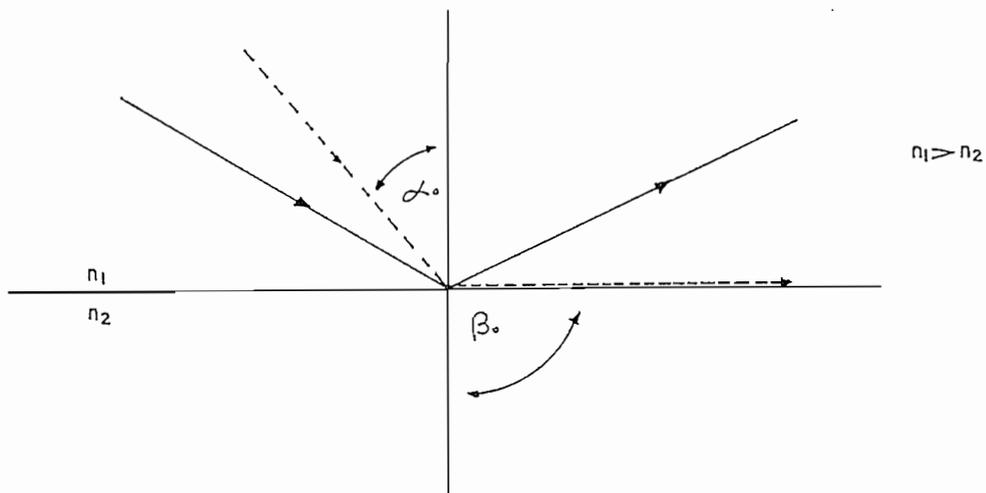


FIG. 1.9

Para un ángulo (α_0) , se tiene un ángulo $\beta_0=90^\circ$ para el cual el rayo luminoso se propaga paralelo a la superficie de contacto de ambas sustancias; a este ángulo (α_0) se le denomina ángulo límite y de acuerdo a la ley de Snell se tiene:

$$\text{sen } \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

Todos los rayos que inciden con un ángulo (α) mayor que el ángulo límite (α_0) , son reflejados totalmente en la superficie de separación y se propagan completamente en el medio de mayor índice es decir en (n_1) .

El fenómeno de reflexión total ocurre exclusivamente cuando el rayo luminoso incide desde una sustancia de mayor índice hacia otra de menor índice y nunca se da en sentido inverso, tal como se aprecia en la figura 1.10

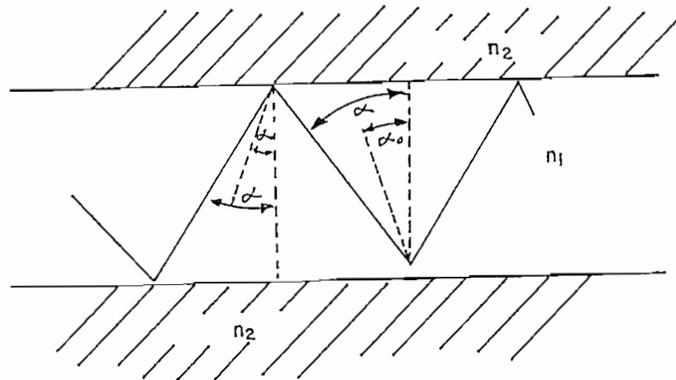


FIG. 1.10

En la fibra óptica se da el fenómeno de reflexiones totales sucesivas; está constituida por un núcleo formado por un vidrio con índice de refracción (n_1) y un manto que le recubre formado por un vidrio con un índice de refracción (n_2). El valor de (n_1) es algo mayor que el de (n_2).

Los rayos que han entrado en una fibra deben formar un ángulo con la normal a la superficie de separación entre núcleo y manto, (α), superior al ángulo límite, (α_o), para poder ser guiados por la fibra. Por lo tanto, los rayos luminosos que formen un ángulo menor que ($90^\circ - \alpha_o$) con respecto al eje de la fibra óptica son conducidos en el núcleo, como se aprecia en la figura 1.11

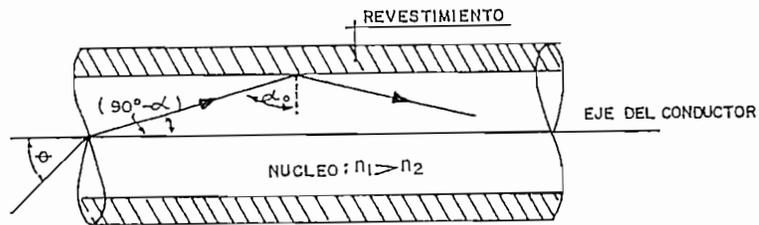


FIG. 1.11

Para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior de la fibra (aire con $n=1$), el ángulo entre el rayo luminoso incidente externo y el eje de la fibra, θ , se rige de acuerdo a la ley de Snell.

$$\frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } (90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{1}$$

$$\text{sen } \theta = n_1 * \cos \alpha_0 = n_1 * \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha_0}$$

Como $\text{sen } \alpha_0 = n_2/n_1$, entonces :

$$\text{sen } \theta = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

Al máximo ángulo de acoplamiento, θ_{max} (ángulo formado por el eje de la fibra y el rayo más inclinado con relación a este eje, susceptible de ser guiado) se lo denomina ángulo de aceptación y es únicamente función de los índices de refracción del núcleo y del manto.

Al seno del ángulo de aceptación se le denomina apertura numérica o apertura digital (AN) del conductor de fibra óptica y representa el cono de aceptación de los rayos por una fibra. Un valor típico de AN es de 0.2 que corresponde a un $\theta_{max} = 12^\circ$ y un cono de aceptación de 24° : más allá del cual, los rayos ópticos saldrían del núcleo de la fibra, como se observa en la figura 1.12

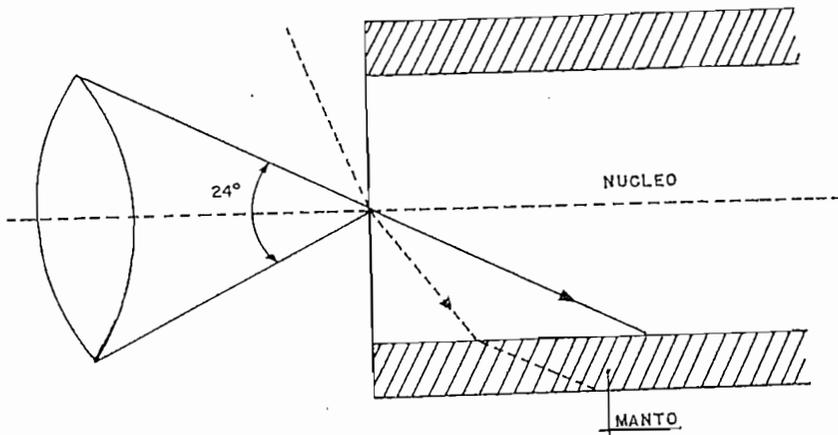


FIG. 1.12

Las leyes de la óptica permiten describir la reflexión total de la luz en la superficie que separa al núcleo

del manto, en un conductor de fibra óptica. Para ello se considera fundamentalmente que la luz se propaga en forma de rayos rectilíneos. Para realizar un análisis más detallado de las diferentes posibilidades de propagación de la luz dentro del núcleo, es necesario considerar los fenómenos de la óptica ondulatoria, puesto que el diámetro del núcleo varía entre 10 y 100 μm y es solamente un poco mayor que la longitud de onda de la luz transmitida por ese núcleo: aproximadamente 1 μm . Debido a esta relación de dimensiones dentro del núcleo ocurren fenómenos de interferencia de ondas.

Se denomina interferencia a la superposición de dos o más ondas y su combinación para formar una onda única. Ondas coherentes son aquellas que tienen igual longitud y existe una diferencia de fase constante entre ambas en el tiempo. Si en determinado punto del espacio ambas ondas presentan una diferencia de fase igual a un múltiplo entero de λ , se produce una suma de sus amplitudes; en cambio si esta diferencia es igual a un múltiplo entero de $\lambda/2$, se produce una resta; de ser ambas ondas de igual amplitud se anulan las ondas.

Para transmisión de la luz con conductores de fibras ópticas es necesario usar fuentes luminosas coherentes, cuyo ancho espectral es lo más pequeño posible, que en virtud de una emisión de luz coherente dan la posibilidad de contar con una diferencia de fases constante a igual longitud de onda. Con ello también aparecen interferencias en el conductor de fibra óptica, las cuales se reconocen porque la luz se propaga en el núcleo solamente en determinados ángulos que corresponden a direcciones, en las cuales, las ondas asociadas al superponerse se refuerzan, dándose una

interferencia constructiva.

Las ondas luminosas permitidas de propagarse en un conductor de fibra óptica se denominan modos de propagación. Estos modos se pueden determinar matemáticamente con mayor exactitud, aplicando las ecuaciones de Maxwell.

El número de modos de propagación es grande en fibras multimodo, cuyo diámetro del núcleo es del orden de 30-100 μm ; diámetro que es relativamente mayor que la longitud de onda luminosa de propagación.

La cantidad de modos de propagación está en el orden de magnitud del cuadrado del parámetro característico de la fibra (V):

$$V = K * a * AN$$

Siendo:

$K = \frac{2 * \pi}{\lambda}$: La constante de propagación en el-vacío

a : El radio de núcleo de la fibra

AN : Apertura numérica

V depende por lo tanto de la longitud de onda, de la

apertura numérica y del radio del núcleo. A este parámetro se lo denomina frecuencia de corte normalizada, y es adimensional.

Si se reduce V , por reducción del diámetro del núcleo de las fibras, entonces disminuye la cantidad de modos propagables. Para $V = 2.405$ se tiene un solo modo de propagación, una fibra como ésta se conoce como fibra monomodo a diferencia de la multimodo (con V grande).

Por ejemplo para una fibra monomodo típica con $a=2.5 \mu\text{m}$, $\lambda=1.3 \mu\text{m}$ y $AN=0.15$; el valor de V es de 1.81. La ventaja principal de la fibra monomodo es su elevado ancho de banda de transmisión, dado que en la misma (contrariamente a la multimodo) no pueden originarse diferencias de tiempo de propagación entre los distintos modos.

Precisamente, los efectos que ocasionan diferencias en los tiempos de propagación y que por ello limitan el ancho de banda de transmisión de una fibra, vienen dados por el fenómeno denominado dispersión. Existen varios tipos: dispersión modal, dispersión debida al material y dispersión debida a la fibra. Y debido a su dispersión una fibra óptica actúa para las señales a transmitir como un filtro pasabajos.

1.3.5.- BANDA DE PASO.-

La velocidad de los rayos luminosos es constante, en un

medio de índice de refracción dado. Por lo tanto los tiempos de propagación de los rayos luminosos no serán los mismos, sino que dependerán de la longitud de los caminos seguidos, lo cual se observa en la figura 1.13

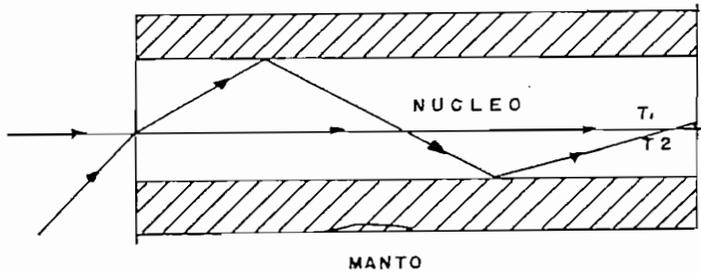


Fig 1.13

Dos impulsos luminosos de corta duración emitidos a la entrada de la fibra y separados en el tiempo, pueden llegar a sus extremos superponiéndose, como se aprecia en la figura 1.14

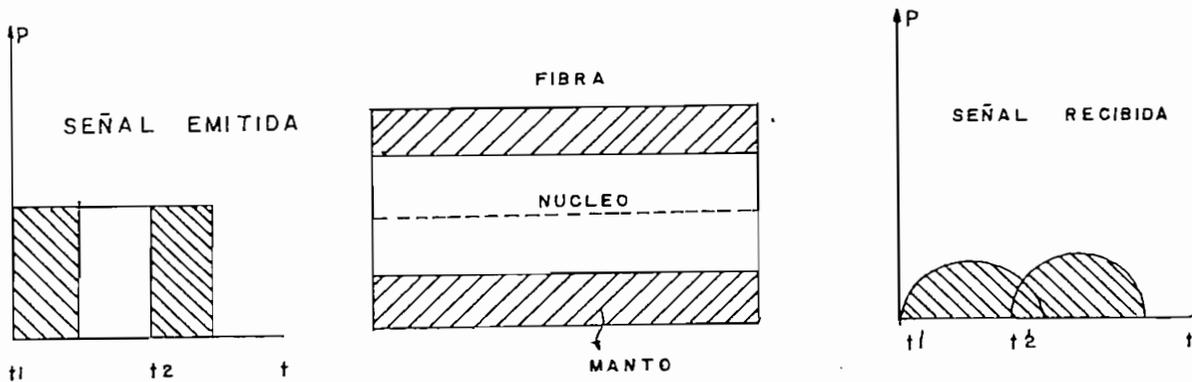


Fig 1.14

Como estos impulsos están confundidos a la llegada, no podrán ser descifrados. Para evitar este fenómeno, es preciso que el tiempo que separa dos impulsos sea suficientemente largo, es decir, que el número de impulsos que se pueda emitir por segundo sea limitado. Por lo tanto hay una limitación en la banda de paso o ancho de banda de transmisión, este fenómeno se presenta fundamentalmente en las fibras de índice escalonado, que son aquellas que tienen constante el índice de refracción del núcleo. Precisamente, una gran desventaja de este tipo de fibras, es su escaso ancho de banda de transmisión, el cual además, es una función decreciente de la longitud de la fibra. Para remediar este inconveniente se aumenta artificialmente la velocidad de los rayos que tienen que recorrer el trayecto más largo. La fibra así obtenida se denomina fibra multimodo de índice gradual.

1.3.6.- TIPOS DE FIBRAS.-

La fibra óptica consiste en una estructura de simetría cilíndrica, con dos regiones: una central denominada núcleo y otra exterior llamada revestimiento o manto.

Básicamente hay dos tipos de fibras ópticas:

- a) Fibras multimodo
- b) Fibras monomodo

Dentro de las fibras multimodo, existen fibras de índice escalonado y de índice gradual. En las fibras, el índice de refracción viene dado por la fórmula:

$$\left\{ \begin{array}{l} n^2(r) = n_1^2 * [1 - 2 * \Delta * (r/a)^g], \text{ para } r < a \text{ (en el núcleo)} \\ n^2(r) = n_2^2 = \text{constante}, \text{ para } r \geq a \text{ (en el revestimiento)} \end{array} \right.$$

n_1 : Índice de refracción en el eje de la fibra ($r=0$)

Δ : Diferencia normalizada de índices de refracción

r : Distancia al eje del conductor de fibra, en μm

a : Radio del núcleo, en μm

g : Exponente del perfil de refracción

n_2 : Índice de refracción del revestimiento

La diferencia normalizada, Δ , se define como:

$$\Delta = \frac{(AN)^2}{2 * n_1^2} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 * n_1^2}$$

Dependiendo del valor que tome el exponente g , se tienen los diferentes perfiles del índice de refracción, tal cual se observa en la figura 1.15

$g=1$: Perfil triangular

$g=2$: Perfil parabólico
 $g \rightarrow \infty$: Perfil escalonado

Solo cuando $g \rightarrow \infty$ el índice de refracción del núcleo es constante: $n(r)=n_1$. En todos los demás perfiles el índice de refracción $n(r)$ en el núcleo, se incrementa en forma gradual desde el valor n_2 en el revestimiento hasta el n_1 en el eje del conductor de la fibra óptica.

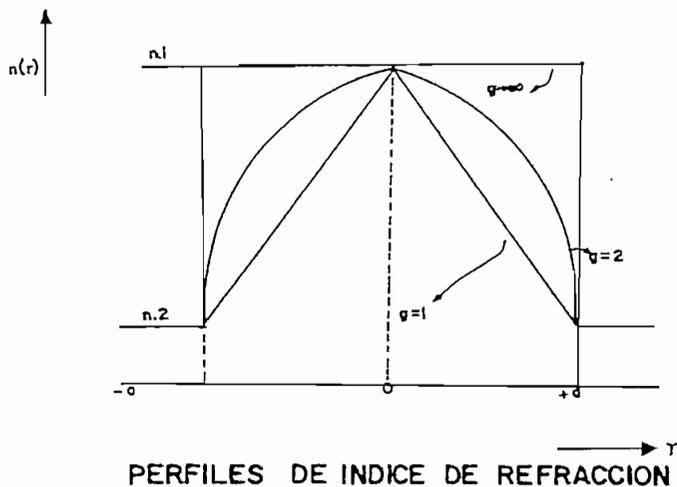


FIG. 1.15

En base a este tipo de variación se denominan perfiles graduales, nombre que se ha adoptado especialmente para el perfil parabólico ($g=2$) ya que los conductores con este perfil presentan buenas características técnicas para la propagación de la luz, por lo cual, se les usa bastante.

El parámetro característico (V), el número de modos de

propagación (N) y el exponente del perfil (g), están relacionados por la expresión:

$$N \approx \frac{V^2}{2} * \frac{g}{g+2}$$

Cuando $g \rightarrow \infty$ (perfil de índice escalonado) el número de modos de propagación es:

$$N \approx \frac{V^2}{2}$$

En cambio para fibra multimodo de índice gradual parabólico ($g=2$), N será menor:

$$N \approx \frac{V^2}{4}$$

Si en un conductor de fibra óptica con perfil escalonado, V se reduce por disminución del radio del núcleo hasta un valor inferior a la constante $V_c=2.405$

se podrá propagar en el núcleo sólo un modo: el modo fundamental.

En el caso de un perfil exponencial, se tiene una aproximación del valor límite V_c :

$$V_c(g) \approx V_c * \sqrt{\frac{g+2}{g}}$$

Si se trata de índice gradual ($g=2$), el valor límite del parámetro característico es: $V_c(g) \approx 3.4$

La longitud de onda que corresponde al valor límite V_c , se denomina longitud de onda límite, λ_c .

$$\lambda_c = \frac{\pi * 2 * a * AN}{V_c}$$

Para longitudes de onda mayores a λ_c , el conductor se comporta como un conductor de fibra óptica monomodo.

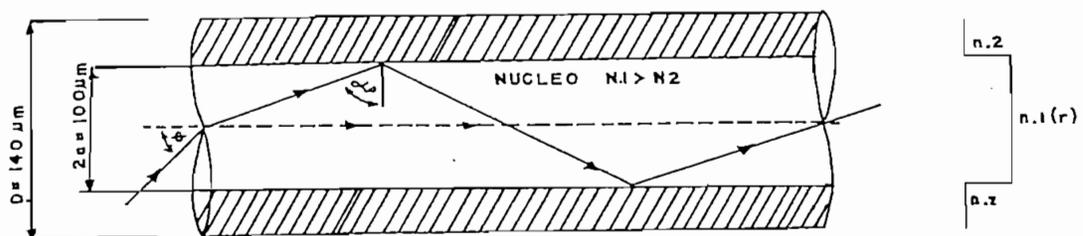
1.3.6.1.- FIBRAS MULTIMODO.-

Son aquellas en las que la dimensión del núcleo cuyo diámetro está entre 30 y 100 μm , permite varios modos de propagación de los rayos luminosos. Esta dimensión del núcleo es grande frente a la longitud de onda de la señal óptica: 0.85-1.3 o 1.55 μm .

a) FIBRA MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO.-

En este tipo de fibras, el índice de refracción del núcleo (n_1) debe ser algo mayor que el del revestimiento, (n_2)

El índice de refracción se incrementa en forma de escalón a partir del valor constante que tiene en el recubrimiento, (n_2), hasta el que posee en el núcleo, (n_1), el cual permanece constante. En la figura 1.16 se presenta un conductor de fibra óptica multimodo de índice escalonado:



FIBRA OPTICA CON PERFIL ESCALONADO.

FIG. 1.16

Las características típicas de un conductor de fibra óptica multimodo con perfil escalonado son las siguientes:

Diámetro del núcleo	(2a)	100 μm
Diámetro del revestimiento	(D)	140 μm
Índice de refracción del núcleo	(n_1)	1.48
Índice de refracción del revestimiento	(n_2)	1.46
Diferencia normalizada de índices de refracción	(Δ)	1.34%
Ángulo de aceptación máxima	(θ_{max})	14°
Apertura numérica	(AN)	0.242
Parámetro característico ($\lambda = 0.85 \mu\text{m}$)	(V)	~89
Número de modos de propagación	(N)	~4000
Factor de mérito	(FM)	<50 MHz*Km

Un impulso luminoso que se propaga en un conductor óptico multimodo está formado por múltiples impulsos luminosos parciales que son conducidos en cada uno de los modos. Al inicio de la fibra cada uno de estos modos es excitado con un ángulo de acoplamiento diferente y conducido dentro del núcleo con diferente trayectoria. En consecuencia, cada modo recorre un camino diferente y llega al otro extremo del conductor en distintos tiempos.

La distorsión producida en los distintos modos por estas diferencias de tiempos da lugar a una superposición de

los modos, que se denomina dispersión modal y da lugar a que se ensanche el pulso luminoso de corta duración que atraviesa el conductor de fibra óptica multimodo de perfil escalonado. Esto constituye una desventaja para las telecomunicaciones ópticas, pues reduce la velocidad de transmisión. Este tipo de fibras se aplica en sistemas de 5-15 MHz*Km, para enlaces punto a punto de corta distancia: para transmisiones de datos, redes de comunicación de fábricas, oficinas, etc.

b) FIBRAS MULTIMODO DE INDICE GRADUAL.-

La dispersión modal que se presenta en conductores de fibra óptica con perfil escalonado, en forma acentuada, es un efecto no deseado y puede ser reducido considerablemente, si el índice de refracción del núcleo varía en forma parabólica desde un valor máximo (n_1), en el eje del conductor y decae exponencialmente hasta otro valor (n_2), en el límite con el revestimiento.

Un perfil gradual o perfil exponencial con $g=2$ se define por:

$$\begin{cases} n^2(r) = n_1^2 - AN^2 * (r/a)^2 & \text{para } r < a \\ n^2(r) = n_2^2 & \text{para } r \geq a \end{cases}$$

Un conductor de fibra óptica con este perfil se denomina fibra multimodo gradual y su estructura se presenta en la figura 1.17

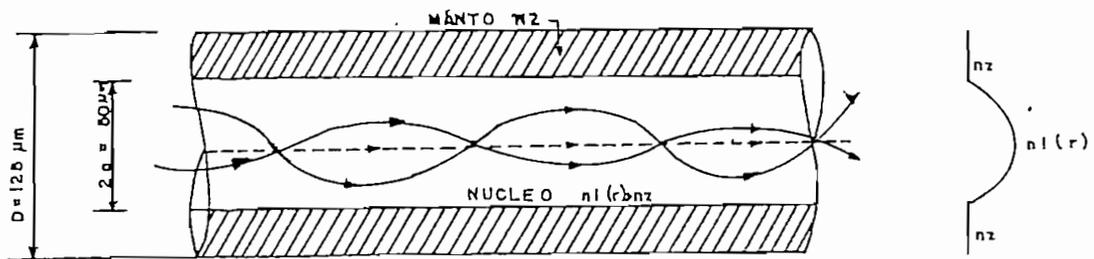


FIG . 1.17

FIBRA OPTICA CON PERFIL GRADUAL

Las características típicas de un conductor de fibra multimodo de índice gradual son las siguientes:

Diámetro del núcleo	(2a)	50 μm
Diámetro del revestimiento	(D)	125 μm
Índice de refracción máximo del núcleo	(n_1)	1.46
Diferencia de índices de refracción	(Δ)	0.01
Ángulo de aceptación máxima	(θ_{max})	11.9°
Apertura numérica	(AN)	0.206
Ancho de banda de transmisión	(B)	100MHz-16GHz

En este tipo de fibra los rayos luminosos describen trayectorias onduladas o helicoidales; contrariamente al conductor del perfil escalonado, en cuyo caso los rayos se propagan en forma zigzagueante, o de reflexiones angulares.

Si bien los rayos que oscilan en torno del eje deben recorrer un camino más largo que el rayo que se propaga a lo largo de este eje, pueden desarrollar una mayor velocidad, proporcional al menor índice de refracción que tiene el material en los puntos más alejados del eje ($v = C/n$), y así se compensa en el tiempo la mayor extensión del recorrido. Como resultado de esta compensación desaparece casi totalmente la diferencia de tiempos de recorrido.

Un conductor de fibra óptica con perfil gradual, con un tiempo total de recorrido de la luz de 5 ms a lo largo de 1 Km, presenta dispersiones de tiempo de solo 0.1 ns aproximadamente; a diferencia de un conductor de fibra multimodo de índice escalonado que tiene dispersiones de 50 ns.

Esta diferencia insignificante de tiempo de recorrido (0.1 ns) en el conductor de fibra óptica con perfil gradual se produce no sólo por la dispersión en el material, sino también por la dispersión del perfil.

Dispersión del material.-

Los pulsos luminosos se propagan por la fibra con la velocidad de grupo:

$$C_g = \frac{C}{n_g}$$

Siendo (n_g) el índice de refracción de grupo en el núcleo que a su vez, es función de la longitud de onda (λ). El tiempo de recorrido de grupo que requiere un pulso luminoso para recorrer un conductor de fibra de longitud (L) es:

$$t_g = \frac{L}{C_g} = \frac{L * n_g}{C}$$

Por lo tanto el tiempo de recorrido de grupo también es función de (λ). Todas las fuentes luminosas emiten luz no sólo en una única longitud de onda (λ), sino también en un ancho espectral ($\Delta\lambda$), distribuido alrededor de esa longitud de onda. En base a este efecto, los componentes de la luz se propagan con diferentes velocidades dentro de ($\Delta\lambda$) y varían los tiempos de recorrido. La dispersión en el material, (M), da una medida de la variación del índice de

refracción de grupo (n_g), para diferentes longitudes de onda y se calcula a través de la expresión:

$$M(\lambda) = \frac{1}{c} * \frac{dn_g(\lambda)}{d\lambda} = \frac{1}{L} * \frac{dt_g(\lambda)}{d\lambda} \quad \left[\begin{array}{c} \text{ps} \\ \hline \text{nm} * \text{Km} \end{array} \right]$$

n_g , presenta un mínimo para el vidrio de cuarzo, material con el cual se fabrica las fibras, en una longitud de aproximadamente 1300 nm; por lo tanto la derivada se anula y la dispersión del material (M), en esta longitud de onda es despreciable.

La dispersión del material es una magnitud que depende de la sustancia y puede ser modificada, variando el dopado del vidrio e influyendo sobre el valor mínimo. Esta dispersión actúa tanto en las fibras monomodo como en las multimodo; en estas últimas, la dispersión modal tiene un valor muy superior que la del material en las cercanías del mínimo.

Dispersión del perfil.-

Se origina en virtud que los índices de refracción varían en el núcleo y en el revestimiento de diferente manera con (λ) y por lo tanto, la diferencia de índices de refracción (A) y el exponente del perfil (g), son función de (λ).

El perfil de índices de refracción de una fibra con perfil gradual y con $g=2$ permite obtener únicamente en un rango de longitudes de onda muy reducido, tiempos de recorridos similares para todos los modos conducidos. Con otras longitudes de onda el perfil no es óptimo y el ancho de banda se vuelve correspondientemente pequeño.

Angulo de aceptación de una fibra gradual.-

El ángulo de aceptación de una fibra multimodo de índice gradual depende de la distancia (r) al eje del conductor.

$$\text{sen } \theta(r) = \sqrt{n^2(r) - n_2^2} = AN * \sqrt{1 - (r/a)^2} \leq AN$$

El ángulo de aceptación es máximo e igual a AN en el eje del conductor si ($r=0$). En la unión con el revestimiento ($r=a$) este ángulo es cero.

La apertura numérica para una fibra multimodo de índice gradual se calcula por medio de la expresión:

$$AN = n_1 * \sqrt{2 * \Delta}$$

Las coordenadas $\text{Sen}^2 \theta$ y r^2 son las más apropiadas para representar en un sistema de ejes coordenados al ángulo de aceptación (θ), en función de (r); un sistema con estas coordenadas se denomina diagrama del espacio de fases. En la figura 1.18 se comparan los diagramas de un conductor de fibra óptica con perfil gradual, con otro de perfil escalonado.

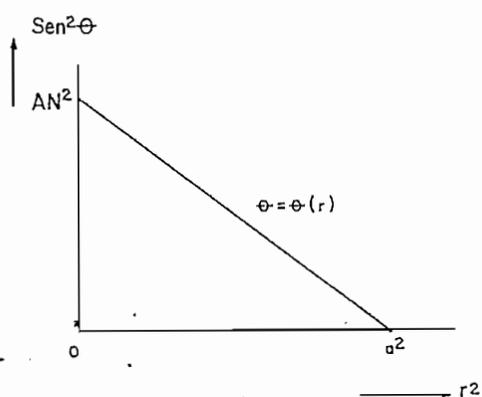


DIAGRAMA DEL ESPACIO DE FASES DE UN CONDUCTOR DE FIBRA OPTICA CON — PERFIL GRADUAL

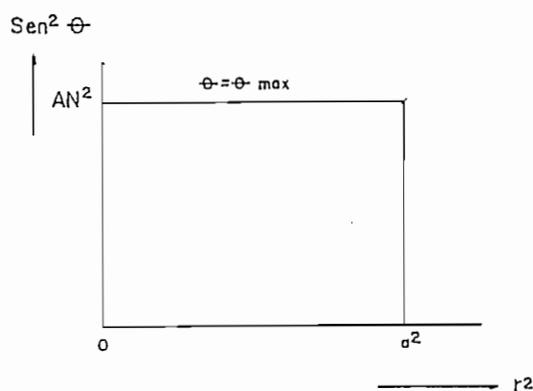


DIAGRAMA DEL ESPACIO DE FASES DE UN CONDUCTOR DE FIBRA OPTICA CON — PERFIL ESCALONADO

FIG. 1.18

La superficie debajo de la curva límite dada por el ángulo de aceptación máximo (θ_{\max}), es proporcional a la potencia luminosa acoplable al núcleo.

A igual (AN), igual radio del núcleo (a); en una fibra con perfil escalonado, dicha potencia duplica a la de una fibra con perfil gradual. También es proporcional a esta superficie el número (N), de modos guiados en el núcleo.

Las fibras multimodo de índice gradual tienen su aplicación en enlaces telefónicos urbanos e interurbanos con capacidades de 34 o 140 Mb/s, o también en transmisiones digitales de T.V.

1.3.6.2.- FIBRAS MONOMODO.-

Un conductor de fibra monomodo es aquel que presenta un diámetro del núcleo tan pequeño: menor a $10 \mu\text{m}$ (comparable a la longitud de onda) y que permite un solo modo de propagación de los rayos luminosos, siguiendo el eje de la fibra. Es decir que se reduce el diámetro del núcleo hasta unos $10 \mu\text{m}$, a fin de obtener una fibra óptica de perfil escalonado de baja atenuación y en el cual a longitudes de onda mayores que $1.2 \mu\text{m}$ se propaga únicamente el modo fundamental, como se observa en la figura 1.19

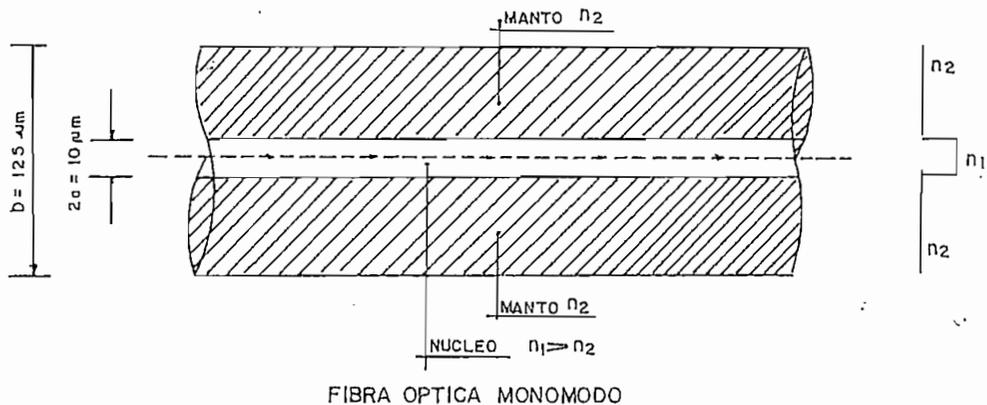


FIG. 1.19

Ya no hay por lo tanto, el fenómeno de dispersión modal, permitiendo un ancho de banda de transmisión muy grande, superior a 10 GHz.

Sin embargo, el modo fundamental también se ensancha en el tiempo debido a la dispersión cromática por variaciones del índice de refracción de grupo (n_g) y por el ancho espectral ($\Delta\lambda$). Por tratarse de una propiedad del material, esta dispersión se produce en todas las fibras; sin embargo, la dispersión cromática es relativamente pequeña en longitudes de onda que van desde los 1.2 a los 1.6 μm .

Las características típicas de un conductor de fibra óptica monomodo son las siguientes:

Diámetro del núcleo	($2a$)	<10 μm
Diámetro del revestimiento	(D)	125 μm
Índice de refracción del núcleo	(n_1)	1.46
Diferencia del índice de refracción	(Δ)	0.3%
Apertura numérica	(AN)	0.113
Ángulo de aceptación máximo	(θ_{max})	6.5°

Se debe tener en cuenta que en la fibra monomodo, comparando con la multimodo, son menores no sólo el diámetro del núcleo sino también la apertura numérica y por lo tanto el ángulo de aceptación, por lo cual, el acoplamiento de la luz resulta relativamente difícil; por esta razón, como emisores de luz, en fibras monomodo

se emplea láseres cuyo ($\Delta\lambda$) es relativamente pequeño.

1.4.- TRANSMISORES OPTICOS.-

Los transmisores o fuentes ópticas se necesitan para convertir las señales eléctricas en ópticas y actúan como transductores ópticos en la transmisión: las fuentes ópticas adecuadas deben ser pequeñas y de bajo consumo, pero capaces de ser moduladas a altas velocidades, con buena estabilidad con la temperatura y factibles de generar la mayor potencia posible. Las fuentes más usadas en comunicaciones ópticas son los láseres de semiconductor (LD) y los diodos electroluminiscentes (LED).

Los elementos emisores irradian fotones mediante emisión espontánea o estimulada, para lo cual, es necesario inyectar portadores de carga en exceso (electrones o huecos), en una juntura (PN) fuertemente polarizada en directo.

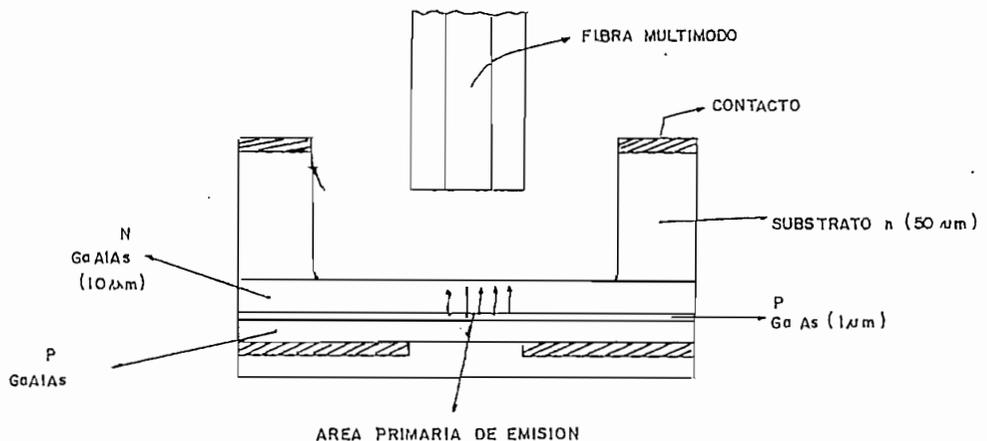
1.4.1.-DIODO EMISOR DE LUZ (LED).-

El diodo semiconductor que emite luz por emisión espontánea se denomina diodo emisor de luz (LED). La emisión espontánea se produce cuando en la banda de conducción de un semiconductor se encuentra un exceso de electrones, los que con la emisión de un fotón por cada electrón, ocupan espontáneamente lugares libres de la

banda de valencia; la radiación resultante no es coherente. Los conversores electroópticos se fabrican en base a combinaciones de elementos químicos del III-IV-V grupo de la tabla periódica.

Los LED se usan para fibras multimodo, hay dos grandes tipos, los de emisión por superficie y los de emisión por esquina.

Los de emisión por superficie, normalmente llamados de tipo BURRUS, lo cual observamos en la figura 1.20, logran su alta radiación restringiendo la emisión a una pequeña área del chip, con la ayuda de un pequeño contacto de tipo p.



LED TIPO BURRUS

FIG. 1.20

El rendimiento del acoplamiento a la fibra depende: del área y radiación del LED, del diámetro y perfil del índice de refracción del núcleo y del grado de alineamiento entre la fibra y el LED.

En las fibras multimodo, la apertura numérica es mayor en el eje de la fibra, por lo tanto el rendimiento de acoplamiento es mayor mientras menor es la superficie de emisión del LED; el acoplamiento puede hacerse más eficiente con ayuda de lentes montados en el LED o en la superficie de la fibra.

Las configuraciones BURRUS sencillas ofrecen una superficie de emisión con unos 50 μm de diámetro, compatible con fibras multimodo de 50 μm de diámetro de núcleo.

Los diodos electroluminiscentes de esquina (ELED), incrementan la luz emitida en la unión con la ayuda del efecto guía producido por la estructura doble, heteroestructura (DH), que es una secuencia de capas en donde la capa semiconductor activa está limitada por dos capas de recubrimiento.

Los ELED, son LED que emiten desde una o más esquinas del substrato semiconductor y disponen de un contacto ranurado.

La señal radiada por los ELED es más direccional que las de los LED tipo BURRUS, por lo que las pérdidas de acoplamiento a la fibra son menores.

El ancho espectral ($\Delta\lambda$), es también menor en los ELED. Típicamente los anchos espectrales de radiación de un

LED de estructura simple están en el campo de 30-50 nm a 850 nm y de 70-110 nm para radiaciones en 1300 nm; para los ELED de GaAs se han obtenido ($\Delta\lambda$) inferiores a 10 nm.

Algunas de las características generales de los LED, son las siguientes:

Material	GaAlAs	InGaAsP
Longitud de onda	750-900 nm	950-1650nm
Potencia media	0.02-0.01mw	0.02-0.01mw
Ancho espectral	30-50 nm	70-110 nm
Ancho de banda	10-100 MHz	10-100 MHz
Aplicaciones con fibra	Multimodo	Multimodo
Tiempo de vida	10^6-10^7 H	10^6-10^7 H

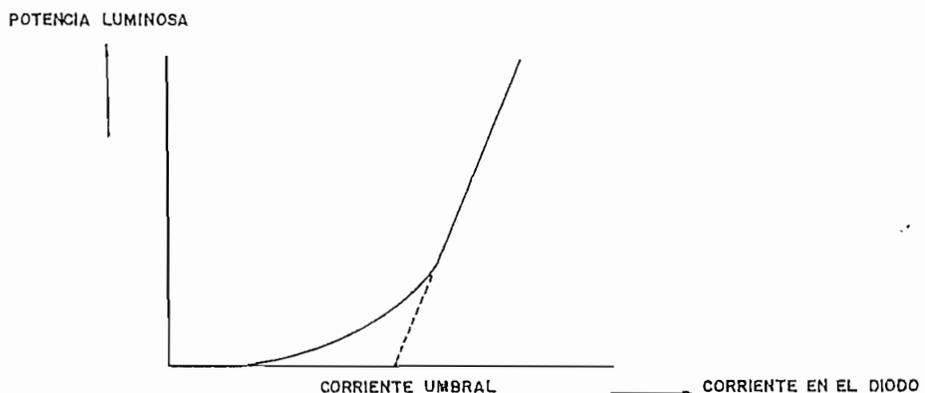
1.4.2.- DIODOS LASER (LD).-

Los diodos láser son los que emiten radiaciones coherentes y que utilizan la emisión estimulada, ésta se produce cuando los fotones existentes en un semiconductor excitan a los portadores de carga con exceso para efectuar una recombinación radiante, es decir, a emitir otros fotones. La luz emitida tiene

la misma longitud de onda y fase que la luz incidente, o sea, es coherente.

En el diodo láser se provoca por medio de una corriente grande un exceso de portadores de carga en la banda de conducción, que posibilita una fuerte emisión estimulada. Este efecto amplificador producido por una avalancha de fotones es apoyado por un resonador óptico, que en general, está conformado por dos espejos planos paralelos semitransparentes. En el diodo láser, ambas superficies de espejos son superficies naturales de cristal que se forman al dividirse el cristal semiconductor y se recubren con una capa protectora adicional.

La estructura del láser es similar a la de un LED y bajo ciertas condiciones actúa como un LED. La curva característica de potencia luminosa vs corriente eléctrica de un diodo láser se la observa en la figura 1.21.

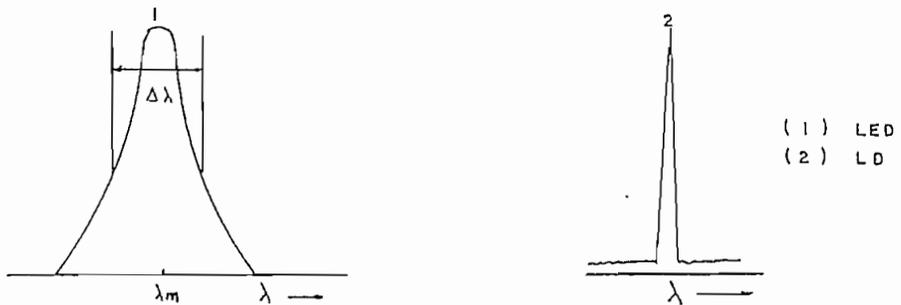


CURVA CARACTERÍSTICA POTENCIA LUMINOSA vs CORRIENTE DE UN DIODO LASER

FIG. 1.21

Para corrientes de excitación por debajo del umbral, se comporta como un LED; pasando este umbral se produce una fuerte emisión láser.

Por otra parte la ventaja de un láser frente a un LED, es que tiene un ancho espectral ($\Delta\lambda$) muy reducido (aproximadamente 1 nm), en contraposición a la amplia distribución espectral del diodo emisor de luz (aproximadamente 50 nm), como se aprecia en la figura 1.22



DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA IRRADIACION DE UN LED Y UN LASER

FIG. 1.22

Es extensa la variedad de láseres, pero de los que se usan en sistemas de comunicaciones por fibra óptica, pueden reunirse en dos grandes grupos que son: a) láseres de doble heteroestructura y b) láseres de geometría ranurada.

a) Láseres de doble heteroestructura (DH).-

En estos láseres, la zona activa está flanqueada por compuestos semiconductores distintos a la propia zona activa; por ejemplo: GaAs, flanqueada por GaAlAs y GaAlAs, como se observa en la figura 1.23.

P-GaAlAs
P-GaAs
N-GaAlAs
N-GaAs

LASER DE DOBLE HETEROESTRUCTURA

FIG. 1.23

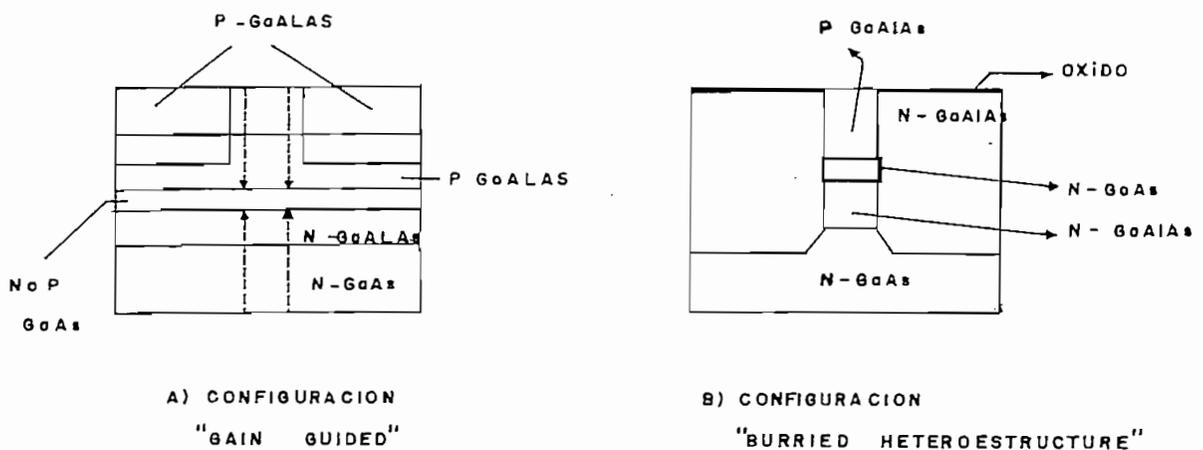
Estos láseres son los más idóneos para operación en modo continuo y son muy usados en comunicaciones ópticas. No pueden generar picos de alta potencia, pero si trabajar de modo continuo, generando niveles del orden de los milivatios.

b) Láseres con geometría ranurada.-

Son una subcategoría de los láseres DH, en los cuales la

emisión se confina en una estrecha ranura a lo largo del láser. La ranura de la zona activa es de 1-10 μm , frente a los 50 μm o más, de los láseres DH convencionales; esta característica es aprovechable para acoplar a fibras monomodo.

Para limitar el ancho de la zona activa, puede acudirse a estructuras del tipo "gain guided" o "heteroestructura" (BH), que se aprecian en la figura 1.24.



LASERES CON GEOMETRIA RANURADA

Fig 1.24

Un problema que presentan los láseres es la dependencia del nivel de potencia luminica en función de la temperatura: para una misma corriente de polarización del diodo, al aumentar la temperatura, decrece el nivel de potencia emitido; por esta razón es conveniente añadir al láser un circuito que varíe la corriente de

polarización en función de la temperatura para mantener constante el nivel medio de potencia óptica; o bien mantener el láser en un ambiente de temperatura estabilizada.

Las principales características de los diodos láser para comunicaciones son las siguientes:

Material	GaAlAs	InGaAsP
Longitud de onda	750-900 nm	1300-1500nm
Potencia media	5-20 mw	5-20 mw
Ancho espectral	0.1-4 nm	0.1-6 nm
Corriente umbral	80-150mA	30-100mA
Ancho de banda típico	0.5-2 GHz	0.5-2GHz
Tipo de fibra	multimodo	multimodo- monomodo
Tiempo de vida	10 ⁵ -10 ⁶ horas	10 ⁵ -10 ⁶ horas

1.5.-RECEPTORES OPTICOS.-

En elementos receptores ópticos denominados fotodiodos se aprovecha el efecto de la absorción de radiación luminosa por un semiconductor; en este proceso, para

generar corriente, un fotón que incide sobre el semiconductor cede su energía a un electrón en la banda de valencia, éste incrementa su energía y pasa a la banda de conducción, de mayor energía, dejando en la banda de valencia un hueco.

Para la fabricación de estos receptores se utilizan principalmente silicio y germanio o compuestos de los grupos III,IV,V de la tabla periódica. El silicio es apto por debajo de 1000 nm; para longitudes de onda de 1300 nm (segunda ventana) y 1550 nm (tercera ventana) se usan fotodiodos de germanio y de compuestos como InGaAs o InGaAsP.

1.5.1.- FOTODIODO PIN.-

El fotodiodo PIN más simple, consiste en una unión (PN), formada en un semiconductor y con una banda energética más estrecha que la correspondiente a la energía de un fotón de la señal que se desea detectar. Los fotones absorbidos crean pares electrón-hueco que se desplaza en sentido contrario dentro del campo del semiconductor y originan una corriente I_p en un circuito exterior.

Estos fotodiodos tienen estructura PIN, en la cual la región intrínseca I, escasamente dopada, se ubica entre dos regiones dopadas, P y N. El dispositivo opera normalmente con polarización inversa, tal cual se observa en la figura 1.25

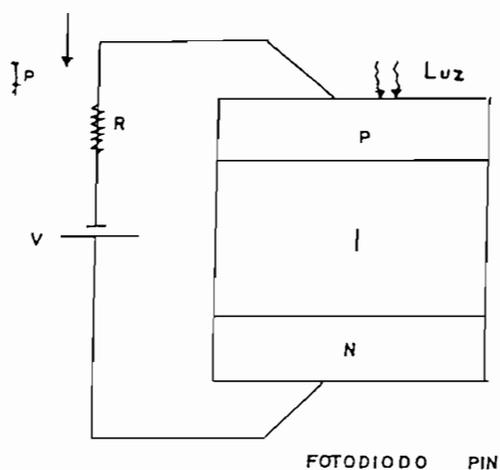
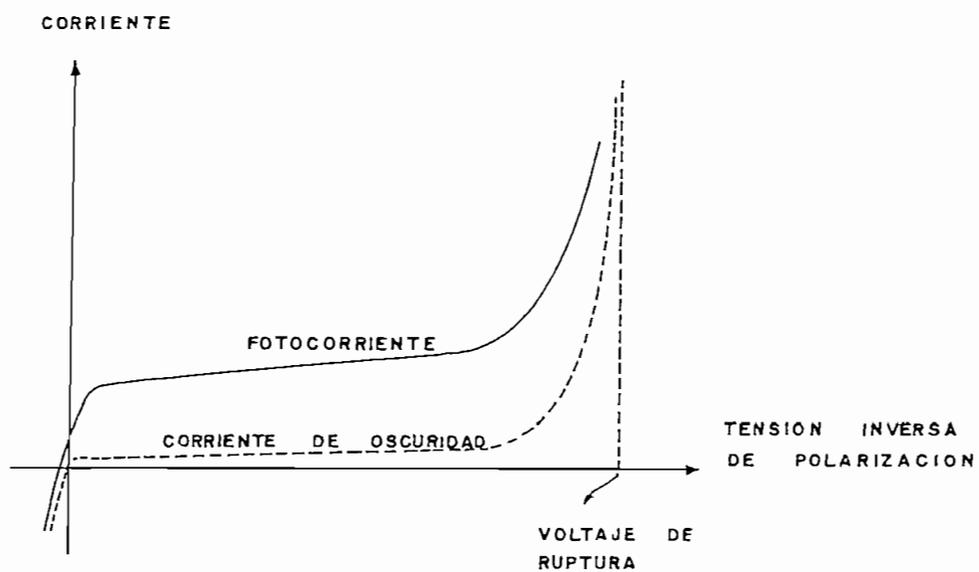


Fig 1.25

La variación de la corriente con la tensión inversa de polarización, es según la figura 1.26



CARACTERISTICA
D.IODO

TENSION / CORRIENTE EN UN FOTO,
Fig 1.26

Con una alta polarización inversa, la fotocorriente se ve incrementada por un efecto multiplicativo de avalancha, que produce una ganancia de corriente (M), la cual, se aprovecha en los fotodiodos de avalancha, (AFD).

Cuando no hay luz incidente, el fotodetector origina una cierta corriente parásita, denominada corriente de oscuridad, la cual se debe a difusión de portadores minoritarios generados térmicamente, o por el paso de electrones desde la banda de valencia a la de conducción, por efecto túnel.

1.5.2.- FOTODIODOS DE AVALANCHA.-

Cuando la tensión de polarización inversa está próxima a la ruptura, los portadores pueden obtener a su paso por el campo eléctrico, suficiente energía para crear nuevos pares de portadores por impactos de ionización; este mecanismo se denomina multiplicación por avalancha.

La fotocorriente multiplicada, (I_m), puede expresarse así:

$$I_m = M \cdot I_p$$

Siendo M la ganancia media del fotomultiplicador.

Estos fotodiodos que aprovechan el efecto de avalancha se conocen como (APD), o fotodiodos de avalancha y existen (APD) de silicio, germanio y de compuestos de la III y V familia de elementos de la tabla periódica.

Los (APD) de silicio trabajan en la región de los 800-900 nm : presentan bajo ruido y requieren altos voltajes de polarización inversa (200-300 v). El valor de ganancia (M) es alto (50-150).

La sensibilidad de los receptores es por definición, la corriente suministrada cuando incide una potencia óptica de un vatio. En los receptores APD es del orden de 80 (A/W) y mucho mejor que en los receptores PIN (0.6 A/W).

Los APD de germanio trabajan en la región de 1000-1600 nm, pero son más ruidosos y de menor sensibilidad que los APD de silicio. El factor de multiplicación óptimo es de 5 a 20 y requieren bajos voltajes de polarización inversa, en el orden de 15 voltios.

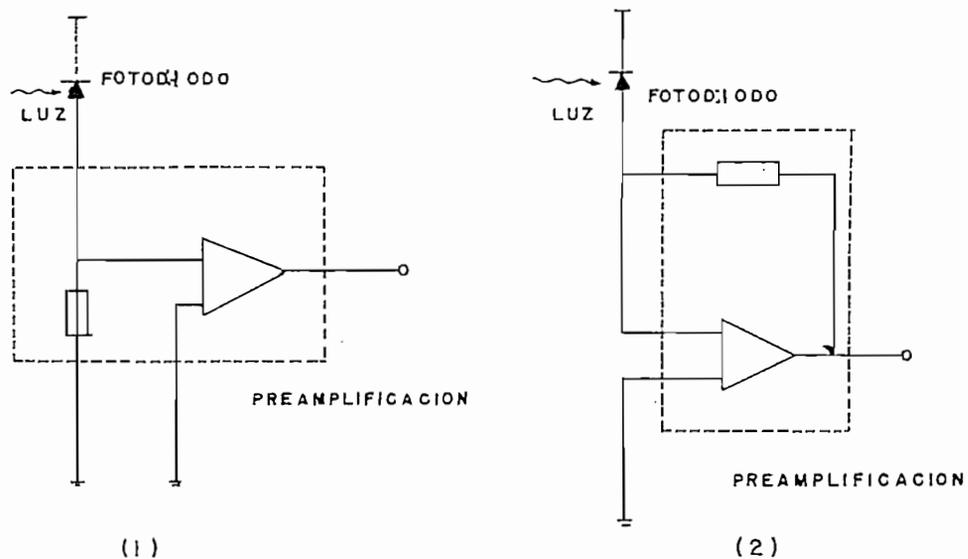
Los APD de compuestos de la III y V familia como InGaAsP, pueden cubrir la banda de 960-1670 nm y son mucho más sensibles que los APD de germanio.

1.5.3.- RECEPTORES PIN/FET.-

Están compuestos por fotodiodos PIN seguidos de un preamplificador de bajo ruido (FET). Presentan mejor

sensibilidad, y otras ventajas con respecto a los APD: baja tensión de alimentación, menos ruido y poca dependencia con la temperatura.

Los receptores PIN/FET, que trabajan a 850 nm usan fotodiodos de silicio, mientras que para 1300 y 1550 nm se han fabricado PIN/FET. basados en InGaAs. En la práctica vienen usándose configuraciones con circuitos de alta impedancia o de transimpedancia, los cuales se aprecian en la figura 1.27.



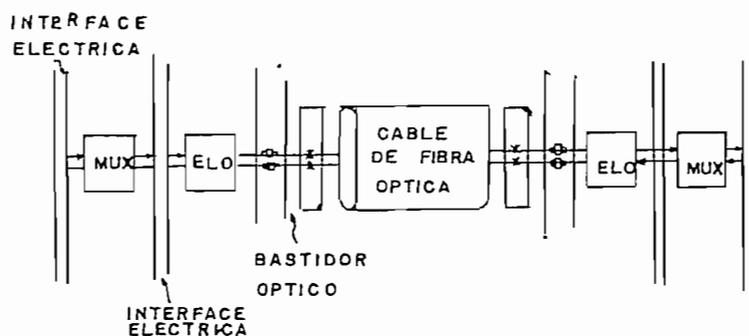
1.27

La configuración en alta impedancia(1) presenta muy bajo ruido a la entrada y la sensibilidad es algo mejor que en los receptores de transimpedancia.(2)

1.6.- EQUIPO TERMINAL DE LINEA OPTICO.-

La función del equipo terminal de línea es la de

transmitir entre dos puntos distantes una estructura de canales de información, multiplexados en el tiempo o en la frecuencia. En la figura 1.28 se aprecia la ubicación del equipo terminal de línea en un sistema de transmisión.



CONSTITUCION DE UN SISTEMA DIGITAL POR FIBRA OPTICA

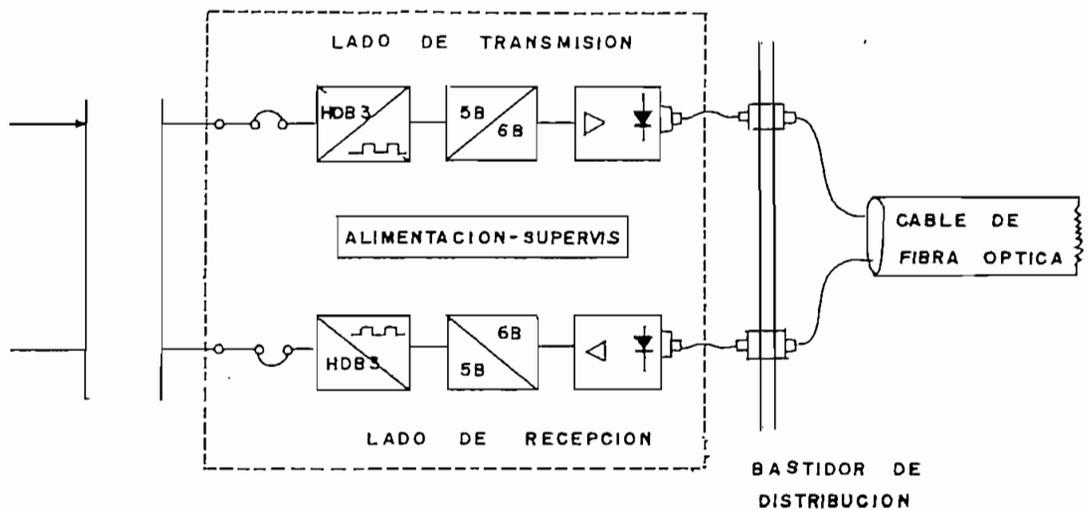
Fig 1.28

Los principales bloques funcionales de un equipo terminal de línea óptico para transmisión digital se muestran en la figura 1.29.

1.6.1.- LADO DE TRANSMISION.-

a) Decodificador.-

La función del decodificador es la de convertir el código de la señal procedente del multiplex, HDB3 o CMI, para sistemas de 34 o 140 Mb/s respectivamente, en una señal binaria. El decodificador debe estar diseñado para admitir la señal digital de acuerdo con las especificaciones de interacción, dadas por recomendaciones del CCITT.



EQUIPO TERMINAL DE LINEA OPTICA PARA TRANSMISION DIGITAL

Fig 1.29

b) Codificador.-

El codificador convierte la señal binaria al código de línea por fibra óptica; un código muy usado es el 5B6B. Respecto a este código la señal binaria sufre una conversión serie-paralelo, formándose bloques de 5 bits que son después codificados en bloques de 6; la señal

codificada se entrega al transmisor electroóptico.

c) Transmisor Optico.-

En el transmisor óptico la señal codificada se convierte en impulsos luminosos al modular la corriente de polarización de un diodo láser o un LED.

1.6.2.- LADO DE RECEPCION.-

a) Receptor Optico.-

El receptor óptico está compuesto de un fotodetector seguido de un preamplificador ecualizador y un control automático de ganancia, a fin de mantener una señal de amplitud constante. Si el fotodetector es un APD, resulta preciso un conversor de corriente continua a fin de obtener la tensión necesaria para su polarización, que es del orden de 200 voltios.

b) Decodificador de línea.-

El decodificador contiene unos circuitos similares a los del codificador, pero realiza funciones recíprocas. Además suele incorporar circuitos para detectar errores de código.

c) Codificador.-

El codificador debe convertir la señal binaria que procede del decodificador de línea, en la señal según el código de la interface con el multiplex y de acuerdo a especificaciones dadas por el CCITT (recomendación G.703)

1.7.- EL CABLE DE FIBRA OPTICA. DIFERENTES ESTRUCTURAS.-

El diseño del cable debe ofrecer protección mecánica contra las curvaturas, la tensión, los esfuerzos laterales, y los problemas derivados del transporte y la instalación.

Existe diversidad de estructuras y configuraciones, de las cuales, las más importantes son las siguientes:

- a) Cables monofibra para instalaciones interiores.
- b) Cables multifibra para instalaciones en ductos.
- c) Cables multifibra para instalaciones aéreas o directamente enterrados.

Los cables monofibra encuentran su aplicación para prolongar los cables multifibra (de planta externa), hasta los equipos de transmisión ubicados en el interior de oficinas, estaciones, etc. De esta manera, se logra una mayor comodidad en la instalación de los equipos.

Para llevar a cabo la instalación, el cable multifibra de planta externa se empalma con tantos cables monofibra como fibras tiene el cable. Interesa que las fibras de

ambos cables se hayan fabricado con la misma tecnología y tengan similares especificaciones ópticas y geométricas para evitar empalmes defectuosos.

En la figura 1.30 se presenta una configuración típica de cable monofibra.

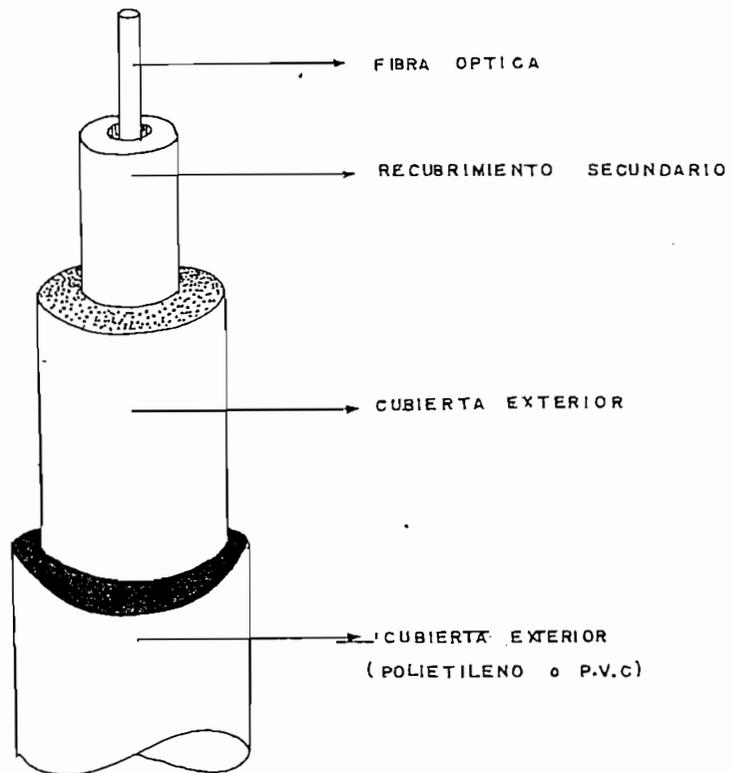


FIG. 130

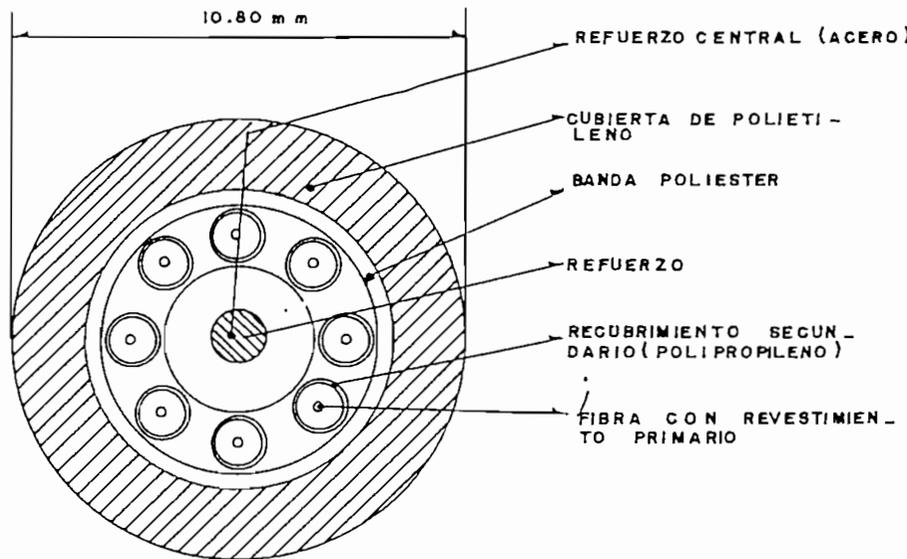
La fibra en este caso, presenta un recubrimiento de tipo holgado, por encima del cual se aplica una cubierta de refuerzo a base de fibras de vidrio con resina epóxica. Finalmente se aplica la cubierta exterior que puede ser polietileno o PVC.

Algunas de las especificaciones típicas para cables monofibra en aplicaciones de planta interior son las que siguen:

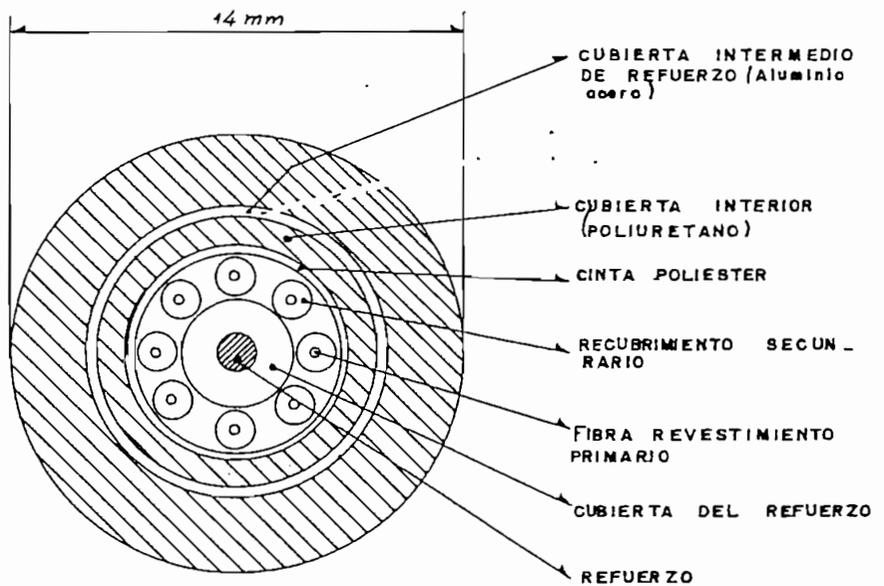
Parámetro	Cable óptico monofibra
Diámetro exterior	2-3 mm
Peso	8-15 Kg/Km
Tracción de ruptura	1500 N
Máxima tracción de tendido	300 N
Radio de curvatura mínimo	15-20 mm

Para cables multifibra de planta externa, se tiene las siguientes estructuras típicas: la primera para instalaciones en ductos, la segunda para usarla directamente enterrada, las cuales se observan en las figuras 1.31 y 1.32.

La diferencia esencial entre estos dos tipos de cable radial, es la mejor protección del segundo frente al medio ambiente; una cubierta adicional separada en ocasiones por una armadura de cintas de aluminio o acero.



EJEMPLO DE CABLE PARA INSTALACION EN DUCTOS (PVC)
Fig 1.31



EJEMPLO DE CABLE MULTIFIBRA PARA ENTERRARLO DIRECTAMENTE
Fig 1.32

Otra opción a considerar es la inclusión o no, de elementos metálicos dando lugar a los llamados cables

metálicos o los no metálicos.

Hay la tendencia a hacer los cables no metálicos por diversas razones, como:

- a) Menor peso.
- b) Protección contra descargas e inducciones eléctricas.
- c) Mayor sencillez en las tareas de empalme de cable.

Los elementos metálicos (básicamente el elemento central de refuerzo y las eventuales cintas de aluminio y acero por debajo de la cubierta exterior), pueden reemplazarse por Kevlar o fibras de vidrio con epoxy.

En la siguiente tabla, se tienen algunos datos sobre los parámetros mecánicos y geométricos de los cables de fibra óptica, para instalación en canalizaciones.

Parámetro	Cable multifibra no metálico
# de fibras	6
Diámetro exterior	9-14 mm
Peso	50-100 Kg/Km
Radio de curvatura mínimo	100 mm
Máxima tracción de tendido	600-1500 N

En la instalación de los cables en los ductos, se aconseja buscar los radios de curvatura más grandes compatibles con las posibilidades del terreno, para minimizar la tracción y ruptura del cable. Un radio de curvatura mínimo de 1 metro, para cables multifibra, es razonable.

Existen cables multifibra de 6-10-20-30-50-70 fibras; algunas características son las siguientes:

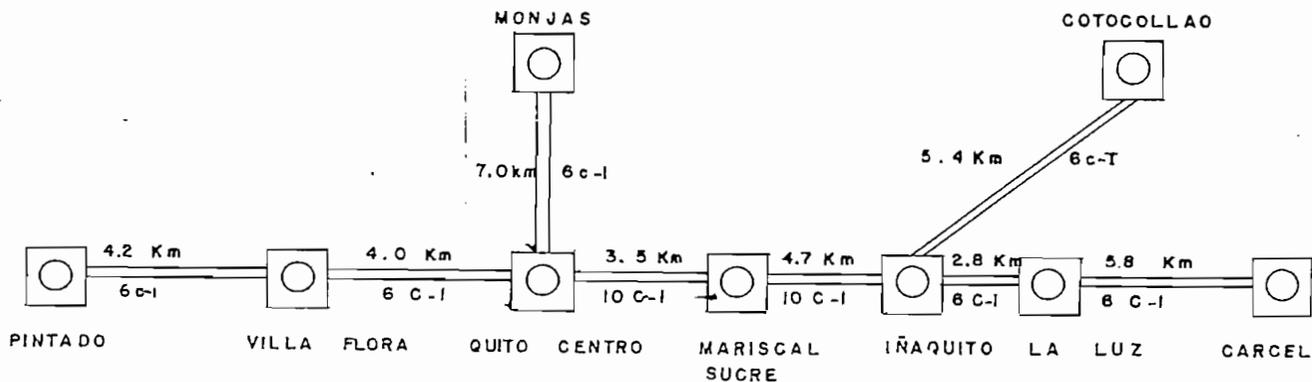
PARAMETRO	NUMERO DE FIBRAS DEL CABLE			
	6 - 10	20 - 30	50	70
DIAMETRO EXTERIOR (mm)	10 - 12	16 - 20	18 - 22	21 - 25
PESO (Kg t/Km)	185	300	360	390
RADIO DE CURVATURA MINIMO (cm)	240	320	360	420

CAPITULO II

DESCRIPCION DE UN SISTEMA POR FIBRA OPTICA.-

2.1.- DESCRIPCION GENERAL.-

El Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones del Ecuador (IETEL), ha puesto en servicio un sistema de transmisión por fibra óptica de 140 Mb/s para Quito, de la empresa japonesa NEC, que enlaza centrales del Pintado, Villa Flora, Quito Centro, Monjas, Mariscal Sucre, Ñaquito, Carcelén, La Luz, Cotocollao; el cable de fibra óptica se lo usa sólo como troncal. El sistema se observa en la figura 2.1.-



CABLE DE 6 FIBRAS : 6C-I

CABLE DE 10 FIBRAS : 10C-I

Fig 2.1

En estos enlaces, el cable de fibra se lo ha tendido de una sola vez sin necesitar de realizar muchos empalmes, ni tampoco se ha requerido repetidores. El cable va canalizado en ductos de cemento o PCV.

- Las especificaciones del sistema de transmisión por fibra óptica son las siguientes:

Capacidad de canales Fibra óptica	Hasta 1920 multimodo, de índice gradual, diámetro del núcleo=50 µm
Transmisores ópticos	Diodos láser de GaAlAs
Ancho del espectro	< 6 nm
Detectores ópticos	Fotodiodos de avalancha de Si
Pérdidas de acoplamiento con fibra	0.3 dB
Longitud de onda de luz nominal	0.85 µm
Formato de código	Unipolar; ciclo de trabajo de 50%
Velocidad binaria	139.264 Mb/s
Promedio de potencia de salida óptica	-4.5 dBm
Sensibilidad del receptor en la entrada del APD	-46 dBm (BER=10 ⁻¹¹)

- Las especificaciones ópticas del cable son:

Número de fibras : 4, 6 o 10

Pérdidas a 0.85 μm

Cable de 4 fibras	: 3.0 dB/Km
Cable de 6 fibras	: 4.0 dB/Km
Cable de 10 fibras	: 4.0 dB/Km

Ancho de banda

Cable de 4 fibras	: 700 MHz*Km
Cable de 6 fibras	: 400 MHz*Km
Cable de 10 fibras	: 400 MHz*Km

- Las interfaces eléctricas están conforme a la Recomendación G.703 del CCITT, que se adjuntan en el anexo 2.

a) Velocidad binaria : 2.048 Mb/s \pm 50ppm
Capacidad de canales : 30
Código : HDB3
Impedancia : 75 Ω , desbalanceada

b) Velocidad binaria : 8.448 Mb/s \pm 30 ppm
Capacidad de canales : 120
Código : HDB3
Impedancia : 75 Ω , desbalanceada

c) Velocidad binaria : 34.368 Mb/s \pm 20 ppm
Capacidad de canales : 480
Código : HDB3
Impedancia : 75 Ω , desbalanceada

d) Velocidad binaria : 139.264 Mb/s ± 15 ppm
Capacidad de canales : 1920
Código : NRZ
Impedancia : 75 Ω , desbalanceada

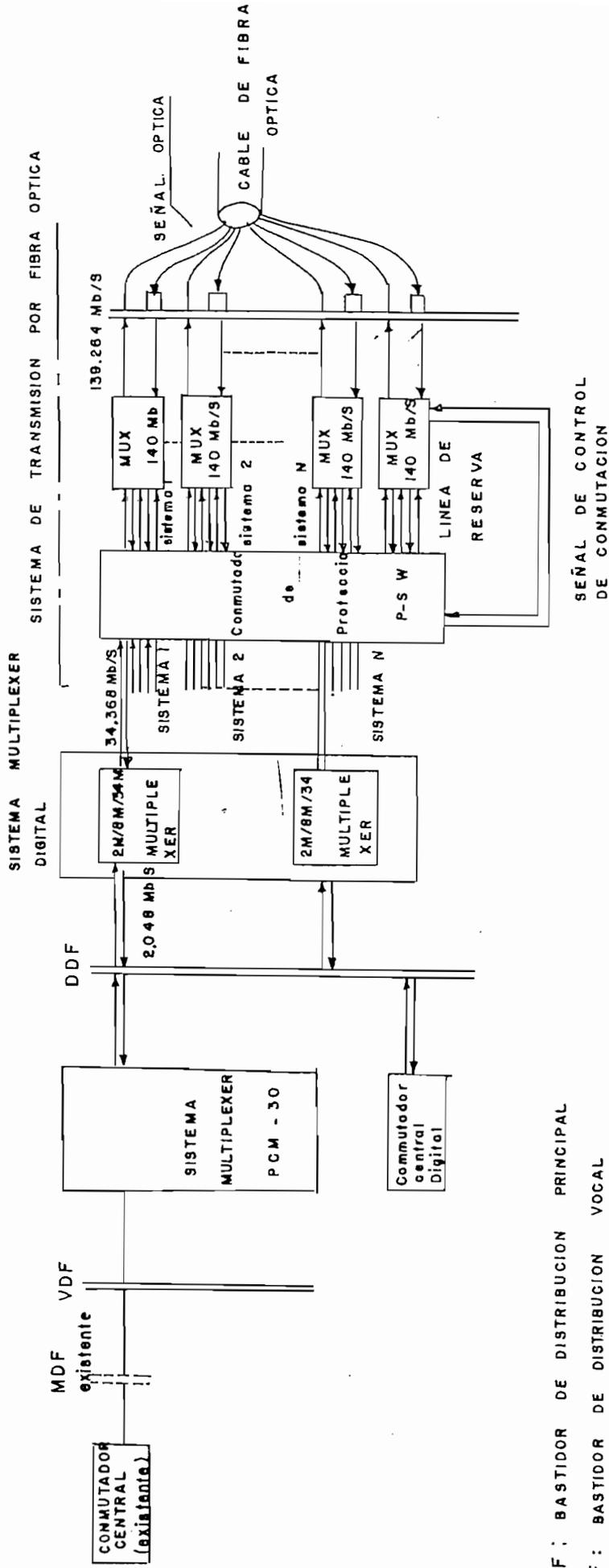
El sistema de transmisión digital consta fundamentalmente de los siguientes subsistemas, y se lo aprecia en la figura 2.2.

- Sistema multiplex PCM de 30 canales
- Sistema multiplex digital 2/8/34 Mb/s
- Sistema de transmisión por fibra óptica a 140 Mb/s

2.2.- EQUIPO TERMINAL PCM-30.-

El equipo terminal PCM-30 ejecuta la modulación por codificación de pulsos (PCM), de hasta 30 canales de señal telefónica y las señales supervisoras de central asociadas desde las centrales existentes, a una señal PCM de 2.048 Mb/s y viceversa. Este equipo está constituido por un multiplexer de frecuencia de voz, (VF), un multiplexer de señalización, (SIG), además de las unidades de energía y la de control de alarmas (ACU).

Un bastidor que contiene un equipo terminal PCM-30 típico existente, presenta la estructura que se observa en la figura 2.3



MDF : BASTIDOR DE DISTRIBUCION PRINCIPAL
VDF : BASTIDOR DE DISTRIBUCION VOCAL
DDF : BASTIDOR DE DISTRIBUCION DIGITAL
FDF : BASTIDOR DE DISTRIBUCION DE FIBRA

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE TRANSMISION DIGITAL

ESTRUCTURA DEL EQUIPO TERMINAL PCM - 30

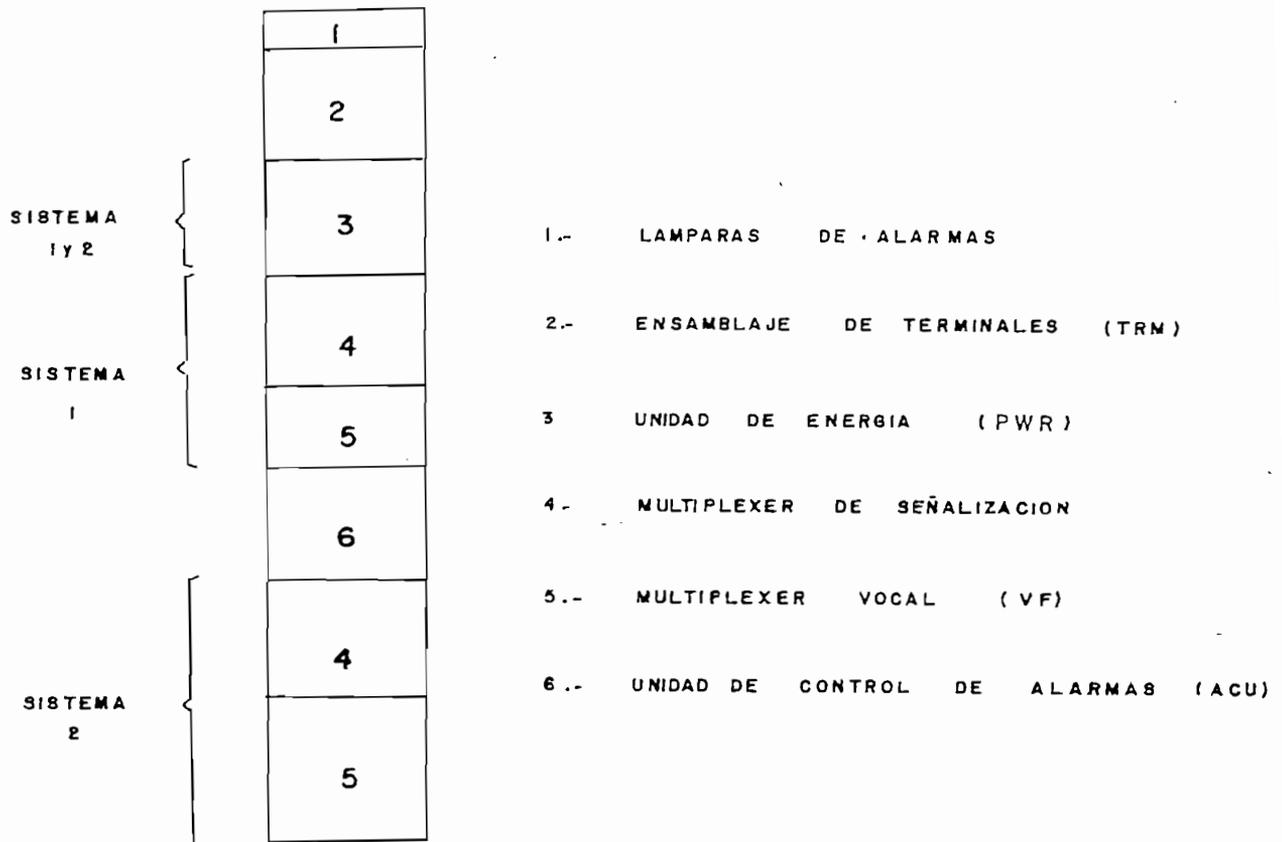


Fig 2.3

Este bastidor conformaría dos sistemas: cada uno para 30 canales de voz.

Sus especificaciones típicas son:

a) Parámetros del sistema:

Capacidad de canal	60 canales de voz con señalización asociada
Frecuencia de reloj	2048 KHz
Velocidad de muestreo de canal	8 KHz
Ley de codificación	ley A
Nivel de transmisión mínima	canal de 2 hilos: -11 dBm canal de 4 hilos: -14 dBm
Nivel de recepción máxima	canal de 2 hilos: +1 dBm canal de 4 hilos: +4 dBm

b) Interface de señalización de 64Kb/s entre los multiplexers VF y SIG

Datos de señalización	código NRZ
Reloj de 64 KHz	código NRZ

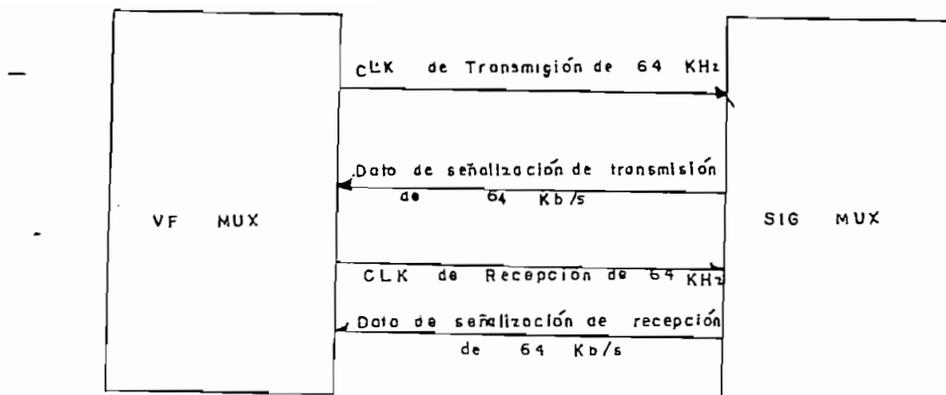
c) Alimentación -43 a -66 V DC

El flujo de señales entre el VF mux y el SIG mux que constituyen el equipo terminal, es de la forma indicada en la figura 2.4

La estructura de la trama y multitrama, se la muestra en la figura 2.5

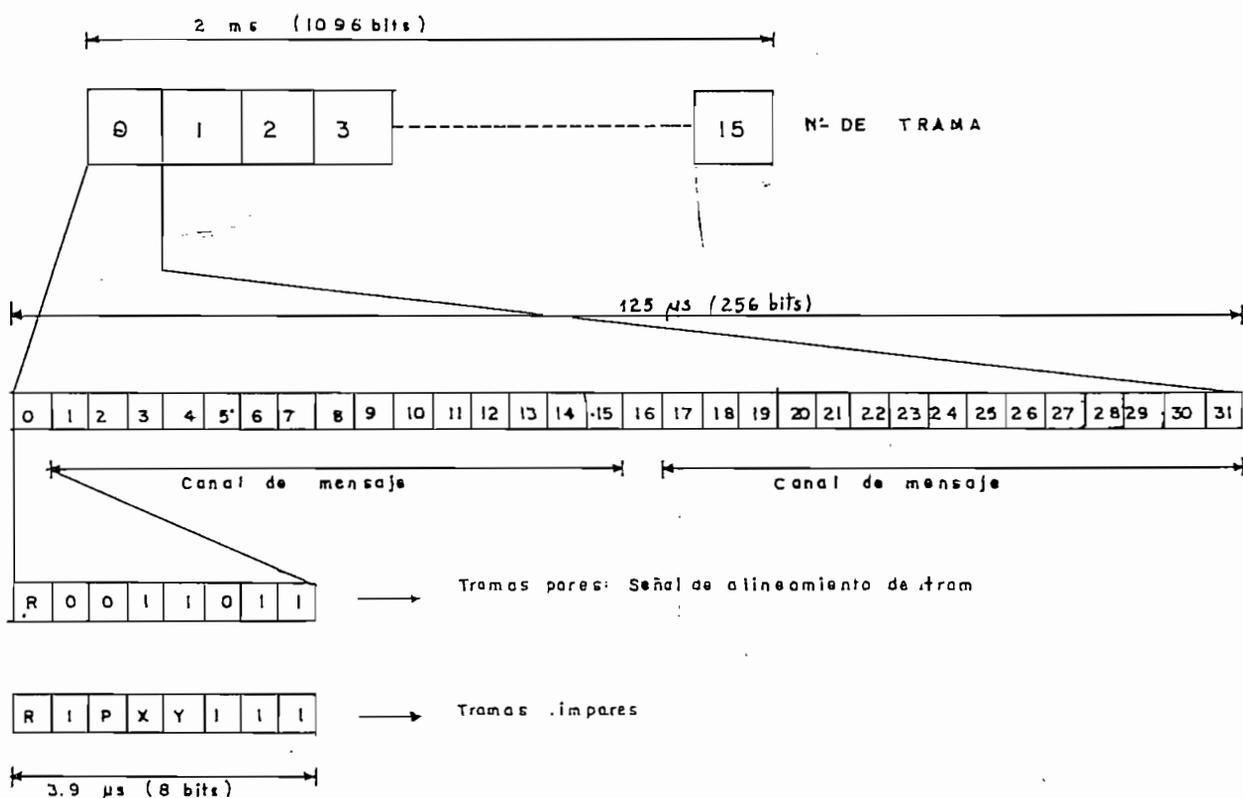
Los intervalos de tiempo del 1 al 15 y del 17 al 31 están asignados para canal de mensaje.

El intervalo de tiempo 1 se usa para la señal de



FLUJO DE SEÑALES ENTRE EL VF. MUX Y EL SIG MUX

FIG. 2.4



ESTRUCTURA DE LA TRAMA Y MULTITRAMA DEL SISTEMA PMC 30

FIG. 2.5

alineamiento de trama o para transmisión de alarma remota.

El intervalo de tiempo 16 es asignado para canal de señalización común o para canal de señalización asociado.

R : reserva internacional; 1 cuando no se usa, 0 cuando se usa.

F : se utiliza para transmisión de alarma remota.

NORMAL: 0 ALARMA: 1

xy: asignado para señal de bucle remoto de 2 Mb/s

OFF: 11 ON: 00

La asignación del intervalo de tiempo de canal 16, conforme a las recomendaciones del CCITT es la siguiente:

Intervalo de tiempo del canal 16 de la trama 0		Intervalo de tiempo de canal 16 de la trama 1		Intervalo de tiempo de canal 16 de la trama 2		Intervalo de tiempo de canal 16 de la trama 15	
0000	I A II	Canal 1	canal 17	canal 2	canal 18	canal 15	canal 31

0000 : Palabra de alineación de multitrama

A : Se usa para transmisión de alarma remota de

pérdida de alineamiento de multitrama (normal: 0;
 alarma: 1)

TRAYECTORIA DE LA SENAL PRINCIPAL.-

En el paso de la transmisión, la información de señalización y la señal de conversación se aplican en el ensamblaje terminal de cables (TRM). Hasta 30 señales de conversación se alimentan al MUX VF, mediante el SIG MUX, son multiplexadas por división en el tiempo, para generar una señal digital PCM de 2 Mb/s, tal cual se observa en la figura 2.6

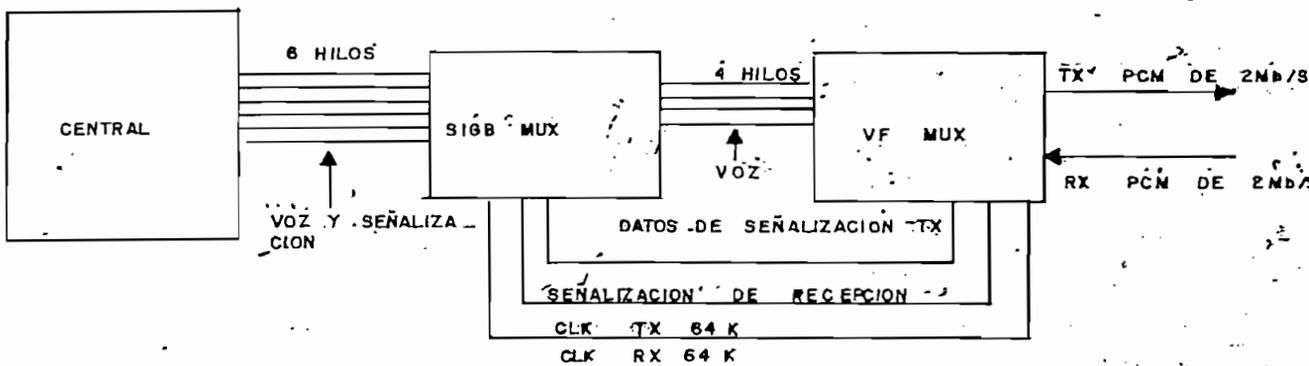


DIAGRAMA DE INTERCONEXION DE LA SENAL PRINCIPAL
 EN EL TERMINAL DEL EQUIPO PCM - 30

Fig 2.6

La información de señalización que envía la central (tono de marcar, tono de ocupado, canal libre, etc), se convierte en un código digital en el SIG MUX. Hasta 30 canales de información de señalización son multiplexados formando un tren de pulsos de 64 Kb/s que se envía al VF MUX para que sea insertado en el intervalo de tiempo 16 de la trama PCM.

La señal de 2 Mb/s será enviada desde el VF MUX a la línea de transmisión, o al multiplex de 2/8 Mb/s. El paso de recepción funciona en forma inversa.

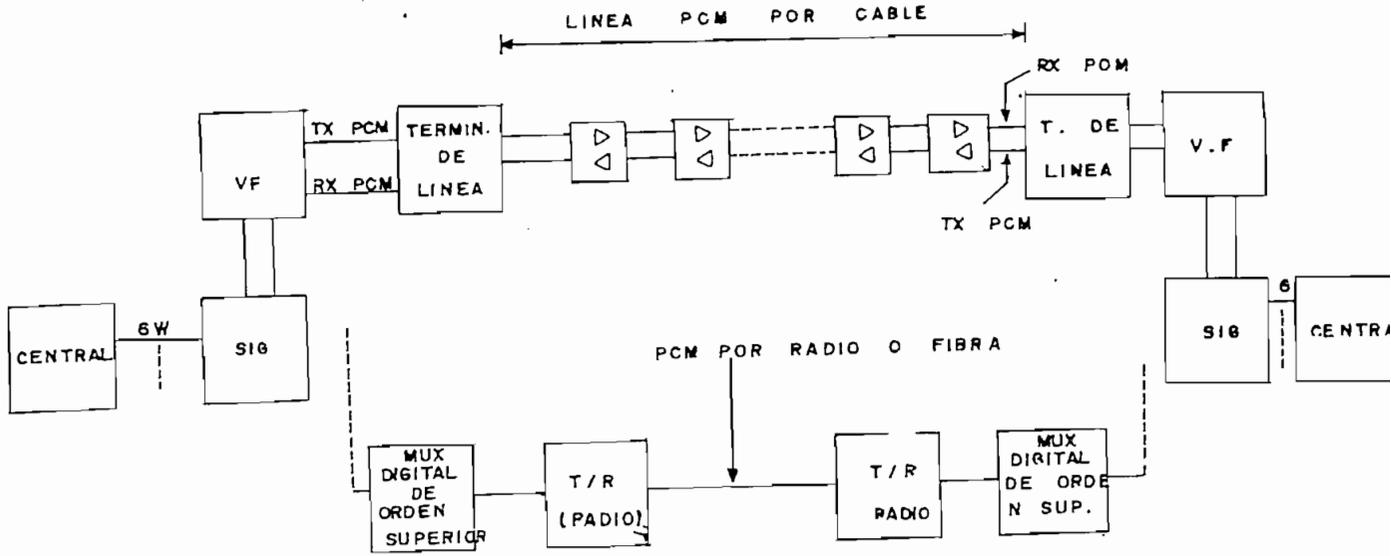
2.2.1.- MULTIPLEXER VF.-

Multiplexa señales de voz desde 30 canales telefónicos y una señal de central de conmutación de 64 Kb/s, desde el multiplex SIG en una señal MIC (modulada en código de pulso) de 2.048 Mb/s; esta señal se puede transmitir por cable o para posterior multiplexado.

La configuración típica del sistema PCM-30 que usa este multiplexer, se indica en la figura 2.7

El multiplexer de la NEC, (VF N 5700), es un bloque que consta de 5 unidades comunes y de hasta 10 unidades de canal: cada unidad de canal contiene 3 unidades de abonado. Su estructura se observa en la figura 2.8

Funcionamiento:



CONFIGURACION TIPICA DEL SISTEMA PCM - 30

Fig 2.7

1	
2	1 UNIDAD DE ALIMENTACION
2	2.- UNIDAD DE CANAL
2	
2	3.- UNIDAD DE CONTROL DE TRANSMISION
2	
2	4.- UNIDAD DE INTERFACE
2	
2	5.- UNIDAD DE CONTROL DE RECEPCION
2	
2	6.- UNIDAD DE ALARMA
2	
3	
4	
5	
6	

ESTRUCTURA DEL MULTIPLEXER VF

Fig 2.8

Un diagrama de bloques del multiplexer VF se aprecia en la figura 2.9

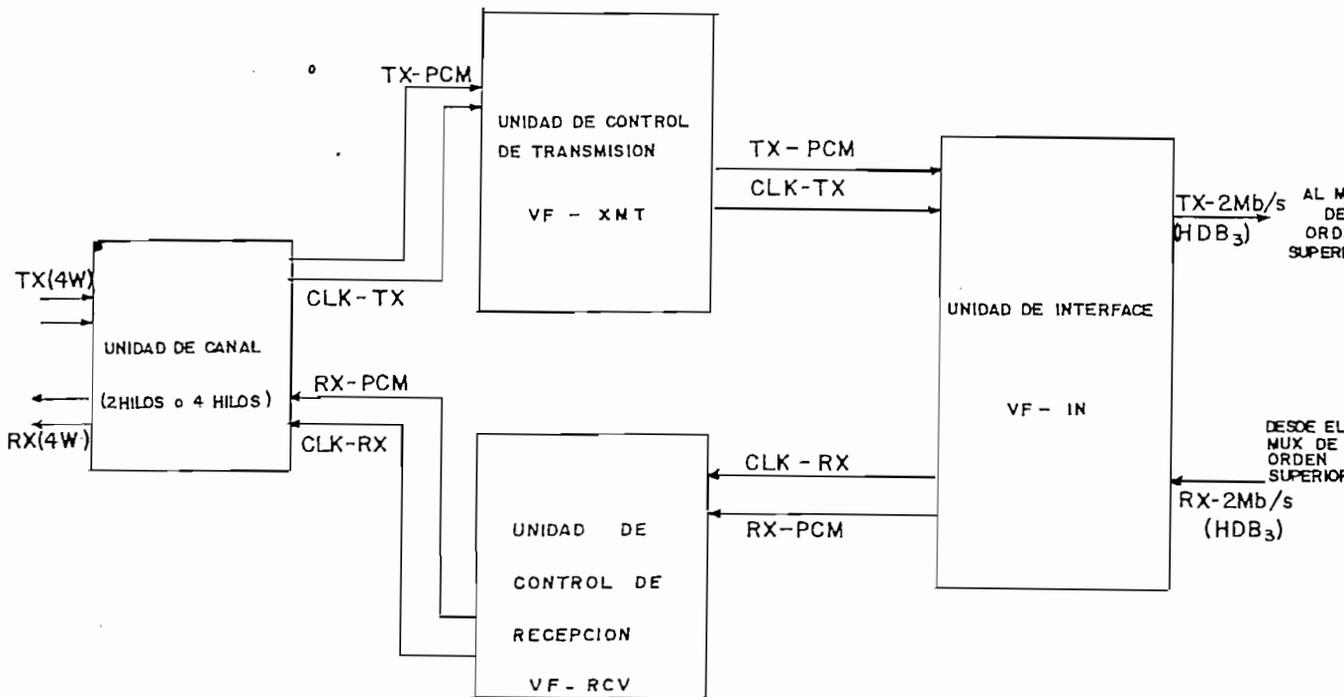


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MULTIPLEXER VF

FIG. 2.9

a) Transmisión.-

En la unidad de canal, la señal de voz que se aplica en la entrada (2 hilos o 4 hilos), es atenuada, pasa por un filtro pasabajos y es codificada en 8 bits (MIC). En la unidad de control de transmisión (VF XMT), se genera la señal de alineamiento de trama, se estructura la trama y

se controla la información de señalización entrante desde el multiplexer de señalización.

En la unidad de interface (VF IN), la señal PCM es convertida en señal bipolar mediante un codificador HDB3 y se envía a la línea PCM o al multiplex de orden superior.

b) Recepción.-

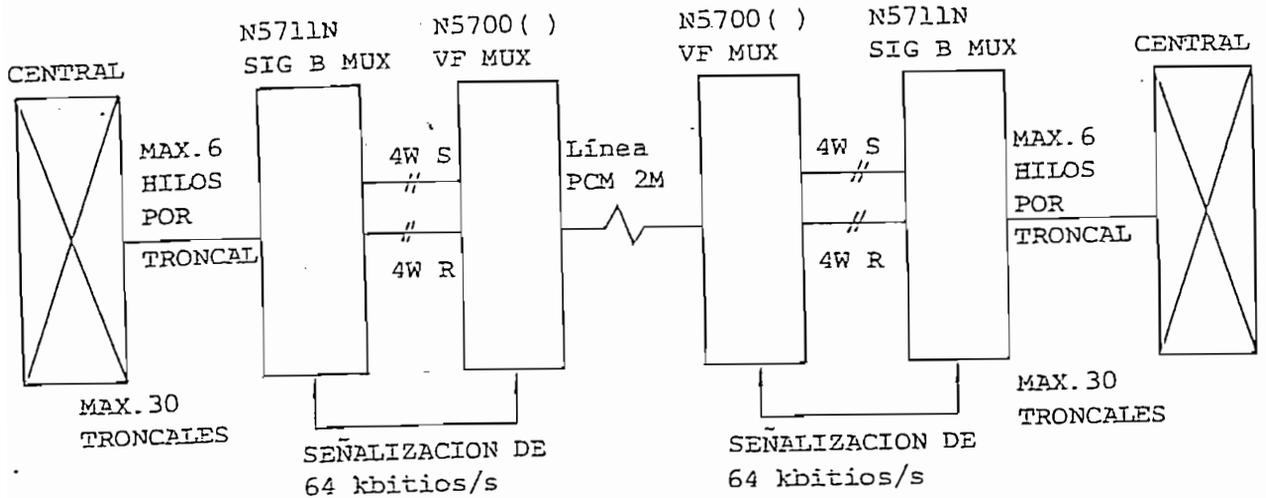
La señal bipolar llega desde la línea o desde el multiplex de orden superior a la unidad de interface, es decodificada (por el decodificador HDB3), convertida en unipolar (NRZ) y se extrae la señal de reloj.

La señal PCM y la señal del reloj son enviadas a la unidad de control de recepción (VF RCV), para su demultiplexación. Primero el lado de recepción es sincronizado con la señal PCM, detectando la señal de alineamiento de trama contenido en el flujo PCM; luego, se generan las señales de control requeridas por el lado de recepción y la señal resultante es enviada a las unidades de canal; en éstas, se decodifican los 8 bits correspondientes de cada canal mediante un decodificador en (PAM) y se filtran con un filtro pasabajos para obtener la señal analógica original.

Si la unidad de canal es de 2 hilos, se requiere un híbrido.

2.2.2.- MULTIPLEXER DE SENALIZACION.- (SIG)

El multiplexer de señalización de la NEC, (SIGB N5711 N) convierte la información de señalización de 30 canales en códigos digitales y los multiplexa en un flujo de datos de 64 Kb/s, y viceversa. La configuración típica del sistema es la que se aprecia en la figura 2.10



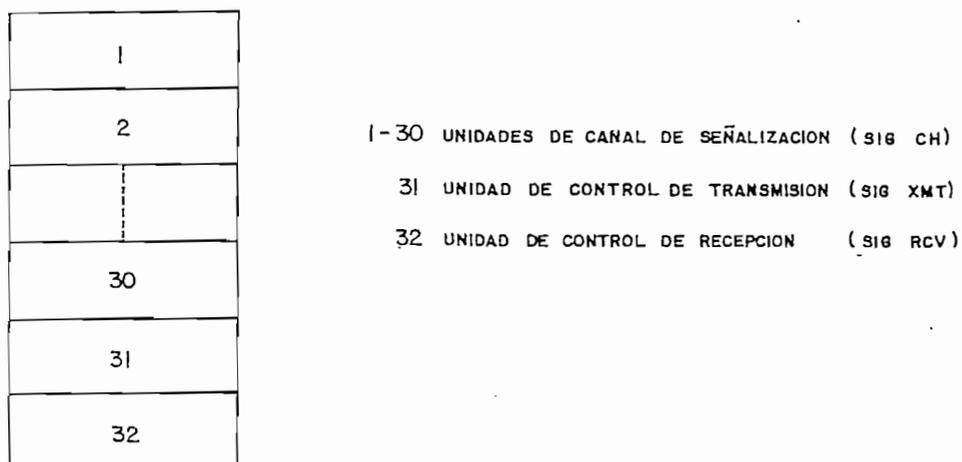
UBICACION DEL MULTIPLEXER DE SEÑALIZACION, SIG B, DENTRO DEL SISTEMA P C M

FIG. 2.10

Este multiplexer contiene dos unidades comunes: una unidad de control de transmisión (SIG XMT) y una unidad de control de recepción (SIG RCV) y treinta unidades de

canal de señalización (SIG CH). Las unidades de canal de señalización se seleccionan dependiendo del tipo de señalización utilizado por la central con la que se va a conectar: señalización E/M o señalización en bucle.

La estructura de este equipo , se la observa en la figura 2.11



ESTRUCTURA DEL MULTIPLEXER DE SEÑALIZACION

FIG. 2.11

a) Transmisión.-

La señal de voz recibida desde la central de conmutación pasa por la unidad de canal de señalización (SIG CH) y es enviada a la unidad de canal (VF CH) del multiplex de frecuencia vocal.

La información de señalización desde la central es detectada por la unidad (SIG CH), convertida en un código digital de 2 bits, para obtenerse el flujo de datos de señalización de 64 Kb/s en (SIG XMT). El patrón de alineamiento de multitrama (0000) y el bit de información de alarma remoto (A), se insertan en sus posiciones correspondientes en el intervalo de tiempo 16, de la trama 0.

b) Recepción.-

El flujo de datos de 64 Kb/s procedente del multiplexer (VF), es recibido por la unidad de control de recepción (SIG RCV), detectándose el patrón de sincronización de multitrama (0000). La unidad de canal decodifica los dos bits de señalización en la señal apropiada para enviarla a la central.

c) Alimentación.-

Las unidades (SIG XMT) y (SIG RCV) reciben la alimentación de : -24 V, -10V y -5 V de corriente continua, mientras que las unidades de canal reciben estas tensiones además de -48 V.

d) Alarmas.-

Los bits de alarma y cualquier mal funcionamiento se detectan en la unidad (SIG XMT) o en la unidad (SIG

RCV); la información de alarma se envía a las unidades (SIG CH) y al (VF MUX). La unidad de canal de señalización, (SIG CH), transmite una señal de bloqueo a la central para evitar que un canal específico sea capturado por un nuevo abonado.

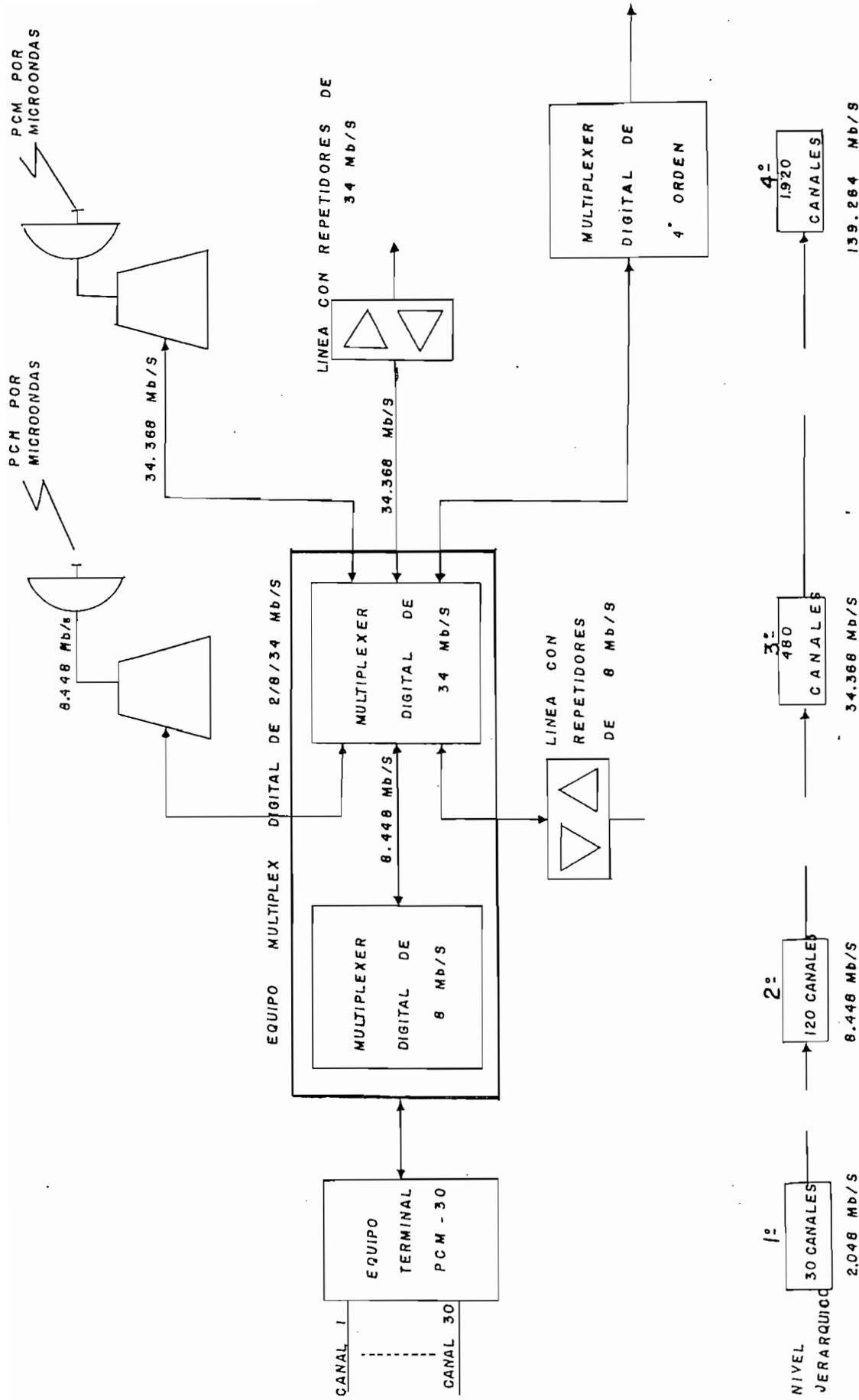
Las alarmas pueden darse por: falla en el circuito de reloj de transmisión, pérdida del reloj de recepción, falla de sincronización, pérdida de datos, etc.

2.3.- EQUIPO MULTIPLEX DE 2/8/34 Mb/s.-

El equipo multiplexer digital de 2/8/34 Mb/s de la NEC (N 8484A), multiplexa 16 señales digitales de 2048 Kb/s, o cuatro señales digitales de 8448 Kb/s, de acuerdo con las normas del CCITT en una señal digital de 34368 Kb/s en el lado de transmisión, y demultiplexa una señal digital de 34368 Kb/s en 16 señales digitales de 2048 Kb/s, en el lado de recepción.

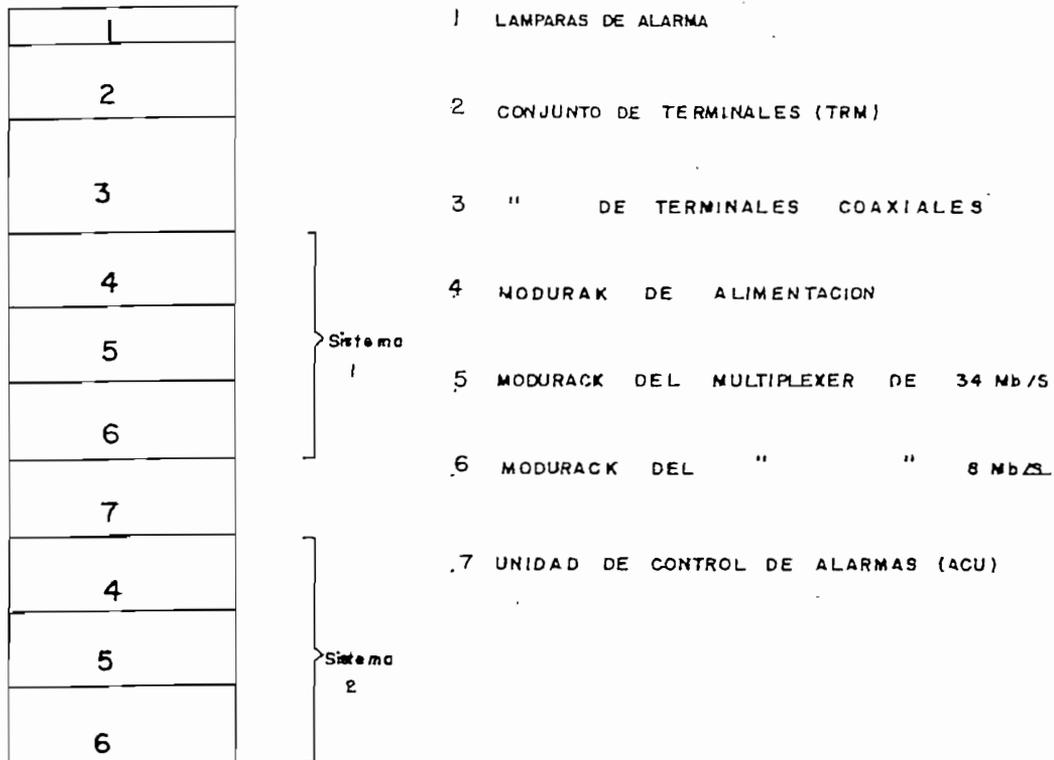
En la figura 2.12 se muestra la aplicación típica de este equipo y la jerarquía digital.

El equipo está constituido por un bastidor que tiene: dos moduracks multiplexers digitales de 34 Mb/s (N 8585A); dos moduracks multiplexers digitales de 8Mb/s (N 8586A), dos moduracks de alimentación, un conjunto de terminales multipar (TRM), para la entrada de alimentación y un conjunto de terminales coaxiales (COAX TRM), para los cables procedentes o destinados a los



APLICACION TIPICA DEL EQUIPO MULTIPLEXER DIGITAL DE 2/8/34 Mb/S
EN UN SISTEMA PCM - 30

multiplexers. Su estructura se la aprecia en la figura 2.13



EQUIPO MULTIPLEXER DIGITAL 2/8/34 Mb/S

FIG. 2.13

La unidad de control de alarmas (ACU), es común a los dos sistemas y dispone de un interruptor que desconecta el timbre de alarma y un interruptor de prueba de emisión de alarma.

Las interfaces de : 2048 Kb/s, 8448 Kb/s y 34368 Kb/s están diseñadas de acuerdo a la Recomendación G.703 del

CCITT y el código de línea utilizado es el HDB3.

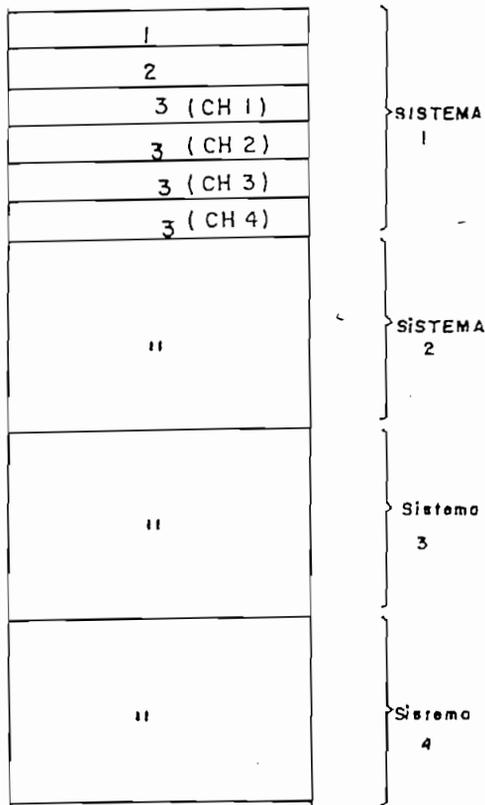
Modurack: Un modurack es un subsistema funcional en sí mismo y va montado en un bastidor de equipos; consta de una cabina y varias tarjetas. Hay dos tipos: uno es modurack tipo enchufable, que se conecta al bastidor mediante conectores ubicados en la parte posterior, y el otro es un modurack que va fijo.

2.3.1.- MODURACK MULTIPLEXER DIGITAL DE 8Mb/s.-

Este modurack acomoda 4 sistemas multiplexer/demultiplexer de 8 Mb/s; cada uno de los cuales, se compone de hasta cuatro unidades de canal de 2Mb/s (2 M CH), una unidad multiplexer de 8 Mb/s (8M MPX) y una unidad demultiplexer de 8 Mb/s (8 M DMPX), según la estructura mostrada en la figura 2.14.

Cada sistema recibe 4 señales digitales de 2048 Kb/s procedentes de las salidas del multiplexer (VF) y las multiplexa en una sola señal unipolar de 8448 Kb/s; para ello, previamente decodifica el formato HDB3 en señal unipolar. El flujo de señales en el multiplexer de 8Mb/s, se observa en la figura 2.15

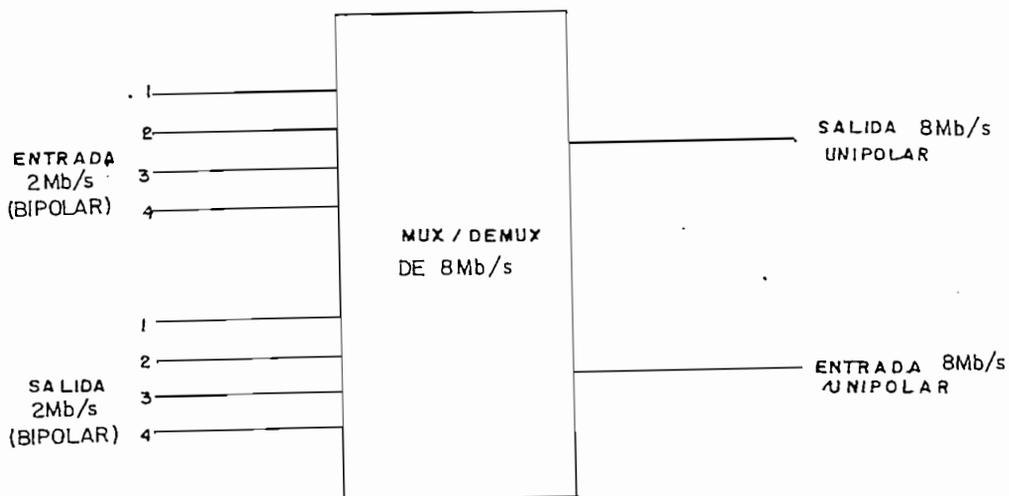
En el sentido de recepción se produce el proceso inverso al de transmisión. Desde el sistema multiplexer/demultiplexer de 34 Mb/s, se aplica una señal unipolar de 8448 Kb/s y las demultiplica en cuatro señales bipolares codificadas en HDB3 de 2048 Kb/s.



- 1 : UNIDAD MUX. DE 8 Mb/s
(8M MPX)
- 2 : " DEMULTIPLERXER DE 8 Mb/s
(8M DMPX)
- 3 : " DE CANAL DE 2 Mb/s

MODURACK DEL MULTIPLEXER DIGITAL DE 8 Mb/s .

FIG. 2.14

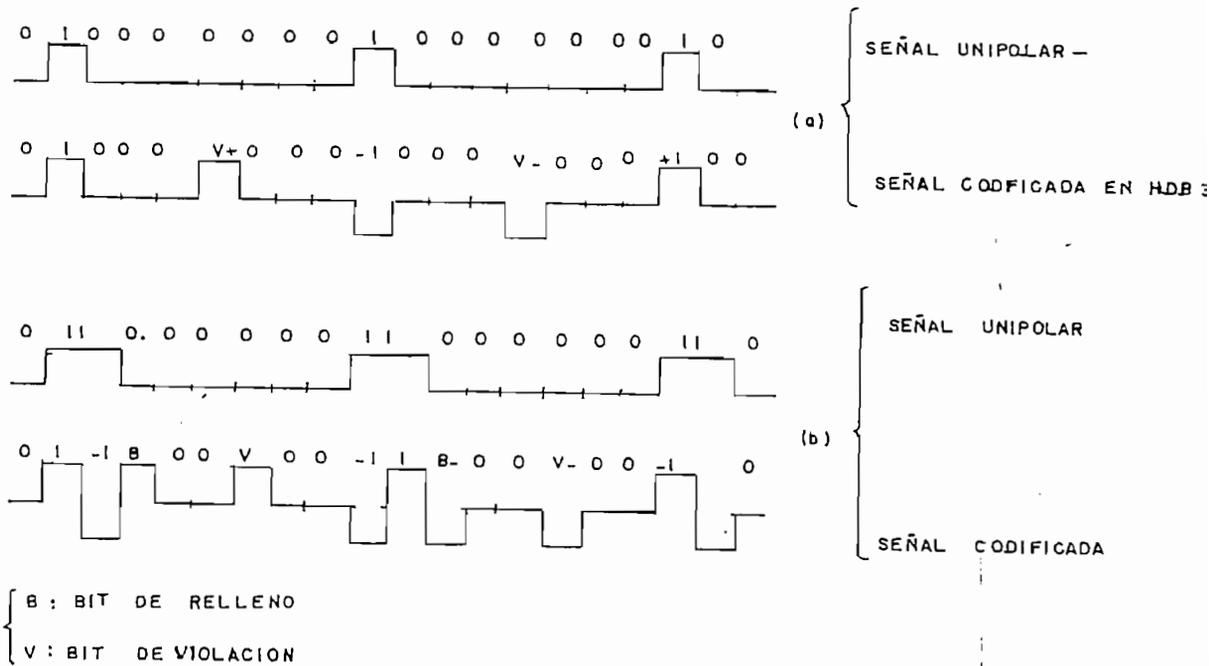


FLUJO DE SEÑALES EN EL MUX / DEMUX DE 8 Mb/s

FIG 2.15

El fundamento de los códigos de línea usados en transmisión digital se explican con mayor detalle en el anexo 1.

Dos ejemplos de conversión de señal unipolar en código HDB3, se aprecian en la figura 2.16



EJEMPLO DE CONVERSION DE SEÑAL UNIPOLAR A CODIGO HDB 3

FIG. 2.16'

2.3.2.- MODURACK MULTIPLEXER DIGITAL DE 34 Mb/s.-

Este equipo acomoda un multiplexor/demultiplexor de 34 Mb/s, el cual está compuesto por seis unidades: una unidad multiplexer de 34 Mb/s (34 M MPX), una unidad demultiplexer de 34 Mb/s (34 M DMPX), una unidad de interface de transmisión de 34 Mb/s (34 M XMT INF), una unidad de interface de recepción de 34 Mb/s (34 M RCV INF), una unidad sincronizadora (34 M SYNC) y una unidad de alarmas. Su estructura se muestra en la figura 2.17

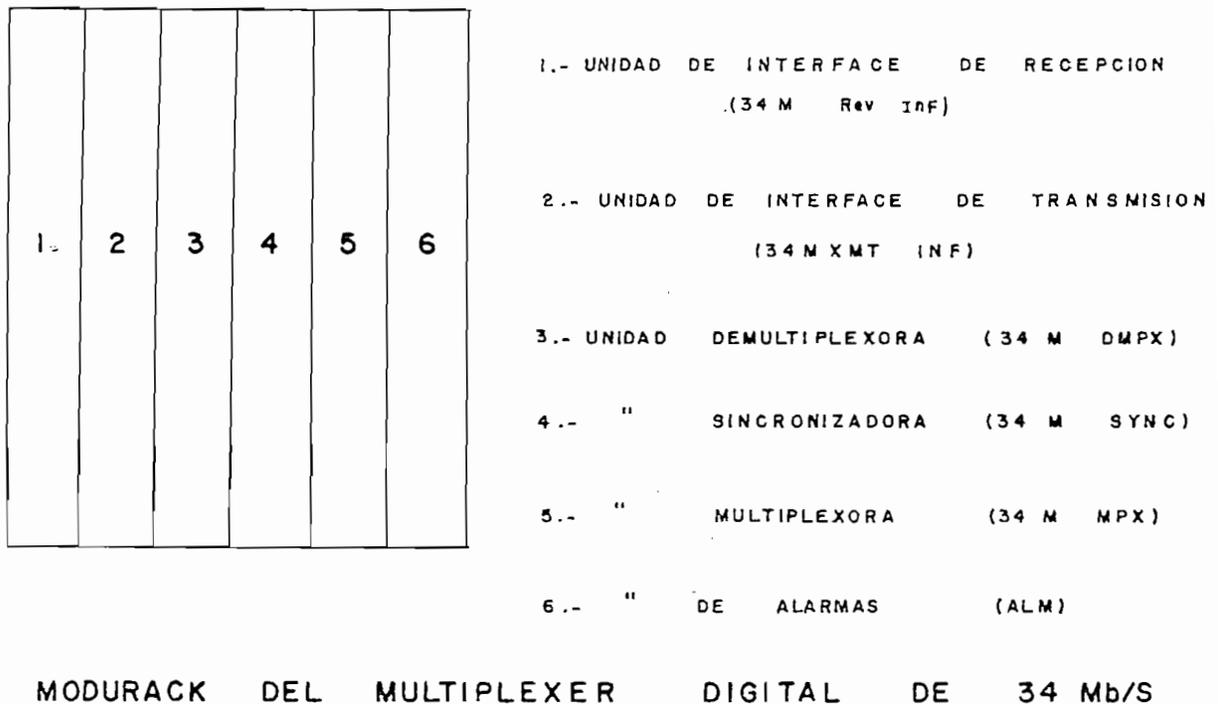


Fig 2.17

Funcionamiento:

El diagrama de bloques del sistema multiplexor digital

de 34 Mb/s. se observa en la figura 2.18:

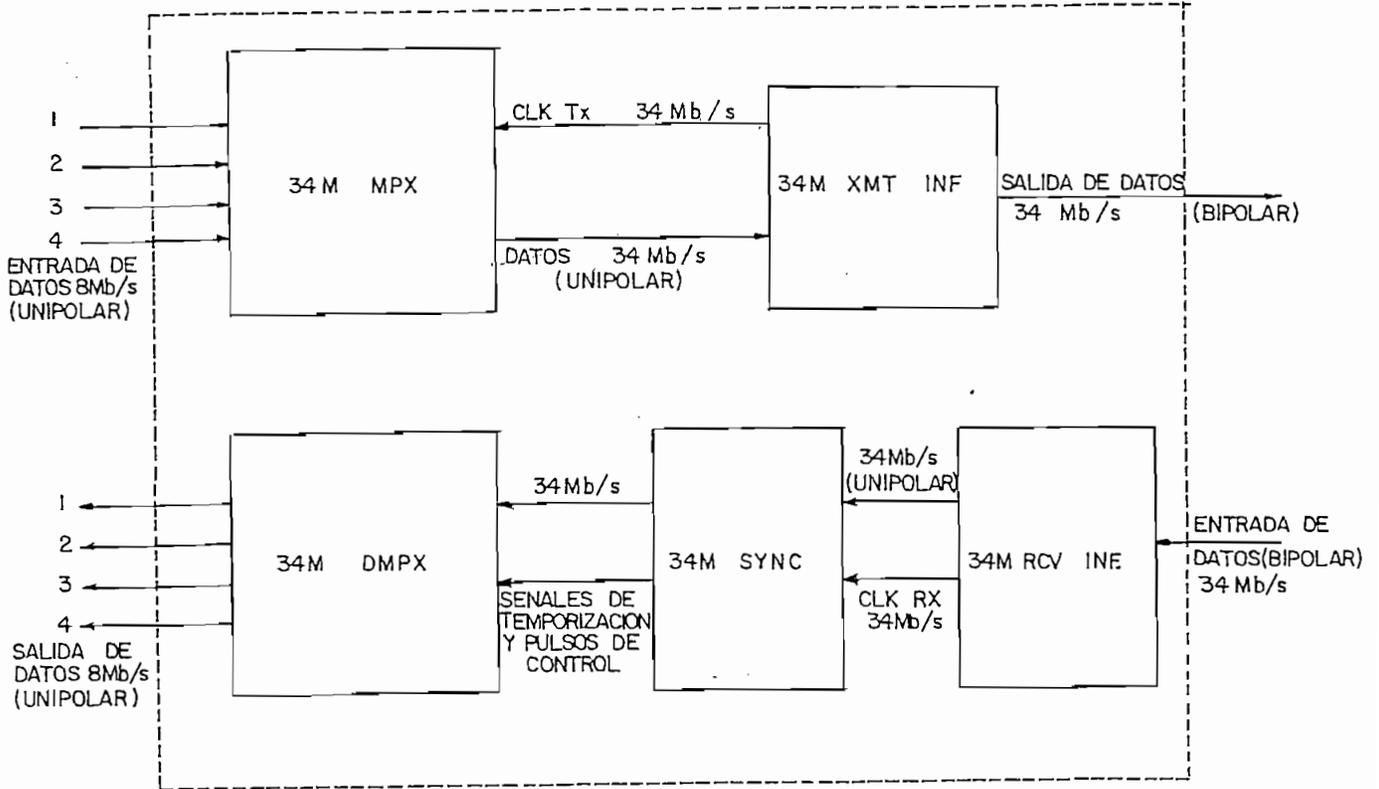


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MULTIPLEXER DIGITAL DE 34 Mb/s

FIG. 2.18

En el sentido de transmisión el multiplexer/demultiplexer de 34 Mb/s recibe cuatro señales unipolares de 8 Mb/s procedentes de los multiplexers/demultiplexers de 8 Mb/s y las multiplexa en un solo tren de 34368 Kb/s.

Las señales de datos de 8 Mb/s se aplican en primer lugar en la unidad multiplexer (34 M MPX) donde se combinan con señales de control, tales como señal de

alineación de trama, señal de transmisión de alarmas, bit de reserva nacional, etc. La señal unipolar multiplexada resultante de 34368 Kb/s se envía a la unidad de interface de transmisión (34 M XMT INF), la cual se codifica en formato HDB3 y es enviada al multiplexer de cuarto orden.

En la unidad de interface de transmisión no solo se hace la codificación del código HDB3, sino que se genera el reloj de transmisión de 34 Mb/s mediante un oscilador de cristal, o bien puede emplearse un reloj externo de 34 Mb/s.

En el sentido de recepción ocurre la función inversa. El multiplexer/demultiplexer recibe una señal digital de 34368 Kb/s y la demultiplexa en cuatro trenes de pulsos de 8 Mb/s. La señal de entrada de datos de 34 Mb/s se aplica en primer lugar en la unidad de interface de recepción (34 RCV INF), donde se convierte en señal unipolar después de pasar a través de un amplificador con control automático de ganancia (AGC), que compensa las pérdidas en el cable coaxial de hasta 12 dB.

Esta unidad de interface también tiene un circuito extractor de reloj, que extrae el reloj de recepción (CLK RX de 34 Mb/s); también se hace la decodificación de HDB3 a unipolar. Las señales de datos resultantes de 34 Mb/s y el reloj se aplican a la unidad de sincronización (34 M SYNC).

La unidad de sincronización (34 M SYNC), detecta la señal de alineación de trama y obtiene la

sincronización: a partir del reloj de 34 Mb/s obtiene los pulsos de temporización y control requeridos para el demultiplexaje. En la unidad demultiplexer (34 M DMPX), la señal de datos de 34 Mb/s se demultiplexa en cuatro señales de 8 Mb/s las cuales se distribuyen en el multiplexer/demultiplexer de segundo orden.

Los circuitos de detección de alarma se encuentran en este modurack; las señales de alarma detectadas en el multiplexer de 34 Mb/s, en el multiplexer de 8 Mb/s o en el modurack de alimentación se concentran y procesan; como resultado de este proceso, se iluminan los LED del bastidor principal (N 8484 A) y se emitirán señales de alarma a la unidad de control de alarma, (ACU), y a las unidades de control de la estación.

Las señales de alarma se dan por pérdida en el reloj de transmisión de 34 Mb/s, pérdida de la señal bipolar saliente o entrante de 34 Mb/s, pérdida de sincronización, errores digitales excesivos que sobrepasan un umbral predeterminado (BER de 10^{-3} o 10^{-4}), averías en el multiplexer de orden superior, o en el modurack de alimentación. En todos los casos se ilumina un LED de alarma.

2.4.- EQUIPO MULTIFLEX DE 4to. ORDEN .- (140 Mb/s)

El equipo multiplex digital de cuarto orden (140 M FM 3A) de la NEC, es un multiplexer/demultiplexer que se instala en una estación de comunicaciones para transmitir cuatro señales de 34 Mb/s. La frecuencia del

reloj es de 140 Mb/s. Este multiplex digital, usa un circuito convertidor eléctrico-óptico en lugar de un circuito convertidor convencional unipolar/bipolar; esto posibilita, el uso de una fibra óptica que tiene características de bajas pérdidas y gran ancho de banda para la línea de transmisión.

Este equipo realiza dos funciones principales:

- a) Multiplexado y demultiplexado de cuatro señales de 34 Mb/s (480 canales de voz).
- b) Transmisión de señal de 140 Mb/s (1920 canales telefónicos) utilizando una fibra óptica como línea de transmisión sobre una distancia máxima de 10 Km.

El multiplex digital de cuarto orden consta de los cuatro moduracks siguientes:

- 1) Modurack del multiplex (140 M MUX)
- 2) Modurack del demultiplex (140 M DMUX)
- 3) Modurack del equipo de línea óptica (140 M OPT)
- 4) Modurack de alimentación (PWR).

Su estructura se aprecia en la figura 2.19

1	1	LAMPARAS DE ALARMAS
2	2	ENSAMBLES DE TERMINALES (TRM)
3	3	MODURACK DE ALIMENTACION (PWR)
4	4	ENSAMBLE DE FUSIBLES
5	5	MODURACK DEL DEMULTIPLEXER (140 M DMUX)
6	6	UNIDAD DE CONTROL DE ALARMAS
7	7	ENSAMBLE DE ENLACE U (U-LINK)
8	8	MODURACK DEL MULTIPLEXER (140M MUX)
9	9	MODURACK OPTICO (140.M OPT)

ESTRUCTURA DEL MULTIPLEXER DIGITAL DE CUARTO ORDEN

FIG. 2.19

Además consta de ensamble de terminales (TRM), que contiene: adaptadores ópticos para conectar el cable de fibra, conectores de cable coaxial y conectores de alimentación; un ensamble de fusibles; un ensamble de (ENLACE-U) coaxiales, para monitorear las señales de 34 Mb/s y una unidad de control de alarmas (ACU) que recibe señales de alarma de cada modurack y las envía como indicadores de alarma de la estación. La parte superior del bastidor va provisto de LEDS rojos y amarillos, para indicación de mantenimiento urgente o diferido, respectivamente.

Funcionamiento:

El diagrama de bloques del multiplex digital de 140 Mb/s

se aprecia en la figura 2.20

En el lado de transmisión se envían cuatro señales en código HDB3 de 34 Mb/s mediante el enlace-U al multiplexer, en el cual, se almacenan en los circuitos de memoria (MEM S1 a S4) y se leen en el circuito multiplexer mediante la señal del reloj de 140 MHz.

La señal binaria de 140 Mb/s obtenida a la salida del multiplexer y la señal de reloj, se conectan al modurack óptico mediante enlace-u coaxial.

En el circuito de control del modurack óptico, las señales procedentes del multiplex se conectan directamente al convertidor eléctrico/óptico, cuando el sistema está en modo de operación normal. La salida óptica obtenida en el conversor que contiene el diodo láser, es conducida desde un conector óptico a la fibra.

En el lado de la recepción, la señal óptica débil que es transmitida sobre el cable de línea óptica y que es recibida por el adaptador óptico de la parte superior del bastidor, es conducido al conversor óptico/eléctrico existente en el modurack óptico mediante un cordón de fibra óptica.

La señal convertida en señal eléctrica mediante el detector óptico que es un fotodiodo de avalancha (APD Si) y es regenerada a una señal digital, la cual, conjuntamente con el reloj extraído de 140 MHz se conectan al circuito de control (CONT) del modurack

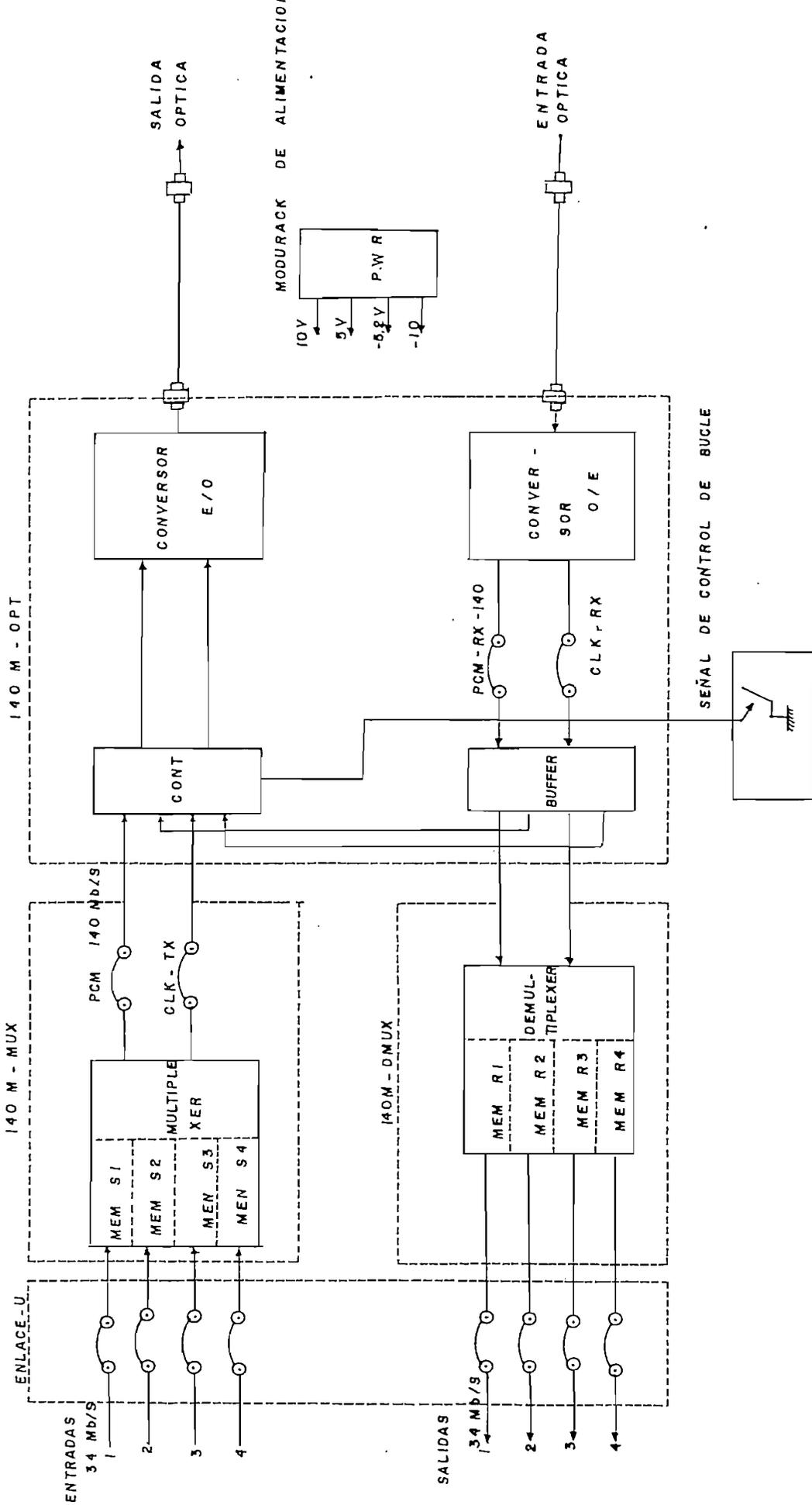


DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL DEL MULTIPLEXER DIGITAL DE 140 Mb/S MODO OPTICO

Fig 2,20

optico mediante el enlace-u coaxial.

En operación normal la señal de salida del conversor óptico/electrico y la de reloj se conectan directamente al DMUX que multiplexa en cuatro señales de 34 Mb/s utilizando los circuitos de memoria (MEM R1 a R4). La señal es codificada a HDB3 para acoplamiento de la interface con el sistema de tercer orden.

En el sistema de bucle, cuando se aplica tierra al control (CONT), del equipo óptico, la señal binaria regenerada en el conversor optico/eléctrico y la señal de reloj extraída, se conectan al conversor eléctrico/optico mediante el enlace-u coaxial.

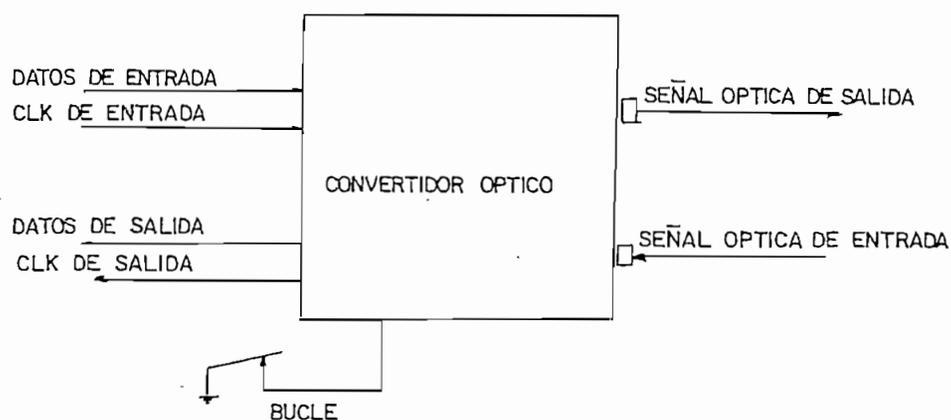
El multiplexer queda eléctricamente separado del modurack optico y éste hace las veces de un repetidor optico.

2.5.- EQUIPO TERMINAL DE LINEA OPTICO DE 140 Mb/s.-

Este equipo de la NEC, (140 M N8004 A) , convierte una señal eléctrica en una señal óptica y viceversa. Es un modurack insertado en el bastidor del multiplex digital de 140 Mb/s; las conexiones ópticas se realizan usando conectores ópticos.

Básicamente está constituido de una unidad convertora optica que consta de dos partes: el convertidor eléctrico/óptico y el convertidor optico eléctrico, como

se lo indica en la figura 2.21



CONVERTIDOR OPTICO

FIG. 2.21

Si no se aplica potencial de tierra (BUCLE), el dato y reloj procedentes del multiplexer se convierten mediante el conversor eléctrico/óptico en señal óptica, enrutada al cordón de fibra óptica del bastidor y enviada al ensamble de cables en la parte superior del bastidor; la señal óptica recibida mediante fibra óptica como línea de transmisión, se transforma mediante el conversor óptico/eléctrico en señal eléctrica, el dato y el reloj se envían al demultiplexer.

Si se aplica potencial de tierra, la señal eléctrica que procede del conversor óptico/eléctrico, se envía al conversor eléctrico/óptico y se manda a la línea de transmisión (BUCLE).

2.5.1.- CONVERSION ELECTRICO/OPTICO.-

El conversor eléctrico/óptico consta de los siguientes circuitos:

- a) Circuito de control de modalidad
- b) Convertidor NRZ/RZ
- c) Exitador del diodo láser
- d) Circuito de alarmas
- e) Monitor de polarización de láser.

Un diagrama de bloques se observa en la figura 2.22.

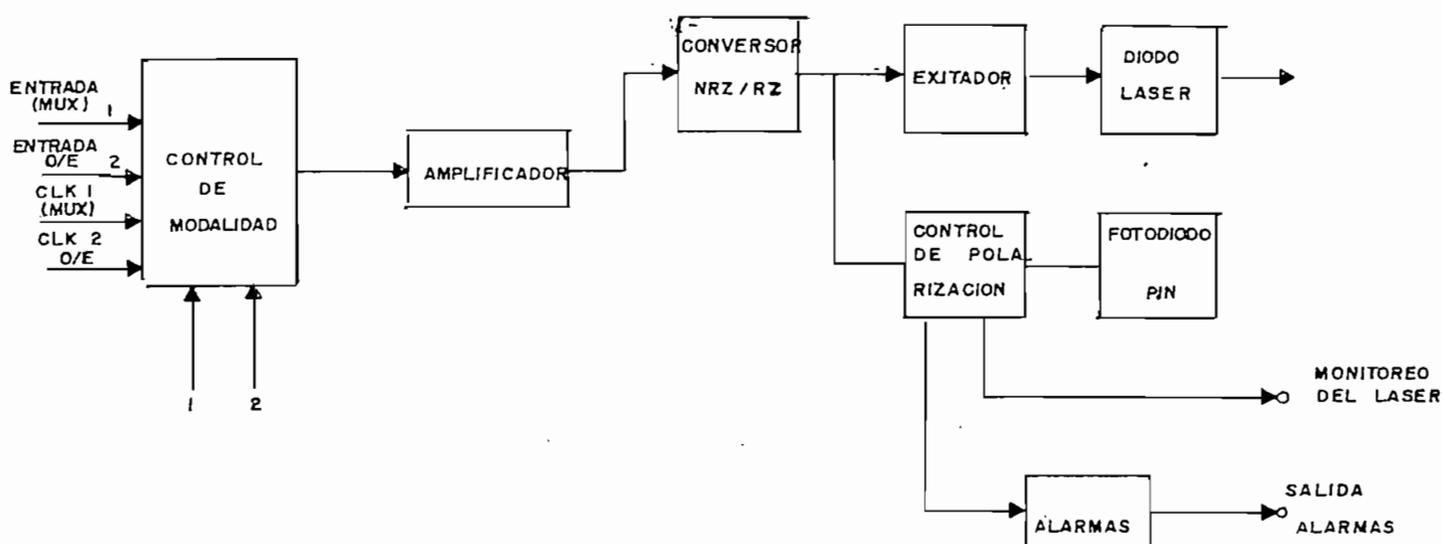


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONVERSION (E/O)
ELECTRICO OPTICO

a) Circuito de control de modalidad.-

El circuito selecciona dos modalidades de operación: en la primera modalidad, la señal eléctrica (dato y reloj) procedentes del multiplexer de 140 Mb/s se alimenta al conversor NRZ y la señal eléctrica procedente del conversor óptico/eléctrico es inhabilitada. En la segunda modalidad (bucle), la señal eléctrica que procede del multiplexer es inhabilitada y la señal eléctrica que viene del conversor óptico/eléctrico, es alimentada al NRZ/RZ.

b) Conversor NRZ/RZ.-

Este circuito, convierte la señal de dato de NRZ a señal de dato de RZ 50%, que excita el diodo láser. La conversión de código se explica en el anexo 1.

c) Excitador del láser.-

Genera un pulso de corriente RZ desde el pulso de salida del conversor NRZ/RZ, el cual se aplica, al diodo laser junto a una corriente de polarización DC. Si la corriente de pulso RZ y la corriente DC se mantienen constantes, la potencia óptica varía con la temperatura; para mantenerla constante, está el circuito de control automático de potencia (APC) que consta de un diodo PIN y de un circuito controlador de polarización.

El diodo PIN detecta el nivel de potencia óptica y el

circuito controlador ajusta la corriente de polarización DC, de modo que, compensa la diferencia entre el nivel detectado y el nivel standar de salida óptica; de este modo, la potencia de salida óptica del diodo láser se puede mantener constante .

d) Circuito de alarma.-

Hay dos tipos de alarmas: la alarma SOUT y la alarma LD BIAS. La alarma SOUT, indica la caída del nivel de salida óptica de unos -12 dBm o menos y se detecta monitoreando la salida del fotodiodo PIN en el circuito de control automático de potencia, iluminándose una lámpara roja.

La alarma LD BIAS indica un aumento en la corriente de polarización de láser, sobrepasando el valor límite de 160 o 170 mA; se ilumina una lámpara amarilla, indicando que se ha deteriorado el láser.

e) Monitoreo de polarización del láser.-

El circuito controlador de polarización del láser, da salida a una señal de monitoreo, que muestra el estado de suministro de corriente DC al láser, por medio de un terminal de comprobación denominado "LD BIAS MON". La tensión se puede monitorear con un voltímetro .

2.5.2.- CONVERTOR OPTICO/ELECTRICO.-

El conversor óptico /eléctrico consta de un circuito de control automático de ganancia y de un circuito extractor de temporización, como se muestra en el siguiente diagrama de bloques de la figura 2.23

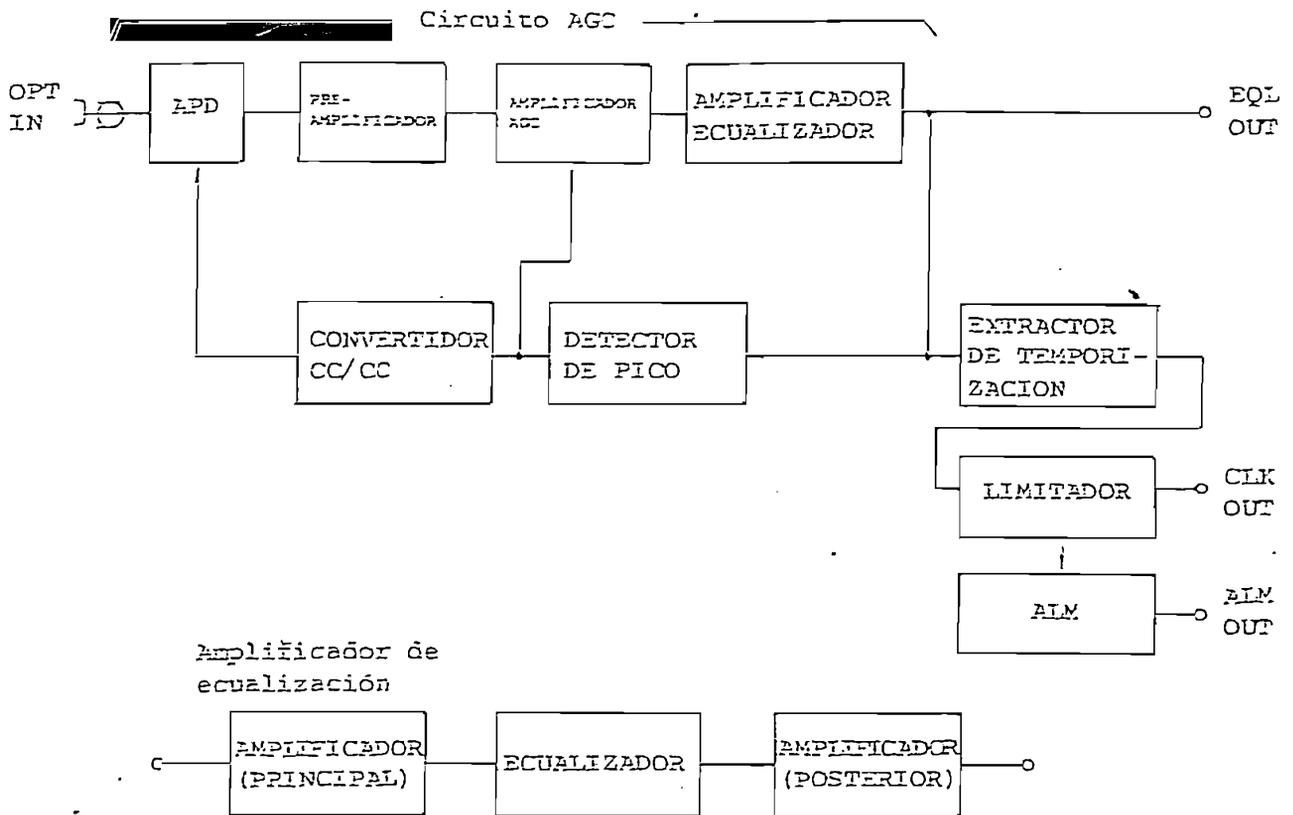


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONVERSOR OPTICO/ELECTRICO

FIG. 2.23

a) Circuito de control automático de ganancia (AGC).-

El circuito de (AGC), consta de un fotodiodo de avalancha (APD), de un preamplificador, de un amplificador de AGC, de un amplificador ecualizador. de un convertor DC/DC y de un detector de pico. La señal óptica recibida se detecta por un APD y es convertida a señal eléctrica; para que el APD tenga el factor de multiplicación necesario, se requiere de una tensión alta, la cual se obtiene convirtiendo una tensión de +6V a 200 V, que proporciona el convertidor DC/DC.

El circuito de control automático de ganancia, cambia el factor de multiplicación del APD a la ganancia del amplificador AGC, dependiendo del nivel de entrada óptico; este posibilita, la obtención de una gama dinámica de entrada de unos 20 dB en la potencia óptica. A la salida del ecualizador, se obtiene una forma de onda de amplitud constante.

b) Circuito extractor de temporización.-

Este circuito extrae las componentes de temporización, desde las señales recibidas que han sido amplificadas y ecualizadas; el circuito limitador cambia la señal de reloj procedente del extractor de temporización a un cierto nivel constante.

El circuito de alarmas detecta e indica la caída del nivel de potencia óptica recibida; si disminuye el nivel

de la señal óptica recibida, cae el nivel del componente de temporización y el circuito inicia una alarma, iluminándose un LED rojo (con etiqueta RIN).

Por otra parte el modurack de alimentación (N6971) de la NEC del bastidor provee tensiones de salida de +10V, +5V, -5.2V y -10V a partir de entradas de: -36V a -72V de corriente continua.

Además, el sistema de transmisión de fibra óptica tiene un conmutador de protección, ubicado entre el multiplexer de 2/8/34 Mb/s y el multiplexer de cuarto orden; este equipo ejecuta la conmutación de las líneas digitales de 34.368 Mb/s, a líneas de reserva para proteger el servicio contra una interrupción; esto ocurre automáticamente, mediante una señal de control de conmutación, cuando se detecta una avería en el multiplexer de 140 Mb/s o en una línea de fibra óptica.

2.5.3.- ANALISIS DE LOS PARAMETROS.-

Los criterios de diseño de un sistema que utilice fibra óptica como medio de transmisión, consideran dos aspectos fundamentales que limitan la distancia máxima entre regeneradores o entre transmisor y receptor, si no se va a usar repetidores. Estos son: la atenuación máxima permisible y el factor de mérito de la fibra, esto es, el producto de ancho de banda por distancia.

El análisis de la selección de los parámetros y dimensionamiento del sistema, se lo hará con más detalle en el capítulo 3.

Considerando las características de los componentes y

los factores de atenuación, dispersión y ancho de banda de las fibras, se tiene el siguiente cuadro que determina la selección de los componentes en un sistema:

	Banda angosta		Banda ancha	
	Enlace corto	Enlace largo	Enlace corto	Enlace largo
Emisor	LED	LED/LD	LD	LD
Fibra	MM-IE	MM-IG	MM-IG	SM
	MM-IG		SM	
Receptor	PIN	PIN/APD	PIN/APD	PIN/APD

Siendo:

MM-IE: Fibra multimodo, índice escalonado

MM-IG: Fibra multimodo, índice gradual

SM : Fibra monomodo

Se considera banda angosta cuando la velocidad de transmisión es $\leq 10\text{Mb/s}$ y banda ancha cuando es $> 10\text{Mb/s}$.

El criterio de enlace corto es aquel que toma como referencia una longitud $\leq 1\text{km}$ y enlace largo cuando es $> 1\text{km}$.

Las distancias de los enlaces troncales implementados por el IETEL en Quito, son las siguientes:

ENLACE	DISTANCIA (km)
Pintado-Villa Flora	4.2
Quito Centro-Villa Flora	4.0
Quito Centro-Monjas	7.0
Quito Centro-Mariscal Sucre	3.5
Mariscal Sucre-Iñaquito	4.7
Iñaquito-Cotocollao	5.4
Iñaquito-La Luz	2.8
La Luz-Carcelén	5.5

Su capacidad es de 1920 canales telefónicos, por tanto la velocidad binaria es de 140 Mb/s; se trata entonces para todos los casos, de enlaces largos de banda ancha, por consiguiente la selección más adecuada de componentes es la que sigue:

Emisor : Láser

Fibra : Monomodo

Receptor: APD o PIN

Lo cual sería lo más conveniente si se desea trabajar a la longitud de onda $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ que permitiría largas distancias de transmisión; sin embargo, si se escoge como longitud de onda de propagación: $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$ y tomando en cuenta que las distancias de los enlaces realizados por el IETEL no son tan grandes, los parámetros fijados son:

Emisor : Laser

Fibra : Multimodo

Receptor : APD

3

Parámetros adoptados por el sistema del IETEL puesto a servicio por la NEC y que coinciden plenamente con el criterio de escogitamiento, mostrado en la figura 2.24

En el grafico se aprecia que para una capacidad de 140 Mb/s y trabajando en la primera ventana ($\lambda = 0.85 \mu\text{m}$), se tiene que la distancia máxima sin repetidores es de aproximadamente 10 Km; se usa como emisor: láser, detector (APD) y fibra multimodo que tiene factor de atenuación de 3 dB/Km y factor de mérito de 600 MHz.km.

De usarse láser, fibra monomodo y PIN-FET; trabajando en la segunda ventana ($\lambda = 1.3 \mu\text{m}$), la máxima longitud entre repetidores supera los 40 Km.

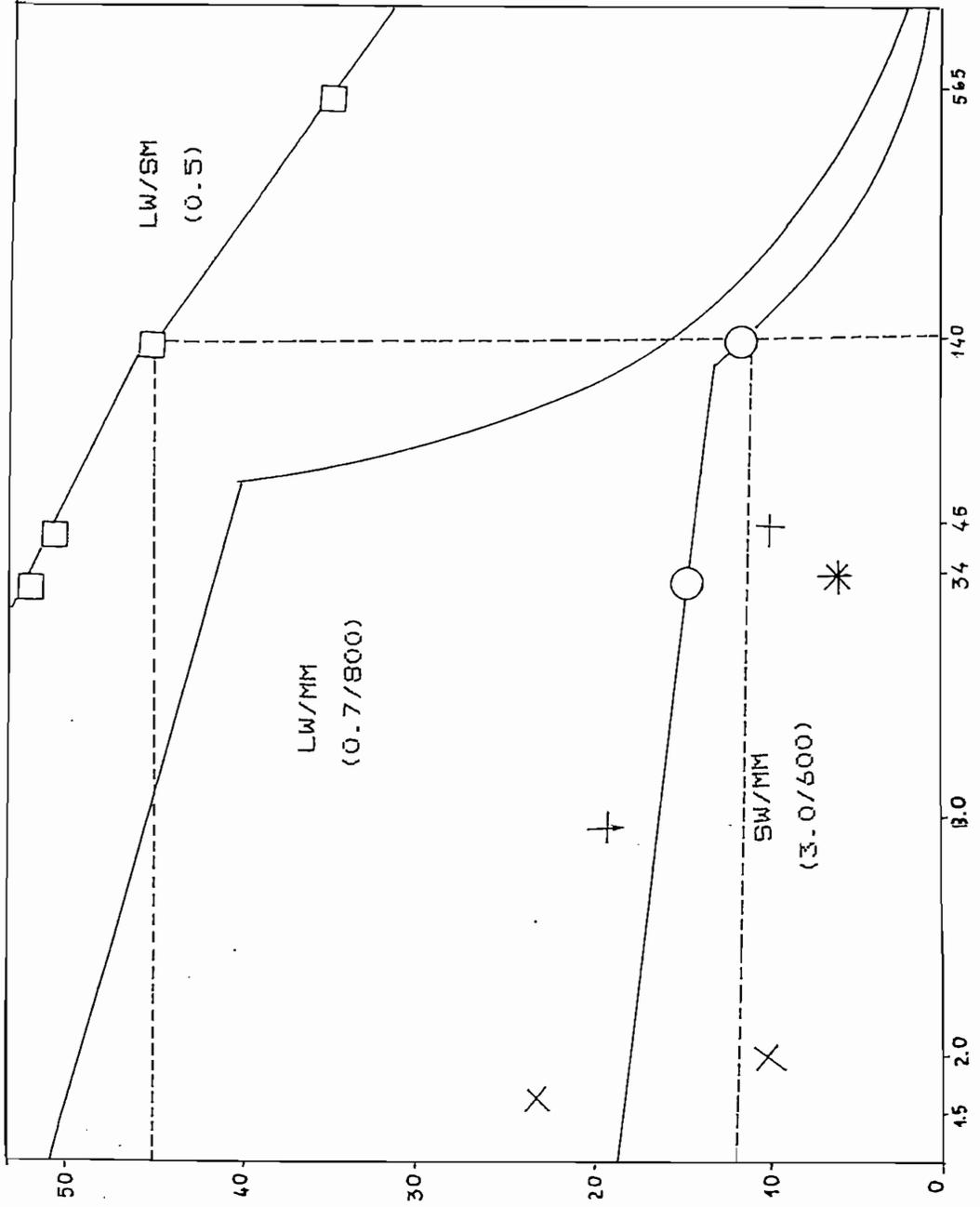
2.5.3.1.- CALCULOS.-

a) La máxima atenuación permisible de un enlace, viene dado por la expresión:

$$A_{mx} = P_T - P_{Rmin} \quad (\text{dB})$$

Donde:

Distancia
(Km)



CAPACIDAD DE INFORMACION (Mb/

- SW : = 0.85 μ m
 - LW : = 1.3 μ m
 - MM : fibra multimodo
 - SM : fibra monomodo
 - + : LED/PIN/FET
 - X : LED/PIN
 - * : LED/APD
 - O : LD/APD
 - : LD/FIN-FET
- (dB/Km/MHz · Km)

ESFACIAMIENTO TIFICO ENTRE REPETIDORES

FIG. 2.24

A_{mx} : Máxima atenuación permisible
 P_T : Potencia del transmisor
 P_{Rmin} : Potencia mínima del receptor para un BER confiable.

P_T y P_{Rmin} , vienen dados por el fabricante y para los equipos de la NEC implementados por el IETEL son:

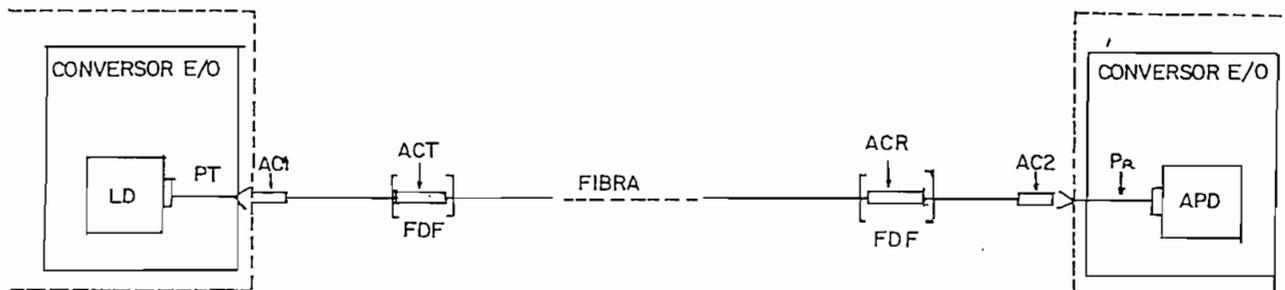
$$P_T = -4.5 \text{ dBm}$$

$$P_R = -46.0 \text{ dBm (BER=10}^{-11}\text{)}$$

Por tanto, la atenuación máxima permisible es:

$$A_{mx} = -4.5 - (-46.0) = +41.5 \text{ dB}$$

b) La atenuación total, viene relacionado con los siguientes parámetros. Ver figura 2.25



E.L.O. : EQUIPO TERMINAL DE LINEA OPTICO
 F.D.F. : BASTIDOR DE DISTRIBUCION DE FIBRA

SISTEMA DE TRANSMISION CON FIBRA OPTICA

FIG. 2.25

$$AT = \alpha * L + Ac + Ms + Fp$$

Donde:

AT : Atenuación total del enlace

α : Coeficiente de atenuación de la fibra

L : Longitud del enlace

Ac : Pérdida total de acoplamiento (Ac1+Ac2+AcT+AcR)

Ms : Margen de operación del sistema

Fp : Limitación por el ancho de banda de la fibra

Ac1 : Pérdida de acoplamiento transmisor-fibra

Ac2 : Pérdida de acoplamiento fibra-receptor

AcT,AcR: Pérdidas en los conectores de los bastidores de distribución de la fibra (FDF)

Los valores de pérdida del sistema de transmisión por fibra óptica, implementado por el IETEL son:

Velocidad binaria	139.264 Mb/s
Longitud de onda	0.85 μm
Promedio de potencia óptica	-4.5 dBm
Sensibilidad del receptor en la entrada del APD	-46.0 dBm
Perdida de conexión en el equipo (E.L.O. y FDF)	4.5 dB
Margen de operación del equipo	2 dB
Margen de operación del cable	3 dB
Limitación por ancho de banda de la fibra	1.5 dB

Con estos datos se puede calcular la máxima longitud del enlace.

$$L_{mx} = \frac{A_{mx} - (A_c + M_s + F_p)}{\alpha}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 4 \text{ dB/Km} \\ A_{mx} &= 41.5 \text{ dB} \\ A_c &= 4.5 \text{ dB} \\ M_s &= 5.0 \text{ dB} \\ F_p &= 1.5 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$L_{mx} = 7.87 \text{ Km}$$

Distancia que abarca satisfactoriamente, todos los enlaces troncales considerados.

los siguientes:

EDIFICIO	# DE LINEAS DIRECTAS	# DE EXTENSIONES
F. Ing. Electrica/Quimica	4	70
Administración	9	31
F. Ing. Eléctrica	5	26
F. Ing. Mecánica	3	33
F. Ing. Química	3	19
F. Ing. Civil-Hidráulica	4	20
F. Ing. en Geología	2	16
Instituto de Tecnólogos	3	14
I.C.B.	2	21
Abastecimientos	3	7
Casa Mata	1	4
F. Ing. Sistemas-Post Grado	3	9
Instituto Tecnológico	3	11
Instituto Ciencias Biológicas	-	2
Otros	-	4
TOTAL	45	287

De lo cual se concluye en la necesidad inmediata de unas 45 líneas directas y 287 extensiones. En el rubro "Otros" se incluye el servicio a Mantenimiento Eléctrico, Mantenimiento Mecánico, Offset y Local de central

c) Es necesario determinar el volumen actual del tráfico, para apreciar la eficiencia de la central analógica existente, para lo cual, consideramos lo siguiente:

- Las mediciones del tráfico durante las horas pico indican que un teléfono residencial tiene un uso típico del 5 al 10% de la hora pico; es decir que cada teléfono representa una carga de tráfico de 0.05 a 0.1 Erlangs. Obviamente esto es estimativo, pues depende del sector.

- Los teléfonos comerciales tienen una carga de tráfico promedio entre 0.1 y 0.2 Erlang.

- Para nuestros cálculos consideraremos un tráfico de 0.15 Erlang para el tráfico externo promedio por línea de abonado, considerando el carácter institucional de la Escuela.

- Para el tráfico interno promedio por línea de abonado podría estimarse en un valor de 0.07 Erlang, tomando en cuenta que abonados del mismo edificio, en oficinas adjuntas, es poco probable que deseen comunicarse por teléfono, pero aceptando también la necesidad mayor de comunicarse entre abonados de distintos edificios.

- Admitiremos un grado de servicio del 1%, valor muy común en los equipos de conmutación telefónica.

La demanda actual de la EFN estará determinada por la fórmula:

$$D_o = Q*d$$

Donde:

D_o = demanda inicial de tráfico.

Q = número de abonados

d = densidad telefónica de cada abonado.

De modo que el tráfico externo para los 155 abonados considerados que están conectados a la PBX actual, será:

$$D_{ex} = 155*0.15 = 23.25 \text{ Erlang}$$

Considerando el grado de servicio B del 1% y usando las tablas de tráfico telefónico de Erlang, para sistemas de accesibilidad completa (ANEXO 3), obtenemos el número de líneas de salida $N=33$.

De igual forma, determinemos el tráfico interno y el número de líneas de salida.

Tráfico interno: $D_{in}=155*0.07$

$D_{in}= 10.85 \text{ Erlang}$

$B=1\%$

Tenemos, $N=19$

c) Capacidad de tráfico de la central actual.-

Tomando en cuenta la capacidad de la central instalada con 32 líneas externas, 200 extensiones como máximo y 24 circuitos de comunicación, considerando además un grado de servicio del 1% y usando las tablas de Erlang, se tiene lo siguiente:

- Con $N=32$ troncales y un grado de servicio $B=1\%$, se puede manejar un tráfico externo de 22 Erlang.

- El tráfico externo por línea de abonado será de :
 $22/200 = 0.11$ Erlang.

- Con $N=24$ circuitos de comunicación y un grado de servicio de $B=1\%$, se puede cursar un tráfico interno de 15.3 Erlang.

- El tráfico interno por línea de abonado será de
 $15.3/200 = 0.076$ Erlang.

3.1.2.- PROYECCION FUTURA.

Determinaremos la demanda telefónica para dentro de 10 años, lapso mínimo de considerarse en un proyecto; tomando en cuenta que la demanda tiene un incremento que obedece a una curva exponencial con el tiempo y tomando como tasa de crecimiento anual un 3%.

$$D_f = D_o * (1 + \gamma)^t$$

Donde: D_o = demanda inicial
 D_f = demanda al cabo de un tiempo t
 γ = tasa de crecimiento anual

t= tiempo de proyección

Por tanto la demanda final al cabo de 10 años, tanto para el tráfico interno y externo, así como el número necesario de líneas de salida será:

$$D_{ex} = 23.25 * (1 + 0.03)^{10} = 31.24 \text{ Erlang}$$
$$E = 1\%$$

Obtenemos: N=43 troncales

$$D_{in} = 10.85 * (1 + 0.03)^{10} = 14.58 \text{ Erlang}$$

Obtenemos: N=23 circuitos de comunicación interna

Por otra parte, el número de extensiones de central que se requieran después de ese lapso, considerando la necesidad actual de 287 extensiones, será:

$$L_f = L_o * (1 + \gamma)^t$$

donde: L_o = número de extensiones iniciales
 L_f = número de extensiones al cabo de un tiempo t.

$L_f = 287 * (1.03)^{10} = 385.7 \approx 400$ extensiones de central.

Por lo tanto se concluye lo siguiente:

a) El número de troncales necesarias en el presente, para satisfacer los servicios de la Escuela, con 155 extensiones instaladas, que es de 33 de acuerdo a la estimación de tráfico, satura y supera la capacidad de

la central.

b) El número de troncales necesarias, para tráfico externo al cabo de 10 años (43), supera la capacidad de la central instalada (32). Para el tráfico interno, el número de circuitos necesarios después de 10 años (23) es cercano a la capacidad máxima de la central (24).

c) La central PBX tiene una capacidad para dar servicio a un máximo de 200 extensiones, valor inferior al número necesario de extensiones actuales (287 extensiones) y totalmente inferior al que se requerirá al cabo de 10 años, que será de 400 extensiones, aproximadamente.

d) La central instalada, al ser de carácter analógico y obsoleta, no brinda un servicio eficiente, a parte de que es ruidosa, ocupa mucho espacio, tanto en cables como en bastidores y crea problemas en el mantenimiento. Todo esto se traduce en un descontento general del personal que sirve en la Escuela Politécnica Nacional.

3.1.3.- SOLUCION CON CONCENTRADOR Y PBX DIGITAL.-

Ante la circunstancia de la ineficacia de la central telefónica instalada, es necesario adoptar alguna solución que sea óptima, acorde a las necesidades actuales y futuras, que bien puede basarse en técnicas digitales de conmutación-transmisión y aproveche las ventajas de la fibra óptica.

Si utilizamos un concentrador digital, también llamado paso digital de abonados, junto con multiplexers de abonados, cuyas características y ventajas se describen en los numerales 3.5 y 3.6 del presente capítulo y si

además se usa una central PBX (Private Branch Exchange) digital y fibra óptica como medio de transmisión, se podría implementar una red flexible que brinde buen servicio. El paso digital de abonados utiliza, para la interface con los abonados, la concentración por división de tiempo que se explica en detalle en el numeral 3.5.2, enlazando un número de abonados superior al número de líneas o canales que van a la central.

Todo el sistema deberá tener la flexibilidad para manejar el tráfico interno y externo de la demanda actual y futura. Y los abonados conectados al concentrador deberán disfrutar de los mismos servicios que tienen los abonados conectados a la red pública, así como deberá permitir el tráfico interno en caso de sufrir interrupción la conexión con la central.

A) CENTRAL PBX DIGITAL.-

La central PBX tendrá una capacidad de 0.22 Erlang por línea de abonado, distribuido en un 68.18% (0.15 Erlang) para el tráfico externo y de 31.82% (0.07 Erlang) para el tráfico interno.

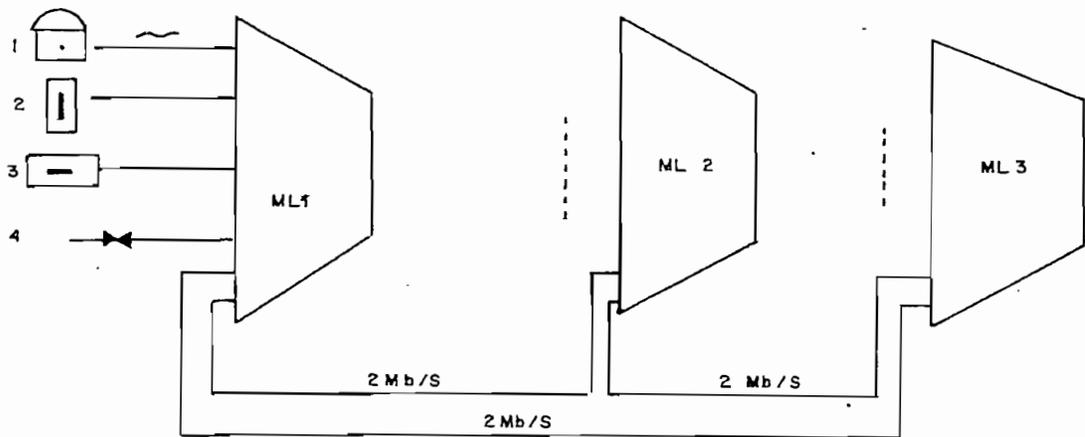
También deberá tener una capacidad mínima de 400 extensiones.

Las centrales PBX digitales actuales son de carácter modular y permiten ampliaciones posteriores de extensiones, con la introducción de nuevos módulos constituidos por tarjetas de integrados.

Básicamente están conformadas por módulos de líneas de

interfacci (ML), cada uno con capacidad de hasta unas 150-200 extensiones, que pueden funcionar como una central autónoma o como una parte integrada de un sistema mayor.

Para formar centrales con mayor capacidad se interconectan varios ML a través de enlaces PCM de 32 canales, para fines de tráfico y control. Pueden conectarse directamente hasta tres módulos de línea (ML), de modo que se puede obtener una central de hasta 600 extensiones, tal cual se aprecia en la figura 3.1.

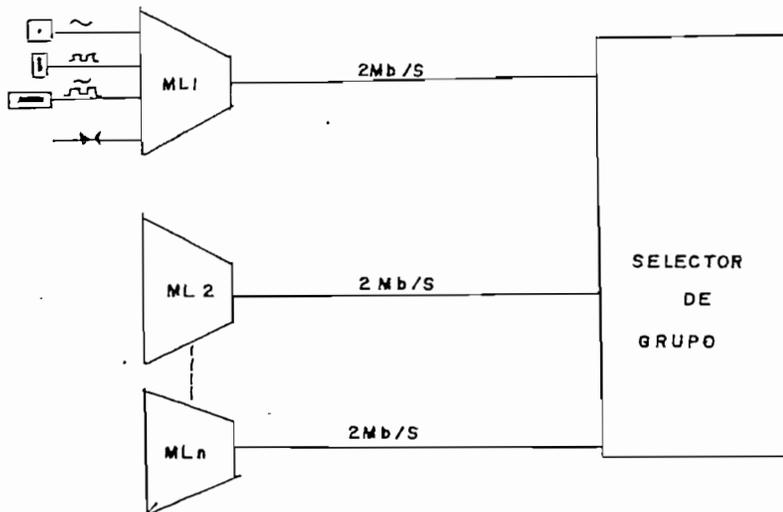


- 1.- APARATO ANALOGICO
- 2.- APARATO DIGITAL
- 3. APARATO DE OPERADORA
- 4.- LINEAS EXTERNAS

INTERCONEXION DE TRES MODULOS EN LINEA (ML) PARA FORMAR UNA FBX DIGITAL DE HASTA 600 EXTENSIONES

Fig 3.1

Si se desea centrales con mayor capacidad todavía los ML se reúnen por medio de enlaces PCM de 32 canales en una configuración en estrella con un selector de grupo, tal cual se aprecia en la figura 3.2



ESTRUCTURA DE UNA PBX DIGITAL

Fig 3.2

Cada módulo de líneas contiene un selector temporal, un procesador de control y unidades de conexión para aparatos analógicos y digitales, terminales de datos y líneas hacia la red pública. Los sistemas son completamente digitales y emplean la codificación PCM de acuerdo a las recomendaciones del CCITT. Por lo tanto en un ambiente analógico, las señales de voz y las

señales de tonos deben convertirse en forma digital, esta conversión se hace en un circuito de línea. Los aparatos telefónicos digitales, aparatos de operadora y terminales de datos se conectan a una placa de líneas digitales.

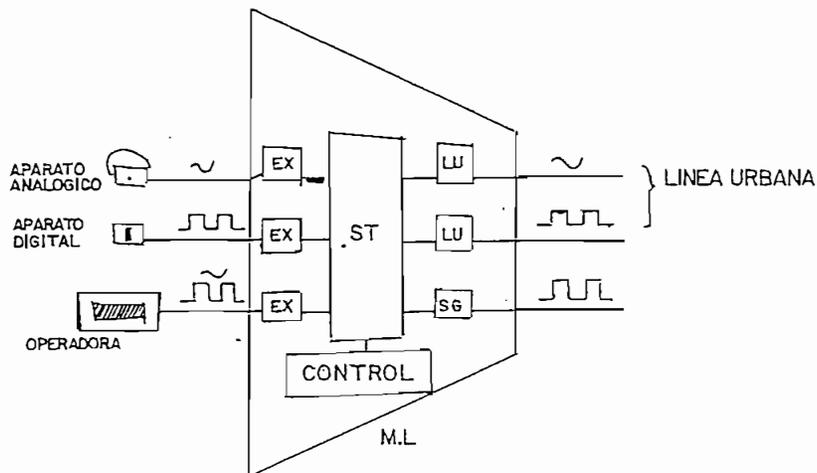
En los aparatos telefónicos digitales la conversión análogo/digital se la hace dentro del aparato mismo. Los aparatos digitales de extensión y de operadora se conectan a la central por líneas de 2 hilos; los adaptadores para terminales de datos se conectan a la misma línea física del aparato telefónico para comunicación simultánea de voz y datos. Cuando se desea conectar a la central un computador debe dotarse de un adaptador terminal conformado por una tarjeta de interface.

La línea digital de extensión de abonado presenta las siguientes ventajas, frente a la línea analógica:

- El sistema híbrido que realiza la transformación de 2/4 hilos, así como la conversión análogo/digital, ocurren dentro del aparato digital, de modo que la transmisión y recepción se la hace a 4 hilos por todo el circuito, lo cual garantiza una transmisión de voz libre de reflexiones, a diferencia de la línea analógica en la que la transmisión y recepción se la realiza a través de 2 hilos.

- La comunicación de voz, comunicación de datos y señalización se transmite por canales separados y pueden cursarse independientemente entre sí y en forma simultánea.

La estructura del módulo de líneas se aprecia en la figura 3.3.



EX : UNIDAD DE CONEXION PARA EXTENSION

LU : UNIDAD DE CONEXION PARA LINEA URBANA

SG. : UNIDAD DE CONEXION AL SELECTOR DE GRUPO

ST : SELECTOR TEMPORAL

ESTRUCTURA DEL MODULO DE LINEAS DE UNA PBX DIGITAL TIPICA

FIG. 3 . 3

El selector digital de la PBX consiste en un selector temporal en cada módulo de línea y un selector temporal en el selector de grupo. Al seleccionarse una vía a

través de la central se seleccionan también enlaces en los circuitos PCM entre el módulo de líneas y el selector de grupo, o entre dos módulos de líneas si la central es de hasta 600 extensiones. El selector temporal está constituido por memorias de voz y de control.

Una de las características más sobresalientes de las PBX digitales actuales es la posibilidad de interconexión de módulos de línea (ML) independientes y separados a una distancia no mayor de 500 metros, para distribuir en forma racional una red de extensiones por varios edificios, ahorrándose cable de pares.

La interconexión entre los módulos de línea, cada uno con capacidad de hasta unas 200 extensiones, se la realiza mediante enlaces PCM de 32 canales, usando simplemente cable coaxial o cable de pares MIC.

Cada módulo de líneas puede funcionar como una central autónoma y está constituido por un armario independiente que aloja todo el equipo: unidades de conexión, tarjetas de selector temporal, tarjetas de control, fuente de alimentación, baterías y repartidor de cables.

Para el caso de la Escuela Politécnica Nacional, puesto que en la actualidad se necesitan 287 extensiones y en un tiempo de 10 años se requerirían unas 400 extensiones, la central PBX digital bien puede estar constituida por 2 módulos de líneas, cada uno con capacidad de 200 extensiones, los cuales serían de carácter autónomo y estarían enlazados por un flujo de 2

Mb/s.

Los dos módulos de línea podrían estar ubicados en el edificio de Administración y en el de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, para distribuir de una manera racional las extensiones necesarias en los otros edificios. En base a esto, la distribución de la red interna, podría ser de la siguiente forma:

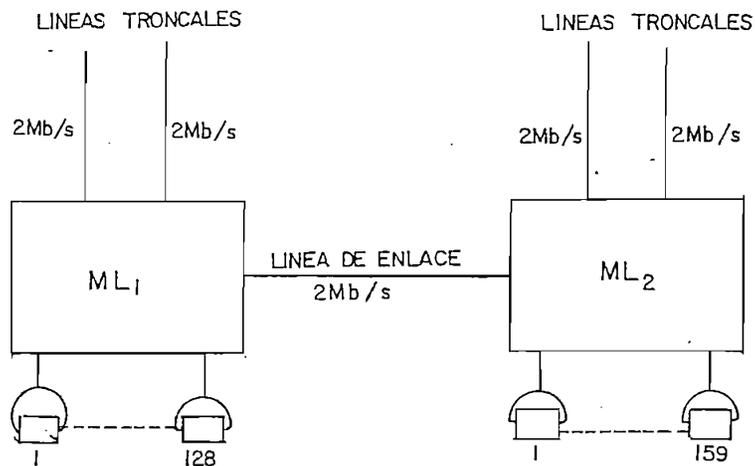
UBICACION	SERVICIO	Nº DE EXTENSIONES
ML 1 EDIFICIO DE ADMINISTRACION	ADMINISTRACION	31
	F. ING. CIVIL	20
	F. ING. EN GEOLOGIA	16
	INSTITUTO DE TECNOLOGOS	14
	I.C.B	21
	ABASTECIMIENTOS	7
	CASA MATA	4
	F. ING. SISTEMAS	9
	INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLOG	2
	OTROS	4
	TOTAL	128
	RESERVA	72
ML 2 F. DE INGE- NIERIA ELEC- TRICA	F. ING. ELECTRICA	26
	F. ING. MECANICA	33
	F. ING. QUIMICA	19
	INSTITUTO TECNOLOGICO	11
	ING. ELECTRICA / ING. QUIMICA	70
	TOTAL	159
	RESERVA	41

El número necesario de líneas troncales por cada módulo de líneas, se lo determina mediante las tablas de Erlang para accesibilidad completa, de la siguiente forma:

Número de extensiones máximas : 200
Tráfico externo por extensión : 0.15 Erlang
Tráfico total : $200 \times 0.15 = 30$ Erlang

Tenemos $N=41$, equivalente a dos flujos PCM de 32 canales, aproximando al inmediato superior.

Esto se aprecia en el diagrama de bloques de la figura 3.4



MODULOS DE LINEA DE LA PBX DIGITAL

FIG. 3.4

La línea de enlace entre los módulos de línea de la PBX, situados en el edificio de Administración y en el de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, podría ser cable de pares MIC o alternativamente fibra óptica. En el caso

de fibras ópticas, si bien presenta grandes ventajas frente al cable de pares o coaxial, todavía no sería tan conveniente por los costos que representa un sistema de transmisión óptico para distancias pequeñas, fundamentalmente por el costo del equipo terminal de línea óptico de 2 Mb/s, frente al equipo de línea PCM de 30 canales.

El enlace por fibra óptica, se justifica plenamente para distancias mayores o iguales a 1 Km y sistemas de transmisión a partir de los 8 Mb/s.

Además, como las PBX digitales actuales permiten la conexión de terminales de datos, usando la tarjeta de interconexión correspondiente, el enlace a nivel de 2 Mb/s entre los dos módulos de línea de la PBX, facilitaría una eventual transmisión de datos entre los edificios mencionados.

B) DIMENSIONAMIENTO DEL PASO DIGITAL DE ABONADOS.-

De acuerdo al análisis de demanda y tráfico realizado, el número de líneas directas necesarias al cabo de 10 años será:

$$L_{Df} = L_{D0} * (1 + \gamma)^t$$

Donde:

L_{Df} = Líneas directas al cabo de 10 años

L_{D0} = Líneas directas iniciales

γ = Tasa de crecimiento anual

t = Tiempo de proyección

$$L_{br} = 45 * (1.03)^{10} = 60.47 \approx 60$$

Por otro lado, el número de canales entrantes a la PBX necesarios para manejar las 400 extensiones mínimas es de 82 (41 por cada módulo de líneas).

Por lo tanto, con el fin de flexibilizar la red y tomando en cuenta que la estructura de los llamados pasos remotos de abonados (RSS) también es modular, constituida por módulos de concentración temporal que normalmente son tarjetas de circuitos impresos localizados en el armario del concentrador telefónico, bien puede usarse, un concentrador con capacidad de 240 líneas directas, tomando en cuenta la probable ampliación física de la EPN con el edificio de Ingeniería Eléctrica/Química, la posible ampliación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica en los terrenos de la Universal y el espacio disponible en los terrenos del ex-Colegio Americano, en el cual se puede construir otros edificios más.

La relación de concentración viene dada por la relación del número de líneas o canales de entrada al número de salida.

$$X = N/M$$

Donde:

X: Relación de concentración.

N: Número de líneas o de canales de entrada.

M: Número de líneas o canales de salida.

Se pueden lograr concentraciones con relaciones de 2:1,

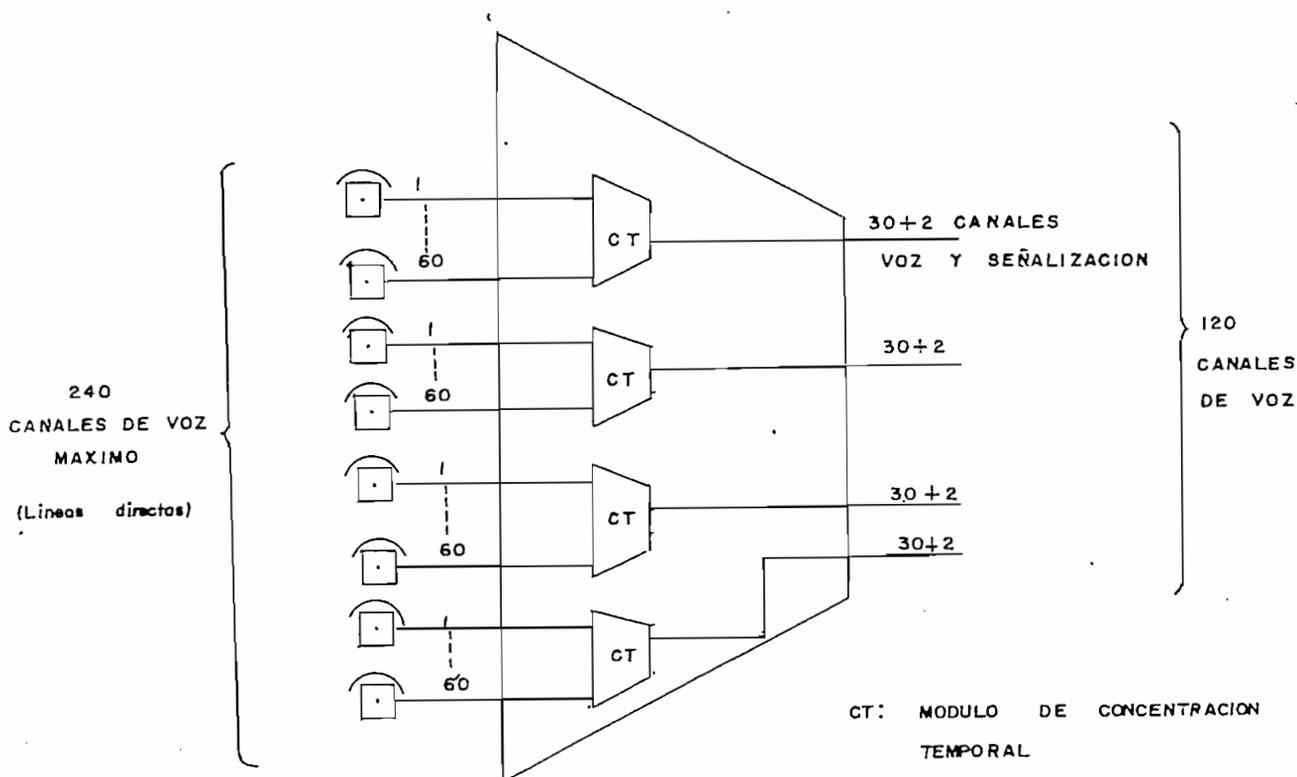
4:1, 8:1. En nuestro medio, normalmente se usan relaciones de concentración de 2:1, por lo tanto el número de líneas o canales de salida, para la capacidad máxima del concentrador será:

$$X=2$$

$$N=240$$

$$M=N/X = 240/2 = 120$$

Por lo tanto la estructura general del concentrador digital será la forma indicada en la figura 3.5.



CONCENTRADOR DIGITAL 2 : 1

Fig 3.5

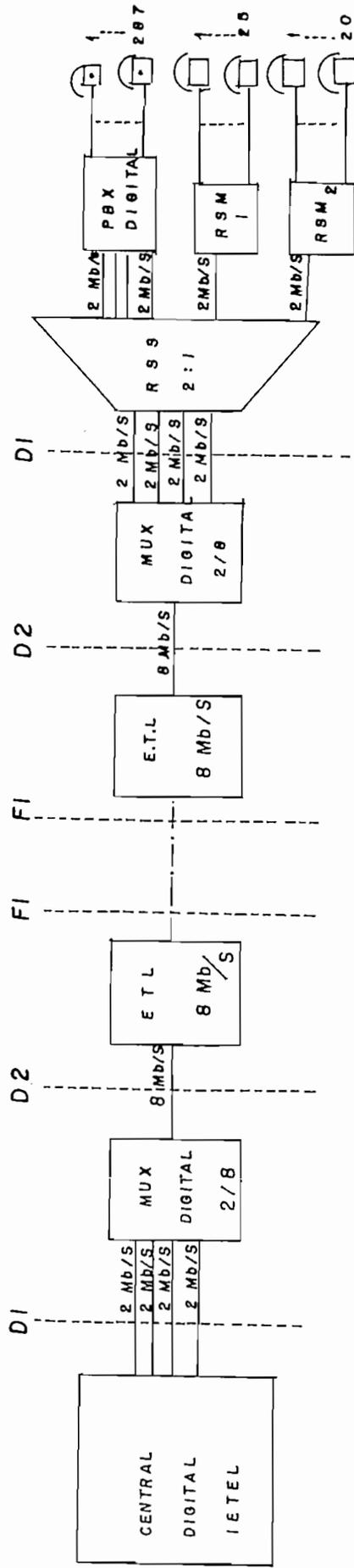
El concentrador poseerá 4 módulos de concentración temporal cada uno para 60 abonados que realizan la concentración individualmente de 60 a 30 canales de voz y enlazan con la central a través de flujos PCM de 2Mb/s. Se tiene por tanto 120 canales de salida que permitiría el uso de un sistema de transmisión digital, cuya velocidad de transmisión sea de 8 Mb/s.

Y como la transmisión se va a realizar por fibra óptica, será necesario multiplexar las 4 señales de 2 Mb/s usando un multiplexer de 2/8 y utilizándose de esta forma un solo equipo terminal de línea óptico de 8 Mb/s.

La configuración del sistema se muestra en el diagrama de bloques de la figura 3.6.

En el esquema de la figura 3.6 las interfaces eléctricas (D1 y D2) del sistema cumplen enteramente la recomendación G.703 del CCITT; la interface óptica (F1) está prevista para conexión con fibra óptica y cumplirá la respectiva recomendación del CCITT (G.651 para fibra óptica multimodo de índice gradual, G.652 para fibra monomodo). Estas recomendaciones se adjuntan en el anexo 2.

El multiplex digital 2/8 es un multiplex digital que convierte 4 señales digitales de una velocidad menor (2.048 Mb/s) a una señal que posee una velocidad mayor (8.448 Mb/s). El equipo terminal de línea óptica que se requiere será de 8.448 Mb/s; ambos equipos conjuntamente con el paso remoto de abonados, (RSS) y la



D1: INTERFACE ELECTRICA DE 2 Mb/S

D2: INTERFACE ELECTRICA DE 8 Mb/S

F1: INTERFACE OPTICA

ETL: EQUIPO TERMINAL DE LINEA OPTICO

RSS: PASO REMOTO DE ABONADOS, RELACION 2:1

RSM: MULTIPLEXER REMOTO DE ABONADOS

----- FIBRA OPTICA

CONFIGURACION DEL SISTEMA

Fig. 3.06

PBX podrán ubicarse en el edificio de administración de la EPN.

Vale la pena indicar que con el avance tecnológico de los equipos electrónicos digitales, estos se han ido reduciendo en tamaño y peso, por lo tanto no es problema ubicar en el cuarto que existe en el segundo piso de dicho edificio, los cuatro subsistemas. Por ejemplo, una central PBX constituida por un módulo de líneas para unas 200 extensiones, estructurada en un armario independiente, que aloja todo el equipo físico, inclusive filtros, fuente de alimentación de la red, cuadro repartidor de cables y baterías, tiene las siguientes dimensiones: 1200 mm de altura, 680 mm de ancho y 340 mm de fondo.

Los multiplexers remotos de abonados (RSM1 y RSM2) se conectan a los módulos de concentración temporal (CT) del RSS, mediante flujos de 2 Mb/s. para servicio de hasta 30 canales directos como máximo y cuya distribución y ubicación dentro de la EPN sería de la siguiente forma:

UBICACION	SERVICIO	LINEAS DIRECTAS
RSM 1 EDIFICIO DE ADMINISTRACION	ADMINISTRACION	9
	F. ING. CIVIL	4
	F. ING. EN GEOLOGIA	2
	INSTITU. DE TECNOLOGOS	3
	ABASTECIMIENTO	3
	CASA MATA	1
	ING. EN SISTEMAS	3
	TOTAL	25
	RESERVA	5

RSM ₂ EDIFICIO DE ING. ELECTRI_ CA	F. ING. ELECTRICA	5
	F. ING. MECANICA	3
	F. ING. QUIMICA	3
	INSTITUTO TECNOLOGICO	3
	ING. ELECTRICA / ING. QUIMICA	4
	I C B	2
TOTAL		20
RESERVA		10

La estructura se aprecia en la figura 3.7

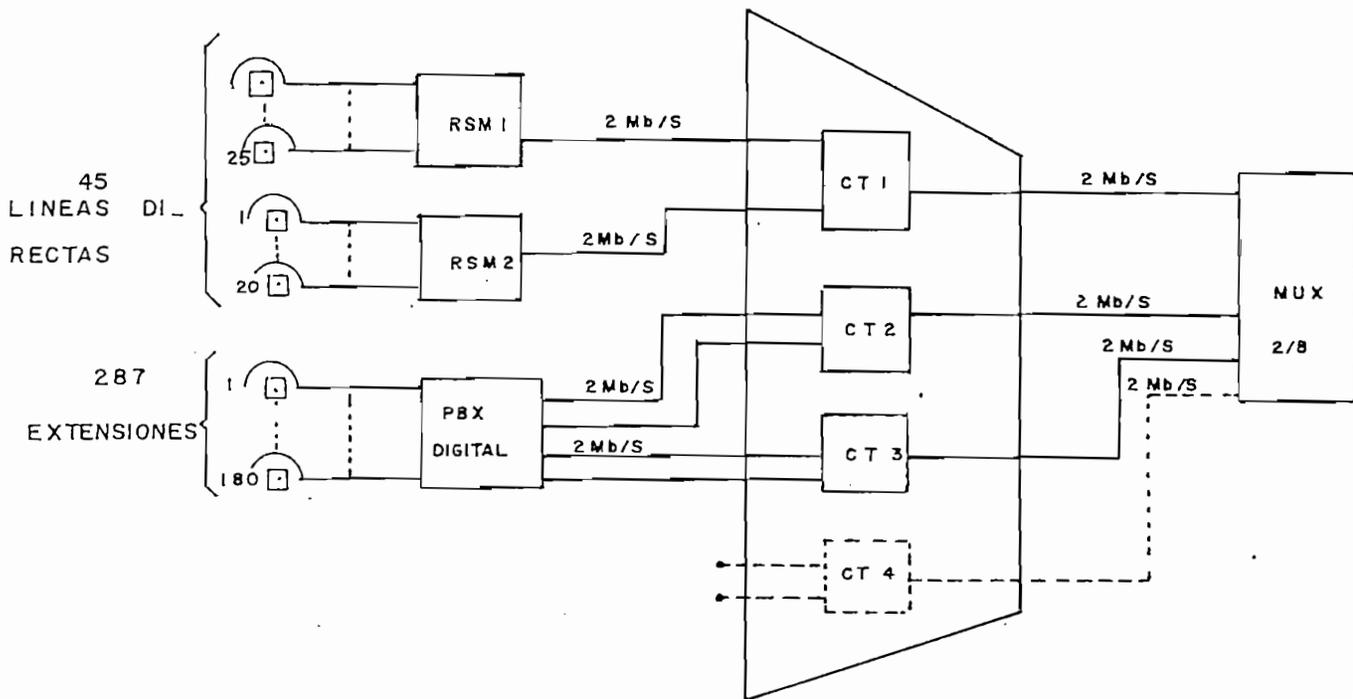


DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA RED INTERNA

Fig 3.7

El concentrador digital inicialmente estará conformado por 3 módulos de concentración temporal conectado a 2 multiplexers remotos de abonados que darán servicio a las 45 líneas directas; también estará conectado a la central PBX mediante 4 flujos PCM de 2 Mb/s cada uno, para dar servicio interno a las 287 extensiones previstas; para ello, la central PBX estará constituida por dos módulos de líneas (ML), cada uno con capacidad de hasta 200 extensiones. En el transcurso de los 10 años siguientes, podrá utilizarse las reservas dejadas en los 2 RSM para la conexión de 15 líneas directas más.

El módulo de concentración (CT4) del concentrador digital quedaría de reserva para la interconexión de 2 flujos de 2 Mb/s en la red de abonados, sea para líneas directas a través de RSM, buscando digitalizar completamente la red, o para ampliación para módulos de línea (ML) de la PBX; todo esto dependiendo de las necesidades futuras.

A la PBX digital se puede conectar aparatos analógicos convencionales, aparatos digitales propios de la PBX, aparatos de operadora y equipos terminales de datos, para ello deberá estar provisto de unidades de conexión respectivas. El objetivo final es estructurar la red con equipo modular, de modo de digitalizar completamente la red interna, a medida que se digitalice la red urbana del IETEL.

En cuanto al soporte de transmisión, el cable de fibra óptica se tendería de una sola vez, sin realizar

empalmes desde la central digital de IETEL en Mariscal Sucre hasta el RSS de la Escuela Politécnica Nacional, sobre una distancia de aproximadamente 1000 metros, utilizando canalización subterránea existente del IETEL que ingresa a los terrenos de la Institución por la calle Isabel La Católica y llega hasta el edificio de Administración. Para la interconexión de la red interna entre los edificios, se aprovecharía también la canalización existente o la que se proyecte posteriormente, formada por ductos telefónicos subterráneos.

Para la conexión entre el paso digital de abonados (RSS) y cada uno de los multiplexers (RSM), se emplean líneas digitales de alta frecuencia (cable de pares o fibra óptica). En el presente caso, se hará con cable de pares, por la pequeña distancia existente, por lo tanto la fibra óptica se usa únicamente para el enlace entre la central digital de Mariscal de IETEL y el RSS digital de la EPN. Para ello se usa cable de 4 fibras de las cuales se utiliza 2, una para transmisión y otra para recepción.

El enlace para las líneas directas entre el RSS ubicado en el edificio de administración y el RSM ubicado en el edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, también podría hacerse por fibra óptica, para aprovechar las ventajas que brinda este medio de transmisión frente a los otros tipos de enlaces, como se menciona en el capítulo I y tal cual se indica en el literal 3.8 del presente capítulo. Sin embargo, en este caso, los costos son notablemente mayores a diferencia de los costos para el enlace entre la Central de Mariscal y el paso remoto de abonados (RSS) de la EPN (como se indica

en el literal 3.8).

Para justificar esta afirmación, se hace una breve y estimativa comparación económica entre los tipos de enlace, considerando solamente los subsistemas principales del medio de transmisión y tomando como distancia unos 350 metros, que corresponde a la probable ruta de canalización proyectada entre los edificios de Administración y de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y bajo la cual se tendería el cable de fibra óptica o el cable de pares.

a) Enlace por fibra óptica.-

- Equipo terminal de línea óptico de 2 Mb/s: $5000 \times 2 = 10000$ \$USA

- Cable de fibra óptica de 4 fibras en ductos : $3 \text{ \$/m} \times 350 \text{ m} = 1050$ \$USA

- Total : 11050 \$USA

b) Enlace por cable de pares MIC.-

- Equipo terminal de línea para cable de pares, de 30 canales, completo : 6000 \$USA

- Cable de 10 pares MIC, con capacidad para 60 canales : $1.1 \text{ \$/m} \times 350 \text{ m} = 385$ \$USA

- Total : 6385 \$USA

De lo cual se concluye que la diferencia de costos es de aproximadamente el doble. Sin embargo, de optarse por la alternativa de usar fibra óptica, para el dimensionamiento del sistema de transmisión óptico,

habría que seguir los pasos que se indican en los numerales 3.2, 3.3 y 3.4 del presente capítulo.

3.2.- DETERMINACION DE LOS PARAMETROS OPTICOS.-

Para el dimensionamiento de un sistema de transmisión óptico, es necesario la correcta selección de los componentes ópticos, en base a diferentes criterios y la determinación de la factibilidad del enlace calculando la máxima distancia entre transmisor y receptor, considerando las limitaciones por atenuación y por ancho de banda.

3.2.1.- CRITERIOS DE SELECCION DE LOS COMPONENTES.-

En el diseño de un sistema de telecomunicaciones por fibra óptica, la correcta selección de la longitud de onda de propagación, de la fibra óptica, del transmisor óptico y del receptor óptico es fundamental para tener un sistema de transmisión con el desempeño requerido y un adecuado espaciamiento entre repetidores (si el enlace es muy largo).

Para la determinación de la longitud de onda hay que considerar dos factores fundamentales que son: 1) las pérdidas de la fibra óptica y 2) las características de dispersión. Obviamente, la longitud de onda usada limita el tipo de transmisor óptico y el detector que pueden ser utilizados.

En términos de emisores ópticos, las consideraciones de diseño más importantes son: el ancho del espectro, la

potencia de salida y la velocidad de respuesta de frecuencia. Para receptores ópticos, la sensibilidad y la velocidad de respuesta de frecuencia constituyen los criterios de diseño fundamentales.

En cuanto a fibra óptica, el tipo apropiado debe ser seleccionado mediante consideraciones de pérdidas ópticas (atenuación por unidad de longitud) y características de banda (dispersión).

a) LONGITUD DE ONDA.-

En la actualidad, la región de longitud de onda corta ($0.85 \mu\text{m}$) y la región de longitud de onda larga ($1.3 \mu\text{m}$) son usadas como longitudes de onda de propagación. Como las pérdidas por atenuación y dispersión son menores a la longitud de onda de $1.3 \mu\text{m}$, ésta presenta mejores características que la longitud de onda corta y permite una mayor distancia del enlace.

Sin embargo, puesto que los componentes ópticos requeridos para la región de $1.3 \mu\text{m}$ son más caros, normalmente, la región de $0.85 \mu\text{m}$ se usa para sistemas de media y baja velocidad de transmisión que se apliquen en redes urbanas; en cambio, la región de $1.3 \mu\text{m}$ se utiliza para sistemas de alta velocidad de transmisión y enlaces largos.

Un cuadro comparativo de las dos regiones de longitud de

onda es el siguiente:

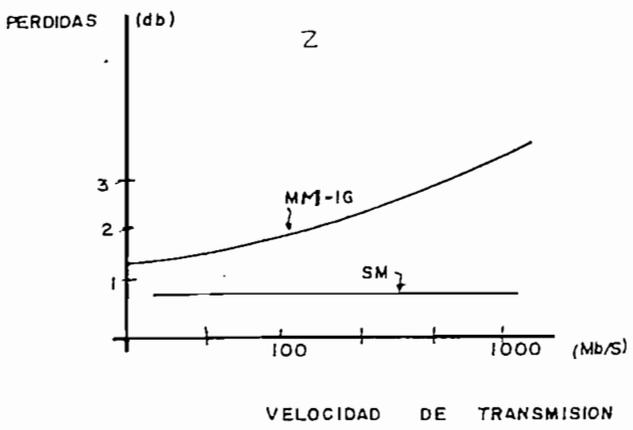
PARAMETR. LONGITD. DE ONDA	FIBRA OPTICA		COMPONENTES OPTICOS	APLICACION
	PERDIDAS	DISPERSION	PRECIO	
0,85 μm	MAYOR	MAYOR	BARATO	REDES URBANAS
1,3 μm	MENOR	MENOR	COSTOSO	SISTEMAS DE LARGO ALCANCE

En el futuro, se espera que la región de 1.3 μm sea la más usada, a medida que se abaraten los costos de los componentes. Y posteriormente, a largo plazo, se aspira a utilizar en gran escala, la región de 1.55 μm , que presenta características de muy bajas pérdidas y que permitiría un espaciamiento entre repetidores de 80-120 Km.

b) FIBRA OPTICA.-

Las fibras ópticas que más se usan actualmente son las multimodo de índice gradual (MM-IG) y las monomodo (SM). En la figura 3.8 se muestra que la monomodo es superior a la de índice gradual en términos de pérdidas ópticas, también se hace un cuadro comparativo entre las dos.

2.2



Parametro TIPO	ANCHO DE BANDA	DISPERSION	PERDIDAS	APLICACION
SM	MAS ANCHO	MENOR	MENOR	ALTA VELO- CIDAD, LARGO ALCAN- CE
MM-IG	RELATIVA- MENTE ANGOSTO	MAYOR	MAYOR	MEDIANA VELOCIDAD, REDES URBA- NA

CARACTERISTICAS DE PERDIDAS DE LAS FIBRAS

Fig 3.8

Dependiendo del caso específico requerido, normalmente la fibra monomodo se ha usado en sistemas de largo alcance y de gran capacidad de transmisión y en redes que requieren gran ancho de banda y bajas pérdidas; en cambio que las fibras multimodo de índice gradual se han usado en redes urbanas de menor capacidad de transmisión.

c) EMISORES OPTICOS.-

Los láseres (LD) son superiores a los LED en todo aspecto, excepto en costo. Normalmente a los LD se los usa en sistemas de largo alcance y de alta velocidad, porque destacan por su gran potencia óptica de salida, pequeño ancho espectral y rápida respuesta de frecuencia a diferencia de los LED, los cuales se usan en sistemas de mediana capacidad y corto alcance.

Por otra parte, los láseres tienen alta confiabilidad que se refleja en un tiempo promedio entre fallas, MTBF (mean time between failure), de unas 200,000 horas; por lo cual, a medida que se reduzcan los costos serán los más utilizados.

Un cuadro comparativo de transmisores ópticos, para selección de componentes es el siguiente:

PARAMTR. TIPO	POTENCIA DE SALIDA	ANCHO ESPECTRAL	VELOCIDAD DE OPERACION	PRECIO	APLICACION
LD	ALTA	ANGOSTO	RAPIDO	MAS COSTOSO	ALTA VELOCIDAD, LARGO ALCANCE
LED	BAJA	ANCHO	LENTO	COSTOSO	MEDIANA VELOCIDAD, REDES URBANAS

d) RECEPTORES OPTICOS.-

Al igual que los transmisores ópticos, los receptores son seleccionados en base a características de comportamiento y costo. Los APD destacan por su alta velocidad de respuesta y gran sensibilidad, por lo cual, al igual que los LD son usados en sistemas de alta velocidad de transmisión; mientras que los fotodiodos PIN, se usan en sistemas de redes urbanas y de menor capacidad de transmisión.

En el siguiente cuadro se comparan las características de los APD y de los PIN:

PARAMETRO TIPO	VELOCIDAD DE OPERACION	SENSIBILIDAD	PRECIO	APLICACION
APD	RAPIDA	BUENO	COSTOSO	ALTA VELOCIDAD, LARGO ALCANCE
PIN	LENTA	REGULAR	MENOS COSTOSO	MEDIANA VELOCIDAD, REDES URBANAS

Resumiendo, los criterios generales para seleccionar los componentes ópticos: longitud de onda, fibra óptica, emisor y receptor son los siguientes:

- Para sistemas de mediana capacidad y para redes urbanas, la aplicación de 0.85 μm como longitud de onda, el uso del LED y fotodiodo PIN como transmisor y receptor óptico, respectivamente, y el uso de fibra

multimodo de índice gradual, es lo más conveniente técnica y económicamente.

- En el caso de sistemas de gran capacidad, la aplicación de $1.3 \mu\text{m}$ como longitud de onda, LD y APD como transmisor y receptor ópticos, respectivamente y el uso de fibra monomodo es lo más efectivo.

3.2.2.- SELECCION DE LOS COMPONENTES PARA EL ENLACE DE LA RED DE LA EPN.-

Para seleccionar los componentes ópticos del enlace, de la red de la Escuela Politécnica Nacional que se desea implementar, consideramos los siguientes parámetros del sistema:

- Velocidad de transmisión: 8.448 Mb/s
- Capacidad de transmisión: 120 canales
- Distancia: 1 Km

Se trata en primera instancia de una red de mediana capacidad y de acuerdo al criterio analizado en el numeral anterior (3.2.1), la selección más adecuada de los componentes será:

Transmisor	: LED
Receptor	: PIN
Fibra óptica	: multimodo, índice gradual
Longitud de onda	: $0.85 \mu\text{m}$

En concordancia, si se considera el criterio de que el enlace a implementarse es un enlace corto ($d \leq 1$ Km) y de banda angosta (velocidad binaria ≤ 10 Mb/s) y retomando el análisis dado en el numeral 2.5.3 del capítulo anterior, los componentes ópticos son los mismos.

Además, para reforzar la correcta selección de los parámetros ópticos, acudimos al gráfico de la figura 2.24 del capítulo anterior, en el cual se tiene que para sistemas de 8 Mb/s y distancias inferiores a 20 Km, como es el presente caso, se cae en la región en la cual se adopta como parámetros ópticos los siguientes, los cuales coinciden plenamente con los criterios anteriores.

Transmisor	: LED
Receptor	: PIN
Longitud de Onda	: 0.85 μ m
Fibra óptica	: multimodo
Atenuación	: 3 dB/Km
Factor de mérito	: 600 MHz.Km

3.2.3.- CRITERIOS GENERALES PARA DIMENSIONAR UN SISTEMA DE TRANSMISION OPTICA.-

En el dimensionamiento de un sistema de transmisión óptica, básicamente se considera el cálculo de la distancia máxima (L_{mx}) alcanzable entre emisor y receptor, o lo que es lo mismo, la distancia máxima entre repetidores si el enlace es largo; la cual se ve condicionada por 2 factores:

- La atenuación del enlace
- Limitaciones por ancho de banda

3.2.3.1.- LIMITACIONES POR ATENUACION.-

La distancia máxima alcanzable entre emisor y receptor o entre regeneradores, está relacionada, entre otros, con los siguientes parámetros:

- a) Potencia óptica del emisor (P_T)
- b) Potencia mínima del receptor (P_{Rmin})
- c) Atenuación óptica total (AT)
- d) Atenuación máxima permisible del enlace (A_{mx})
- e) Coeficiente de atenuación de la fibra (α)

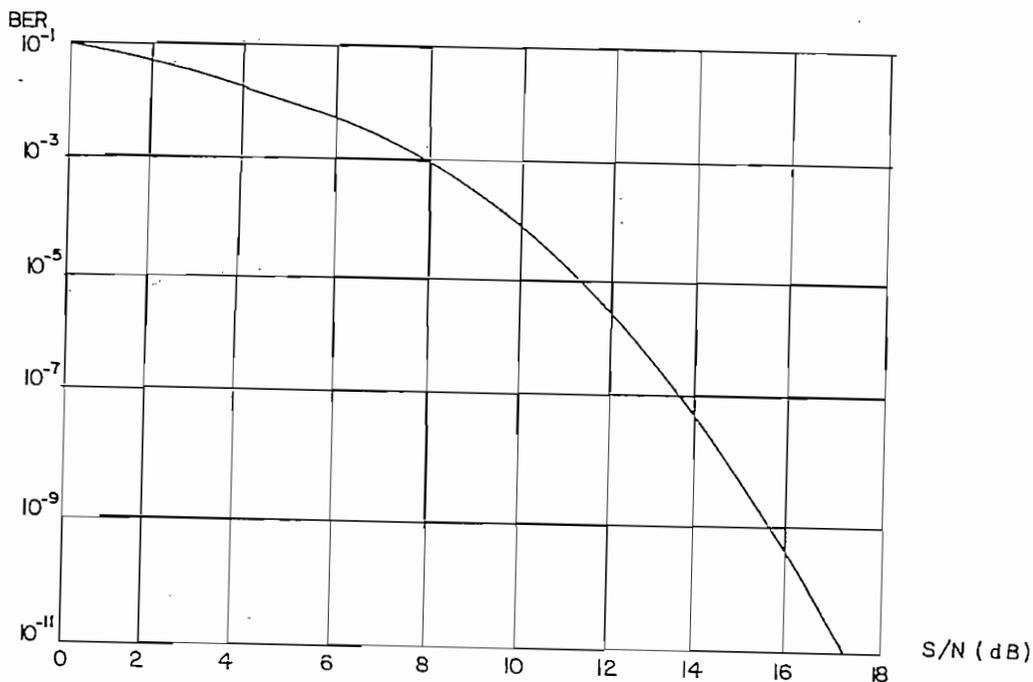
a) POTENCIA OPTICA DEL EMISOR (P_T).-

La potencia óptica del emisor, normalmente proporcionan los fabricantes y viene dada en μw o mw , o en su equivalente de dBm ($1 mw=0dBm$). Los valores prácticos están alrededor de $-5 dBm$ y $+10 dBm$ para láseres y entre $-30 dBm$ y $-20 dBm$ para LED, dependiendo del fabricante.

b) POTENCIA MINIMA DEL RECEPTOR (P_{Rmin}).-

Para el cálculo de la distancia máxima alcanzable (L_{mx}), el concepto de P_{Kmin} es de especial importancia. Se trata de la potencia óptica mínima que el fotodiodo necesita para una recepción confiable expresada en BER o S/N. Los valores prácticos de la sensibilidad son proporcionados por los fabricantes y expresados en μW o dBm, estos valores están alrededor de -35 dBm y -65 dBm para un BER entre 10^{-7} y 10^{-11} , dependiendo del fotodetector. Vale la pena indicar que un BER= 10^{-7} ya es bastante confiable, pues significa un bit errado en 10^7 bits transmitidos.

La relación señal/ruido (S/N) en el receptor y el BER están relacionados como se indica en la figura 3.9



DEPENDENCIA DEL BER DE LA RELACION S/N

FIG. 3.9

En este gráfico se aprecia que cuanto más confiable es el BER, mayor es la relación S/N requerida.

c) ATENUACION OPTICA TOTAL.-

En un enlace óptico, la atenuación total, también denominado presupuesto de pérdidas, equivale a la suma de numerosas pérdidas, entre las cuales hay que destacar las pérdidas por los siguientes factores (ver figura 2.25 del cap.2)

Ac1: Pérdida de acoplamiento transmisor-fibra

Ac2: Pérdida de acoplamiento fibra-receptor

AcT, AcR: Pérdidas en conectores

Ac: Pérdida total de acoplamiento (Ac1+Ac2+AcT+AcR)

Ms: Margen de operación del sistema (reserva)

Fp: Pérdida por el ancho de banda de la fibra

α L: pérdida por la fibra

L: longitud del enlace

De esta forma la atenuación total (AT) está dada por:

$$AT = \alpha * L + Ac + Ms + Fp \quad [dB]$$

Los valores de las diferentes atenuaciones son proporcionados por los fabricantes de los equipos terminales de línea. Es necesario dejar un margen de reserva del equipo de 3 a 7 dB y un margen de mantenimiento del cable de 2 a 4 dB en caso de problemas de reparación. Estos valores se incluyen en el

parámetro (Ms).

d) ATENUACION MAXIMA PERMISIBLE DE UN ENLACE.-

La atenuación máxima permisible de un enlace, como se indicó anteriormente, viene dada por la expresión:

$$A_{mx} = P_T - P_{Rmin} \quad (\text{dB})$$

Donde:

A_{mx} : máxima atenuación permisible

P_T : potencia del transmisor (dBm)

P_{Rmin} : potencia mínima del receptor para un BER confiable (dBm)

O por la expresión:

$$A_{mx} = 10 \cdot \log \frac{P_T}{P_{Rmin}} \quad [\text{dB}]$$

e) COEFICIENTE DE ATENUACION DE LA FIBRA.-

Para un enlace dado, conocido el valor de la distancia (L), es de suma importancia el valor máximo del

coeficiente de atenuación de la fibra por utilizar. Su valor está dado por:

$$\alpha_{mx} = \frac{A_{mx} - (A_c + M_s + F_p)}{L} \quad [\text{dB/Km}]$$

DISTANCIA MAXIMA DEL ENLACE.-

Se trata de la distancia máxima alcanzada entre transmisor y receptor o entre regeneradores, conocido el valor del coeficiente de atenuación de la fibra. Se puede obtener de las dos expresiones equivalentes:

$$(1) \quad L_{mx} = \frac{A_{mx} - (A_c + M_s + F_p)}{\alpha} \quad [\text{Km}]$$

$$(2) \quad L_{mx} = \frac{10 * \log (P_T / P_{Rmin})}{\alpha} \quad [\text{Km}]$$

En esta segunda expresión, P_T y P_{Rmin} deberán estar expresados en mw o μw .

Vale la pena indicar que la L_{mx} es bastante sensible al coeficiente de atenuación, (α), mientras que sus dependencia de la relación (P_T / P_{Rmin}) es débil. Por lo

tanto, para incrementar la longitud del enlace, la reducción de α es de mayor importancia que el aumento entre PT y PR_{min} , lo cual se logra usando fibras de menor atenuación, principalmente las fibras monomodo. /

3.2.3.2 LIMITACIONES POR ANCHO DE BANDA.-

Las limitaciones de ancho de banda de la fibra óptica tiene sus raíces en el fenómeno de la dispersión, analizado ampliamente en el capítulo I. Las diferentes componentes de un pulso (frecuencias o modos), tienen velocidades de propagación muy diferentes a lo largo de la fibra, ocasionando el ensanchamiento del pulso y limitando la banda de transmisión

El hecho de que el sistema de transmisión presente un ancho de banda limitado, implica una cierta atenuación de las frecuencias altas respecto a las bajas y se manifiesta en un ensanchamiento de los pulsos. A medida que los pulsos se ensanchan, van ocupando el espacio que media entre dos pulsos consecutivos y llega un momento en que el receptor no distingue entre un "0" y un "1"; en esta situación se dice que el sistema viene limitado por ancho de banda.

La interferencia entre símbolos a que da lugar la limitación por ancho de banda, implica una degradación del BER, la cual en la práctica equivale a un decremento efectivo del nivel de la señal óptica, que se la llama limitación por ancho de banda de la fibra (F_p), cuyo valor es aceptable, cuando está en el orden de 1-2 dB.

Tratándose de transmisión digital, el retardo dispersivo total debe cumplir la siguiente relación:

$$\sigma(L) \leq Z * T \quad (\text{ns})$$

$$\sigma(L) < Z/B \quad (\text{ns})$$

Siendo:

$\sigma(L)$: dispersión total correspondiente a la longitud del cable (ns)

L: longitud del cable entre transmisor y receptor (Km)

T: inverso de la velocidad de transmisión (ns)

Z: constante equivalente a 0.2

B: velocidad de transmisión

Adoptar un valor de $Z=0.2$ implica que el ensanchamiento dispersivo máximo del pulso debe ser equivalente al 20% del período de la señal transmitida, evitando, de este modo, la interferencia entre símbolos.

Atendiendo a su origen físico, la dispersión modal y la del material se adicionan cuadráticamente, debido a que el ensanchamiento (valor cuadrático medio) del pulso debido al material se produce dentro de cada modo y por ello se combina cuadráticamente con la dispersión modal. Por lo tanto, se cumple la relación:

$$\sigma^2 = \sigma_{mo}^2 + \sigma_{ma}^2$$

Donde:

σ_{mo} = valor cuadrático medio de la dispersión modal [ns/Km]

σ_{ma} = valor cuadrático medio de la dispersión del material [ns/Km]

σ = valor cuadrático medio de la dispersión total

En general, en las fibras multimodo, el principal factor de limitación de ancho de banda es la dispersión de modo que es superior a la dispersión del material. En las fibras multimodo de índice gradual, la diferencia de tiempos de retardo de grupo entre modos es menor que en las fibras multimodo de índice escalonado, y está en el orden de 0.1 a 0.3 ns/Km. Este es un dato proporcionado por el fabricante y para las fibras multimodo de índice escalonado está en el orden de 10 a 50 ns/Km. Por esta razón, la expresión para la dispersión total en una fibra multimodo de índice escalonado, se puede aproximar así:

$$\sigma(L) = \sigma_{mo} * L^{\gamma} \quad [\text{ns}]$$

Siendo:

σ_{mo} : La dispersión modal por Km (ns/Km)

L : Longitud del cable de fibra

γ : Factor de concatenación de ancho de banda de distorsión modal

El factor γ es una constante y tiene relación con el grado de mezcla modal de unos modos a otros al propagarse por la fibra. Suele oscilar entre 0.5 y 1.0. Un valor de 0.5 refleja un mayor grado de mezcla; en cambio, un valor alto, próximo a la unidad, indica la ausencia de dicho fenómeno. Como regla práctica, puede

adoptarse un $\gamma = 0.5$ para fibras de índice escalonado y un $\gamma = 0.6-0.8$ para fibras de índice gradual. Para una fibra dada el valor de γ puede obtenerse del fabricante de la fibra.

Experimentalmente se ha encontrado que el incremento de la dispersión modal en fibras multimodo, aumenta según L^γ

Por lo tanto, para fibras multimodo de índice escalonado la expresión de la longitud máxima del enlace, por limitación de ancho de banda será la siguiente:

$$\sigma_{mo} * L^\gamma \ll 0.2/B$$

$$L \ll \left[\frac{0.2}{B * \sigma_{mo}} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad [Km]$$

Para fibras multimodo de índice gradual, es conveniente también considerar el aporte de la dispersión debido al material, que viene dada por la expresión:

$$\sigma_{ma}(L) = M * \Delta\lambda * L \quad [ps]$$

Donde:

$\sigma_{ma}(L)$: Dispersión total debida al material (ps)

L : Longitud del cable de fibra (Km)

M : Coeficiente de dispersión del material (ps/nm.Km)

$\Delta\lambda$: Ancho espectral del emisor óptico (nm)

La dispersión total en fibras multimodo de índice gradual vendrá dada por la relación:

$$\sigma(L) = [(\sigma_{mo} * L^{\gamma})^2 + (M * \Delta\lambda * L)^2]^{1/2} \quad (ns)$$

Y para evaluar el límite superior de la distancia entre transmisor y receptor impuesta por limitación de ancho de banda, habría que resolver la ecuación:

$$[(\sigma_{mo} * L^{\gamma})^2 + (M * \Delta\lambda * L)^2]^{1/2} \ll 0.2/B \quad (ns)$$

En las fibras monomodo, la dispersión modal es cero, siendo la dispersión del material y la del guíaondas, que en conjunto constituyen la dispersión cromática, la que restringe su ancho de banda, pero en menor grado. En las fibras de silicio, la suma de estas dos dispersiones es cercana a cero, en la región de 1.3 μm de longitud de onda.

Por lo tanto, la longitud máxima del enlace para fibras monomodo y considerando las limitaciones de ancho de banda, vendrá dada por la expresión:

$$\sigma(L) = K * \Delta\lambda * L \ll 0.2/B \quad [ns]$$

$$L \ll \frac{0.2}{K * \Delta\lambda * B} \quad [Km]$$

$$K * \Delta\lambda * B$$

Donde, K, es el coeficiente de dispersión cromática total, el cual según la Recomendación G.652 del CCITT, que se adjunta en el ANEXO 2, debe ser \leq que 6 (ps/nm.Km) en la región de 1.3 μ m.

Vale la pena indicar que las expresiones anteriores son válidas, únicamente al considerar las limitaciones por ancho de banda, sin tomar en cuenta la limitación por atenuación que muchas veces es el factor primordial. Estas expresiones se aplican cuando se conoce los valores de dispersión de la fibra.

3.3.- EQUIPO TERMINAL DE LINEA OPTICO DE 8 Mb/s.-

Una vez realizada la correcta selección de los componentes, se acude al fabricante, el cual proporciona los datos de la FT, PRmin, pérdidas en conectores y márgenes del sistema que caracterizan al equipo terminal de línea. Con estos datos se calcula la distancia máxima permisible del enlace, la cual se ve limitada por las pérdidas de atenuación de la fibra, de conectores, etc, así como por limitaciones de ancho de banda. Con estos datos, se determina la factibilidad o no del enlace.

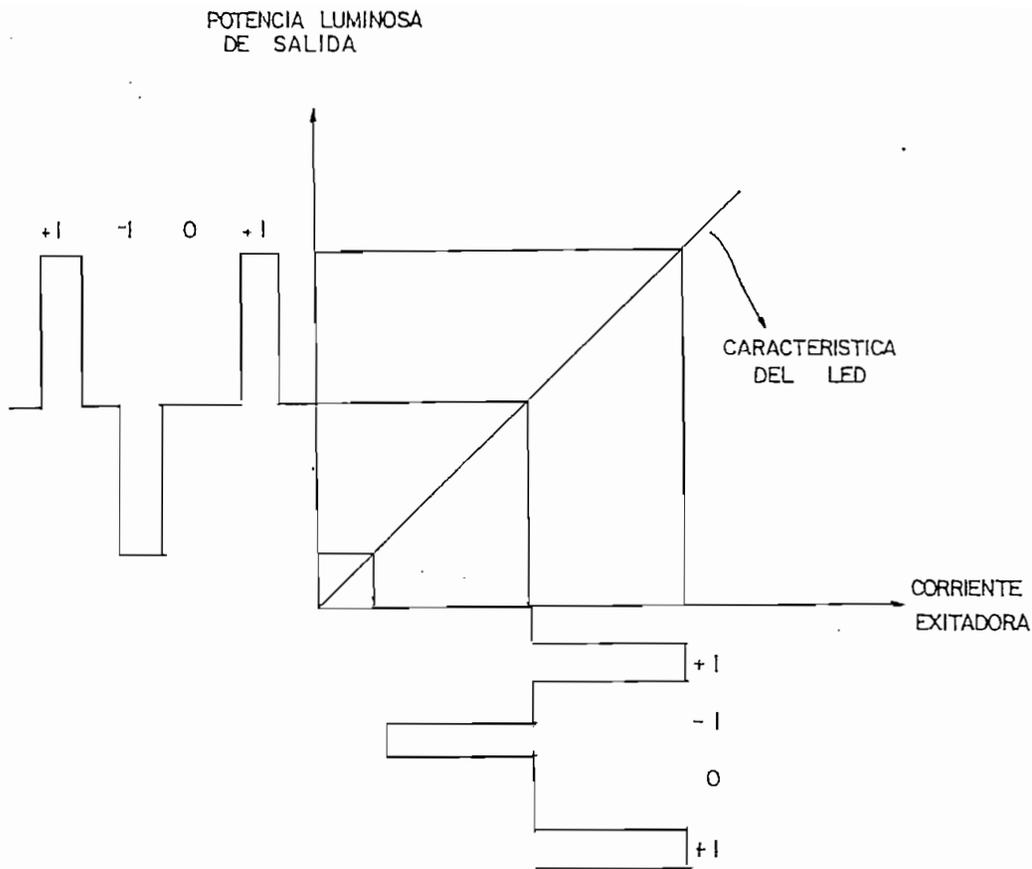
Hay que indicar que el desarrollo de los equipos terminales de línea óptica se ha concentrado en los últimos años en sistemas de alta velocidad, pero al ir disminuyendo los costos de la fibra ha ido aumentando el interés por los sistemas de baja velocidad.

En base a la determinación de los parámetros, realizado en el numeral 3.2, el equipo terminal de línea óptico de 8 Mb/s, que trabaje a la longitud de onda de 850 nm, deberá tener las características que se resumen en la siguiente tabla:

PARAMETRO	ESPECIFICACION
Bit rate	8.448 Mb/s
Capacidad	120 canales
Emisor	LED
Receptor	PIN
Potencia de transmisión	-30 dBm
Potencia de recepción	-45 dBm (BER=10 ⁻¹¹)

El sistema deberá contener un diodo luminiscente (LED) como emisor, con un ancho espectral típico inferior a 100 nm y un fotodiodo PIN como receptor; deberá estar previsto para conexión con fibra multimodo de índice gradual y trabajar a la longitud de onda de 850 nm. También deberá disponer de atenuadores en pasos de 0.5 dB.

La señal óptica consiste normalmente, en un tren de pulsos codificado en HDB3. El diodo luminiscente se modula de forma que da tres diferentes intensidades de luz correspondientes a los niveles -1, 0, +1 de la señal de datos, de acuerdo al gráfico de la figura 3.10



POTENCIA LUMINOSA DE SALIDA Vs. CORRIENTE EXITADORA

FIG. 3.10

Las funciones del equipo terminal de línea óptico son:

- Convertir la señal eléctrica en una señal óptica que se emite por la fibra.

- Recibir la señal óptica, regenerarla y convertirla a una señal eléctrica que se reenvía a la interface digital.

El equipo de interface óptico del sistema deberá conectarse a la fibra, a través de conectores ópticos enchufables de baja atenuación. (1-2 dB).

El campo de aplicación más importante de un sistema óptico de 8 Mb/s, son las redes urbanas, organizadas sobre la base de centrales telefónicas digitales; si se lo emplea conjuntamente con multiplexers 2/8 Mb/s, sirve

de enlace entre la central principal y un paso remoto de abonados.

3.4.- PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS DEL ENLACE (en dB).-

El presupuesto de pérdidas del enlace, viene dado por el valor total de atenuación que incluye las pérdidas de acoplamiento en conectores, entre el transmisor y la fibra, entre la fibra y el receptor; la atenuación debida a la fibra misma y los márgenes de reserva.

Este presupuesto de pérdidas en dB, no debe superar la atenuación máxima permisible para un BER confiable: entre 10^{-9} y 10^{-11} . Para el enlace realizado, los valores de pérdida son los siguientes:

Velocidad binaria	8.448 Mb/s
Longitud de onda	850 nm
Potencia óptica de salida	-30 dBm
Sensibilidad límite del receptor	-45 dBm
Pérdidas totales de conexión (Ac)	4.5 dB
Margen de operación del sistema (Ms)	5 dB
Limitación por ancho de banda de la fibra (Fp)	0 dB
Coefficiente de atenuación de la fibra (α)	3 dB/Km
Longitud del enlace (L)	1.0 Km

No existen pérdidas por limitación de ancho de banda de la fibra, por cuanto la velocidad binaria de transmisión

es muy inferior al ancho de banda de distorsión modal de la fibra multimodo de índice gradual, que en el peor de los casos es de 200 MHz.Km, según la Recomendación G. 651 del CCITT que se adjunta en el anexo 2 .

a) ATENUACION MAXIMA PERMISIBLE.-

La máxima atenuación permisible del enlace será:

$$A_{mx} = P_T - P_{R\min} \quad (\text{dB})$$

$$A_{mx} = -30 - (-45) = 15 \text{ dB}$$

b) PRESUPUESTO DE PERDIDAS.-

El presupuesto total de pérdidas AT, es:

$$AT = \alpha \cdot L + A_c + M_s + F_p$$

$$AT = 3.0 \cdot 1.0 + 4.5 + 5 + 0$$

$$AT = 12.5 \text{ dB}$$

El cual es inferior a la atenuación máxima permisible, por lo tanto, el enlace es completamente factible utilizando un terminal de línea con esas características de transmisión, por cuanto no hay problema por atenuación, ni por ancho de banda, ya que la distancia es corta. Por esta misma razón no es necesario realizar empalmes.

c) LONGITUD MAXIMA DEL ENLACE.-

Podemos calcular además, la máxima longitud del enlace, a través de la expresión:

$$L_{mx} = \frac{A_{mx} - (A_c + M_s + F_p)}{\alpha}$$

$$\alpha = 3 \text{ dB/Km}$$

$$A_c = 4.5 \text{ dB}$$

$$M_s = 5.0 \text{ dB}$$

$$F_p = 0.0 \text{ dB}$$

$$L_{mx} = 1.8 \text{ Km}$$

Además, podemos demostrar que no existe en este caso limitación por ancho de banda, calculando la longitud máxima del enlace a través de la expresión:

$$[(\sigma_{mo+L}^\gamma)^2 + (M \cdot \Delta\lambda \cdot L)^2]^{1/2} \ll 0.2/B$$

Y reemplazando los valores:

$$B = 8.448 \text{ Mb/s}$$

$$\sigma_{mo} = 0.3 \text{ ns/Km}$$

$$\gamma = 0.8$$

$$M = 120 \text{ ps/Km.nm}$$

$$\Delta\lambda = 100 \text{ nm}$$

Obtenemos la ecuación:

$$0.09 L_{mx}^{1.4} + 144 L_{mx}^2 = 560.46$$

Resolviendo se tiene:

$$L_{mx} = 1.97 \text{ Km}$$

De modo que el enlace de 1 Km es totalmente factible. Hay que tomar en cuenta que se ha considerado el peor caso, pues se ha tomado los valores extremos, tanto para el coeficiente de dispersión del material (M) dado por el CCITT para fibra multimodo de índice gradual, como para el ancho espectral de un diodo electroluminiscente; estos valores aumentan la dispersión del material y consecuentemente, limitan la distancia máxima permisible.

d) COEFICIENTE MAXIMO DE ATENUACION DE LA FIBRA.-

Este valor se calcula a través de la expresión:

$$\alpha_{mx} = \frac{A_{mx} - (A_c + M_s + F_p)}{L}$$

$$A_{mx} = 15.0 \text{ dB}$$

$$A_c = 4.5 \text{ dB}$$

$$M_s = 5.0 \text{ dB}$$

Fp = 0.0 dB

L = 1.0 Km

Se tiene: $\alpha_m = 5.5$ dB/Km

La recomendación del CCITT especifica valores de atenuación para fibras multimodo de índice gradual inferiores a 4 dB/Km, a la longitud de onda de 850 nm; de modo que los fabricantes ofrecen fibras con dichos coeficientes de atenuación.

3.4.1.- CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SISTEMA DE TRANSMISION OPTICO HA IMPLEMENTARSE.-

En la siguiente tabla se hace un resumen de las características técnicas que deberá disponer el sistema de transmisión óptico para el enlace entre la central digital de Marical (MSS) del IETEL y el concentrador digital ubicado en la EPN.

a) Interface eléctrica

(conforme a la Rec. G.703 del CCITT)

Velocidad binaria	8.448 Mb/s \pm 30 ppm
Código	HDB3
Impedancia de carga de prueba	75 Ω
Amplitud de pulsos	+2.37 v

b) Transmisión óptica

Emisor	LED
Receptor	PIN

Longitud de onda	0.85 μm
Potencia de salida	> -30 dBm
Sensibilidad límite	< -45 dBm
Atenuación máxima permisible para un BER= 10^{-9}	15 dB
Longitud máxima del enlace	1.8 Km

c) Medio de transmisión
(conforme a la Rec. G.651 del CCITT)

Fibra óptica	multimodo/gradual
Diámetro del revestimiento	125 ± 3 μm
Diámetro del núcleo	50 ± 3 μm
Apertura numérica	0.02
Índice de refracción del núcleo	1.46
Diferencia normalizada de índices de refracción	0.014
Perfil de índice de refracción	parabólico ($g=2$)
Coefficiente de atenuación	≤ 4 dB/Km
Factor de mérito	≥ 200 Mhz.Km
Dispersión cromática	≤ 120 ps/Km.nm

d) Fuente de voltaje -36 a -60 Vcc

e) Rango de temperatura 0 a 45°c

3.5.- PASO REMOTO DE ABONADOS (RSS).-

El paso digital de abonados o concentrador digital, puede instalarse junto con la central matriz o como unidad remota en la red de abonados, como sustituto de centrales públicas pequeñas. Existen unidades remotas, Remote Subscriber Switch (RSS), de diferentes capacidades: desde una versión mínima para 64 abonados hasta una para 2048.

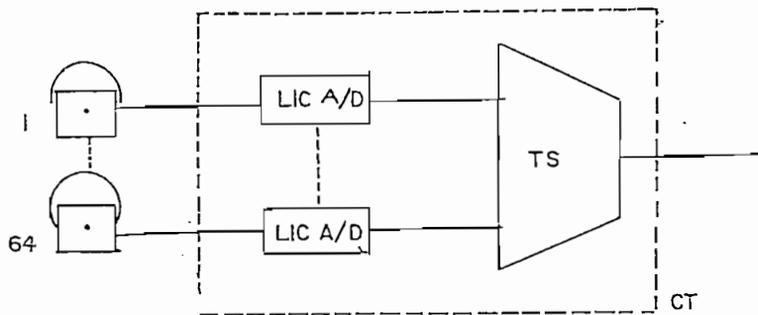
El paso digital de abonados, RSS, constituye una parte integrante de una central digital, por lo cual los abonados conectados al RSS disfrutan de los mismos servicios que los ofrecidos a los restantes abonados de la red y resulta económicamente ventajoso conectar RSS a sus centrales matrices a través de enlaces PCM. La disposición remota de pasos digitales de abonados implica que la interface digital se sitúa más cerca del abonado, con la perspectiva de digitalizar completamente la red y permitir la prestación de otros servicios. Aparte de que se mejoran las características de transmisión y al mismo tiempo, se economiza en la red primaria convencional.

El enlace con un paso remoto de abonados consiste normalmente en líneas digitales de alta frecuencia, que pueden ser cable de fibras o cable de pares; si el paso remoto de abonados sufre una interrupción total del enlace, su función se modifica automáticamente de forma que puede continuar estableciendo conexiones entre los abonados de su unidad y tener una función autónoma, lo cual constituye una gran ventaja.

3.5.1.-FUNCIONES Y ESTRUCTURA DEL RSS.-

El paso digital de abonados ejecuta las mismas funciones que un paso análogo de abonados es decir, alimentación de corriente a los abonados, emisión de corriente de llamada y recepción de cifras, además de la concentración del tráfico propiamente dicha.

Es un equipo de conmutación cuyo papel principal, es dar servicio telefónico a un cierto número de abonados a través de un número de líneas troncales menor que el de los abonados. Básicamente está constituido por un módulo de concentración temporal, (CT), que contiene circuitos de línea análogo/digitales (LIC A/D) y un selector temporal, (TS), como se muestra en la figura 3.11



MODULO DE CONCENTRACION TEMPORAL

FIG. 3.11

3.5.1.1.- MODULO DE CONCENTRACION TEMPORAL.-

Un paso de abonados para 2048 abonados, consta de 32 módulos de concentración temporal, (CT), cada uno de ellos para 64 abonados. Uno de 256 abonados consta de 4 módulos de concentración temporal.

Cada módulo de concentración temporal, (CT), contiene 64 circuitos de línea (LIC A/D), selector temporal, circuito de interface hacia la central digital y equipo de prueba de líneas.

El paso digital de abonados puede conectarse directamente a la central matriz o como unidad remota; en este segundo caso, la conexión se hace a través del número necesario de sistemas PCM de 2.048 Mb/s.

3.5.1.2.- CIRCUITO DE LINEA ANALOGICO DIGITAL.-

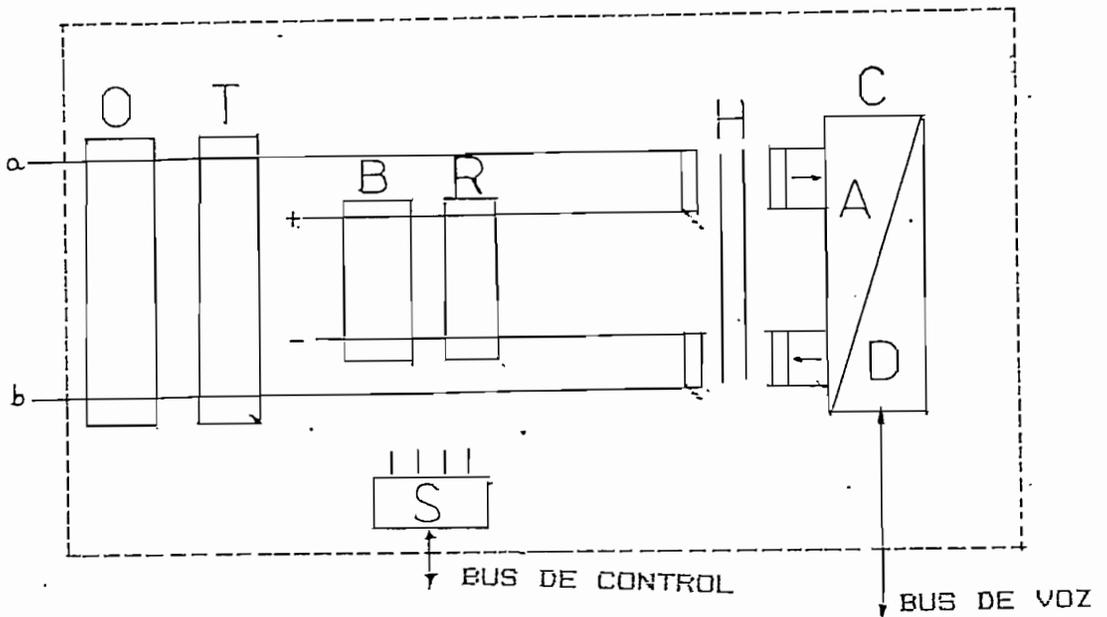
El paso digital de abonados tiene un circuito de línea (LIC) por cada línea de abonado conectada. En este circuito de línea tiene lugar la conversión de voz, de señal analógica a señal digital y se encarga de implementar la llamada función BORSCHT .

La palabra BORSCHT está formado por las iniciales de los puntos más importantes para la interface con la línea de abonado, que son:

B (Battery feed): suministro de corriente para la conversación

- O (Overvoltage protection): protección contra sobretensiones
- R (Ringing) : emisión de la corriente de llamada
- S (Supervision and signaling): supervisión y señalización
- C (Codec) : codificación y decodificación
- H (Hybrid) : conversión de 2 a 4 hilos
- T (Test Access): prueba de la línea de abonado

En la figura 3.12 se muestra las distintas partes del circuito de línea y su función.

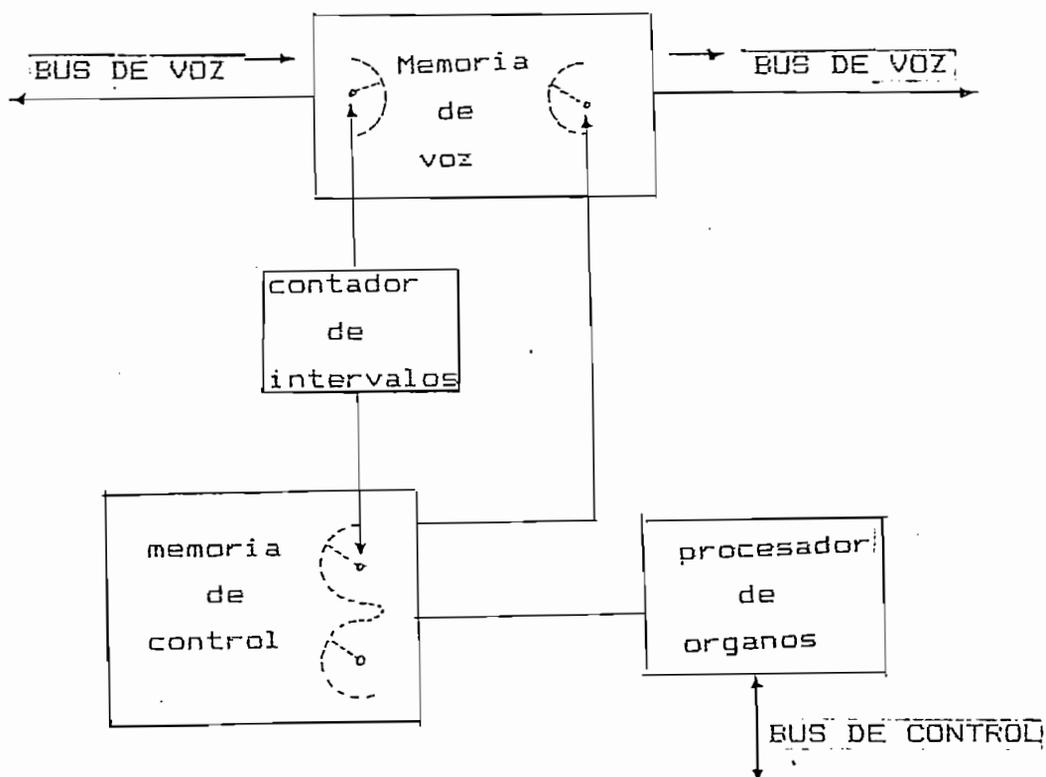


ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CIRCUITO DE LINEA
 FIG.3.12

3.5.1.3.- SELECTOR TEMPORAL.-

En el paso digital de abonados la concentración se realiza por división de tiempo y tiene lugar en el selector temporal.

El selector temporal está constituido por una memoria de control, un contador de intervalos y un procesador de órganos, como se indica en la figura 3.13



ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL SELECTOR TEMPORAL

FIG.3.13

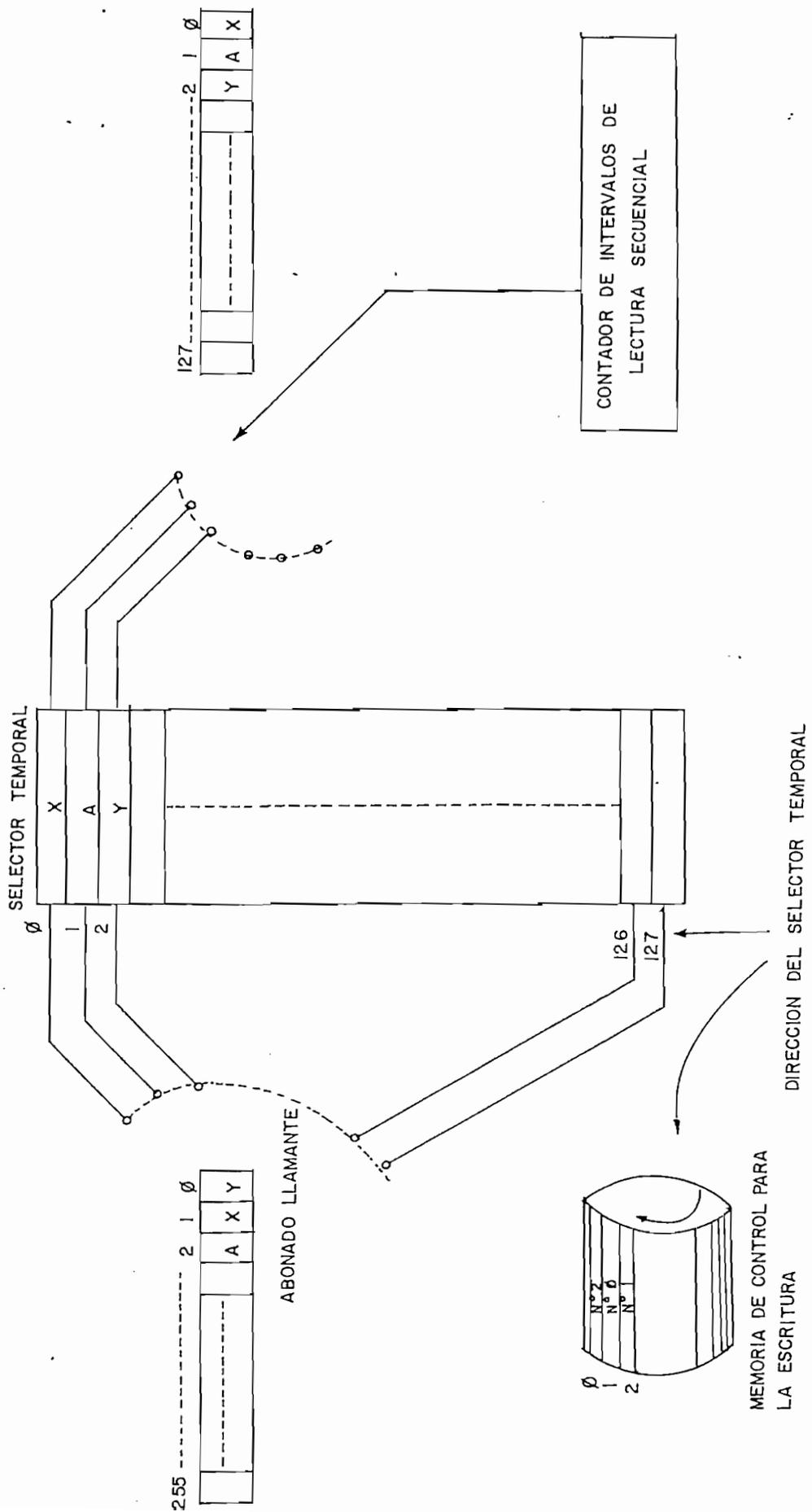
Las muestras de voz entrante se cargan consecutivamente en la memoria de voz, bajo el control del contador de intervalos. Al descargar hacia el bus de voz saliente, el contador de intervalos indica la posición de la memoria de control en que se encuentra almacenada la posición respectiva de la memoria de voz. Para establecer una nueva comunicación, los datos de la memoria de control se cambian por medio del procesador de órganos

El procesador de órganos está constituido por un microprocesador. Las funciones de control están descentralizadas porque las placas con componentes de circuitos de línea, placa de selector temporal y placas de circuitos de interface hacia la central digital, están provistas con microprocesadores, con programas fijos, escritos en lenguaje de alto nivel.

3.5.2.- PRINCIPIO DEL SISTEMA DE CONCENTRACION POR DIVISION DE TIEMPO.-

En la figura 3.14 se indica el principio del selector que permite la concentración por división de tiempo. La idea es concentrar 256 canales a 128, usando la técnica de escritura aleatoria y lectura secuencial. El principio de funcionamiento es el siguiente:

a) Empleando la forma de escritura aleatoria y lectura secuencial, se tiene que el número de direcciones escritas en la memoria conmutadora de concentración, será igual al número de intervalos de tiempo del bus



CONCENTRACION POR DIVISION DE TIEMPO

FIG. 3.14

saliente. Por tanto el contenido "x" de la dirección "0" podría leerse en el intervalo de tiempo "0".

b) Si se detecta a un abonado llamante en el bus entrante, el sistema busca un intervalo de tiempo libre en el bus saliente.

c) Para escribir la información del intervalo "2" del bus entrante, en la dirección "1" del selector temporal (que corresponde al intervalo de tiempo libre en el bus saliente), se establece la dirección número "1" del selector temporal en la celda correspondiente a la dirección "2" de la memoria de control de escritura (que corresponde al intervalo de tiempo "2" entrante).

d) En el momento de arribo del intervalo "2" entrante, según el contenido de la memoria de control de escritura, se escribe "A" en la dirección número "1" del selector temporal.

e) En el intervalo de tiempo "1" del bus saliente se leerá "A", por la acción del contador de lectura.

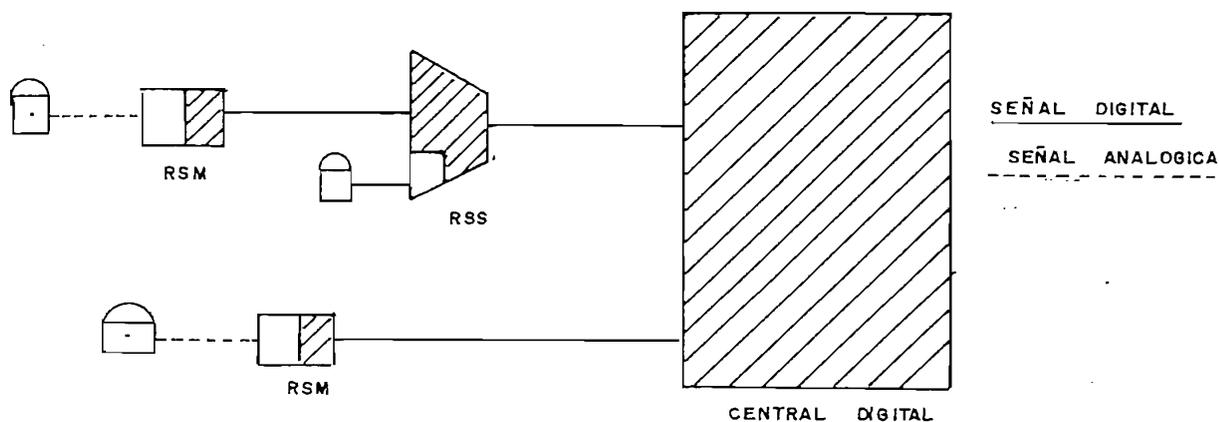
3.6.- MULTIPLEXER REMOTO DE ABONADOS (RSM).-

En la actualidad los costos de ampliación convencionales de redes de abonados usando cables de pares, muestran una tendencia creciente a causa del incremento de los costos de material y mano de obra, en tanto, que la evolución de los costos de sistemas electrónicos es más

favorable, por lo cual, se prevee un aumento en el uso de equipos electrónicos para la ampliación de las redes de abonado; aparte de que el desarrollo técnico permite diseñar equipos cada vez más pequeños con bajo consumo de potencia. Esta técnica digital permite además integrar la transmisión y la conmutación junto con su mantenimiento, lo cual favorece, a la organización de una red basada en unidades remotas. Circunstancias estas que motivan el uso de multiplexers remotos de abonados, Remote Subscriber Multiplexer (RSM).

Los RSM tienen capacidad para 30 abonados, cada uno de los cuales tiene asignado su propio intervalo de tiempo en las señales multiplexadas en el tiempo, de 2 Mb/s.

El multiplexer RSM, puede conectarse al paso digital de abonados, sea que esté ubicado en la central matriz o que sea remoto; también puede conectarse directamente a la central, tal cual se aprecia en la figura 3.15



CONEXION DE RSM A UNA CENTRAL DIGITAL

Fig 3.15

Para transmitir la señal digital de 2 Mb/s que sale del RSM hacia el RSS o directamente a la central, se emplean líneas digitales de alta frecuencia (cable de pares o de fibras ópticas), e incluso radioenlaces digitales, cuando la distancia lo justifica.

El multiplexer remoto de abonados (RSM), consta de: un multiplexer PCM-30 y circuitos de línea con híbrido de 2/4 hilos. Puede comprender además equipo terminal de línea para cables de pares o fibra óptica, dependiendo de la aplicación.

El multiplexer PCM-30 del RSM convierte 30 canales analógicos de voz en la interface de 4 hilos, en una señal digital de 2:048 Mb/s y viceversa; este equipo incluye: unidades de canal, unidades de canal de transmisión, unidades de canal de recepción y unidades de control de transmisión y recepción.

Los circuitos de línea (LIC) realizan la conversión de 2/4 hilos. Las líneas de abonados de 2 hilos se conectan a los LIC que contienen un acoplamiento híbrido para el paso a circuito de voz de 4 hilos, el cual se conecta a las unidades de canal en el multiplexer PCM-30. Los LIC además permiten la implementación de la función BORSCHT, tal cual se indicó en el literal 3.5.1.2

3.6.1.- CONEXION ENTRE RSM Y RSS.-

Cuando se conectan multiplexers RSM al paso digital de

abonados, los circuitos de línea (LIC A/D) del módulo de concentración temporal (CT), se sustituyen por un módulo de conexión para el RSM, el cual transfiere la información entre los buses de voz y control provenientes de la central y dos flujos salientes de 2.048 Mb/s, cada uno de ellos para conexión de un RSM. A cada módulo de concentración temporal, se pueden conectar entonces 2 RSM para un total de 60 abonados. La conexión entre la PBX digital y el paso digital de abonados es de idéntica forma y ello se explica a través del principio de concentración por división de tiempo.

3.6.2.- VENTAJAS EN EL USO DE RSS Y RSM .-

Con los componentes de red usados en el presente diseño, esto es, multiplexer remoto de abonados (RSM), paso remoto de abonados (RSS), central digital pública, central digital privada (PBX) y líneas digitales de alta frecuencia usando cable de fibras ópticas, es posible organizar una red económica, digital y que puede ser aplicable en redes urbanas y rurales. La técnica digital proporciona las siguientes ventajas:

a) Al digitalizar los sistemas de conmutación y transmisión se reduce el número de conversiones analógico/digitales al mínimo, tendiéndose hacia una red digital integrada.

b) La calidad de transmisión es alta y prácticamente independiente de la distancia.

c) Debido al desarrollo de las técnicas digitales, la industria de fabricación de componentes, ha desarrollado

circuitos integrados cada vez más complejos. El rápido aumento del número de aplicaciones basadas en técnica digital ha incrementado la demanda de esos componentes y su producción en cantidades cada vez mayores ha permitido reducir los costos. A medida que se difunden las técnicas digitales, los fabricantes producen sistemas analógicos en cantidades cada vez menores, lo que tiende a aumentar los costos de producción, de modo que la producción de sistemas analógicos podría cesar.

d) La tecnología digital permite la facilidad de instalación por cuanto se reduce el cableado entre los paneles y bastidores. También por la miniaturización de los componentes, los equipos se reducen en tamaño y peso, así como existe una baja considerable en disipación de potencia. Además los equipos analógicos son considerablemente más ruidosos que los digitales.

e) La tecnología digital permite el ahorro de cable de cobre en líneas de abonado; al usar concentrador digital y multiplexer remoto de abonados, la red digital se sitúa cada vez más cerca del abonado; de esta forma, se minimizan los costos de la red de abonados que en la actualidad es muy cara. Los sistemas multiplex de abonados pueden emplearse para aumentar la capacidad de los cables de pares ya instalados o por instalarse, puesto que al multiplexar 30 abonados, solo se necesitan dos pares, lo que permite un ahorro en costo de cables. Por tanto, el enlace entre el RSS y RSM es PCM y se requiere solo de 2 pares (2 hilos para transmisión y 2 hilos para recepción); de usarse el sistema convencional para enlazar los 30 abonados se requerirían 30 pares.

El multiplexer remoto de abonados es un importante

componente de la red, porque aumenta la zona de cubrimiento del concentrador digital y permite mayor flexibilidad en la distribución de las líneas directas.

Finalmente hay que indicar que una gran ventaja del uso del paso digital de abonados, es reducir el número de canales salientes hacia la central, lográndose un sistema con un mayor número de abonados y una mayor cantidad de extensiones de PBX, sin afectar la calidad de servicio.

3.7.- CARACTERISTICAS TIPICAS DEL RSS, DEL RSM Y DE LA PBX.-

A continuación se indican las características típicas del paso remoto de abonados digital (RSS), del multiplexer remoto de abonados (RSM) y de la central digital privada (PBX) que deberían poseer los equipos que conformarían la red a implementarse en la EPN.

A) CARACTERISTICAS DEL RSS.-

a) Número de abonados.-

El concentrador deberá tener una capacidad máxima de servicio a 240 líneas directas (4 módulos de concentración temporal). El número de abonados directos por módulo máximo será de 60. Estará estructurado en forma modular.

b) Capacidad de tráfico del paso digital de abonados.-

El paso digital de abonados deberá tener la capacidad de manejar un tráfico de 0.15 Erlang para el tráfico externo promedio por cada abonado conectado y de 0.07 Erlang para el tráfico interno promedio, dentro de la Escuela Politécnica. Puesto que de acuerdo a nuestro análisis, inicialmente al paso digital se conectarán 45 líneas directas y 287 extensiones de PBX, deberá cursar un tráfico total mayor o igual a 73.04 Erlang ($332 * 0.22$ Erlang).

Dentro de 10 años, se prevee la conexión de 60 líneas directas y 400 extensiones, por tanto el paso digital, con 3 módulos de concentración, deberá tener una capacidad de tráfico superior a 101.2 Erlang ($460 * 0.22$ Erlang)

c) Relación de concentración.-

El paso remoto de abonados estará constituido por módulos de concentración temporal que realicen la concentración de 60 a 30 canales de voz, por tanto, la relación de concentración deberá ser de 2:1.

d) Enlaces PCM.-

El paso remoto de abonados deberá estar diseñado para enlazar 4 sistemas PCM hacia la central pública, cumpliendo la recomendación G.703 del CCITT.

e) Conexión a RSM y a la PBX.-

Cada módulo de concentración temporal, deberá poseer un módulo de conexión a multiplexer remotos de abonados, que permita enlazar a través de 2 flujos PCM con 2 RSM o con la PRX, de manera que la línea digital se ubique más cerca del abonado y se pueda aprovechar las ventajas indicadas en el numeral anterior.

f) Fuente de poder.-

Un valor típico de voltaje usado para la alimentación de pasos telefónicos digitales es de -48V de corriente continua, de modo que el paso digital a instalarse en la EPN deberá tener una alimentación de corriente generada por una fuente de dicho valor, el cual deberá provenir de la central digital de Mariscal 5, de la empresa japonesa NEC, la cual opera con dos sistemas de alimentación de energía: El de -48 V de CC y el de 220 V (o 110 V) de CA, 50/60 Hz, monofásico.

Sin embargo, también deberá tener una batería de reserva de -48 V de CC, para dar mayor confiabilidad al sistema.

g) Condiciones ambientales.-

Los pasos remotos de abonados (RSS) normalmente se construyen para rangos de operación de 0°C a + 45°C, temperaturas que abarcan satisfactoriamente las condiciones ambientales de la EPN de Quito.

B) CARACTERISTICAS DEL RSM.-

El multiplexer remoto de abonados, RSM, deberá poseer

las siguientes características:

a) Número de abonados: 30

b) Número de conexiones de RSM por cada módulo de concentración temporal: 2

c) Banda de frecuencias: 300-3400 Hz

d) Resistencia de bucle incluido el aparato telefónico: $< 2500 \Omega$. La resistencia de bucle, varía de acuerdo al fabricante, sin embargo puede considerarse permisible una resistencia de 2000Ω que conjuntamente con la del aparato telefónico, la cual también varía de acuerdo al fabricante y está entre 100 y 400Ω , sería inferior a 2500Ω .

e) Tensión de alimentación: -48 V de CC

Rectificadores: 110 o 220 V

f) Temperatura de operación: -40°C a $+45^{\circ}\text{C}$

g) Dimensiones típicas: Las dimensiones típicas de un armario para RSM de 30 canales y que puede ser instalado en el interior de un edificio, son las siguientes:

Altura: 250 mm

Ancho : 500 mm

Fondo : 220 mm

Las de un armario exterior para RSM de 30 canales son:

Altura: 1500 mm
Ancho : 860 mm
Fondo : 500 mm

C) CARACTERISTICAS DE LA PBX DIGITAL.-

Las características de la PBX digital a implementarse en la EPN serán las siguientes:

a) Capacidad de extensiones.-

Inicialmente deberá estar constituida por dos módulos de líneas los cuales, deberán ser autónomos e independientes y a los que podrán conectarse 200 extensiones a cada uno. La PBX deberá ser modular

b) Capacidad de tráfico.-

Cada módulo de línea (ML) de la central, deberá tener la capacidad de manejar un tráfico externo de por lo menos 30 Erlang (0.15 Erlang por cada extensión) y un tráfico interno de 14 Erlang (0.07 Erlang por cada extensión).

c) Número de operadoras:4

d) Aparatos de conexión.-

La central deberá permitir la conexión de aparatos analógicos convencionales, digitales, de operadora y

terminales de datos.

e) Facilidades.-

Con aparatos convencionales deberá facilitar las siguientes funciones:

- Transferencia de llamada de una extensión a otra.
- Facilidad de retrollamada automática cuando la extensión está ocupada y cuando no hay contestación.
- Posibilidad de que tres o más extensiones, se conecten en conferencia.
- Restricción de llamadas.
- Indicación de llamada en espera.

Con aparatos digitales, el sistema deberá brindar las siguientes facilidades:

- Tráfico interno entrante y saliente automático y por telefonista.
- Llamada a grupo.
- Contestación desde cualquier extensión al recibir llamada a grupo.
- Conexión nocturna general.
- Cómputo de llamadas, contando impulsos por tasación.
- Conexión de terminales de datos o PC a los dos hilos del teléfono digital, usando el adaptador terminal adecuado.

f) Suministro de energía.-

La tensión nominal de trabajo de las centrales PBX normalmente es de -48V de CC; la central se alimenta de la red alterna 110/220 V a través de rectificadores. Se

añaden baterías y equipo de carga para garantizar el funcionamiento sin interrupciones.

g) Temperatura ambiente: 0°C a 40°C

h) Dimensiones.-

El equipo deberá estar constituido por un armario independiente que incluya un bastidor básico, bastidores de ampliación de extensiones, rectificadores, baterías y repartidor de cables. Las dimensiones típicas de una central, constituida por un módulo de líneas independiente, con las características mencionadas anteriormente son:

Altura: 1200 mm

Ancho : 680 mm

Fondo : 340 mm

3.8.- COMPARACION ENTRE LOS TIPOS DE ENLACES DIGITALES.-

Con el objeto de complementar el estudio del enlace realizado, a continuación se hace una comparación entre los diferentes tipos de enlaces digitales, tanto en el aspecto técnico como económico, señalando ventajas y desventajas de los diversos sistemas.-

a) ENLACE POR CABLE METALICO.-

Los primeros medios de transmisión de las señales

digitales fueron los cables metálicos. A través de los cables se transmiten sistemas de hasta 2Mb/s en el caso de los cables de pares y hasta 565 Mb/s en el caso de cable coaxial, como se indica en el siguiente cuadro:

CABLE	VELOCIDAD BINARIA (Mb/s)	UTILIZACION
Pares Simétricos	2	Red Local
Microcoaxial	8	
Coaxial 0.7/2.9(mm)	34	
Coaxial 1.2/4.4(mm)	140	Larga distancia
Coaxial 2.6/9.5(mm)	140	Redes distantes
	565	

Para sistemas de 140 Mb/s, los cables coaxiales más usados son los de 1.2/4.4 (mm) es decir, 1.2 (mm) de diámetro interior y 4.4 (mm) de diámetro externo, con una distancia entre repetidores de 2 Km.

En el cable de pares, al aumentar la banda de transmisión, la atenuación y diafonía aumentan considerablemente, por esta razón, no es práctico transmitir a velocidades superiores de 2 Mb/s. Sin embargo, por el costo que representa la red se ha logrado usar los cables existentes de la red local, transmitiendo 30 canales telefónicos en una línea construida por 4 hilos, o sea 2 hilos en el un sentido y los 2 restantes en el otro; como estos cables fueron diseñados para transmitir a frecuencia vocal y ahora tienen que transmitir hasta alrededor de una banda de 2

seleccionan adecuadamente los pares que se van a utilizar, que generalmente son los más internos y los que no se usan (los más externos) sirven de blindaje, de esta forma se logra usar sólo aproximadamente un 50% de la capacidad del cable, lo cual es desventajoso.

Debido que al aumentar la frecuencia de la señal transmitida, la línea presenta mayor atenuación es necesario introducir repetidores en cada cierto tramo; desde el punto de vista práctico y para el caso de cable de pares se usa una separación entre repetidores de 1 a 3 Km de acuerdo al calibre y al tipo de cable. El usar repetidores constituye otra desventaja por cuanto hace que el costo del sistema se encarezca, a lo cual se agrega el incremento del costo de cables.

b) ENLACE POR RADIO

En los sistemas de radio, el ancho de banda es rígido y bien definido para que no haya interferencia entre canales. El radioenlace por lo general es conveniente cuando las condiciones topográficas del trayecto dificultan la utilización del cable y solo resulta más económico para grandes distancias.

Al igual que en el cable coaxial y el de fibra óptica, se puede transmitir hasta el quinto orden de la jerarquía digital; los casos típicos de utilización para redes locales, es con sistemas de 2 y 8 Mb/s, aplicados en zonas de media y débil densidad telefónica, así como para regiones de relieve desigual. La longitud típica del enlace es de alrededor 30 Km y el salto máximo varía

de 25 a 60 Km de acuerdo al equipo utilizado.

c) ENLACE POR FIBRA OPTICA.-

Como se ha mencionado anteriormente, son múltiples las ventajas de la fibra óptica para redes telefónicas:

- La distancia entre regeneradores es grande en comparación con la de los cables metálicos para una capacidad similar, lo cual produce una reducción de los costos del sistema, pues limita el número de repetidores.

- El ancho de banda es grande, lo que hace que la capacidad de transmisión también lo sea.

- Es insensible a interferencias e inducciones electromagnéticas, total aislamiento eléctrico y de diafonía despreciable, a diferencia de los cables metálicos.

- El diámetro del cable de fibra óptica es pequeño, por tanto ocupa poco espacio en los ductos de canalización, lo que a largo plazo también representa una reducción en costos de la red telefónica.

- Usando el equipo adecuado, es muy fácil y rápido realizar empalmes de fibra óptica; pueden empalmarse fibras monomodo y multimodo con diámetros exteriores de 125 μm y diámetros de envolturas de 2mm, obteniéndose atenuaciones medias de empalme inferiores a 0,1 dB según datos proporcionados por la Siemens. Esta facilidad para hacer empalmes y el hecho de que el tendido de cables de fibra se hace en largos tramos (1 a 5 Km), a

diferencia de los cables metálicos (200 a 300 metros) se traduce en menores costos y tiempo de instalación. Además, los empalmes de cables metálicos crean problemas por ruptura y humedad.

3.8.1.- COMPARACION DE COSTOS ENTRE LOS ENLACES POR CABLE DE PARES MIC Y FIBRA OPTICA.-

A continuación se hace un breve análisis económico comparativo entre el enlace por fibra óptica entre la central digital de Mariscal 5 y el paso digital de abonados (RSS), ubicado en el edificio de Administración de la EPN, y un alternativo enlace utilizando cables de pares MIC, considerando para ello los subsistemas fundamentales.

a) Enlace por Fibra Optica.-

- Equipo terminal de línea óptico para 8 Mb/s (incluye multiplexer 2/8, modurack óptico y conmutador de protección): $\$13500 * 2 = 27000$ \$USA.

- Cables de fibras ópticas de 4 fibras en ductos: $3\$/m * 1000 m = 3000$ \$USA.

- Paso digital de abonados completo para 240 abonados: 65000 \$USA.

- Multiplexer remoto de abonados: $\$7000 * 2 = 14000$ \$USA.

Total: $\$27000 + \$3000 + \$65000 + \$14000 = 109,000$ \$USA.

b) Enlace por cable de pares MIC.-

- Equipo terminal de línea para 30 canales de voz completo: $\$6000 \times 4 = 24000$ \$USA.

- Cable de 20 pares MIC, con capacidad para 120 canales: $2.2 \$/m \times 1000m = 2200$ \$USA.

- Materiales de cada empalme: $\$136 \times 1 = 136$ \$USA. El cable de 20 pares MIC normalmente viene en bobinas de 500 m.

- Paso digital de abonados completo para 240 abonados: 65000 \$USA.

- Multiplexer remoto de abonados: $\$7000 \times 2 = 14000$ \$USA.

Total: $\$24000 + \$2200 + \$136 + \$65000 + \$14000 = 105,336$ \$USA.

El costo de los equipos es de carácter estimativo, tomado de las empresas NEC, Ericsson y Siemens y actualizado a Septiembre de 1989. Del análisis realizado se concluye que la diferencia de costos entre las dos alternativas no es muy significativa y que considerando las grandes ventajas que presenta la fibra óptica frente al cable de pares MIC, indicadas anteriormente, se justifica plenamente el utilizar fibra óptica, a nivel de 8 Mb/s.

Además hay que tomar en cuenta que, debido al avance tecnológico de la fibra óptica en los últimos años, la producción se ha ido aumentando tanto en cables como en equipos ópticos, lo cual se ha traducido en una notable

equipos ópticos, lo cual se ha traducido en una notable disminución de costos. Por ejemplo, la reducción de costos de un cable de fibras ópticas de 6 fibras en los últimos 12 años ha sido de la siguiente forma:

1976	1978	1980	1984	1988
20-30 \$/m	8-15 \$/m	5-9 \$/m	4-6 \$/m	3-4 \$/m

por lo tanto, a medida que aumenta el volumen y eficacia de fabricación, el costo de las fibras se reduce, al igual que el costo de los equipos y el de instalación. En la actualidad el costo de fibras monomodo ya es similar al de las multimodo.

También hay que indicar que el desarrollo de los equipos terminales de línea por fibra óptica se concentró inicialmente en sistemas de alta velocidad, pero al ir disminuyendo los costos de la fibra, ha aumentado el interés por los sistemas de baja y mediana capacidad, por lo tanto un enlace telefónico a nivel de 8 Mb/s es completamente viable desde el punto de vista técnico y económico.

CAPITULO IV

PRUEBAS REALIZADAS

En este capítulo se incluyen las pruebas realizadas en las centrales de Iñaquito (IQ3) y Mariscal (MS5) del IETEL-Quito, en la sección del Multiplex Digital, en los equipos de la NEC:

a) Equipo terminal PCM-30 (E-6849E) está constituido por el Multiplex de frecuencia vocal (VF N5700N) y el Multiplex de señalización (SIGB N-5711N).

b) Equipo multiplex digital de 140 Mb/s (E 6982AD) está constituido por tres moduracks básicos

- Modurack del multiplex digital (140M MUX): N 6929A

- Modurack del demultiplex digital (140M DMUX): N 6930A y

- Modurack óptico (140M OPT): N 8004 A

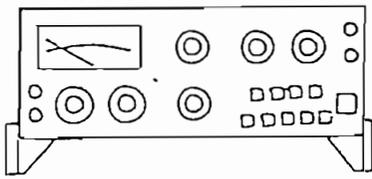
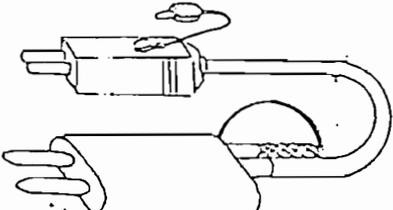
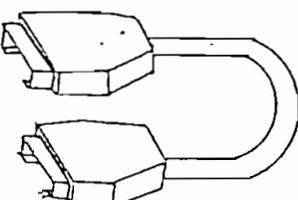
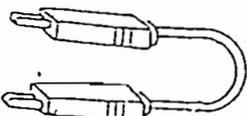
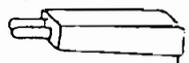
Al realizar las pruebas y para no cortar el tráfico es necesario disponer de bastidores ya instalados pero que no están en servicio o en los equipos que permanecen en stand by y que entran en funcionamiento, en caso de falla.

El objetivo de las pruebas es la comprobación del correcto funcionamiento del sistema de transmisión digital por fibra óptica, de la NEC, implementado por el IETEL y analizado en el capítulo II del presente trabajo. Para ello y con la limitación anteriormente mencionada, se realizó las pruebas fundamentales, a manera de muestreo, en dos centrales digitales de IETEL (Mariscal Sucre 5 e Iñaquito 3) y en los canales, que por estar libres, era factible hacerlo.

De este modo se considera suficiente, para complementar en parte el estudio realizado y se tiene, un criterio más concreto acerca del funcionamiento del sistema. Además, las pruebas realizadas en el multiplex y en el modurack óptico (literales 4.2.1 y 4.3.1) consideran los enlaces troncales entre la central de Iñaquito con Mariscal Sucre, Cotacollao, Carcelén y La Luz. Por lo tanto, abarca gran parte del sistema digital por fibra óptica de la NEC, puesto a servicio por IETEL en Quito.

4.1.- PRUEBAS EN EL EQUIPO TERMINAL PCM-30.-

Las pruebas en el equipo terminal PCM-30 fueron realizadas en la sección del Multiplex digital de la central Mariscal Sucre (MS5) del IETEL. En las pruebas se utilizó el equipo, cables y terminales que se aprecian en la figura 4.1 y que pertenecen al IETEL.

	<p>AP-9601 EQUIPO DE PRUEBA DE CANAL PCM</p>
	<p>CS1-MU CORDON DE PRUEBA</p>
	<p>C32-1000107 CORDON DE PRUEBA</p>
	<p>CS1-MM CORDON DE PRUEBA</p>
	<p>600 ohmios terminal</p>
	<p>C-2P ENCHUFE TERMINAL</p>

EQUIPO, CABLES Y TERMINALES USADOS EN LAS PRUEBAS
REALIZADAS EN EL TERMINAL PCM - 30

FIG. 4.1

El equipo de prueba de canal PCM, marca ANDO, tipo AP-9601, permite realizar las siguientes pruebas: medición de nivel de recepción, variación de la ganancia con el nivel de entrada, medición de ruido de canal en reposo y respuesta de frecuencia. El equipo está constituido por una unidad de transmisión que actúa como oscilador o generador de tonos y una unidad de recepción que sirve como medidor de nivel; una vista frontal del equipo, así como la función de sus controles, se indican en el anexo 4.

4.1.1.- MEDICION DEL NIVEL DE RECEPCION.-

Esta prueba permite comprobar el nivel de recepción a una frecuencia de 820 Hz. La prueba se realiza entre dos estaciones o sistemas libres, conectados a través de enlaces PCM, en bastidores adyacentes.

a) Especificación.-

Las especificaciones técnicas de la NEC en cuanto a nivel de entrada y salida de canal, son las siguientes:

EQUIPO TERMINAL PCM-30: E-6849E
NIVEL DE ENTRADA NOMINAL: -8dBm
NIVEL DE SALIDA NOMINAL : 0dBm

b) Descripción de la prueba.-

El diagrama de conexión para esta prueba es el de la figura 4.2

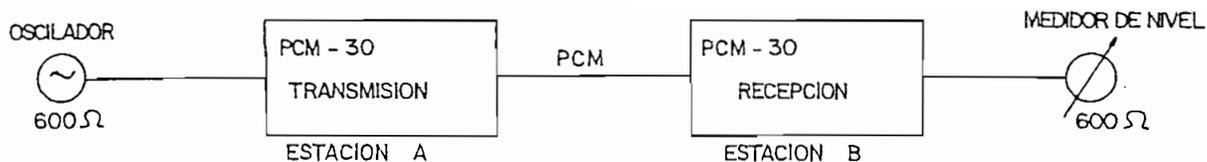


DIAGRAMA DE CONEXION PARA LA MEDICION DE NIVEL DE RECEPCION

FIG. 4 . 2

Las conexiones en el equipo de la NEC (VF MUX N5700) se aprecia en la figura 4.3

En esta prueba, la unidad de transmisión del equipo AP-9601 genera una señal de nivel -8 dBm a 820 Hz y se le conecta a la estación A. La unidad de recepción sirve como medidor de nivel a 820 Hz y se le conecta a la estación B. Se ajusta el nivel relativo de las unidades de transmisión y recepción a los niveles de entrada y salida requeridos por el canal. La impedancia de entrada-salida del equipo se ajusta a $600\ \Omega$. Los resultados de la medición se visualizan en el medidor de nivel. La prueba se realiza de canal en canal, en los treinta canales libres del sistema.

c) Equipo utilizado.-

- Equipo de prueba de canal PCM: ANDO AP-9601, en modo GAIN vs LEVEL.
- Cables: C32-1000107, CS1-MU
- Terminal: C-2P

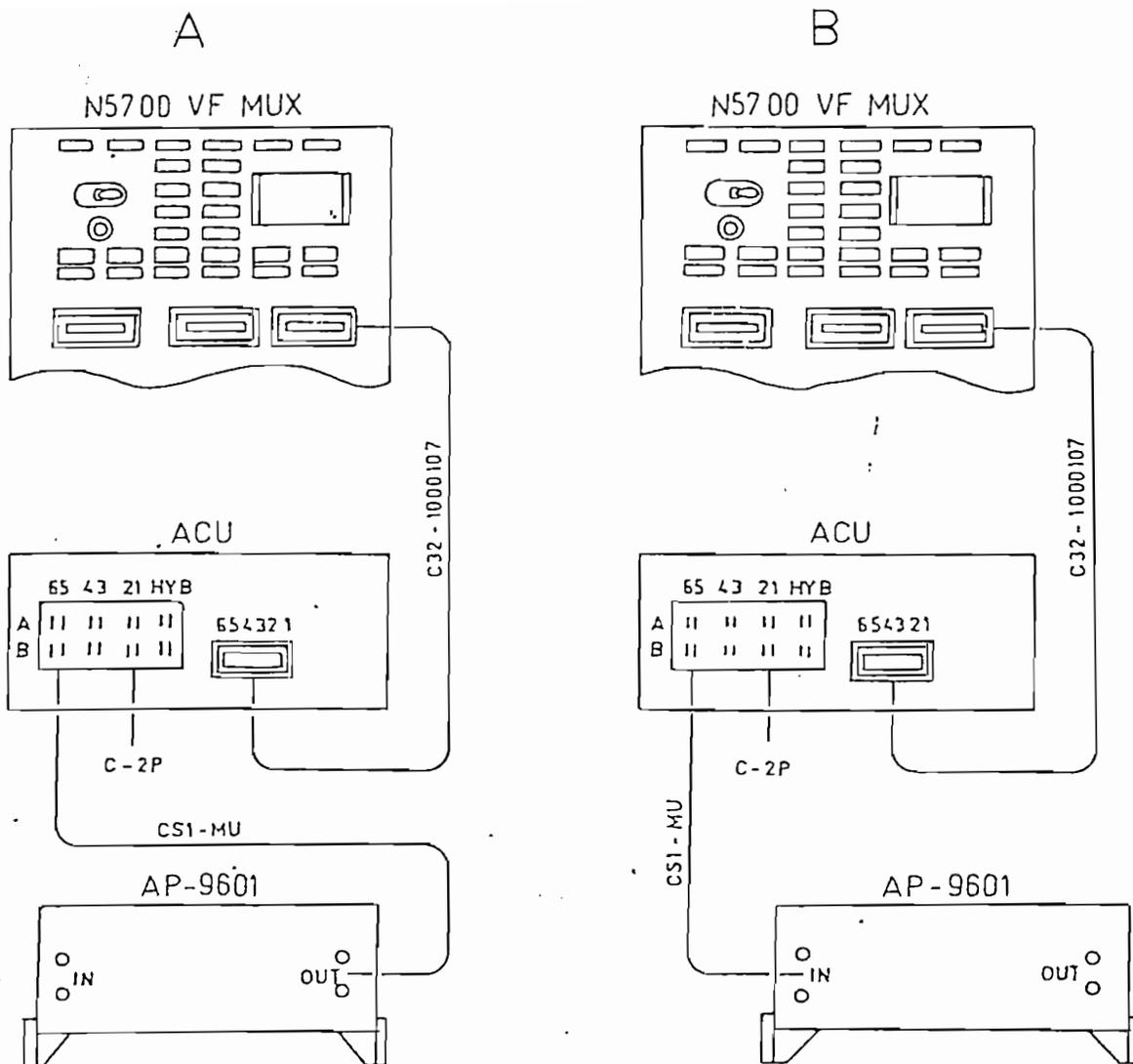


DIAGRAMA DE CONEXION PARA MEDICION DE NIVEL DE RECEPCION, RESPUESTA DE FRECUENCIA Y VARIACION DE LA GANANCIA CON EL NIVEL DE ENTRADA
 FIG. 4.3

d) Resultados.-

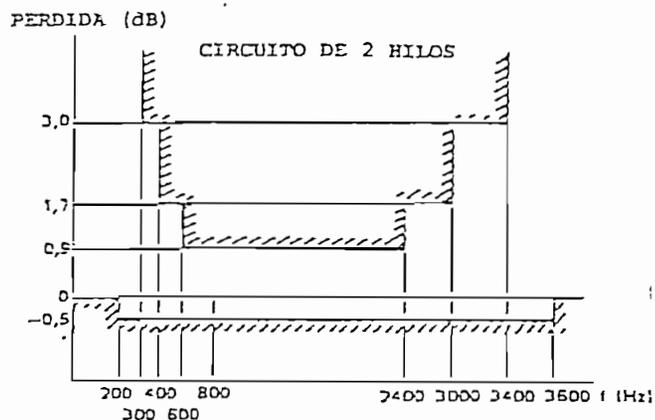
Los resultados se adjuntan al final del capítulo y cumplen enteramente la especificación de la NEC.

4.1.2.- RESPUESTA DE FRECUENCIA.-

Esta prueba permite comprobar la respuesta de frecuencia de los canales y se la realiza a las frecuencias de 300, 820, 3000 y 3400 Hz. En esta prueba, se mide la atenuación de la señal a diferentes frecuencias del canal, con respecto a la frecuencia referencial de 820 Hz, a la cual se tiene una atenuación de 0 dB.

a) Especificación.-

La respuesta de frecuencia de los canales del equipo terminal PCM-30 de la NEC (E-6849E), debe estar bajo los límites impuestos por el gráfico de la figura 4.4, normalizado a la frecuencia referencial de 820 Hz.



RESPUESTA DE FRECUENCIA
FIG. 4.4

b) Descripción.-

El diagrama de conexión para esta prueba es exactamente el mismo del numeral anterior (4.1.1).

En esta prueba, la frecuencia de la unidad de transmisión del equipo AP-9601 se la va variando mediante el pulsador de frecuencia y la unidad de recepción sirve como medidor de nivel selectivo. Previamente, se ajusta los niveles relativos de entrada y salida del equipo, según los niveles requeridos por el canal (0dBm para entrada y -8dBm para salida). También se ajusta la impedancia de entrada y salida a $600\ \Omega$.

Luego se envía una señal de 0 dBm a las frecuencias de 300, 820, 3000 y 3400 Hz y se mide en el medidor de nivel, la atenuación de las frecuencias, normalizada a la frecuencia de 820 Hz. La prueba se realiza de canal en canal, en los 30 canales libres del sistema.

c) Equipo utilizado.-

- Equipo de prueba de canal PCM: ANDO, AP-9601, en modo ATTEM DISTORTION.
- Cables: C32-1000107, CS1-MU
- Terminal: C-2F

d) Resultados.-

Los resultados de esta prueba se adjuntan al final del capítulo. A la frecuencia de 300 Hz, la máxima atenuación de un canal es de 0.6 dB; a la de 3000 Hz es

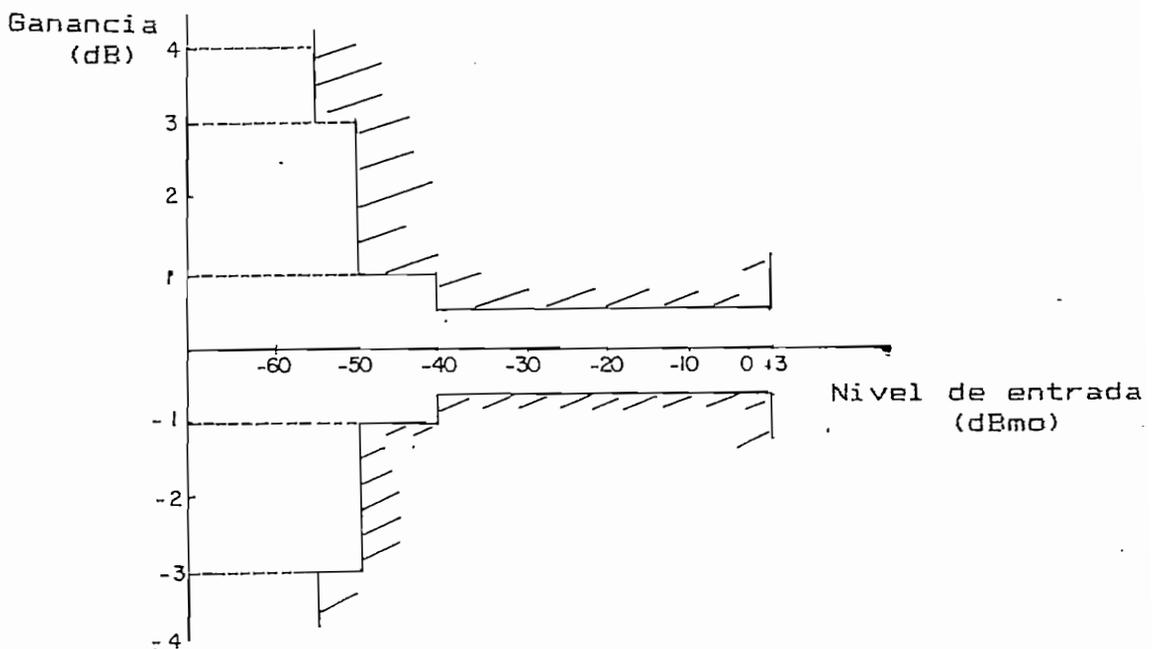
de 0.4 dB y a la frecuencia de 3400 Hz es de 0.8 dB. Por lo tanto, los resultados cumplen enteramente las especificaciones respectivas.

4.1.3.- VARIACION DE LA GANANCIA RESPECTO DEL NIVEL DE ENTRADA.-

Esta prueba permite comprobar la respuesta de la ganancia del canal con respecto al nivel de entrada, a una frecuencia de 820 Hz. La prueba se realiza entre dos estaciones libres.

a) Especificación.-

La variación de la ganancia del canal respecto al nivel de entrada, debe estar bajo los límites impuestos por el gráfico de la figura 4.5, normalizado a un nivel de entrada nominal de -10dBmo y a una frecuencia de 820 Hz, según especificaciones de la NEC.



ESPECIFICACION DE VARIACION DE GANANCIA
RESPECTO AL NIVEL DE ENTRADA
FIG. 4.5

b) Descripción de la prueba.-

El diagrama de conexión para esta prueba es exactamente el mismo del numeral 4.1.1.

El equipo de prueba PCM (AP-9601) debe estar en el modo GAIN vs LEVEL, las impedancias de entrada-salida y los niveles relativos deben ajustarse a los valores requeridos por el canal.

En esta prueba, por medio de la unidad de transmisión del equipo AP-9601 se envía señales de 820 Hz y niveles variables desde +3 dBm_o a -55 dBm_o a la estación A. Mediante la unidad de recepción del equipo se mide el nivel que se tiene en la estación B. Los resultados de la variación de la ganancia de canal, se normalizan a un nivel de entrada de -10 dBm_o (nivel al cual, el canal debe tener 0dB de variación de ganancia). La prueba se realiza de canal en canal, en los 30 canales libres del sistema.

c) Equipo utilizado.-

- Equipo de prueba de canal PCM: ANDO, AP-9601, en modo GAIN vs LEVEL.
- Cables: C32-1000107, CS1-Mu.
- Terminal: C-2P.

d) Resultados.-

Los resultados de esta prueba se adjuntan al final del capítulo. Cuando el nivel de entrada es de +3 dBm_o y 0

dBmo, la máxima variación de ganancia de un canal es de + 0.1 dB, para -20 dBmo es de 0.2 dB, para -30 dBmo es de +0.1 dB, para -50 dBmo es de +0.4 dB y para -55dBmo es de +0.3 dB. Por lo tanto, los resultados cumplen las especificaciones respectivas.

4.1.4.- RUIDO DE CANAL EN REPOSO.-

Esta prueba se realiza para comprobar el ruido de canal en reposo. La prueba se la hace entre dos sistemas libres, sin tráfico, terminados en una carga de 600Ω y conectados a través de enlace PCM, en bastidores adyacentes.

a) Especificación.-

El ruido de un canal en reposo deberá ser menor que -65 dBmop. El dBmop es una unidad asociada al nivel de ruido, ponderado psufométricamente, es decir, mediante un psufómetro o medidor de ruido.

b) Descripción.-

El diagrama de conexión para esta prueba es el de la figura 4.6

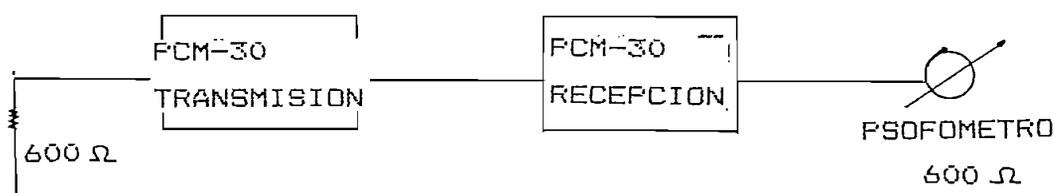
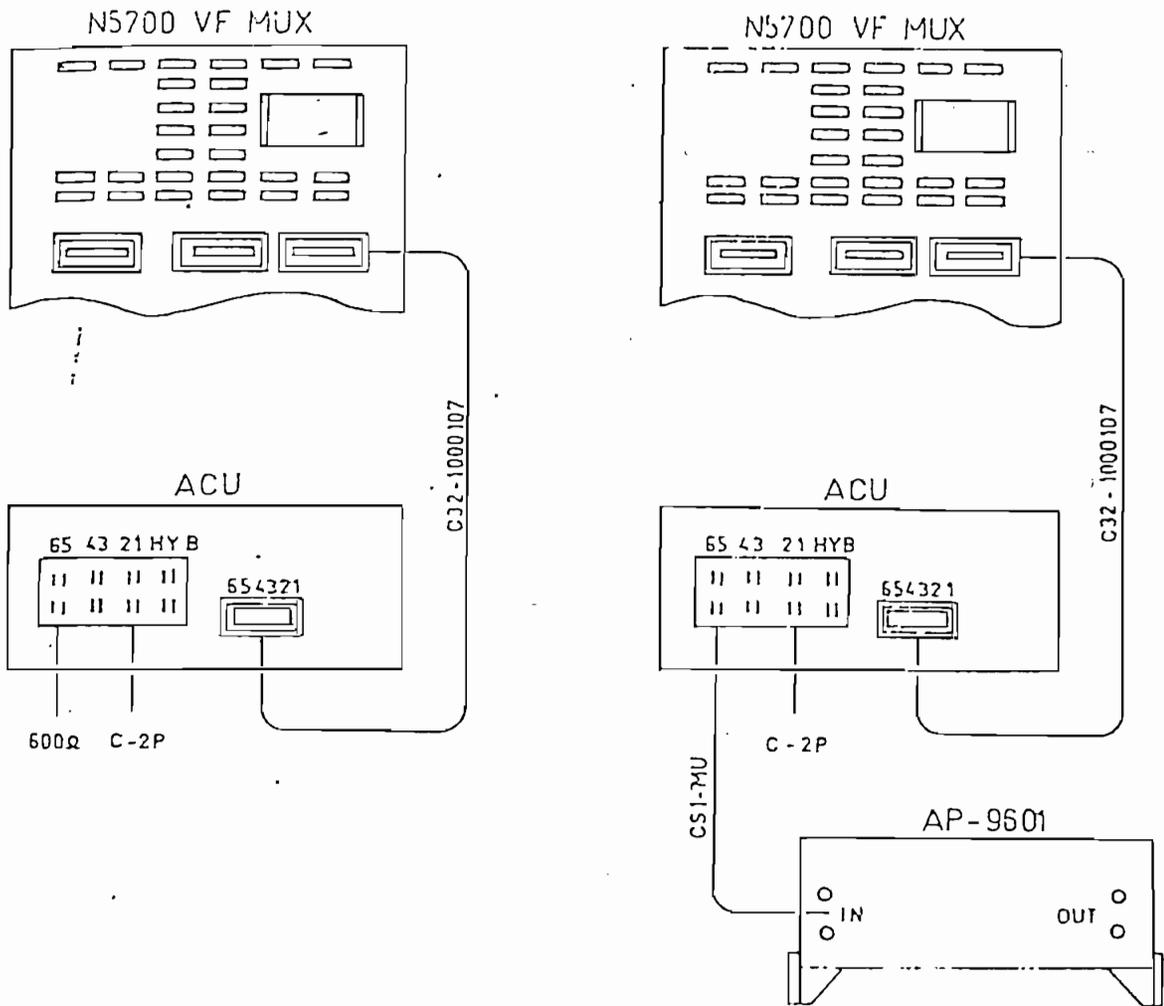


DIAGRAMA DE CONEXION PARA MEDICION
DE RUIDO DE CANAL EN REPOSO

FIG. 4.6

Las conexiones en el equipo de la NEC (VF MUX N5700) se aprecia en la figura 4.7.



CONEXIONES EN EL EQUIPO DE LA NEC PARA MEDICION DE RUIDO DE CANAL EN REPOSO

FIG.4.7

En esta prueba el equipo utilizado (AP-9601) debe estar en modo de IDLE CHANNEL NOISE (ruido de canal en reposo) y la unidad de recepción sirve como medidor de ruido, en tanto que la unidad de transmisión debe terminarse con una carga resistiva pura de 600Ω . Previamente, para ello, se ajusta el nivel relativo requerido y la impedancia de entrada-salida. La prueba se realiza de canal en canal y el resultado se mide en la unidad de recepción.

c) Equipo utilizado.-

- Equipo de prueba de canal PCM: ANDO, AP-9601 en modo IDLE CHANNEL NOISE.
- Cables: C32-1000107, CS1 MU
- Terminales: C-2P y de 600Ω .

d) Resultados.-

Los resultados se adjuntan al final del capítulo y cumplen completamente las especificaciones de la NEC.

4.2.- PRUEBAS EN EL MULTIPLEX.-

Las pruebas fueron realizadas en la sección del multiplex digital de la Central de Iñaquito 3 (IQ3) del IETEL-R1, en los bastidores del multiplex de cuarto orden (140M-FM-3A MUX) de 140 Mb/s, que permanecen en stand by o reserva, los cuales entran en funcionamiento al detectarse una falla en el sistema.

Básicamente, lo que se hizo fue comprobar mes a mes,

desde Enero de 1989 hasta Octubre de 1989, la especificación del BER en cada uno de los cuatro canales de 34 Mb/s, correspondientes a cada uno de los cuatro sistemas de reserva existentes en la central de Ifraquito que sirven de enlace troncal con las centrales de Mariscal Sucre, Cotacollao, Carcelén y La Luz, con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema de transmisión por fibra óptica de la NEC, instalado por el IETEL.

El equipo utilizado en las pruebas es un medidor de error: marca ANRITSU, ME448A, constituido por dos unidades separadas: una unidad de transmisión y otra de recepción, tal cual se indica en el anexo 4.

4.2.1.- MEDICION DEL BER.-

En esta prueba se monitorea el funcionamiento de las líneas digitales de reserva de 34.368 Mb/s, las cuales entran en funcionamiento cuando se detecta una avería en el multiplex de 140 Mb/s o en una línea de fibra óptica. La prueba se realiza entre dos estaciones lejanas.

a) Especificación.-

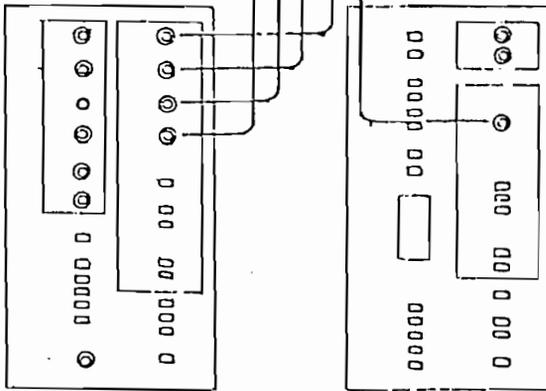
Para los equipos de transmisión de la NEC, el BER (bit error rate), es decir, la proporción de bits errados en la transmisión, debe ser inferior a 10^{-9} . Esto significa que para una velocidad de 34.368 Mb/s, el número de bits errados deberá ser inferior a 0.03 bits.

b) Descripción.-

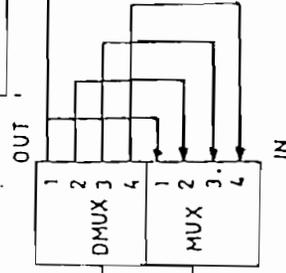
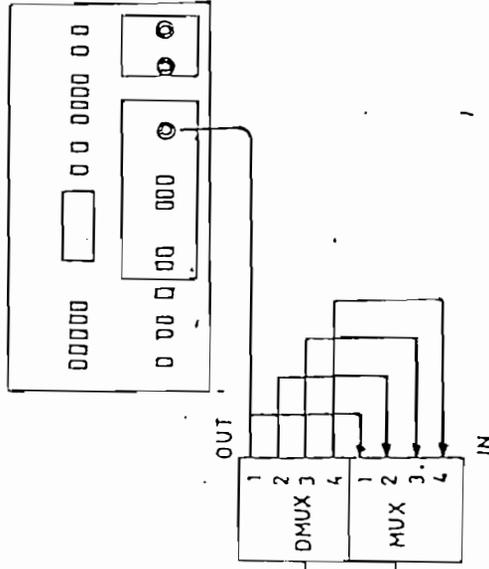
El diagrama de conexión para esta prueba es el que se indica en la figura 4.8.

IQ3

ME448A, UNIDAD DE TRANSMISION



MSS, COTOCOLLAD, CARCELEN, LA LUZ
ME448A, UNIDAD DE RECEPCION



CONEXIONES PARA LA PRUEBA GLOBAL DEL SISTEMA

FIG. 4.8

La prueba se realiza en el bastidor del multiplex 140M-FM-3A-MUX, en los sistemas que permanecen en stand by. La unidad de transmisión del equipo ME448A en la estación A (que corresponde a Ifiaquito 3), se conecta canal por canal a las entradas no balanceadas de 34 Mb/s y la unidad de recepción se conecta canal por canal a las salidas de 34 Mb/s. De igual forma se hace en la estación B (que corresponde a las centrales Mariscal Sucre, Cotocollao, Carcelén, La Luz).

Los controles de la unidad de transmisión del equipo deben estar de la siguiente forma (ver ANEXO 4):

```
CLOCK      : X3 (34.368 Mb/s)
LEVEL      : 1 V
ATT(6 dB)  : ON
CODE       : HDB3
```

Los controles de la unidad de recepción deben estar así:

```
BIPOLAR    : F4 (34.368 Mb/s)
LEVEL      : 0.4-1.4 V
CODE       : HDB3
ERROR      : BINARY
COUNT TIME: 107
```

A continuación se envía por transmisión en la estación A, una tasa de error de 9.7×10^{-4} equivalente a 33.33 Kb/s, apretando el switch ERROR ADITION y se recibe en la estación B, exactamente la misma tasa de error que se

visualiza en el display. De igual forma se hace desde la estación B hacia la estación A. Se ilumina inicialmente la lámpara COUNTING y luego la de DATA VALID; en estas condiciones, se dice que el BER es inferior a 10^{-9} y que cumple las especificaciones. Cuando existe error, se prende el zumbador de alarma del equipo de recepción (BUZZER) y se prende la lámpara ERROR.

c) Equipo utilizado.-

- Unidad de transmisión y recepción del equipo marca ANRITSU, tipo ME448A.
- Cables coaxiales, tipo 3CVP-SP3CP

d) Resultados.-

Los resultados se adjuntan al final del capítulo y gran parte de los sistemas monitoreados cumplen las especificaciones, salvo el canal 2 de la ruta Inaquito-Mariscal Sucre que en los meses de Febrero y Junio presentó error por falla en la tarjeta del modurack del multiplex. Los canales 1 y 3 de la ruta Ifaquito-Cotocollao han permanecido fuera de servicio en los meses de Septiembre y Octubre, por lo cual no se hizo las pruebas en dichos canales.

4.3.- PRUEBAS EN EL MODURACK OPTICO DE 140 Mb/s.-

Una vez instalado el sistema de transmisión óptico y puesto en servicio, se tiene muy poco acceso a los bastidores de los componentes ópticos y a la fibra

misma, razón por la cual es limitado el número de pruebas a realizarse, con el efecto de comprobar el adecuado funcionamiento de todo el sistema.

En el modurack óptico de la NEC (N8004A), únicamente se realiza la medición periódica de la corriente de polarización del diodo láser en todos los bastidores.

4.3.1.- MEDICION DE LA CORRIENTE DE POLARIZACION DEL DIODO LASER.-

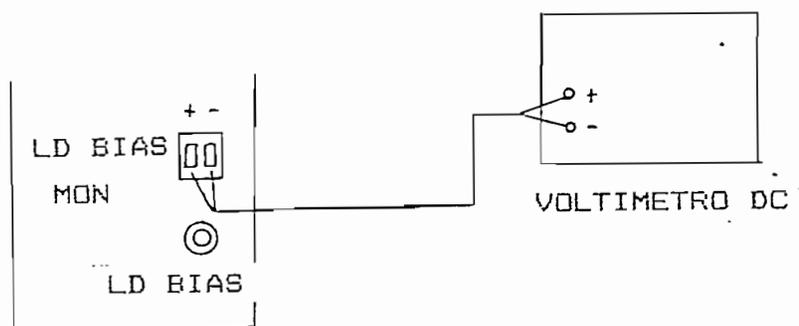
Esta prueba tiene por objeto comprobar la corriente de polarización del diodo láser, la cual se realiza estando en servicio el sistema y se la efectúa en el modurack óptico de la NEC (N8004A) de 140 Mb/s, que se encarga de convertir la señal óptica en eléctrica y viceversa. Las pruebas fueron realizadas todos los meses desde Enero a Octubre de 1989 y en el multiplex digital de la Central de Iñaquito 3, en los bastidores existentes (201 al 210 y el 217).

a) Especificación.-

La corriente de polarización del diodo láser debe ser inferior a 170 miliamperios de corriente continua. Cuando el valor de corriente supera el especificado, la lámpara denominada LD BIAS, se ilumina indicando alarma y por lo tanto el láser se habrá deteriorado.

b) Descripción.-

Para esta prueba, se conecta el voltímetro de corriente continua al terminal LD BIAS MON del modurack óptico. como se observa en la figura 4.9



MEDICION DE LA CORRIENTE
DE POLARIZACION DEL LD

FIG. 4.9

Se mide la tensión continua en milivoltios y se calcula la corriente de polarización del diodo láser en miliamperios, dividiendo para 10, puesto que la medición se la hace sobre una carga resistiva pura de $10\ \Omega$.

c) Equipo utilizado.-

- Voltímetro de corriente continua.
- Cables.

d) Resultados.-

Todos los resultados de esta prueba cumplen las especificaciones de la NEC. La corriente de

polarización del diodo láser del bastidor 205 se acerca al límite especificado y con el tiempo, será necesario cambiar de tarjeta. Los resultados se adjuntan a continuación.

4.1.1.-MEDICION DE NIVEL DE RECEPCION

CENTRAL: MARISCAL SUCRE 5

BASTIDOR: 4-23 (ESTACION A) y 4-21 (ESTACION B)

FECHA: OCTUBRE 1989

MODURACK: MULTIPLEXER VF (N5700N)

FRECUENCIA: 820 Hz

ESPECIFICACION: 0 dBm

CANAL	NIVEL DE RECEPCION (dBm)	CANAL	NIVEL DE RECEPCION (dBm)
1	0.1	16	0.0
2	0.0	17	0.0
3	0.0	18	0.0
4	0.0	19	0.0
5	0.0	20	0.0
6	0.0	21	0.0
7	0.0	22	0.0
8	-0.1	23	-0.1
9	-0.1	24	-0.1
10	0.1	25	-0.1
11	0.1	26	0.0
12	0.0	27	-0.1
13	0.0	28	-0.1
14	0.0	29	-0.1
15	0.0	30	0.0

4.1.2.- RESPUESTA DE FRECUENCIA.-

CENTRAL : MARISCAL SUCRE 5
 BASTIDOR : 4-23 (ESTACION A) y 4-21 (ESTACION B)
 FECHA : OCTUBRE 1989
 MODURACK : MULTIPLEXER VF (N5700N)

NIVEL DE PERDIDA (dB)				
CANAL	f=300 Hz	f=820 Hz	f=3000 Hz	f=3400 Hz
1	0.6	0.0	0.1	0.7
2	0.5	0.0	0.1	0.6
3	0.5	0.0	0.1	0.5
4	0.5	0.0	0.2	0.7
5	0.6	0.0	0.2	0.6
6	0.5	0.0	0.2	0.8
7	0.5	0.0	0.1	0.6
8	0.5	0.0	0.1	0.6
9	0.6	0.0	0.1	0.5
10	0.5	0.0	0.3	0.6
11	0.6	0.0	0.1	0.6
12	0.5	0.0	0.2	0.8
13	0.5	0.0	0.1	0.5
14	0.6	0.0	0.2	0.6
15	0.6	0.0	0.2	0.6

4.1.2.- RESPUESTA DE FRECUENCIA.-

CENTRAL : MARISCAL SUCRE 5
 BASTIDOR : 4-23 (ESTACION A) y 4-21 (ESTACION B)
 FECHA : OCTUBRE 1989
 MODURACK : MULTIPLEXER VF (N5702N)

NIVEL DE PERDIDA (dB)				
CANAL	f=300 Hz	f=820 Hz	f=3000 Hz	f=3400 Hz
16	0.5	0.0	0.1	0.5
17	0.6	0.0	0.4	0.8
18	0.5	0.0	0.1	0.6
19	0.5	0.0	0.1	0.6
20	0.5	0.0	0.2	0.9
21	0.5	0.0	0.3	0.8
22	0.5	0.0	0.4	0.8
23	0.6	0.0	0.4	0.9
24	0.6	0.0	0.1	0.6
25	0.5	0.0	0.1	0.7
26	0.5	0.0	0.2	0.5
27	0.6	0.0	0.3	0.7
28	0.5	0.0	0.1	0.5
29	0.5	0.0	0.2	0.6
30	0.6	0.0	0.2	0.8

A la frecuencia de 300 Hz, la máxima atenuación de un canal es de 0.6 dB, a la de 3000 Hz es de 0.4 dB y a la de 3400 Hz es 0.8 dB. Por lo tanto, los resultados cumplen las especificaciones respectivas

4.1.3.- VARIACION DE LA GANANCIA CON EL NIVEL DE ENTRADA

CENTRAL : MARISCAL SUCRE 5

BASTIDOR : 4-23 (ESTACION A) y 4-21 (ESTACION B)

FECHA : OCTUBRE 1989

MODURACK : MULTIPLEXER VF (N5700N)

FRECUENCIA: 820 Hz

VARIACION DE LA GANANCIA (dB)							
CANAL	+3dBmo	+0dBmo	-10dBmo	-20dBmo	-30dBmo	-50dBmo	-55dBmo
1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.1
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.2
3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0
4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.2
6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1
7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1
8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1
10	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2
11	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
12	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3
13	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.4	0.3
14	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.3	0.2
15	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1

4.1.3.- VARIACION DE LA GANANCIA CON EL NIVEL DE ENTRADA

CENTRAL : MARISCAL SUCRE 5

BASTIDOR : 4-23 (ESTACION A) y 4-21 (ESTACION B)

FECHA : OCTUBRE 1989

MODURACK : MULTIPLEXER VF (N5700N)

FRECUENCIA: 820 Hz

VARIACION DE LA GANANCIA (dB)							
CANAL	+3dBmo	+0dBmo	-10dBmo	-20dBmo	-30dBmo	-50dBmo	-55dBmo
16	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.2
17	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	0.3
18	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
19	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2
21	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.1	0.2	0.1
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.2
23	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.3	-0.1
24	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
25	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1
26	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2
27	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1
28	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0
29	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	-0.2
30	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.1

La máxima variación de ganancia de un canal es de 0.4 dB, cuando el nivel de entrada es de -50 dBmo y de 0.3 dB para -55 dBmo. Los resultados cumplen las especificaciones respectivas.

4.1.4.-MEDICION DE RUIDO DE CANAL EN REPOSO

CENTRAL : MARISCAL SUCRE 5
 BASTIDOR : 4-23 (ESTACION A) y 4-21 (ESTACION B)
 FECHA : OCTUBRE 1989
 MODURACK : MULTIPLEXER VF (N5700N)
 ESPECIFICACION: <-65 dBmop

CANAL	VALOR (dBmop)	CANAL	VALOR (dBmop)
1	-76.0	16	-73.2
2	-76.2	17	-74.0
3	-75.8	18	-75.8
4	-76.4	19	-76.2
5	-73.0	20	-74.0
6	-72.0	21	-75.0
7	-71.8	22	-72.0
8	-73.0	23	-74.0
9	-74.0	24	-75.8
10	-76.2	25	-76.2
11	-75.0	26	-76.0
12	-74	27	-74.0
13	-76.2	28	-76.2
14	-74	29	-72.0
15	-73.2	30	-74.0

4.3.1 MEDICION DE LA CORRIENTE DE POLARIZACION DEL DIODO LASER

CENTRAL : IJAQUITO

AÑO : 1989

ESPECIFICACION: < 170 mA

MODURACK : 140 M OPT (N8004A)

BASTIDOR	R U T A	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
0201	MARISCAL SUCRE	85.1	85.4	87	85.9	89.9	87.6	88.8	85.5	88.7	89.5
0202	MARISCAL SUCRE	81.2	81.7	83.4	82.5	86.9	84.5	86	85.9	86.3	87.1
0203	MARISCAL SUCRE	75	76.1	77.6	71.1	82.1	81	82.3	82.3	82.9	83.9
0204	MARISCAL SUCRE	83.8	89	91	89.4	93.8	90.9	92	91.7	91.6	92.1
0205	COTOCOLLAO	124.8	125.8	127.6	126.6	132.6	129.1	131.1	130.5	131	132.1
0206	COTOCOLLAO	80.2	80.5	81.8	80.8	83.1	81.9	82.9	82.3	82.4	82.8
0207	CARCELEN	84.3	84.8	86.7	85.2	89.9	87.3	88.7	88.2	88.3	89
0208	CARCELEN	67.8	68	69	68.2	70.5	69.1	69.8	67.4	69.5	69.8
0209	LA LUZ	84	84.3	85.8	85	87.7	85.7	86.6	86.1	86.2	86.6
0210	LA LUZ	71.2	71.4	72.4	71.8	74.1	72.5	73.2	82.8	72.4	73.3
0217	MARISCAL SUCRE	77.8	78.4	79.6	79.8	82.8	81.5	82.7	82.7	82.8	84.4

Los resultados cumplen la especificación respectiva. La corriente de polarización del diodo láser del bastidor 205 se acerca al límite especificado y con el tiempo será necesario cambiar de tarjeta.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) El desarrollo vertiginoso de los sistemas de transmisión por fibra óptica que se ha dado en los últimos años, ha permitido que las telecomunicaciones se orienten hacia este soporte de transmisión. Pocas veces anteriormente, la introducción de un nuevo medio en la técnica de las comunicaciones ha despertado tanta expectativa como la técnica de fibra óptica y hasta la fecha las investigaciones y el desarrollo continúan.

2) En razón de las ventajas que presenta la fibra óptica (excelentes características de atenuación, ancho de banda, máxima inmunidad al ruido, aislamiento eléctrico, etc) sobre los otros medios de transmisión, la fibra óptica es utilizada en otros países en muchos campos: redes de computación, automatización de oficinas, en la industria, en centrales energéticas, telemetría, etc. Sin embargo, el campo de aplicación más importante en la actualidad y en el futuro será el de las telecomunicaciones.

3) El uso de la fibra óptica en telecomunicaciones es como medio de transmisión urbano e interurbano, entre centrales telefónicas digitales. La aplicación en otros países es a nivel de 2 Mb/s hasta 565 Mb/s con capacidad de 30 a 7680 canales y para grandes distancias. En nuestro país la fibra óptica se ha utilizado únicamente como enlace troncal entre centrales telefónicas

digitales, a una distancia desde 2.8 Km hasta 7.0 Km y a una velocidad de transmisión de 140 Mb/s, con capacidad para 1920 canales de voz. Como los tramos no son tan largos, no se requieren regeneradores.

4) Las longitudes de onda de propagación utilizadas en sistemas de transmisión ópticos son de 0.85 μm y 1.3 μm , la región de longitud de onda larga (1.3 μm) presenta mejores características de atenuación y dispersión que la de onda corta (0.85 μm) y por ello la tendencia generalizada en otros países, es trabajar en la gama de los 1.3 μm , a medida que se han ido abaratando los costos de los respectivos componentes ópticos. En términos de fibras ópticas, las que más se usan en la actualidad son las fibras multimodo de índice gradual (50/125 μm) y las monomodo (10/125 μm); como las fibras monomodo presentan baja atenuación, mayor ancho de banda y considerando que los costos ya son similares, se espera el uso generalizado de fibras monomodo en redes urbanas e interurbanas.

5) En cuanto a transmisores ópticos, normalmente se ha venido usando diodos electroluminiscentes (LED) y diodos láser (LD). A los láseres se los utiliza en sistemas de alta velocidad y largo alcance, porque destacan por su gran potencia óptica de salida y pequeño ancho espectral, a diferencia de los (LED) que se los usa en sistemas de mediana capacidad y corto alcance. En términos de receptores ópticos, el uso generalizado es el de fotodiodos de avalancha (APD) y receptores PIN-FET, por su gran sensibilidad.

6) El sistema de transmisión por fibra óptica instalado

por el IETEL en Quito, por la empresa japonesa NEC, enlaza las centrales digitales NEAX 61 del Pintado, Villa Flora, Quito Centro, Monjas, Mariscal Sucre, Iñaquito, Carcelén, La Luz y Cotocollao. Trabaja a la longitud de onda de $0.85 \mu\text{m}$ utilizando diodo láser (LD) de GaAlAs; como emisor óptico y fotodiodo de avalancha de silicio (APD) como receptor. El medio de transmisión es fibra óptica multimodo de índice gradual de $50 \mu\text{m}$ de diámetro del núcleo, $125 \mu\text{m}$ de diámetro del revestimiento y coeficiente de atenuación de 3-4 dB/Km. La perspectiva inmediata del IETEL es trabajar en la región de onda larga ($1.3 \mu\text{m}$) y usar fibra monomodo, con lo cual se mejoran las características de transmisión.

7) Tomando en cuenta que las distancias de los enlaces troncales implementados por el IETEL en Quito, están en el orden de 2.8 a 7.0 Km y que la velocidad binaria de transmisión es de 140 Mb/s (1920 canales telefónicos) se ha demostrado que los parámetros ópticos adoptados para el sistema de transmisión son los más adecuados; sin embargo de trabajarse a la longitud de onda de $1.3 \mu\text{m}$, será necesario adoptar un equipo de terminal de línea óptico que incluya láser para trabajar en la segunda ventana (por ejemplo de InGaAsP), fotodiodo de avalancha (APD de germanio, por ejemplo) y que esté previsto para conexión con fibra monomodo. De este modo se cubrirán distancias mayores sin necesidad de repetidores.

8) Con los parámetros adoptados por la NEC, para el sistema de transmisión óptico y trabajando a $0.85 \mu\text{m}$, se ha determinado la atenuación máxima permisible de un enlace que es de 41.5 dB para un $\text{BER}=10^{-11}$. Con este valor se ha fijado la distancia máxima entre transmisor y receptor que es de 7.87 Km. Esta longitud abarca

satisfactoriamente los enlaces implementados, y nos da una idea de los alcances del sistema.

9) Las pruebas realizadas en las centrales Mariscal Sucre 5 (MS5) e Iñaquito 3 (IQ3) de IETEL-R1, en el sistema de transmisión de la NEC, han permitido complementar el estudio realizado acerca de la transmisión digital entre centrales telefónicas usando fibra óptica como medio de transmisión y ha permitido verificar el adecuado funcionamiento del sistema. Gran parte de las pruebas cumplen las especificaciones dadas por la NEC, especialmente a nivel de equipo terminal PCM-30 y modurack óptico; la ruta Iñaquito-Mariscal Sucre presentó errores de transmisión en los meses de Febrero y Junio. En general el servicio prestado por el IETEL-R1 a través del sistema de transmisión digital de la NEC es bueno, e irá mejorando a medida que se incrementen las inversiones en esta área.

10) Hasta la actualidad se han venido desarrollando sistemas por fibra óptica de alta capacidad y para distancias grandes, o en sitios donde las condiciones externas, sea por ruido o radiación, impiden el uso de cable coaxial o de pares. Pero a medida que se reduzcan los costos de los componentes ópticos, el uso en sistemas de baja y mediana capacidad se irá incrementando. Se ha demostrado que la utilización de la fibra óptica, para transmisión telefónica digital, tiene también su aplicación, a nivel de sistemas de mediana capacidad y que un enlace de 8 Mb/s y distancia de 1 Km es viable y recomendable desde el punto técnico y económico. Por lo tanto ya se debería tratar de implementar en el país.

11) Como aplicación, se ha determinado la factibilidad de un enlace telefónico usando fibra óptica entre la Central Mariscal Sucre 5 de IETEL y un concentrador digital remoto de abonados localizado en la Escuela Politécnica Nacional, usando además dos multiplexers remotos de abonados, cada uno con capacidad de hasta 30 canales para las líneas directas y una central privada digital (PBX) para el servicio interno de la EPN.

12) Previamente se analizó el servicio deficiente prestado por la central analógica PBX existente, la cual con 13 troncales y 155 extensiones instaladas no satisface la demanda requerida por la Institución, ya que el número de troncales necesarias en el presente, para manejar un tráfico externo de 0.15 Erlang por extensión y adoptando un grado de servicio $B=1\%$ debería ser 33, valor que supera a la capacidad máxima de troncales de la central analógica existente, que es de 32.

13) La necesidad actual e inmediata de la EPN es de 45 líneas directas y 287 extensiones y en un futuro mediano (10 años), es de 60 líneas directas y 400 extensiones. La capacidad máxima de la central analógica es de 200 extensiones, se encuentra totalmente obsoleta, es ruidosa, genera problemas en el mantenimiento y da un servicio deficiente. Por lo tanto se recomienda la implementación de un paso digital remoto de abonados (RSS) con capacidad máxima para 240 líneas directas, que utilice la concentración por división de tiempo y enlace un número de abonados superior al número de líneas o canales que van a la central. El paso digital de abonados debería estar ubicado en el edificio de

Administración de la EPN.

14) El paso digital de abonados deberá ser modular, constituido por cuatro módulos de concentración temporal: uno de ellos, para conexión por medio de dos flujos PCM de 2 Mb/s a dos multiplexers remotos de abonados que darán servicio a las 45 líneas requeridas. Los otros dos módulos de concentración temporal permitirán la conexión a una central PBX digital mediante cuatro flujos PCM de 2 Mb/s cada uno, para dar servicio interno a las 287 extensiones previstas; para ello, la central PBX estará constituida por dos módulos de líneas, independientes y autónomos, cada uno con capacidad de hasta 200 extensiones. El cuarto módulo de concentración temporal del RSS queda de reserva para la interconexión de dos flujos de 2Mb/s en la red de abonados, sea para líneas directas a través del RSM o para ampliación de módulos de líneas de la PBX, incrementando el número de extensiones; todo esto dependiendo de las necesidades futuras y del crecimiento que tenga la EPN. De esta forma se recomienda la implementación de una red flexible.

15) Por tanto, al concentrador digital (RSS), se conectan dos multiplexers remotos de abonados (RSM), cada uno para dar servicio a 30 líneas directas como máximo y mediante un flujo de 2 Mb/s. El un multiplexer (RSM1) se recomienda ubicarlo en el edificio de Administración, para dar servicio a 25 líneas directas. El segundo multiplexer se lo ubicaría en el edificio de Ingeniería Eléctrica para servir a 20 líneas directas. En el transcurso de los 10 años siguientes, se puede utilizar las reservas dejadas en los dos RSM para la conexión de 15 líneas directas más. El uso del RSM y

RSS facilita la distribución de líneas directas, permite el ahorro de cable de pares, sitúa la línea digital más cerca del abonado y tiende a digitalizar completamente la red.

16) Una de las particularidades más importantes de las PBX digitales actuales, es la posibilidad de interconexión de módulos de línea independientes, autónomos y separados una distancia de unos 500 metros, para facilitar la distribución de las extensiones por varios edificios y permitir el ahorro de cable. Para la red de la EPN, puesto que la necesidad inmediata es de 287 extensiones y la necesidad futura es de 400, se recomienda que la PBX digital esté conformada por dos módulos de línea, enlazados entre sí mediante un flujo de 2 Mb/s. El un módulo de línea se lo debería colocar en el edificio de Administración, prestando servicio a 128 extensiones y el otro se lo ubicaría en el edificio de Ingeniería Eléctrica, al cual se conectarían 159 extensiones, quedando de reserva 113 extensiones en total.

17) En cuanto a las características típicas del RSS, RSM y de la PBX digital que deberían tener los equipos que conformarían la red de la Escuela Politécnica Nacional, se recomienda sean las que se detalla ampliamente en el numeral 3.7 del capítulo III del presente trabajo.

18) La relación de concentración del paso digital de abonados es de 2:1. De modo que el número de canales que salen hacia la central es de 120, y de acuerdo a la jerarquía dada por el CCITT permitiría el uso de un sistema de transmisión digital de 8 Mb/s. Los cuatro

flujos de 2 Mb/s salientes del concentrador digital se multiplexan en un solo flujo de 8 Mb/s mediante un multiplexer de 2/8. El enlace entre el RSS y la central digital de IETEL se recomienda hacerlo a través de fibra óptica, utilizando la canalización subterránea existente y empleando un equipo terminal de línea óptico de 8 Mb/s. De este modo se aprovecha las ventajas de la fibra, frente a los otros tipos de enlace.

19) El enlace de 2 Mb/s para las líneas directas entre el RSS ubicado en el edificio de Administración y el RSM localizado en el edificio de Ingeniería Eléctrica sobre una distancia de unos 350 metros, así como el enlace de 2 Mb/s entre los dos módulos de línea de la PBX digital, también podría hacerse por fibra óptica, pero en este caso los costos son notablemente mayores, a diferencia del enlace principal a nivel de 8 Mb/s.

20) En cuanto al sistema de transmisión óptico para el enlace de 8 Mb/s, se ha determinado que los parámetros ópticos más adecuados y recomendables son: longitud de onda de trabajo de 0.85 μm ; LED como emisor con un ancho espectral inferior a 100 nm y potencia de transmisión superior a -30 dBm; PIN como receptor y potencia de recepción menor o igual a -45 dBm para un BER=10⁻¹¹; fibra óptica multimodo de índice gradual (125/50 μm), coeficiente de atenuación máximo de 4.0 dB/Km y que cumpla la Recomendación G.651 del CCITT. En cuanto a la interface eléctrica tendrá que estar conforme a la Recomendación G.703 del CCITT.

21) La atenuación máxima permisible del enlace (15 dB) es superior al presupuesto de pérdidas (12.5 dB). La

distancia máxima de un enlace por fibra óptica se ve condicionada por limitaciones de atenuación y por ancho de banda. Para el presente caso y en base a los parámetros ópticos fijados, se determinó que en las peores condiciones, la distancia máxima permisible es de 1.8 Km, con lo cual se demuestra la factibilidad del enlace.

22) De la comparación realizada entre los diferentes tipos de enlaces digitales, se concluye que para el caso del cable de pares, no es práctico sobrepasar velocidades de transmisión de 2 Mb/s ya que al aumentar la banda de transmisión, aumentan también la atenuación y diafonía; también la necesidad de regeneradores en distancias de 1 a 3 Km, y el notable incremento en el costo de cables encarecen mucho la red. Para el caso de enlace por radio, es conveniente solo cuando las condiciones topográficas del trayecto dificultan el uso de cable y resulta más económico únicamente para grandes distancias. El enlace por fibra óptica presenta numerosas ventajas de orden técnico, debido al avance tecnológico de la fibra óptica en los últimos años, y que ha aumentado el volumen y la eficacia de fabricación de los equipos ópticos y de la fibra, lo cual representa, una significativa reducción de costos.

23) De la breve comparación de costos efectuada, para el enlace por fibra óptica entre la central digital de Mariscal Sucre 5 de IETEL y el paso digital de abonados localizado en la EPN, y un enlace alternativo utilizando cable de pares MIC, se concluye que aunque el costo es inferior para este segundo caso la diferencia no es muy significativa. Tomando en cuenta las grandes ventajas que tiene la fibra frente al cable de pares

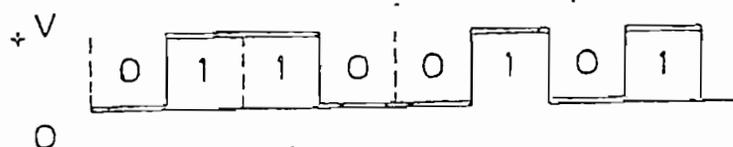
MIC. se justifica totalmente en el aspecto técnico-económico y es recomendable utilizar fibra óptica para distancias mayores o iguales a 1 Km y con velocidades de transmisión a partir de los 8 Mb/s.

ANEXO 1

CODIGOS DE LINEA

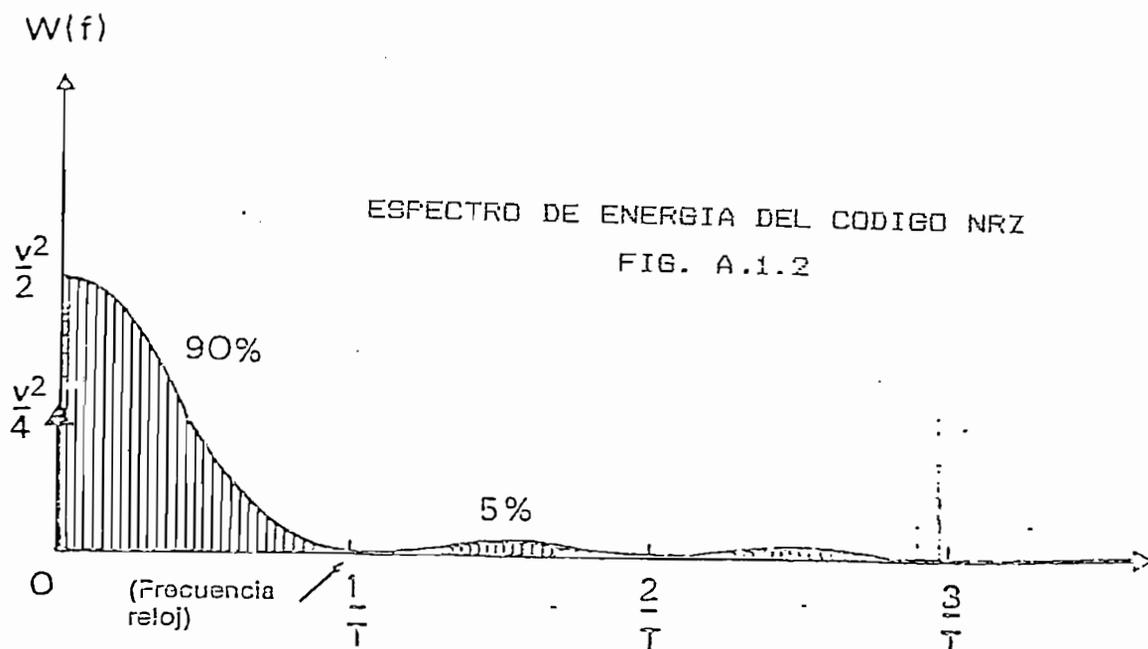
1.- CODIGO NRZ.-

En el código NRZ (No Return to zero), los dos niveles representan los dos estados binarios posibles, tal cual se aprecia en la figura A.1.1



CODIGO NRZ
FIG. A.1.1.

El espectro de energía, tiene la forma indicada en la figura A.1.2



$1/T = f$, es la frecuencia del reloj

La banda $(0, f)$ contiene el 90% de la energía.

La banda de Nyquist $(0, f/2)$ contiene el 78% de la energía. En este espectro, también se puede observar lo siguiente:

- La presencia de una tensión continua y que la energía se concentra en las bajas frecuencias.

- La ausencia de energía en la frecuencia del reloj.

Una señal de este tipo no puede ser transmitida en una línea equipada de repetidores que tiene necesariamente:

- Transformadores de entrada.

- Osciladores que funcionan con la ayuda de impulsos recibidos de la señal MIC misma, al ritmo de su reloj.

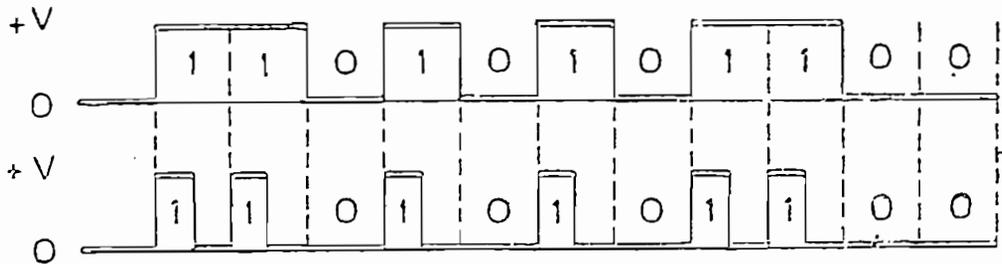
Se debe entonces codificar esta señal, para obtener una señal que:

- No presente ninguna tensión continua ni energía en las bajas frecuencias y que permita pasar los transformadores.

- Posea bastante energía en la frecuencia de reloj para asegurar su regeneración.

2.- CODIGO RZ (Return to zero) 50%

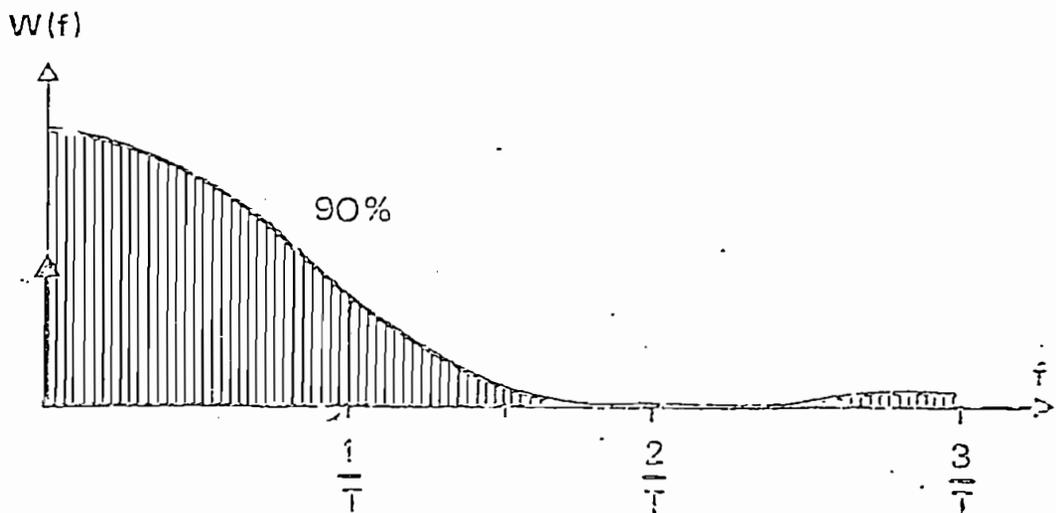
En este código los bits "cero" tienen una duración normal, pero los bits "uno" duran la mitad de su duración normal, como se observa en la figura A.1.3



CODIGO RZ 50%

FIGURA A 1.3

El espectro de energía tiene la forma indicada en la figura A.1.4



ESPECTRO DE ENERGIA DEL CODIGO RZ 50%.

FIGURA A.1.4

- La energía está concentrada en las bajas frecuencias y todavía presenta componente continua, aunque menor que en el NRZ.

- La frecuencia de reloj, f , presenta energía diferente de cero.

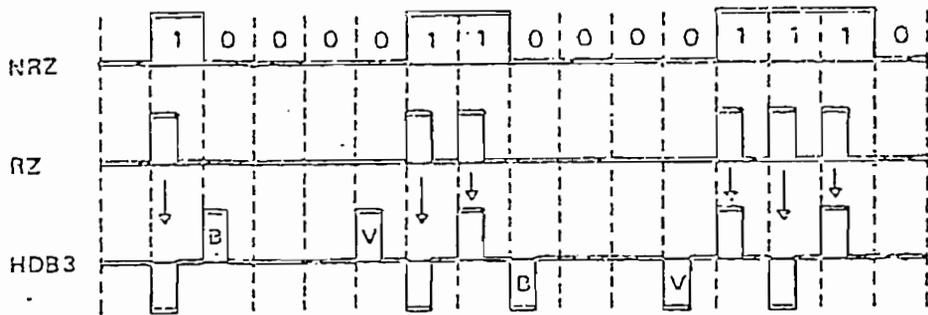
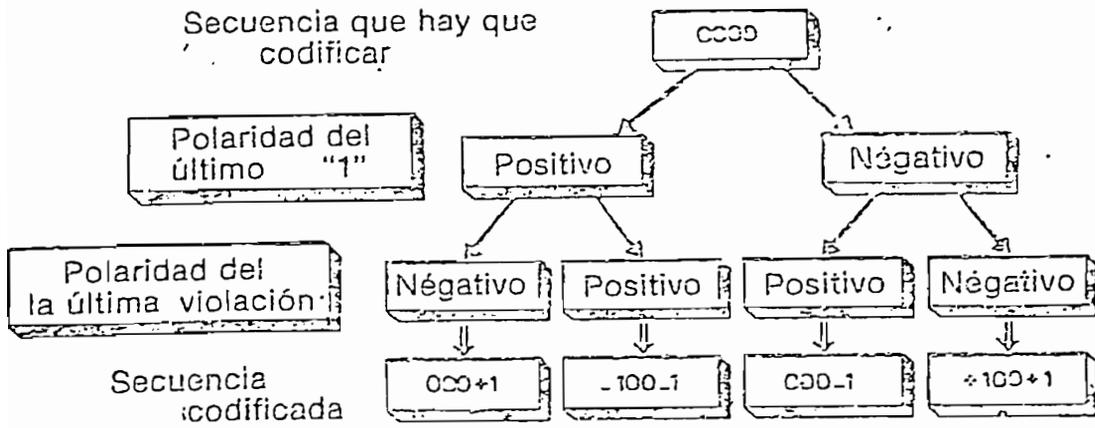
Si se alterna la polaridad de los "1", se suprime la componente continua de la señal y se obtiene el código bipolar RZ. Este presenta el inconveniente de que puede darse una larga secuencia de ceros, que dificultarían la recuperación del reloj.

3.- CODIGO HDB3.-

Este código es un mejoramiento del bipolar RZ 50% que permite una excelente detección de errores.

En el código HDB3 (alta densidad bipolar de orden 3), cada vez que aparece una serie de más de tres "0", el cuarto se reemplaza por un "1"; pero estos "1" suplementarios deben ser suprimidos en el momento de la recepción, y por lo mismo fáciles de ubicar: se les envía entonces con la misma polaridad que el "1" anterior.

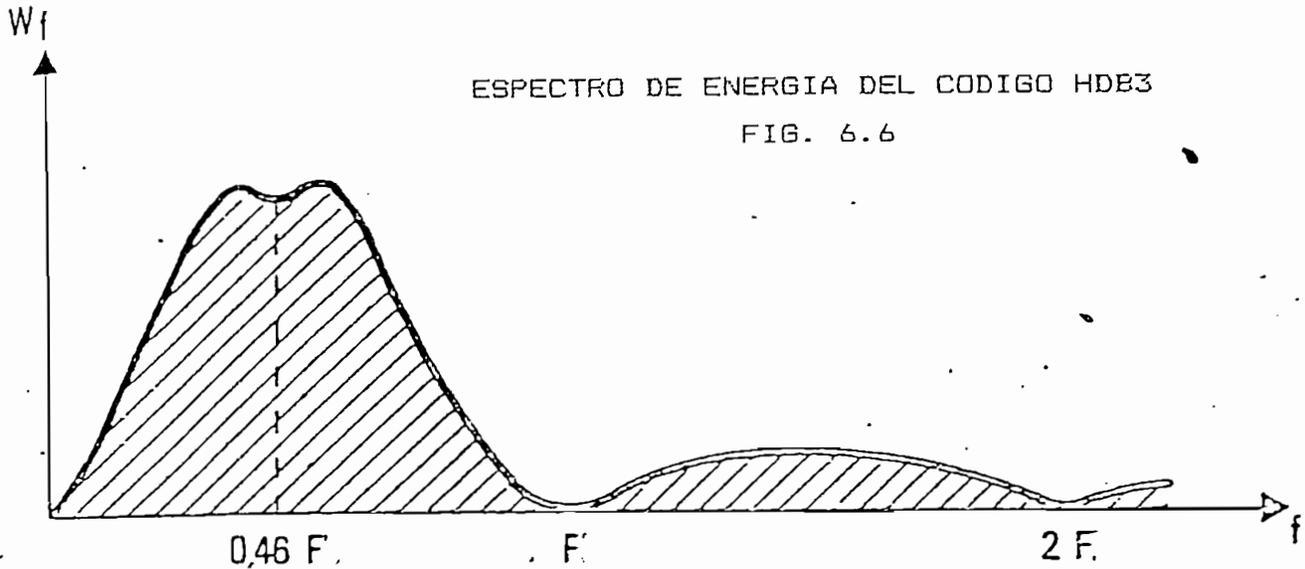
Además, dos violaciones sucesivas deben ser de polaridades opuestas. Como éstas deben quedar como violaciones (del mismo signo que el "1" anterior), a veces es necesario insertar bits de relleno. El método de codificación se aprecia en la figura A.1.5



METODO DE CODIFICACION EN HDB3
 FIG. A 1.5

El código HDB3, permite reconocer y eliminar en la recepción no solo las violaciones y los bits de relleno, sino también ciertos errores en la transmisión.

El espectro de potencia de éste código tiene la forma indicada en la figura A1.6



Se puede observar en este espectro:

- La ausencia de tensión continua y el escaso valor de la energía en las bajas frecuencias, lo que permite una buena transmisión por cable.

- La ausencia de energía en la frecuencia de reloj; sin embargo, la recuperación del reloj puede realizarse fácilmente rectificando previamente la señal bipolar que se convierte entonces en una señal RZ 50%, la que presenta energía a la frecuencia del reloj.

- Un valor máximo de energía para una frecuencia cercana a la mitad de la frecuencia del reloj; la banda de transmisión puede entonces estar limitada perfectamente a un poco más de la mitad de la frecuencia del reloj, sin degradar sensiblemente la señal.

6.1 Características generales

Velocidad binaria: 2048 kbit/s \pm 50 ppm

Código: HDB3 (bipolar de alta densidad de orden 3) (la descripción de este código figura en el anexo A)

6.2 Especificaciones en los accesos de salida (véase el cuadro 6/G.703)

CUADRO 6/G.703

Forma del impulso (forma nominal: rectangular)	Todas las marcas de una señal válida deberán ajustarse a la plantilla (figura 15/G.703), independientemente del signo. El valor V corresponde al valor nominal de cresta	
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial (véase el § 6.4)	Un par simétrico (véase el § 6.4)
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios, resistiva	120 ohmios, resistiva
Tensión nominal de cresta de una marca (impulso)	2,37 V	3 V
Tensión de cresta de un espacio (ausencia de impulso)	$0 \pm 0,237$ V	$0 \pm 0,3$ V
Anchura nominal del impulso	244 ns	
Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto medio del intervalo de un impulso	De 0,95 a 1,05	
Relación entre la anchura de los impulsos positivos y la de los negativos en los puntos de semiamplitud nominal	De 0,95 a 1,05	
Fluctuación de fase máxima cresta a cresta en un acceso de salida	Véase el § 2 de la Recomendación G.823	

6.3 Especificaciones en los accesos de entrada

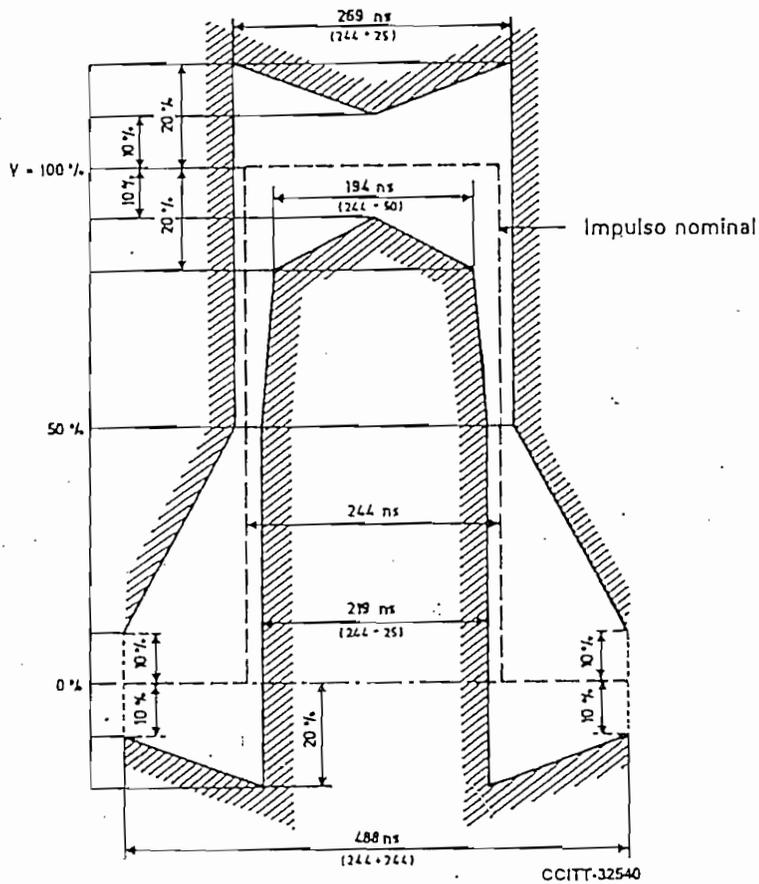
La señal digital presentada en los accesos de entrada deberá corresponder a la definición precedente, con las modificaciones que introduzcan las características de los pares de interconexión. La atenuación de estos pares deberá seguir una ley \sqrt{f} y la atenuación a la frecuencia de 1024 kHz deberá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

En lo relativo a la fluctuación de fase que ha de tolerarse en los accesos de entrada, véase el § 3 de la Recomendación G.823.

La pérdida de retorno en los accesos de entrada deberá tener los siguientes valores mínimos provisionales:

Frecuencias correspondientes al porcentaje de la velocidad binaria nominal	Pérdida de retorno
2,5 a 5%	12 dB
5 a 100%	18 dB
100 a 150%	14 dB

Nota — La necesidad de incluir en la presente Recomendación un requisito en materia de inmunidad a la interferencia se halla en estudio.



Observación — V corresponde al valor de cresta nominal.

FIGURA 15/G.703

Plantilla para el impulso en el caso de un interfaz a 2048 kbit/s

6.4 Puesta a tierra del conductor exterior o del blindaje

El conductor exterior del par coaxial o el blindaje del par simétrico deberán conectarse a tierra en el acceso de salida; también deberá preverse la conexión a tierra de este conductor exterior o del blindaje en el acceso de entrada, si es necesario.

Forma del impulso (forma nominal : rectangular)	Todas las marcas de una señal válida deberán ajustarse a la plantilla (figura 17/G.703), independientemente del signo
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial (véase el § 8.4)
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios, resistiva
Tensión nominal de cresta de una marca (impulso)	1,0 V
Tensión de cresta de un espacio (ausencia de impulso)	$0 \pm 0,1$ V
Anchura nominal del impulso	14,55 ns
Relación entre la amplitud de los impulsos positivos y la de los negativos en el punto medio del intervalo de un impulso	De 0,95 a 1,05
Relación entre la anchura de los impulsos positivos y la de los negativos, en los puntos de semiamplitud nominal	De 0,95 a 1,05
Fluctuación de fase máxima cresta a cresta en un acceso de salida	Véase el § 2 de la Recomendación G.823

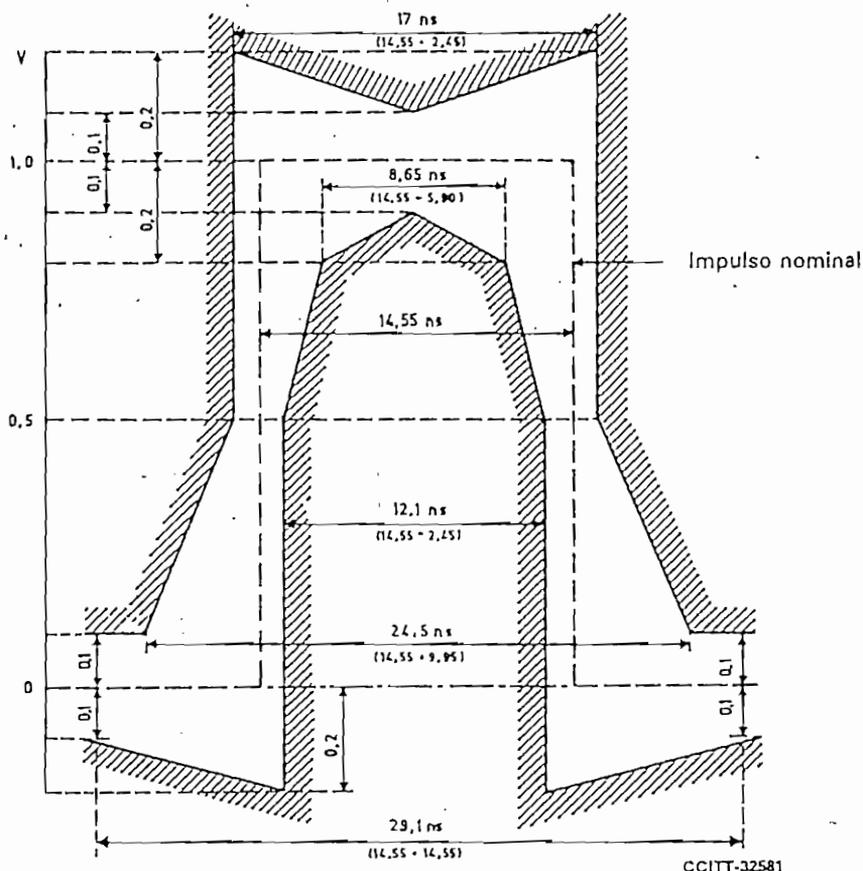


FIGURA 17/G.703

Plantilla para el impulso en el caso de un interfaz a 34368 kbit/s

Frecuencias correspondientes al porcentaje de la velocidad binaria nominal	Pérdida de retorno
2,5 a 5%	12 dB
5 a 100%	18 dB
100 a 150%	14 dB

Nota. — La necesidad de incluir en la presente Recomendación un requisito en materia de inmunidad a interferencia se halla en estudio.

8.4 Puesta a tierra del conductor exterior o del blindaje

Observación — El conductor exterior del par coaxial deberá conectarse a tierra en el acceso de salida también deberá preverse la conexión a tierra de este conductor en el acceso de entrada, si es necesario.

9 Interfaz a 139 264 kbit/s

9.1 Características generales

Velocidad binaria: 139 264 kbit/s \pm 15 ppm
 Código: CMI (Coded Mark Inversion)

El código CMI es un código de 2 niveles sin retorno a cero en el cual el 0 binario se codifica de manera que los dos niveles de amplitud, A_1 y A_2 , se obtienen consecutivamente, cada uno durante un periodo igual a mitad de un intervalo unitario ($T/2$).

El 1 binario se codifica de modo que los niveles de amplitud, A_1 y A_2 , se obtienen alternativamente cada uno durante un periodo igual a un intervalo unitario completo (T).

En la figura 18/G.703 se da un ejemplo.

Observación 1 — Para el 0 binario, existe siempre una transición positiva en el punto medio del intervalo de tiempo unitario binario.

Observación 2 — Para el 1 binario:

- existe una transición positiva al comienzo del intervalo de tiempo unitario binario si el nivel precedente era A_1 ;
- existe una transición negativa al comienzo del intervalo de tiempo unitario binario si el último binario estaba codificado en el nivel A_2 .

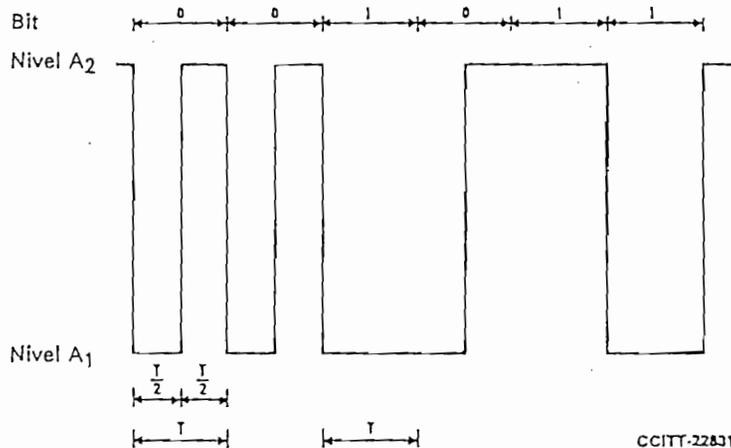


FIGURA 18/G.703

Ejemplos de señal binaria codificada en CMI

que un método basado en la medición de los niveles de la componente fundamental y del segundo (y posiblemente del tercer) armónico de una señal correspondiente a todos 0 binarios y todos 1 binarios es adecuado para verificar el cumplimiento de los requisitos indicados en el cuadro 9/G.703.

Los valores pertinentes están en estudio.

Observación 2 — Las plantillas de las figuras 19/G.703 y 20/G.703 se dan sólo como indicación, y no deben utilizarse necesariamente para mediciones.

9.3 Especificaciones en los accesos de entrada

La señal digital presentada en el acceso de entrada debe ser conforme a las indicaciones del cuadro 9/G.703, teniendo en cuenta las modificaciones producidas por las características del par coaxial de interconexión.

Debe suponerse que la atenuación del par coaxial sigue aproximadamente una ley \sqrt{f} y que la pérdida de inserción máxima es de 12 dB a 70 MHz.

En lo relativo a la fluctuación de fase que ha de tolerarse en los accesos de entrada, véase el § 3 de la Recomendación G.823.

La característica de pérdida de retorno debe ser la misma que la especificada para el acceso de salida.

CUADRO 9/G.703

Forma nominal de los impulsos	Rectangular
Par(es) en cada sentido de transmisión	Un par coaxial
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios, resistiva
Tensión cresta a cresta	1 ± 0,1 voltios
Sobreoscilación	< 5% de la tensión medida de cresta a cresta
Tiempo de subida entre el 10% y el 90% de la amplitud medida	< 2 ns
Tolerancia para la temporización de las transiciones (referida al valor medio de los puntos de semiamplitud de transiciones negativas)	Transiciones negativas: ± 0,1 ns Transiciones positivas en los extremos del intervalo unitario: ± 0,5 ns Transiciones positivas en el punto medio del intervalo unitario: + 0,35 ns
Pérdida de retorno	> 15 dB en la gama de frecuencias de 7 MHz a 210 MHz
Fluctuación de fase cresta a cresta máxima en un acceso de salida	Véase el § 2 de la Recomendación G.823

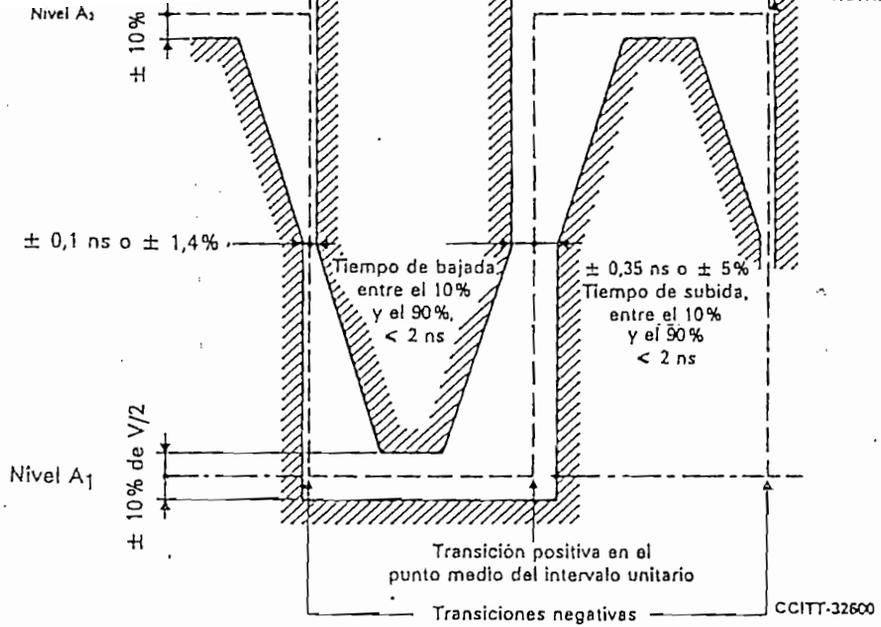
9.4 Puesta a tierra del conductor exterior o del blindaje

El conductor exterior del par coaxial debe estar conectado a tierra en el acceso de salida y debe preverse la puesta a tierra de este conductor, si es necesario, en el acceso de entrada.

10 Interfaz de sincronización a 2048 kHz

10.1 Características generales

Se recomienda la utilización de este interfaz en todas aquellas aplicaciones donde se necesite sincronizar un equipo digital mediante una señal de sincronización externa de 2048 kHz.

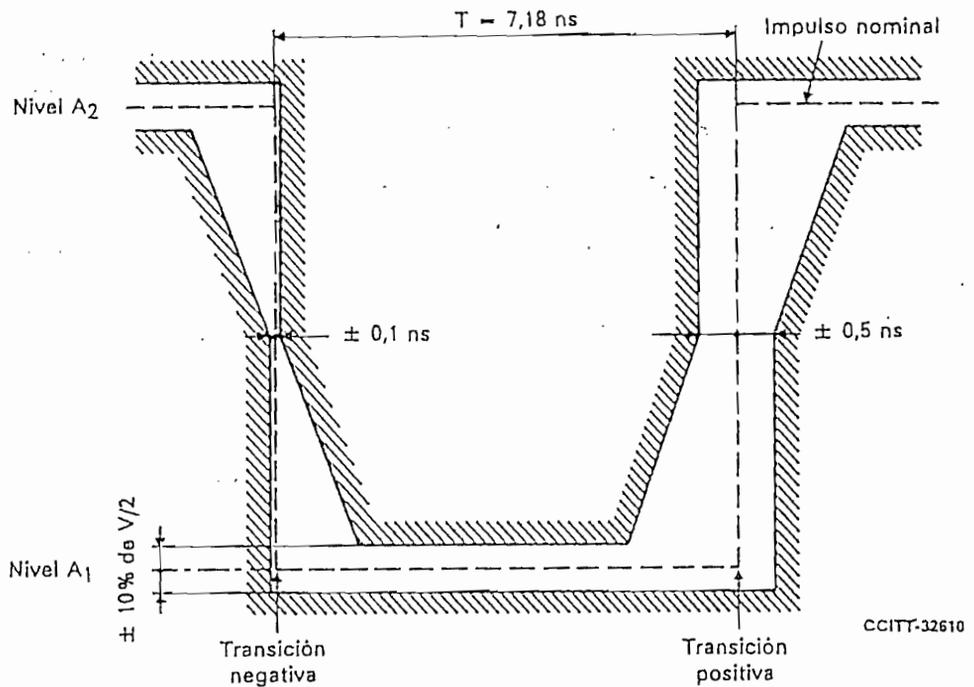


Observación 1 — V es la amplitud nominal cresta a cresta.

Observación 2 — La plantilla no incluye la tolerancia para la sobreoscilación; véase el cuadro 9/G.703.

FIGURA 19/G.703

Plantilla para un impulso que corresponde a un 0 binario



Observación 1 — El impulso inverso tendrá las mismas características.

Observación 2 — V es la amplitud nominal cresta a cresta.

Observación 3 — La plantilla no incluye la tolerancia para la sobreoscilación; véase el cuadro 9/G.703.

FIGURA 20/G.703

Plantilla para un impulso que corresponde a un 1 binario

Frecuencia	2048 kHz \pm 50 ppm	
Forma de los impulsos	La señal debe ajustarse a la plantilla (figura 21/G.703) El valor V corresponde al valor de cresta máximo El valor V ₁ corresponde al valor de cresta mínimo	
Tipo de par	Par coaxial (véase la observación en el § 10.3)	Par simétrico (véase la observación en el § 10.3)
Impedancia de carga de prueba	75 ohmios, resistiva	120 ohmios, resistiva
Tensión de cresta máxima (V _{op})	1,5	1,9
Tensión de cresta mínima (V _{op})	0,75	1,0
Fluctuación de fase máxima en el acceso de entrada	En estudio	

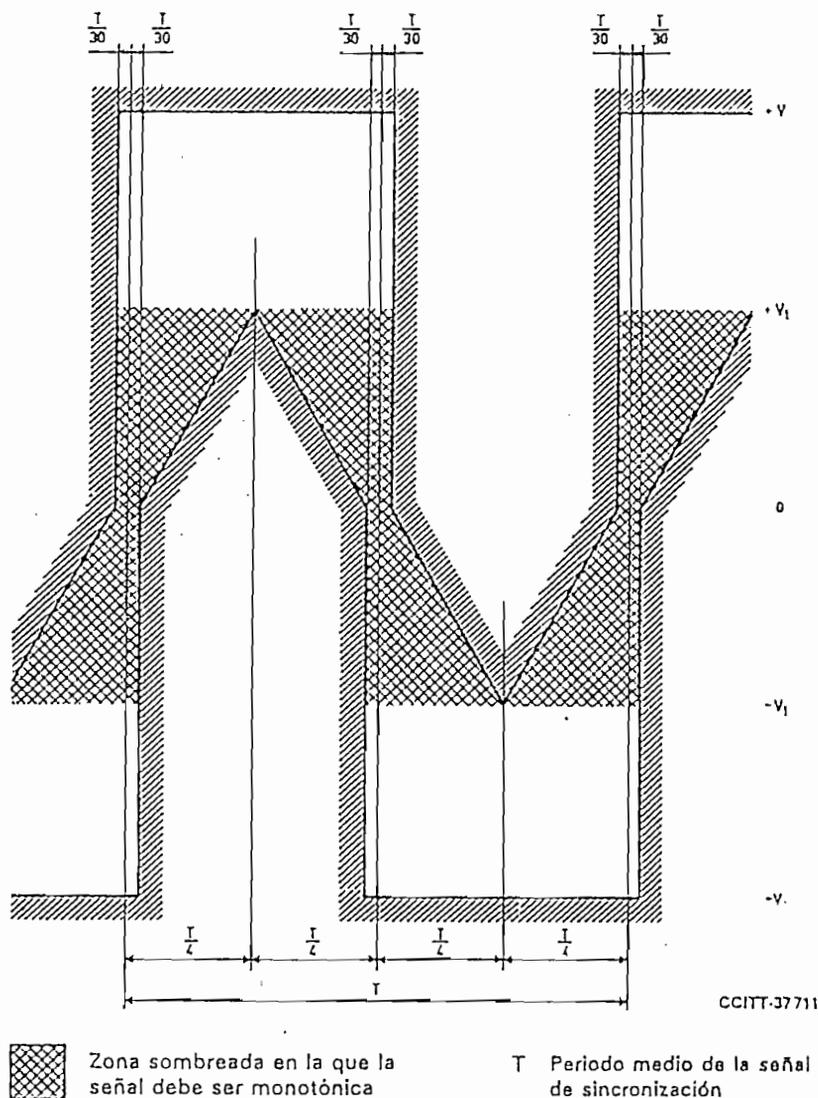


FIGURA 21/G.703
Forma de la onda en un acceso de salida

6.4 Guiaondas

Recomendación G.641

DIÁMETROS DE LOS GUIAONDAS

(Ginebra, 1976)

El CCITT,

considerando

(a) que los guiaondas de gran diámetro tienen la ventaja de una atenuación básica reducida y permiten separaciones mayores entre los repetidores en las rutas relativamente rectas, pero su fabricación es más costosa y su tendido más dificultoso;

(b) que los guiaondas de pequeño diámetro son más baratos, más fáciles de curvar y de tendido menos dificultoso (lo que les hace más interesantes para las zonas urbanas y en los terrenos accidentados), pero exigen una separación menor entre los repetidores;

(c) que la determinación del diámetro óptimo de un guiaondas para un caso concreto es un problema complejo que obliga a analizar detalladamente la ruta considerada, los gastos de fabricación y de tendido de los diversos tipos y diámetros posibles de guiaondas, el costo de los tipos de repetidores requeridos y el número de éstos, y los objetivos globales de fiabilidad, y

(d) que conviene reducir al mínimo una proliferación antieconómica, normalizando para ello un pequeño número de diámetros de guiaondas,

recomienda

que se elija, según convenga, el diámetro interior de un guiaondas entre los de la serie de 30, 40, 50, 51, 60 y 70 mm.

6.5 Cables de fibra óptica

Recomendación G.651

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 μm

El CCITT,

considerando

(a) que los cables de fibra óptica serán muy utilizados en el futuro en las redes de telecomunicaciones;

(b) que para las aplicaciones previstas pueden requerirse fibras de índice gradual diferentes por:

— la naturaleza de su material

a) vidrio de sílice de alta ley

b) vidrios de varios compuestos

c) otros materiales

— la (o las) región(es) de su longitud de onda de funcionamiento

a) alrededor de 850 nm

b) alrededor de 1300 nm

— sus características ópticas y geométricas;

recomienda

una fibra multimodo de índice gradual de vidrio de sílice o de vidrio de varios compuestos que puede ser utilizada con una fuente de longitud de onda en la región de 850 nm, o de longitud de onda en la región de 1300 nm, o bien en ambas regiones de longitudes de onda simultáneamente.

Esta fibra puede utilizarse para transmisión digital y analógica.

Sus características geométricas, ópticas y de transmisión se describen más adelante.

En el anexo A figuran las definiciones de los términos utilizados en esta Recomendación y en el anexo B las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características. (En el futuro, cuando se adopten otras Recomendaciones sobre fibras ópticas, los anexos A y B podrán convertirse en Recomendaciones separadas.)

Observación — Debe quedar bien claro que la selección de un solo conjunto de valores de fibra en esta Recomendación no excluye la posibilidad de que se elaboren otras Recomendaciones para diseños de fibras diferentes.

1 Características de la fibra

En este § 1 se tratan aquellas características que aseguran la interconexión de las fibras con pérdidas bajas y aceptables.

En este punto sólo se recomiendan características intrínsecas de la fibra (que no dependen de la fabricación del cable). Éstas serán igualmente aplicables a fibras individuales, fibras incorporadas en un cable y enrollada en una bobina, y a fibras en cable instalado.

1.1 Características geométricas de la fibra

1.1.1 Diámetro del núcleo

El valor nominal recomendado del diámetro del núcleo es de 50 μm .

La desviación del diámetro del núcleo no debe exceder los límites de $\pm 6\%$.

1.1.2 Diámetro de la superficie del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro de la superficie del revestimiento es de 125 μm .

La desviación del diámetro de la superficie del revestimiento no debe exceder los límites de $\pm 2,4\%$.

Observación — Para la mayoría de los tipos de fibra, la superficie de referencia es la misma que la superficie del revestimiento. Sin embargo, en algunos tipos particulares de fibra, la superficie de referencia puede ser de 125 μm y la superficie del revestimiento puede ser algo más pequeña.

1.1.3 Error de concentricidad

Se recomienda que el error de concentricidad sea inferior al 6%.

1.1.4 No circularidad

1.1.4.1 No circularidad del núcleo

Se recomienda que la no circularidad del núcleo sea inferior al 6%.

1.1.4.2 No circularidad de la superficie del revestimiento

Se recomienda que la no circularidad de la superficie del revestimiento sea inferior al 2%.

1.2 Propiedades ópticas de la fibra

1.2.1 Perfil del índice de refracción

Se espera que los perfiles del índice de refracción de las fibras a las que se refiere esta Recomendación sean casi parabólicos.

1.2.2 Apertura numérica teórica máxima

El valor óptimo de la apertura numérica teórica ($AN_{t,máx}$) dependerá de la aplicación particular para la cual ha de utilizarse la fibra y en particular de la eficacia requerida del acoplamiento de la fuente, de la mayor atenuación debida a los efectos de la microflección que pueden tolerarse y de la respuesta global requerida en banda de base.

Los valores empleados corrientemente en la práctica se encuentran en la gama de 0,18 a 0,24.

Cualquiera que sea el valor real que se emplee, éste no deberá diferir del valor nominal elegido en más de 0,02.

1.3 *Propiedades de los materiales de la fibra*

1.3.1 *Materiales de la fibra*

Deben indicarse las substancias utilizadas en la fabricación de la fibra.

1.3.2 *Materiales protectores*

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, deberán darse indicaciones similares.

2 Especificaciones de los largos de fabricación

Como las características geométricas y ópticas de las fibras son raramente afectadas por el proceso de cableado, las recomendaciones de este § 2 se refieren principalmente a las características de transmisión.

Las características de transmisión dependen en gran medida de la longitud de onda utilizada para transportar la información.

Las condiciones ambientales y de prueba aplicables a esta Recomendación se describen en el anexo A sobre métodos de pruebas.

La distribución de probabilidad estadística de las características de transmisión de las fibras dependerá del diseño y de los procedimientos de fabricación. En consecuencia, al especificar los límites de las características de transmisión se deberá tener en cuenta dicha distribución. Por ejemplo, en el caso de ciertas aplicaciones, puede suceder que un límite particular no abarque el 100% de la producción y que, de hecho, represente tan solo una pequeña parte de la producción total. El aspecto económico desempeñará un papel importante en la especificación de los límites para las aplicaciones particulares.

2.1 *Coefficiente de atenuación*

Las fibras ópticas objeto de esta Recomendación se pueden dividir en las categorías siguientes:

Longitud de onda (λ)	Categorías de atenuación (α)	
850 nm	1	< 4 dB/km
	2	< 3,5 dB/km
	3	< 3 dB/km
1300 nm	I	< 3 dB/km
	II	< 2 dB/km
	III	< 1,5 dB/km
	IV	< 1,0 dB/km
	V	< 0,8 dB/km

Nota 1 — Estas categorías tienen carácter de orientación y no deben considerarse obligatorias.

Nota 2 — Si se adoptan estas categorías, se considerará que los valores correspondientes son las atenuaciones máximas que han de cumplirse en las pruebas de aceptación en fábrica.

Nota 3 — En algunos casos podrán utilizarse fibras en ambas regiones de longitudes de onda. Estas fibras podrán clasificarse, por ejemplo, en la categoría 2 en la primera ventana de atenuación a 850 nm y en la categoría III en la segunda ventana de atenuación a 1300 nm.

La respuesta en banda de base comprende los efectos de distorsión modal y de dispersión (cromática). Para algunas aplicaciones, los efectos de dispersión (cromática) son insignificantes y pueden pasarse por alto.

La respuesta en banda de base se presenta en el dominio de la frecuencia. Las Administraciones deseen utilizar el dominio del tiempo podrán hacerlo mediante operaciones matemáticas. Para este propósito debe disponer de la respuesta en amplitud y en fase.

La respuesta en banda de base está referida a 1 km.

2.2.1 Respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal

La respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal se especifica en la forma de valor de anchura de banda entre los puntos (eléctricos) a -6 dB de la característica de amplitud total en función de la frecuencia corregida a efectos de la dispersión (cromática). También se debiera presentar una curva completa de la respuesta en la anchura de banda total.

Las fibras ópticas objeto de esta Recomendación pueden dividirse en las siguientes categorías:

- 1 | B modal | \geq 200 MHz
- 2 | B modal | \geq 500 MHz
- 3 | B modal | \geq 800 MHz
- 4 | B modal | \geq 1000 MHz

Nota — Todos los valores indicados de respuesta en amplitud están referidos a $\lambda = 850$ nm.

- I | B modal | \geq 200 MHz
- II | B modal | \geq 500 MHz
- III | B modal | \geq 800 MHz
- IV | B modal | \geq 1000 MHz
- V | B modal | \geq 1200 MHz

Nota — Todos los valores indicados de respuesta en amplitud están referidos a $\lambda = 1300$ nm.

Nota 1 — Estas categorías tienen carácter de orientación y no deben considerarse obligatorias.

Nota 2 — Si se adoptan estas categorías, se considerará que los valores correspondientes son las anchuras de banda mínimas que han de cumplirse en las pruebas de aceptación en fábrica.

Nota 3 — En ciertos casos podrán utilizarse fibras en ambas regiones de longitudes de ondas. Estas fibras podrán clasificarse, por ejemplo, en la categoría 3 a 850 nm y en la categoría III a 1300 nm (su denominación podría ser, abreviadamente, fibra de categoría 3/III).

2.2.2 Respuesta en fase en la anchura de banda de distorsión modal

No se recomienda ningún valor pues la información de respuesta en fase no se requiere sino en casos especiales.

2.2.3 Dispersión (cromática)

Cuando se le solicite, el fabricante de la fibra óptica debe indicar los valores de la dispersión (cromática) del tipo de fibra en la región o regiones de longitudes de onda operativas así como el método de medición de la misma.

Nota 1 — La dispersión total puede ser producida por una o más de las dispersiones siguientes: la debida al material, al guiadoondas, al perfil de índice.

Nota 2 — En el caso de la fibra multimodo, el mecanismo dominante de dispersión (cromática) es la dispersión debida al material.

Nota 3 — Los valores típicos de la dispersión (cromática) total en fibras ópticas de sílice de alta ley son los siguientes:

Longitud de onda (λ)	Dispersión cromática
850 nm	< 120 ps/km · nm
1300 nm	< 6 ps/km · nm

3 Secciones elementales de cable

Según se define en la Recomendación G.601 (término 1008), una sección elemental de cable incluye un cierto número de largos de fabricación empalmados. En el § 2 de esta Recomendación se indican los requisitos aplicables a los largos de fabricación. Los parámetros de transmisión en secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo la calidad de los distintos largos de cable sino también, entre otras cosas, factores tales como los empalmes, los conectores (si los hay) y los efectos de acoplamiento de modos que pueden afectar a la anchura de banda y a la atenuación.

Además, tanto las características de transmisión de las fibras en largos de fabricación, como los empalmes, los conectores, etc., tendrán una cierta distribución de probabilidad que, con frecuencia, debe ser tenida en cuenta si se desea obtener los diseños más económicos. Los siguientes puntos de esta sección deben ser leídos teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

3.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_1^m \alpha_n \cdot L_n + a_r \cdot x + a_c \cdot y$$

donde:

α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra en la sección elemental de cable

L_n = longitud de la n -ésima fibra

m = número total de fibras concatenadas en la sección elemental de cable

a_r = pérdida media por empalme

x = número de empalmes en la sección elemental de cable

a_c = pérdida media de los conectores de línea

y = número de conectores de línea en la sección elemental de cable (en su caso).

Pueden seguirse dos métodos posibles para diseñar la sección elemental de cable:

- seleccionar las fibras de una de las categorías especificadas para los largos de fabricación (véase el § 2.1), suponiendo para α_n el límite superior de la categoría seleccionada. Este método es, en general, conservador;
- utilizar fibras de diferentes categorías, a condición de que la atenuación de la totalidad de la sección elemental de cable cumpla el requisito de atenuación deseado; en este caso, α_n es el coeficiente de atenuación real de la n -ésima fibra.

Observación 1 — Las pérdidas a_r y a_c de los empalmes y conectores de línea se definen por lo general en condiciones de equilibrio de distribución modal. En la explotación real pueden producirse diferencias apreciables.

Observación 2 — La fórmula anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipos.

Observación 3 — En el diseño global de un sistema debe preverse un margen para el cable en previsión de futuras modificaciones de la configuración de éste (empalmes adicionales, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones debidas a la temperatura, etc.).

Observación 4 — Se toma la pérdida media para la pérdida de empalmes y conectores. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de estos parámetros.

3.2 Respuesta en banda de base total

La respuesta en banda de base total se da en el dominio de la frecuencia e incluye los efectos de la distorsión modal y de la dispersión (cromática), y se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$B_T = \left[B_{\text{modal}}^{-2} + B_{\text{cromática}}^{-2} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

donde:

B_T = la anchura de banda total global

B_{modal} = la anchura de banda modal total (incluida la distorsión modal y la dispersión cromática)

$B_{\text{cromática}}$ = la anchura de banda cromática total (véase la observación 3).

Observación 1 — Se debe suponer que tanto la respuesta en banda de base de distorsión modal de la fibra como el espectro de la fuente tienen una distribución gaussiana.

Observación 2 — Para algunas aplicaciones, el efecto de la dispersión (cromática) es despreciable, en cuyo caso ésta puede pasarse por alto.

Observación 3 — B_c , la anchura de banda cromática total, es inversamente proporcional al largo de la sección y, suponiendo que el espectro de la fuente es gaussiano, se puede expresar así:

$$B_{\text{cromática}} \text{ (MHz)} = (\Delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L/0,44)^{-1}$$

donde:

$\Delta\lambda$ = anchura espectral de radiación entre puntos al 50% de amplitud (nm)

$D(\lambda)$ = coeficiente de dispersión cromática (ps/nm · km)

L = largo de sección (km).

3.2.1 Respuesta en la anchura de banda de distorsión modal

Los valores de la respuesta en la anchura de banda de distorsión modal en una sección elemental de cable pueden elegirse entre las categorías indicadas en el § 2.2.1. No obstante, es posible que la respuesta global en amplitud, en la anchura de banda de distorsión modal, de la sección elemental de cable no sea una adición lineal de las respuestas individuales, debido al acoplamiento de modos y a otros efectos que se producen en los empalmes y, algunas veces, a lo largo de la fibra.

Así pues, la anchura de banda de distorsión modal para una sección elemental de cable viene dada por:

$$\frac{1}{B_{\text{modal total}}} = \frac{1}{B_{\text{modal 1}}} + \frac{1}{B_{\text{modal 2}}} + \dots + \frac{1}{B_{\text{modal n}}}$$

donde:

$B_{\text{modal total}}$ = anchura de banda de distorsión modal total de la sección elemental de cable

$B_{\text{modal 1 etc.}}$ = anchura de banda de distorsión modal de un sólo largo de cable.

Esta dilatada expresión puede representarse más sencillamente como sigue:

$$\text{Anchura de banda de distorsión modal de una sección elemental de cable} = \left\{ \sum_1^x B_{\text{modal}_n} \frac{-1}{\gamma} \right\}^{-\gamma}$$

donde:

B_{modal_n} = anchura de banda de distorsión modal, en MHz, de la n-ésima fibra de una sección elemental de cable

x = número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable

γ = factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal.

Observación — El valor de γ , factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal, está generalmente comprendido en la gama de 0,5 a 1,0 dependiendo su valor preciso de los efectos del acoplamiento de modos en los empalmes, la compensación de perfil alfa, la longitud de onda de anchura de banda máxima, etc. En determinadas circunstancias, pueden obtenerse también valores por debajo de esa gama. Para una fibra dada, el valor apropiado de γ que ha de aplicarse puede hallarse empíricamente y, normalmente, puede obtenerse del fabricante del cable o de las fibras.

ANEXO A

(a la Recomendación G.651)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación.

A.1 núcleo

La región central de una fibra óptica, a través de la cual se transmite la mayor parte de la potencia óptica.

A.2 superficie del núcleo

Para una sección transversal de una fibra óptica, la superficie dentro de la cual el índice de refracción, en todas partes (salvo alguna eventual depresión del índice) excede el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento en una fracción determinada de la diferencia entre el índice de refracción máximo del núcleo y el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

Observación — La superficie del núcleo es la superficie de la menor sección transversal de una fibra, excluida toda depresión en el índice, comprendida en el lugar geométrico de los puntos en que el índice de refracción n_3 viene dado por la expresión:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2) \text{ (véase la figura A.1/G.651)}$$

donde:

n_1 es el índice de refracción máximo del núcleo de la fibra;

n_2 es el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento de la fibra;

k es una constante.

Observación — A menos que se especifique otra cosa, como valor de k se toma 0,05.

A.3 centro del núcleo (superficie del revestimiento)

Para una sección transversal de una fibra óptica, es el centro del círculo que se ajusta mejor al límite exterior de la superficie del núcleo (superficie del revestimiento):

Observación 1 — Puede que estos centros no sean iguales.

Observación 2 — Debe especificarse el método para efectuar el mejor ajuste.

A.4 diámetro del núcleo (diámetro de la superficie del revestimiento)

Diámetro del círculo que define el centro del núcleo (revestimiento).

A.5 revestimiento

Material dieléctrico de una fibra óptica que envuelve el núcleo.

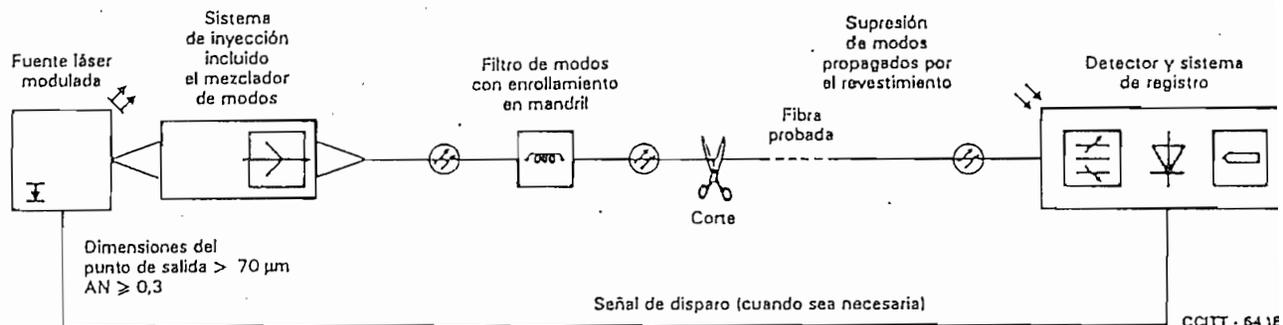


FIGURA B-14/G.651
Configuración de prueba típica

Recomendación G.652

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO

(Málaga-Torremolinos, 1984)

El CCITT,

considerando

a) que los cables de fibra óptica monomodo se utilizarán ampliamente en el futuro en las redes de telecomunicaciones;

b) que las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieren en:

- la longitud de onda de funcionamiento,
- las características geométricas y ópticas;

c) que, no obstante, no están todavía suficientemente avanzados los estudios sobre la utilización práctica de todos los tipos de fibras;

d) que es razonable elaborar una Recomendación sobre un tipo de fibra monomodo cuya utilización práctica ha sido objeto de muy detenidos estudios;

e) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras monomodo cuando haya progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica,

recomienda

una fibra monomodo optimizada para uso con una longitud de onda de fuente de unos 1300 nm, que también se puede utilizar a aproximadamente 1550 nm (longitud de onda a la que la fibra no está optimizada).

Esta fibra puede utilizarse para transmisiones tanto analógica como digital.

Sus características geométricas, ópticas y de transmisión se describen a continuación.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación se explica en el anexo A, y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B. En el futuro, cuando se formulen otras Recomendaciones sobre fibras monomodo, los anexos A y B podrían convertirse en Recomendaciones separadas.

Observación — Debe quedar bien aclarado que la elección de un solo conjunto de valores para los parámetros de la fibra no excluye la recomendación de otros diseños de fibras monomodo.

En el § 1 sólo se recomiendan las características geométricas y ópticas de la fibra (que no dependen de la fabricación del cable). Estas características se aplicarán por igual a las fibras individuales, a las que formen parte de un cable arrollado en carrete y a las fibras en cables instalados.

Esta Recomendación se aplica a las fibras cuyo campo para el modo de propagación monomodal es nominalmente circular.

1.1 *Diámetro de campo monomodo*

El valor nominal del diámetro de campo monomodo estará comprendido dentro de la gama 8,5 a 10,6 μm . La desviación del diámetro de campo monomodo no deberá rebasar los límites de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

Observación 1 — El valor de 10 μm se emplea corrientemente para diseños de revestimiento adaptados, y el valor de 9 μm para diseños de revestimientos con depresión. Pero la elección de un valor específico dentro de la gama indicada más arriba no está necesariamente asociada con un diseño de fibra específico.

Observación 2 — Debe señalarse que el comportamiento de la fibra en una determinada aplicación depende más de los parámetros esenciales de la propia fibra y del sistema, es decir, del diámetro de campo monomodo, de la longitud de onda de corte, de la dispersión total, de la longitud de onda de trabajo del sistema y de la velocidad binaria/frecuencia de funcionamiento, que del diseño de la fibra.

Observación 3 — De hecho, el valor medio del diámetro de campo monomodo puede diferir de los valores nominales indicados, a condición de que todas las fibras estén dentro de $\pm 10\%$ del valor nominal especificado.

Observación 4 — Todo lo que antecede requiere ulterior estudio.

1.2 *Diámetro del revestimiento*

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento con respecto a su valor nominal no debe exceder de $\pm 2,4\%$.

Para ciertas condiciones particulares de técnicas de empalme, y de pérdida en los empalmes, otras tolerancias pueden ser apropiadas.

Observación — La superficie de referencia puede ser la superficie del revestimiento o una superficie que abarque uno o más recubrimientos sobre el revestimiento, si éstos no tienen que ser retirados para el empalme. No se considera necesario especificar separadamente el diámetro de la superficie de referencia.

1.3 *Error de concetricidad para el campo de propagación monomodal*

El error de concetricidad para el campo de propagación monomodal será inferior a un valor comprendido en la gama de 0,5 μm a 3,0 μm , y depende de la técnica de empalme utilizada y del requisito de pérdida por empalme que deba cumplirse.

1.4 *No circularidad*

1.4.1 *No circularidad para el campo de propagación monomodal*

En la práctica, la no circularidad para el campo de propagación monomodal de las fibras que tienen campos de propagación monomodal nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y los empalmes no se vean afectados. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad para el campo de propagación monomodal. En general, no es necesario medir la no circularidad para el campo de propagación monomodal con fines de aceptación.

Observación — En la práctica se logran con facilidad valores inferiores a 6%.

1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

La no circularidad del revestimiento debe ser inferior a 2%. Puede que otras tolerancias sean apropiadas para algunas técnicas de empalme particulares y requisitos de pérdida por empalme.

1.4.3 *Perfil del índice de refracción*

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra; no obstante, si se desea medirlo, podrá utilizarse el método de prueba de referencia de la Recomendación G.651.

1.5 *Longitud de onda de corte*

El valor necesario de la longitud de onda de corte del modo de segundo orden (LP_{11}) para una aplicación particular del sistema depende de la fibra, del cable y del diseño del sistema (incluidas la velocidad binaria y la longitud de trabajo de éste), junto con las longitudes y curvaturas previstas de los cables de reparación, cables de interconexión interna, etc.

Para numerosas aplicaciones se ha expresado la preferencia de que el valor se halle dentro de la gama provisional de 1100-1280 nm. En ciertas circunstancias se han empleado, con buenos resultados, fibras con longitudes de onda de corte de tanto como 1310 nm en cables de la planta externa. En estos casos, la longitud de onda de corte (medida por el método de prueba de referencia) excedía la longitud de onda de trabajo, estando el modo de segundo orden (LP_{11}) suficientemente atenuado a lo largo de la fibra para que sus efectos de ruido modal y de dispersión bimodal en el detector fuesen despreciables.

Este asunto requiere ulterior estudio.

1.5.1 Debe señalarse que se pueden identificar como mínimo cuatro tipos principales de longitudes de onda de corte:

- i) la longitud de onda de corte teórica calculada a partir del perfil del índice de refracción de la fibra,
- ii) la longitud de onda de corte de una sección de fibra de 2 m medida utilizando el método de prueba de referencia,
- iii) la longitud de onda de corte de un largo de fabricación de cable (incluidos los largos de reparación),
- iv) la longitud de onda de corte de una sección elemental de cable.

Observación 1 — Para una fibra dada, la longitud de onda de corte teórico [tipo i)] tiene el valor numérico más alto de longitud de onda de corte, la longitud de onda de corte medida en un tramo corto [tipo ii)] tiene un valor numérico más bajo, y para el largo de fabricación de cable [tipo iii)] un valor numérico incluso más bajo.

Observación 2 — De la observación 1 se desprende que, en algunos casos, el valor de la longitud de onda de corte medido utilizando el método de prueba de referencia (es decir, en un largo de fibra de 2 m) puede de hecho ser mayor que la longitud de onda de funcionamiento del sistema. Sin embargo, en la sección elemental de cable, el valor correspondiente de longitud de onda de corte será menor que la longitud de onda de funcionamiento del sistema, permitiendo así el funcionamiento monomodo en la longitud de onda de trabajo del sistema.

1.6 *Propiedades materiales de la fibra*

1.6.1 *Materiales de la fibra*

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

1.6.2 *Materiales protectores*

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de quitarlo (de ser necesario). En el caso de una fibra envainada aislada, se facilitarán indicaciones similares.

2 Especificaciones aplicables a los largos de fabricación

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en el § 1 son apenas afectadas por el proceso de cableado, el § 2 incluirá recomendaciones especialmente aplicables a las características de transmisión.

Las condiciones de prueba y del ambiente son de gran importancia, y se describen en las secciones sobre métodos de prueba.

2.1 *Coefficiente de atenuación*

Las fibras objeto de esta Recomendación tienen generalmente coeficientes de atenuación inferiores a 1,0 dB/km a 1300 nm.

2.2 *Dispersión total*

Cuando sea necesario especificar la dispersión, la magnitud máxima del coeficiente de dispersión total en la región de longitud de onda de 1300 nm debe ser de 6 ps/km · nm.

3 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable consta normalmente de varios largos de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en el § 2 de esta Recomendación. Los parámetros de transmisión de las secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de cada largo de cable, sino también, entre otras cosas, factores tales como las pérdidas en los empalmes y en los conectores (en su caso).

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_1^m \alpha_n \cdot L_n + a_r \cdot X + a_c \cdot y$$

donde

- α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra de la sección elemental de cable
- L_n = longitud de la n -ésima fibra
- m = número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable
- a_r = pérdida media por empalme
- X = número de empalmes en la sección elemental de cable
- a_c = pérdida media por conector de línea
- y = número de conectores de línea en una sección elemental de cable (en su caso)

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.).

Para la pérdida de empalmes y conectores se utiliza la pérdida media. En el presupuesto de atenuaciones aplicado para el diseño de un sistema real han de tenerse en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

3.2 *Dispersión total*

Se puede obtener la dispersión total expresada en ps a partir de los coeficientes de dispersión total de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal de la longitud y respetando los signos de los coeficientes y las características de sistema (véase el § 2.2).

ANEXO A

(a la Recomendación G.652)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

Los términos consignados en este anexo se aplican específicamente a las fibras monomodo. Los demás términos empleados en la presente Recomendación tienen el significado indicado en el anexo A a la Recomendación G.651.

A.1 *Diámetro de campo monomodo*

En estudio.

Nota — En el texto relativo a los métodos de prueba pertinentes del anexo B, § 1, constan dos definiciones posibles.

A.2 *longitud de onda de corte*

La longitud de onda de corte es la longitud de onda mayor que aquella en la cual el modo LP_{11} de segundo orden cesa de propagarse.

Observación 1 — El valor medido, en general, depende del largo de la muestra. La longitud de onda de corte se define para un largo de fibra de 2 m.

Observación 2 — Se forma un solo bucle en la fibra que se prueba con un radio de 140 mm. Este valor provisional requiere ulterior estudio.

N	B										N		
	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%		30%	40%
1	0101	0121	0132	0104	0309	0578	0753	1111	1176	250	278	361	100
2	153	168	170	273	282	341	479	575	595	700	778	700	273
3	453	492	535	602	715	779	106	127	163	183	263	499	499
4	269	292	302	109	126	122	175	205	250	295	349	603	603
5	136	143	152	166	163	232	250	253	345	401	519	561	444
6	191	700	211	223	254	294	330	376	444	511	651	619	104
7	250	260	274	294	325	374	434	467	546	623	746	963	124
8	313	325	340	363	393	454	500	560	640	737	921	114	113
9	378	392	409	434	475	537	583	655	755	852	106	150	163
10	446	461	481	508	553	622	678	751	867	963	125	147	153
11	516	532	554	584	634	705	769	849	969	109	153	163	203
12	588	605	629	661	714	795	861	947	1070	120	147	160	222
13	661	680	705	740	797	883	954	105	119	132	161	196	242
14	735	756	782	820	880	973	105	115	130	144	175	213	262
15	811	833	861	901	965	106	114	125	141	156	189	229	282
16	888	911	941	983	105	115	124	135	152	164	203	245	302
17	965	989	102	107	113	125	134	145	163	170	212	262	327
18	1042	107	110	115	122	134	143	155	174	182	221	278	344
19	112	115	118	123	131	143	153	165	185	204	245	295	367
20	120	123	127	132	140	152	163	176	196	216	256	312	382
21	128	131	135	140	149	162	173	187	208	228	273	328	402
22	137	140	143	149	156	171	182	197	219	241	287	344	421
23	145	148	152	158	167	181	192	207	230	253	301	361	441
24	153	155	160	166	176	190	202	218	242	265	316	378	461
25	161	165	169	175	185	200	212	228	253	277	330	394	481
26	170	173	178	184	194	209	222	239	264	289	344	411	501
27	178	182	186	191	201	216	229	248	273	302	358	426	511
28	186	190	195	202	212	228	242	260	287	314	372	441	531
29	193	199	204	210	221	238	252	271	299	326	386	461	561
30	203	207	212	219	231	248	262	281	310	339	400	477	561
31	212	216	221	228	240	258	272	292	321	351	415	491	601
32	220	225	230	237	249	267	282	302	331	363	429	511	621
33	229	233	239	246	258	277	293	313	344	373	443	527	641
34	238	242	248	255	268	287	303	324	356	385	457	541	661
35	246	251	256	264	277	297	313	334	367	400	471	560	681
36	255	260	265	273	286	307	323	345	379	412	486	577	701
37	264	268	274	283	296	316	333	356	390	424	500	591	721
38	273	277	283	292	305	326	344	366	402	437	514	610	741
39	281	285	292	301	315	336	354	377	413	449	527	627	761
40	290	295	301	310	324	346	364	388	425	461	542	644	781
41	299	304	310	319	334	356	374	399	436	471	557	660	801
42	308	313	319	328	343	366	384	409	448	486	571	677	821
43	317	322	328	338	353	376	395	420	459	499	585	693	841
44	325	331	337	347	362	386	405	431	471	511	599	710	861
45	334	340	346	356	372	396	415	442	482	523	613	727	881
46	343	349	356	365	381	405	426	452	494	536	628	743	901
47	352	358	365	375	391	415	436	463	506	548	642	760	921
48	361	367	374	384	400	424	446	474	517	560	656	777	841
49	370	376	383	393	410	435	457	485	529	573	670	791	901
50	379	385	392	403	419	445	467	496	540	585	683	810	931

N	B										N							
	0.01%	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%	0.06%	0.07%	0.08%	0.09%	0.1%		0.15%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%
1	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013					
2	0011	0012	0013	0014	0015	0016	0017	0018	0019	0020	0021	0022	0023					
3	0020	0021	0022	0023	0024	0025	0026	0027	0028	0029	0030	0031	0032					
4	0031	0032	0033	0034	0035	0036	0037	0038	0039	0040	0041	0042	0043					
5	0042	0043	0044	0045	0046	0047	0048	0049	0050	0051	0052	0053	0054					
6	0053	0054	0055	0056	0057	0058	0059	0060	0061	0062	0063	0064	0065					
7	0064	0065	0066	0067	0068	0069	0070	0071	0072	0073	0074	0075	0076					
8	0075	0076	0077	0078	0079	0080	0081	0082	0083	0084	0085	0086	0087					
9	0086	0087	0088	0089	0090	0091	0092	0093	0094	0095	0096	0097	0098					
10	0097	0098	0099	0100	0101	0102	0103	0104	0105	0106	0107	0108	0109					
11	0108	0109	0110	0111	0112	0113	0114	0115	0116	0117	0118	0119	0120					
12	0119	0120	0121	0122	0123	0124	0125	0126	0127	0128	0129	0130	0131					
13	0130	0131	0132	0133	0134	0135	0136	0137	0138	0139	0140	0141	0142					
14	0141	0142	0143	0144	0145	0146	0147	0148	0149	0150	0151	0152	0153					
15	0152	0153	0154	0155	0156	0157	0158	0159	0160	0161	0162	0163	0164					
16	0163	0164	0165	0166	0167	0168	0169	0170	0171	0172	0173	0174	0175					
17	0174	0175	0176	0177	0178	0179	0180	0181	0182	0183	0184	0185	0186					
18	0185	0186	0187	0188	0189	0190	0191	0192	0193	0194	0195	0196	0197					
19	0196	0197	0198	0199	0200	0201	0202	0203	0204	0205	0206	0207	0208					
20	0207	0208	0209	0210	0211	0212	0213	0214	0215	0216	0217	0218	0219					
21	0218	0219	0220	0221	0222	0223	0224	0225	0226	0227	0228	0229	0230					
22	0229	0230	0231	0232	0233	0234	0235	0236	0237	0238	0239	0240	0241					
23	0240	0241	0242	0243	0244	0245	0246	0247	0248	0249	0250	0251	0252					
24	0251	0252	0253	0254	0255	0256	0257	0258	0259	0260	0261	0262	0263					
25	0262	0263	0264	0265	0266	0267	0268	0269	0270	0271	0272	0273	0274					
26	0273	0274	0275	0276	0277	0278	0279	0280	0281	0282	0283	0284	0285					
27	0284	0285	0286	0287	0288	0289	0290	0291	0292	0293	0294	0295	0296					
28	0295	0296	0297	0298	0299	0300	0301	0302	0303	0304	0305	0306	0307					
29	0306	0307	0308	0309	0310	0311	0312	0313	0314	0315	0316	0317	0318					
30	0317	0318	0319	0320	0321	0322	0323	0324	0325	0326	0327	0328	0329					
31	0328	0329	0330	0331	0332	0333	0334	0335	0336	0337	0338	0339	0340					
32	0339	0340	0341	0342	0343	0344	0345	0346	0347	0348	0349	0350	0351					
33	0350	0351	0352	0353	0354	0355	0356	0357	0358	0359	0360	0361	0362					
34	0361	0362	0363	0364	0365	0366	0367	0368	0369	0370	0371	0372	0373					
35	0372	0373	0374	0375	0376	0377	0378	0379	0380	0381	0382	0383	0384					
36	0383	0384	0385	0386	0387	0388	0389	0390	0391	0392	0393	0394	0395					
37	0394	0395	0396	0397	0398	0399	0400	0401	0402	0403	0404	0405	0406					
38	0405	0406	0407	0408	0409	0410	0411	0412	0413	0414	0415	0416	0417					
39	0416	0417	0418	0419	0420	0421	0422	0423	0424	0425	0426	0427	0428					
40	0427	0428	0429	0430	0431	0432	0433	0434	0435	0436	0437	0438	0439					
41	0438	0439	0440	0441	0442	0443	0444	0445	0446	0447	0448	0449	0450					
42	0449	0450	0451	0452	0453	0454	0455	0456	0457	0458	0459	0460	0461					
43	0460	0461	0462	0463	0464	0465	0466	0467	0468	0469	0470	0471	0472					
44	0471	0472	0473	0474	0475	0476	0477	0478	0479	0480	0481	0482	0483					
45	0482	0483	0484	0485	0486	0487	0488	0489	0490	0491	0492	0493	0494					
46	0493	0494	0495	0496	0497	0498	0499	0500	0501	0502	0503	0504	0505					
47	0504	0505	0506	0507	0508	0509	0510	0511	0512	0513	0514	05						

A in Erl

A in Erl

N	B																	N								
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	1.2%	1.5%	2%		3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%
50	78.9	79.9	30.5	31.3	32.5	33.9	34.8	35.4	36.0	36.5	36.9	37.2	37.6	37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1
51	79.6	30.6	31.5	32.1	33.5	34.7	35.6	36.3	36.9	37.3	37.8	38.1	38.5	38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6	55.2	59.7	69.9	82.7	100.1
52	30.4	31.4	32.0	32.9	34.2	35.6	36.5	37.2	37.7	38.2	38.6	39.0	39.4	39.7	40.3	41.0	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7	56.5	61.0	71.3	84.3	102.1
53	31.2	32.2	32.8	33.7	35.0	36.4	37.3	38.0	38.6	39.1	39.5	39.9	40.3	40.6	41.2	42.0	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8	57.5	62.2	72.7	86.0	104.1
54	31.9	33.0	33.6	34.5	35.8	37.2	38.2	38.9	39.5	40.0	40.4	40.8	41.2	41.5	42.1	42.9	44.0	45.8	48.5	50.8	53.9	58.7	63.5	74.2	87.6	106.1
55	32.7	33.8	34.4	35.3	36.6	38.1	39.0	39.8	40.4	40.9	41.3	41.7	42.1	42.4	43.0	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55.0	59.8	64.7	75.6	89.3	108.1
56	33.5	34.6	35.2	36.1	37.5	38.9	39.8	40.6	41.2	41.7	42.2	42.6	43.0	43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.5	52.9	56.1	61.0	65.9	77.0	91.0	110.1
57	34.3	35.4	36.0	36.9	38.3	39.8	40.8	41.5	42.1	42.6	43.1	43.5	43.8	44.1	44.8	45.6	46.8	48.6	51.4	53.8	57.1	62.0	67.0	78.2	92.4	111.1
58	35.1	36.2	36.8	37.8	39.1	40.6	41.6	42.4	43.0	43.5	44.0	44.4	44.7	45.0	45.7	46.5	47.8	49.6	52.4	54.8	58.2	63.1	68.1	79.4	93.7	112.1
59	35.8	37.0	37.6	38.6	40.0	41.5	42.5	43.3	43.9	44.4	44.9	45.3	45.7	46.0	46.7	47.5	48.7	50.6	53.4	55.8	59.2	64.1	69.1	80.4	94.9	113.1
60	36.6	37.8	38.5	39.5	40.9	42.4	43.4	44.1	44.8	45.3	45.8	46.2	46.6	46.9	47.6	48.4	49.6	51.5	54.3	56.7	60.1	65.0	70.0	81.3	95.5	114.1
61	37.4	38.6	39.3	40.2	41.6	43.2	44.2	45.0	45.6	46.2	46.7	47.1	47.5	47.8	48.5	49.3	50.6	52.5	55.3	57.7	61.1	66.0	71.0	82.3	96.5	115.1
62	38.2	39.4	40.1	41.0	42.5	44.1	45.1	45.9	46.5	47.1	47.6	48.0	48.4	48.7	49.4	50.2	51.5	53.4	56.2	58.6	62.0	66.9	71.9	83.2	97.5	116.1
63	39.0	40.2	40.9	41.9	43.3	44.9	46.0	46.8	47.4	48.0	48.5	48.9	49.3	49.6	50.3	51.1	52.4	54.3	57.1	59.5	62.9	67.8	72.8	84.1	98.5	117.1
64	39.8	41.0	41.7	42.7	44.2	45.8	46.8	47.6	48.2	48.8	49.3	49.8	50.2	50.5	51.2	52.0	53.3	55.2	58.0	60.4	63.8	68.7	73.7	85.0	99.5	118.1
65	40.6	41.8	42.5	43.5	45.0	46.6	47.7	48.5	49.2	49.8	50.3	50.7	51.1	51.4	52.1	52.9	54.2	56.1	58.9	61.3	64.7	69.6	74.6	85.9	100.5	119.1
66	41.4	42.6	43.3	44.4	45.8	47.5	48.6	49.4	50.1	50.7	51.2	51.6	52.0	52.3	53.0	53.8	55.1	57.0	59.4	61.8	65.2	70.1	75.1	86.4	101.5	120.1
67	42.2	43.4	44.2	45.2	46.7	48.4	49.5	50.3	51.0	51.6	52.1	52.5	52.9	53.2	53.9	54.7	56.0	57.9	60.3	62.7	66.1	71.0	76.0	87.3	102.5	121.1
68	43.0	44.2	45.0	46.0	47.5	49.2	50.3	51.2	51.9	52.5	53.0	53.4	53.9	54.2	54.9	55.7	57.0	58.9	61.3	63.7	67.1	72.0	77.0	88.3	103.5	122.1
69	43.8	45.0	45.8	46.8	48.4	50.1	51.2	52.1	52.8	53.4	53.9	54.4	54.8	55.1	55.8	56.6	57.9	59.8	62.2	64.6	68.0	72.9	77.9	89.2	104.5	123.1
70	44.6	45.8	46.6	47.7	49.2	51.0	52.1	53.0	53.7	54.3	54.8	55.3	55.7	56.0	56.7	57.5	58.8	60.7	63.1	65.5	68.9	73.8	78.8	90.1	105.5	124.1
71	45.4	46.7	47.5	48.5	50.1	51.8	53.0	53.8	54.6	55.2	55.7	56.2	56.6	56.9	57.6	58.4	59.7	61.6	64.0	66.4	69.8	74.7	79.7	91.0	106.5	125.1
72	46.2	47.5	48.3	49.4	50.9	52.7	53.9	54.7	55.5	56.1	56.6	57.1	57.5	57.8	58.5	59.3	60.6	62.5	64.9	67.3	71.7	76.6	81.6	92.5	107.5	126.1
73	47.0	48.3	49.1	50.2	51.8	53.6	54.7	55.6	56.4	57.0	57.5	58.0	58.4	58.7	59.4	60.2	61.5	63.4	65.8	68.2	72.6	77.5	82.5	93.4	108.5	127.1
74	47.8	49.1	49.9	51.0	52.7	54.5	55.6	56.5	57.3	57.9	58.4	58.9	59.3	59.6	60.3	61.1	62.4	64.3	66.7	69.1	73.5	78.4	83.4	94.3	109.5	128.1
75	48.6	49.9	50.8	51.9	53.5	55.3	56.5	57.4	58.2	58.8	59.3	59.8	60.2	60.5	61.2	62.0	63.3	65.2	67.6	70.0	74.4	79.3	84.3	95.2	110.5	129.1
76	49.4	50.8	51.6	52.7	54.4	56.2	57.4	58.3	59.1	59.7	60.3	60.8	61.2	61.5	62.2	63.0	64.3	66.2	68.6	71.0	75.4	80.3	85.3	96.2	111.5	130.1
77	50.2	51.6	52.4	53.6	55.4	57.2	58.3	59.2	60.0	60.6	61.2	61.7	62.1	62.4	63.1	63.9	65.2	67.1	69.5	71.9	76.3	81.2	86.2	97.1	112.5	131.1
78	51.0	52.4	53.3	54.4	56.1	58.0	59.2	60.1	60.9	61.5	62.1	62.6	63.1	63.4	64.1	64.9	66.2	68.1	70.5	72.9	77.3	82.2	87.2	98.1	113.5	132.1
79	51.9	53.2	54.1	55.3	56.9	58.8	60.1	61.0	61.8	62.4	63.0	63.5	64.0	64.3	65.0	65.8	67.1	69.0	71.4	73.8	78.2	83.1	88.1	99.0	114.5	133.1
80	52.7	54.1	54.9	56.1	57.8	59.7	61.0	61.9	62.7	63.3	63.9	64.4	64.9	65.2	65.9	66.7	68.0	70.0	72.4	74.8	79.2	84.1	89.1	100.0	115.5	134.1
81	53.5	54.9	55.8	56.9	58.7	60.6	61.8	62.8	63.6	64.2	64.8	65.4	65.8	66.1	66.8	67.6	68.9	70.9	73.3	75.7	80.1	85.0	90.0	101.0	116.5	135.1
82	54.3	55.7	56.6	57.8	59.5	61.5	62.7	63.6	64.5	65.2	65.7	66.3	66.7	67.0	67.7	68.5	69.8	71.8	74.2	76.6	81.0	85.9	90.9	101.9	117.5	136.1
83	55.1	56.5	57.5	58.6	60.4	62.4	63.6	64.5	65.4	66.1	66.6	67.2	67.6	67.9	68.6	69.4	70.7	72.7	75.1	77.5	81.9	86.8	91.8	102.8	118.5	137.1
84	56.0	57.4	58.3	59.5	61.3	63.2	64.5	65.5	66.3	67.0	67.5	68.1	68.5	68.8	69.5	70.3	71.6	73.6	76.0	78.4	82.8	87.7	92.7	103.6	119.5	138.1
85	56.8	58.2	59.1	60.1	62.1	64.1	65.4	66.4	67.2	67.9	68.5	69.1	69.5	69.8	70.5	71.3	72.6	74.6	77.0	79.4	83.8	88.7	93.7	104.6	120.5	139.1
86	57.6	59.0	60.0	61.2	63.0	65.0	66.3	67.3	68.1	68.8	69.4	70.0	70.5	70.8	71.5	72.3	73.6	75.6	78.0	80.4	84.8	89.7	94.7	105.6	121.5	140.1
87	58.4	59.9	60.8	62.1	63.9	65.9	67.2	68.2	69.0	69.7	70.3	70.9	71.4	71.7	72.4	73.1	74.4	76.4	78.8	81.2	85.6	90.5	95.5	106.5	122.5	141.1
88	59.3	60.8	61.7	62.9	64.7	66.8	68.1	69.1	69.9	70.6	71.3	71.8	72.3	72.6	73.3	74.0	75.3	77.3	79.7	82.1	86.5	91.4	96.4	107.4	123.5	142.1
89	60.1	61.6	62.5	63.8	65.6	67.7	69.0	70.0	70.8	71.6	72.2	72.8	73.3	73.6	74.3	75.0	76.3	78.3	80.7	83.1	87.5	92.4	97.4	108.4	124.5	143.1
90	60.9	62.4	63.4	64.6	66.5	68.6	69.9	70.9	71.8	72.5	73.1	73.7	74.2	74.5	75.2	75.9	77.2	79.2	81.6	84.0	88.4	93.3	98.3	109.3	125.5	144.1
91	61.8	63.1	64.2	65.5	67.4	69.4	70.8	71.8	72.7	73.4	74.0	74.6	75.1	75.4	76.1	76.8	78.1	80.1	82.5	84.9	89.3	94.2	99.2	110.2	126.5	145.1
92	62.6	64.1	65.1	66.3	68.2	70.3	71.7	72.7	73.6	74.3	75.0	75.5	76.1	76.4	77.1	77.8	79.1	81.1	83.5	85.9	90.3	95.2	100.2	111.1	127.5	146.1
93	63.4	65.0	65.9	67.2	69.1	71.2	72.6	73.6	74.5	75.2	75.9	76.5	77.0	77.3	78.0	78.7	80.0	82.0	84.4	86.8	91.2	96.1	101.1	112.0	128.5	147.1
94	64.2	65.8	66.8	68.1	70.0	72.1	73.5	74.5	75.4	76.2	76.9	77.4	77.9	78.2	78.9	79.6	80.9	82.9	85.3	87.7	92.1	97.0	102.0	112.9	129.5	148.1
95	65.1	66.6	67.6	68.9	70.9	73.0	74.4	75.5	76.3	77.1	77.7	78.3	78.8	79.1	80.0	80.7	82.0	84.0	86.4	88.8	93.2	98.1	103.0	113.8	130.5	149.1
96	65.9	67.5	68.5	69.8	71.9	74.0	75.3	76.4	77.2	78.0	78.7	79.3	79.8	80.1	81.0	81.7	83.0	85.0	87.4	89.8	94.2	99.1	104.0	114.7	131.5	150.1
97	66.8	68.3	69.3	70.7	72.8	74.9	76.2	77.3	78.1	78.9	79.6	80.2	80.7	81.0	81.9	82.6	83.9	85.9	88.3	90.7	95.1	100.0	105.0	115.6	132.5	151.1
98	67.6	69.1	70.1	71.5	73.6	75.7	76.9	78.0	78.8	79.6	80.															

N	B															N																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	1.2%		1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
100	69.3	70.9	71.9	73.2	75.2	77.5	80.7	84.8	89.9	95.9	102.1	108.3	114.5	120.7	126.9	133.1	139.3	145.5	151.7	157.9	164.1	170.3	176.5	182.7	188.9	195.1	201.3	207.5	213.7	219.9	226.1	232.3	238.5	244.7	250.9	257.1	263.3	269.5	275.7	281.9	288.1	294.3	300.5	306.7	312.9	319.1	325.3	331.5	337.7	343.9	350.1	356.3	362.5	368.7	374.9	381.1	387.3	393.5	399.7	405.9	412.1	418.3	424.5	430.7	436.9	443.1	449.3	455.5	461.7	467.9	474.1	480.3	486.5	492.7	498.9	505.1	511.3	517.5	523.7	529.9	536.1	542.3	548.5	554.7	560.9	567.1	573.3	579.5	585.7	591.9	598.1	604.3	610.5	616.7	622.9	629.1	635.3	641.5	647.7	653.9	660.1	666.3	672.5	678.7	684.9	691.1	697.3	703.5	709.7	715.9	722.1	728.3	734.5	740.7	746.9	753.1	759.3	765.5	771.7	777.9	784.1	790.3	796.5	802.7	808.9	815.1	821.3	827.5	833.7	839.9	846.1	852.3	858.5	864.7	870.9	877.1	883.3	889.5	895.7	901.9	908.1	914.3	920.5	926.7	932.9	939.1	945.3	951.5	957.7	963.9	970.1	976.3	982.5	988.7	994.9	1001.1	1007.3	1013.5	1019.7	1025.9	1032.1	1038.3	1044.5	1050.7	1056.9	1063.1	1069.3	1075.5	1081.7	1087.9	1094.1	1100.3	1106.5	1112.7	1118.9	1125.1	1131.3	1137.5	1143.7	1149.9	1156.1	1162.3	1168.5	1174.7	1180.9	1187.1	1193.3	1199.5	1205.7	1211.9	1218.1	1224.3	1230.5	1236.7	1242.9	1249.1	1255.3	1261.5	1267.7	1273.9	1280.1	1286.3	1292.5	1298.7	1304.9	1311.1	1317.3	1323.5	1329.7	1335.9	1342.1	1348.3	1354.5	1360.7	1366.9	1373.1	1379.3	1385.5	1391.7	1397.9	1404.1	1410.3	1416.5	1422.7	1428.9	1435.1	1441.3	1447.5	1453.7	1459.9	1466.1	1472.3	1478.5	1484.7	1490.9	1497.1	1503.3	1509.5	1515.7	1521.9	1528.1	1534.3	1540.5	1546.7	1552.9	1559.1	1565.3	1571.5	1577.7	1583.9	1590.1	1596.3	1602.5	1608.7	1614.9	1621.1	1627.3	1633.5	1639.7	1645.9	1652.1	1658.3	1664.5	1670.7	1676.9	1683.1	1689.3	1695.5	1701.7	1707.9	1714.1	1720.3	1726.5	1732.7	1738.9	1745.1	1751.3	1757.5	1763.7	1769.9	1776.1	1782.3	1788.5	1794.7	1800.9	1807.1	1813.3	1819.5	1825.7	1831.9	1838.1	1844.3	1850.5	1856.7	1862.9	1869.1	1875.3	1881.5	1887.7	1893.9	1900.1	1906.3	1912.5	1918.7	1924.9	1931.1	1937.3	1943.5	1949.7	1955.9	1962.1	1968.3	1974.5	1980.7	1986.9	1993.1	1999.3	2005.5	2011.7	2017.9	2024.1	2030.3	2036.5	2042.7	2048.9	2055.1	2061.3	2067.5	2073.7	2079.9	2086.1	2092.3	2098.5	2104.7	2110.9	2117.1	2123.3	2129.5	2135.7	2141.9	2148.1	2154.3	2160.5	2166.7	2172.9	2179.1	2185.3	2191.5	2197.7	2203.9	2210.1	2216.3	2222.5	2228.7	2234.9	2241.1	2247.3	2253.5	2259.7	2265.9	2272.1	2278.3	2284.5	2290.7	2296.9	2303.1	2309.3	2315.5	2321.7	2327.9	2334.1	2340.3	2346.5	2352.7	2358.9	2365.1	2371.3	2377.5	2383.7	2389.9	2396.1	2402.3	2408.5	2414.7	2420.9	2427.1	2433.3	2439.5	2445.7	2451.9	2458.1	2464.3	2470.5	2476.7	2482.9	2489.1	2495.3	2501.5	2507.7	2513.9	2520.1	2526.3	2532.5	2538.7	2544.9	2551.1	2557.3	2563.5	2569.7	2575.9	2582.1	2588.3	2594.5	2600.7	2606.9	2613.1	2619.3	2625.5	2631.7	2637.9	2644.1	2650.3	2656.5	2662.7	2668.9	2675.1	2681.3	2687.5	2693.7	2700.0	2706.2	2712.4	2718.6	2724.8	2731.0	2737.2	2743.4	2749.6	2755.8	2762.0	2768.2	2774.4	2780.6	2786.8	2793.0	2799.2	2805.4	2811.6	2817.8	2824.0	2830.2	2836.4	2842.6	2848.8	2855.0	2861.2	2867.4	2873.6	2879.8	2886.0	2892.2	2898.4	2904.6	2910.8	2917.0	2923.2	2929.4	2935.6	2941.8	2948.0	2954.2	2960.4	2966.6	2972.8	2979.0	2985.2	2991.4	2997.6	3003.8	3010.0	3016.2	3022.4	3028.6	3034.8	3041.0	3047.2	3053.4	3059.6	3065.8	3072.0	3078.2	3084.4	3090.6	3096.8	3103.0	3109.2	3115.4	3121.6	3127.8	3134.0	3140.2	3146.4	3152.6	3158.8	3165.0	3171.2	3177.4	3183.6	3189.8	3196.0	3202.2	3208.4	3214.6	3220.8	3227.0	3233.2	3239.4	3245.6	3251.8	3258.0	3264.2	3270.4	3276.6	3282.8	3289.0	3295.2	3301.4	3307.6	3313.8	3320.0	3326.2	3332.4	3338.6	3344.8	3351.0	3357.2	3363.4	3369.6	3375.8	3382.0	3388.2	3394.4	3400.6	3406.8	3413.0	3419.2	3425.4	3431.6	3437.8	3444.0	3450.2	3456.4	3462.6	3468.8	3475.0	3481.2	3487.4	3493.6	3500.0	3506.2	3512.4	3518.6	3524.8	3531.0	3537.2	3543.4	3549.6	3555.8	3562.0	3568.2	3574.4	3580.6	3586.8	3593.0	3599.2	3605.4	3611.6	3617.8	3624.0	3630.2	3636.4	3642.6	3648.8	3655.0	3661.2	3667.4	3673.6	3679.8	3686.0	3692.2	3698.4	3704.6	3710.8	3717.0	3723.2	3729.4	3735.6	3741.8	3748.0	3754.2	3760.4	3766.6	3772.8	3779.0	3785.2	3791.4	3797.6	3803.8	3810.0	3816.2	3822.4	3828.6	3834.8	3841.0	3847.2	3853.4	3859.6	3865.8	3872.0	3878.2	3884.4	3890.6	3896.8	3903.0	3909.2	3915.4	3921.6	3927.8	3934.0	3940.2	3946.4	3952.6	3958.8	3965.0	3971.2	3977.4	3983.6	3989.8	3996.0	4002.2	4008.4	4014.6	4020.8	4027.0	4033.2	4039.4	4045.6	4051.8	4058.0	4064.2	4070.4	4076.6	4082.8	4089.0	4095.2	4101.4	4107.6	4113.8	4120.0	4126.2	4132.4	4138.6	4144.8	4151.0	4157.2	4163.4	4169.6	4175.8	4182.0	4188.2	4194.4	4200.6	4206.8	4213.0	4219.2	4225.4	4231.6	4237.8	4244.0	4250.2	4256.4	4262.6	4268.8	4275.0	4281.2	4287.4	4293.6	4300.0	4306.2	4312.4	4318.6	4324.8	4331.0	4337.2	4343.4	4349.6	4355.8	4362.0	4368.2	4374.4	4380.6	4386.8	4393.0	4399.2	4405.4	4411.6	4417.8	4424.0	4430.2	4436.4	4442.6	4448.8	4455.0	4461.2	4467.4	4473.6	4479.8	4486.0	4492.2	4498.4	4504.6	4510.8	4517.0	4523.2	4529.4	4535.6	4541.8	4548.0	4554.2	4560.4	4566.6	4572.8	4579.0	4585.2	4591.4	4597.6	4603.8	4610.0	4616.2	4622.4	4628.6	4634.8	4641.0	4647.2	4653.4	4659.6	4665.8	4672.0	4678.2	4684.4	4690.6	4696.8	4703.0	4709.2	4715.4	4721.6	4727.8	4734.0	4740.2	4746.4	4752.6	4758.8	4765.0	4771.2	4777.4	4783.6	4789.8	4796.0	4802.2	4808.4	4814.6	4820.8	4827.0	4833.2	4839.4	4845.6	4851.8	4858.0	4864.2	4870.4	4876.6	4882.8	4889.0	4895.2	4901.4	4907.6	4913.8	4920.0	4926.2	4932.4	4938.6	4944.8	4951.0	4957.2	4963.4	4969.6	4975.8	4982.0	4988.2	4994.4	5000.6	5006.8	5013.0	5019.2	5025.4	5031.6	5037.8	5044.0	5050.2	5056.4	5062.6	5068.8	5075.0	5081.2	5087.4	5093.6	5100.0	5106.2	5112.4	5118.6	5124.8	5131.0	5137.2	5143.4	5149.6	5155.8	5162.0	5168.2	5174.4	5180.6	5186.8	5193.0	5199.2	5205.4	5211.6	5217.8	5224.0	5230.2	5236.4	5242.6	5248.8	5255.0	5261.2	5267.4	5273.6	5279.8	5286.0	5292.2	5298.4	5304.6	5310.8	5317.0	5323.2	5329.4	5335.6	5341.8	5348.0	5354.2	5360.4	5366.6	5372.8	5379.0	5385.2	5391.4	5397.6	5403.8	5410.0	5416.2	5422.4	5428.6	5434.8	5441.0	5447.2	5453.4	5459.6	5465.8	5472.0	5478.2	5484.4	5490.6	5496.8	5503.0	5509.2	5515.4	5521.6	5527.8	5534.0	5540.2	5546.4	5552.6	5558.8	5565.0	5571.2	5577.4	5583.6	5589.8	5596.0	5602.2	5608.4	5614.6	5620.8	5627.0	5633.2	5639.4	5645.6	5651.8	5658.0	5664.2	5670.4	5676.6	5682.8	5689.0	5695.2	5701.4	5707.6	5713.8	5720.0	5726.2	5732.4	5738.6	5744.8	5751.0	5757.2	5763.4	5769.6	5775.8	5782.0	5788.2	5794.4	5800.6	5806.8	5813.0	5819.2	5825.4	5831.6	5837.8	5844.0	5850.2	5856.4	5862.6	5868.8	5875.0	5881.2	5887.4	5893.6	5900.0	5906.2	5912.4	5918.6	5924.8	5931.0	5937.2	5943.4	5949.6	5955.8	5962.0	5968.2	5974.4	5980.6	5986.8	5993.0	5999.2	6005.4	6011.6	6017.8	6024.0	6030.2	6036.4	6042.6	6048.8	6055.0	6061.2	6067.4	6073.6	6079.8	6086.0	6092.2	6098.4	6104.6	6110.8	6117.0	6123.2	6129.4	6135.6	6141.8	6148.0	6154.2	6160.4	6166.6	6172.8	6179.0	6185.2	6191.4	6197.6	6203.8	6210.0	6216.2	6222.4	6228.6	6234.8	6241.0	6247.2	6253.4	6259.6	6265.8	6272.0	6278.2	6284.4	6290.6	6296.8	6303.0	6309.2	6315.4	6321.6	6327.8	6334.0	6340.2	6346.4	6352.6	6358.8	6365.0	6371.2	6377.4	6383.6	6389.8	6396.0	6402.2	6408.4	6414.6	6420.8	6427.0	6433.2	6439.4	6445.6	6451.8	6458.0	6464.2	6470.4	6476.6	6482.8	6489.0	6495.2	6501.4	6507.6	6513.8	6520.0	6526.2	6532.4	6538.6	6544.8	6551.0	6557.2	6563.4	6569.6	6575.8	6582.0	6588.2	6594.4	6600.6	6606.8	6613.0	6619.2	6625.4	6631.6	6637.8	6644.0	6650.2	6656.4	6662.6	6668.8	6675.0	6681.2	6687.4	6693.6	6700.0	6706.2	6712.4	6718.6	6724.8	6731.0	6737.2	6743.4	6749.6	6755.8	6762.0	6768.2	6774.4	6780.6	6786.8	6793.0	6799.2	6805.4	6811.6	6817.8	6824.0	6830.2	6836.4	6842.6	6848.8	6855.0	6861.2	6867.4	6873.6	6879.8	6886.0

A in Erl

B

N	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
200	1552	1587	1603	1623	1656	1692	1714	1732	1746	1759	1770	1780	1789
201	1553	1588	1604	1624	1657	1693	1715	1733	1747	1760	1771	1781	1790
202	1554	1589	1605	1625	1658	1694	1716	1734	1748	1761	1772	1782	1791
203	1555	1590	1606	1626	1659	1695	1717	1735	1749	1762	1773	1783	1792
204	1556	1591	1607	1627	1660	1696	1718	1736	1750	1763	1774	1784	1793
205	1557	1592	1608	1628	1661	1697	1719	1737	1751	1764	1775	1785	1794
206	1558	1593	1609	1629	1662	1698	1720	1738	1752	1765	1776	1786	1795
207	1559	1594	1610	1630	1663	1699	1721	1739	1753	1766	1777	1787	1796
208	1560	1595	1611	1631	1664	1700	1722	1740	1754	1767	1778	1788	1797
209	1561	1596	1612	1632	1665	1701	1723	1741	1755	1768	1779	1789	1798
210	1562	1597	1613	1633	1666	1702	1724	1742	1756	1769	1780	1790	1799
211	1563	1598	1614	1634	1667	1703	1725	1743	1757	1770	1781	1791	1800
212	1564	1599	1615	1635	1668	1704	1726	1744	1758	1771	1782	1792	1801
213	1565	1600	1616	1636	1669	1705	1727	1745	1759	1772	1783	1793	1802
214	1566	1601	1617	1637	1670	1706	1728	1746	1760	1773	1784	1794	1803
215	1567	1602	1618	1638	1671	1707	1729	1747	1761	1774	1785	1795	1804
216	1568	1603	1619	1639	1672	1708	1730	1748	1762	1775	1786	1796	1805
217	1569	1604	1620	1640	1673	1709	1731	1749	1763	1776	1787	1797	1806
218	1570	1605	1621	1641	1674	1710	1732	1750	1764	1777	1788	1798	1807
219	1571	1606	1622	1642	1675	1711	1733	1751	1765	1778	1789	1799	1808
220	1572	1607	1623	1643	1676	1712	1734	1752	1766	1779	1790	1800	1809
221	1573	1608	1624	1644	1677	1713	1735	1753	1767	1780	1791	1801	1810
222	1574	1609	1625	1645	1678	1714	1736	1754	1768	1781	1792	1802	1811
223	1575	1610	1626	1646	1679	1715	1737	1755	1769	1782	1793	1803	1812
224	1576	1611	1627	1647	1680	1716	1738	1756	1770	1783	1794	1804	1813
225	1577	1612	1628	1648	1681	1717	1739	1757	1771	1784	1795	1805	1814
226	1578	1613	1629	1649	1682	1718	1740	1758	1772	1785	1796	1806	1815
227	1579	1614	1630	1650	1683	1719	1741	1759	1773	1786	1797	1807	1816
228	1580	1615	1631	1651	1684	1720	1742	1760	1774	1787	1798	1808	1817
229	1581	1616	1632	1652	1685	1721	1743	1761	1775	1788	1799	1809	1818
230	1582	1617	1633	1653	1686	1722	1744	1762	1776	1789	1800	1810	1819
231	1583	1618	1634	1654	1687	1723	1745	1763	1777	1790	1801	1811	1820
232	1584	1619	1635	1655	1688	1724	1746	1764	1778	1791	1802	1812	1821
233	1585	1620	1636	1656	1689	1725	1747	1765	1779	1792	1803	1813	1822
234	1586	1621	1637	1657	1690	1726	1748	1766	1780	1793	1804	1814	1823
235	1587	1622	1638	1658	1691	1727	1749	1767	1781	1794	1805	1815	1824
236	1588	1623	1639	1659	1692	1728	1750	1768	1782	1795	1806	1816	1825
237	1589	1624	1640	1660	1693	1729	1751	1769	1783	1796	1807	1817	1826
238	1590	1625	1641	1661	1694	1730	1752	1770	1784	1797	1808	1818	1827
239	1591	1626	1642	1662	1695	1731	1753	1771	1785	1798	1809	1819	1828
240	1592	1627	1643	1663	1696	1732	1754	1772	1786	1799	1810	1820	1829
241	1593	1628	1644	1664	1697	1733	1755	1773	1787	1800	1811	1821	1830
242	1594	1629	1645	1665	1698	1734	1756	1774	1788	1801	1812	1822	1831
243	1595	1630	1646	1666	1699	1735	1757	1775	1789	1802	1813	1823	1832
244	1596	1631	1647	1667	1700	1736	1758	1776	1790	1803	1814	1824	1833
245	1597	1632	1648	1668	1701	1737	1759	1777	1791	1804	1815	1825	1834
246	1598	1633	1649	1669	1702	1738	1760	1778	1792	1805	1816	1826	1835
247	1599	1634	1650	1670	1703	1739	1761	1779	1793	1806	1817	1827	1836
248	1600	1635	1651	1671	1704	1740	1762	1780	1794	1807	1818	1828	1837
249	1601	1636	1652	1672	1705	1741	1763	1781	1795	1808	1819	1829	1838
250	1602	1637	1653	1673	1706	1742	1764	1782	1796	1809	1820	1830	1839
251	1603	1638	1654	1674	1707	1743	1765	1783	1797	1810	1821	1831	1840
252	1604	1639	1655	1675	1708	1744	1766	1784	1798	1811	1822	1832	1841
253	1605	1640	1656	1676	1709	1745	1767	1785	1799	1812	1823	1833	1842
254	1606	1641	1657	1677	1710	1746	1768	1786	1800	1813	1824	1834	1843
255	1607	1642	1658	1678	1711	1747	1769	1787	1801	1814	1825	1835	1844
256	1608	1643	1659	1679	1712	1748	1770	1788	1802	1815	1826	1836	1845
257	1609	1644	1660	1680	1713	1749	1771	1789	1803	1816	1827	1837	1846
258	1610	1645	1661	1681	1714	1750	1772	1790	1804	1817	1828	1838	1847
259	1611	1646	1662	1682	1715	1751	1773	1791	1805	1818	1829	1839	1848
260	1612	1647	1663	1683	1716	1752	1774	1792	1806	1819	1830	1840	1849
261	1613	1648	1664	1684	1717	1753	1775	1793	1807	1820	1831	1841	1850
262	1614	1649	1665	1685	1718	1754	1776	1794	1808	1821	1832	1842	1851
263	1615	1650	1666	1686	1719	1755	1777	1795	1809	1822	1833	1843	1852
264	1616	1651	1667	1687	1720	1756	1778	1796	1810	1823	1834	1844	1853
265	1617	1652	1668	1688	1721	1757	1779	1797	1811	1824	1835	1845	1854
266	1618	1653	1669	1689	1722	1758	1780	1798	1812	1825	1836	1846	1855
267	1619	1654	1670	1690	1723	1759	1781	1800	1813	1826	1837	1847	1856
268	1620	1655	1671	1691	1724	1760	1782	1801	1814	1827	1838	1848	1857
269	1621	1656	1672	1692	1725	1761	1783	1802	1815	1828	1839	1849	1858
270	1622	1657	1673	1693	1726	1762	1784	1803	1816	1829	1840	1850	1859
271	1623	1658	1674	1694	1727	1763	1785	1804	1817	1830	1841	1851	1860
272	1624	1659	1675	1695	1728	1764	1786	1805	1818	1831	1842	1852	1861
273	1625	1660	1676	1696	1729	1765	1787	1806	1819	1832	1843	1853	1862
274	1626	1661	1677	1697	1730	1766	1788	1807	1820	1833	1844	1854	1863
275	1627	1662	1678	1698	1731	1767	1789	1808	1821	1834	1845	1855	1864
276	1628	1663	1679	1699	1732	1768	1790	1809	1822	1835	1846	1856	1865
277	1629	1664	1680	1700	1733	1769	1791	1810	1823	1836	1847	1857	1866
278	1630	1665	1681	1701	1734	1770	1792	1811	1824	1837	1848	1858	1867
279	1631	1666	1682	1702	1735	1771	1793	1812	1825	1838	1849	1859	1868
280	1632	1667	1683	1703	1736	1772	1794	1813	1826	1839	1850	1860	1869
281	1633	1668	1684	1704	1737	1773	1795	1814	1827	1840	1851	1861	1870
282	1634	1669	1685	1705	1738	1774	1796	1815	1828	1841	1852	1862	1871
283	1635	1670	1686	1706	1739	1775	1797	1816	1829	1842	1853	1863	1872
284	1636	1671	1687	1707	1740	1776	1798	1817	1830	1843	1854	1864	1873
285	1637	1672	1688	1708	1741	1777	1799	1818	1831	1844	1855	1865	1874
286	1638	1673	1689	1709	1742	1778	1800	1819	1832	1845	1856	1866	1875
287	1639	1674	1690	1710	1743	1779	1801	1820	1833	1846	1857	1867	1876
288	1640	1675	1691	1711	1744	1780	1802	1821	1834	1847	1858	1868	1877
289	1641	1676	1692	1712	1745	1781	1803	1822	1835	1848	1859	1869	1878
290	1642	1677	1693	1713	1746	1782	1804	1823	1836	1849	1860	1870	1879
291	1643	1678	1694	1714	1747	1783	1805	1824	1837	1850	1861	1871	1880
292	1644	1679	1695	1715	1748	1784	1806	1825	1838	1851	1862	1872	1881
293	1645	1680	1696	1									

ANEXO 4.-

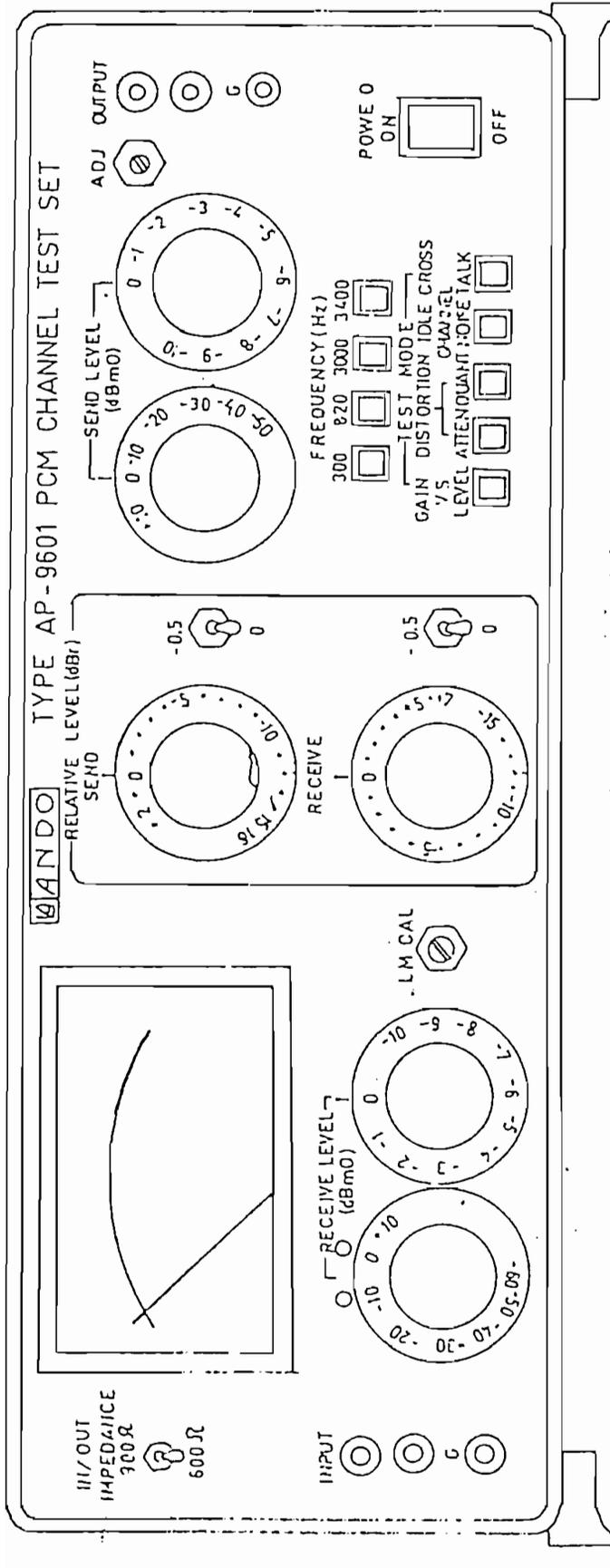
CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE PRUEBA Y UNIDADES USADAS EN TELECOMUNICACIONES

En este anexo se incluyen los controles del equipo de prueba de canal PCM, marca ANDO, tipo AP-9601, los del equipo de medición de tasa de error, marca ANRITSU, tipo ME448A y una breve descripción de las unidades usadas en telecomunicaciones.

A) EQUIPO DE PRUEBA DE CANAL PCM.-

Los controles de panel del equipo de prueba de canal PCM, marca ANDO, tipo AP-9601, que se utilizan en las pruebas realizadas y cuya vista frontal se observa en la figura respectiva, son los siguientes:

- 1) IN-PT. Terminal de entrada de la unidad de recepción.
- 2) IN/OUT IMPEDANCE: Interruptor de selección de impedancia de los terminales de entrada y salida.
- 3) RECEIVE LEVEL: Dial para medir el nivel de recepción en dBm.
- 4) LM CAL: Sirve para calibrar la unidad de recepción.
- 5) RELATIVE LEVEL: Diales para seleccionar el nivel relativo de las unidades de transmisión y recepción, en dBr.
- 6) OUTPUT: Terminal de salida de la unidad de transmisión.
- 7) SEND LEVEL: Dial para indicar el nivel de transmisión,



A) EQUIPO DE PRUEBA DE CANAL PCM

en dBm.

8) ADJ: Regulador de ajuste del nivel de transmisión.

9) FREQUENCY: Interruptores de selección de frecuencia.

10) TEST MODE: selectores para el modo de operación.

B) EQUIPO DE MEDICION DE TASA DE ERROR.-

El equipo de medición de tasa de error usado en las pruebas es de marca ANRITSU, tipo ME448A y está constituido por una unidad de transmisión y una unidad de recepción, tal cual se aprecia en la figura respectiva.

Los controles de la unidad de transmisión del equipo, que se usan en las pruebas realizadas, son los siguientes:

1) CLOCK: Permite seleccionar la frecuencia del reloj interno: 2.048 MHz (X_1), 8.448 MHz (X_2) y 34.368 MHz (X_3).

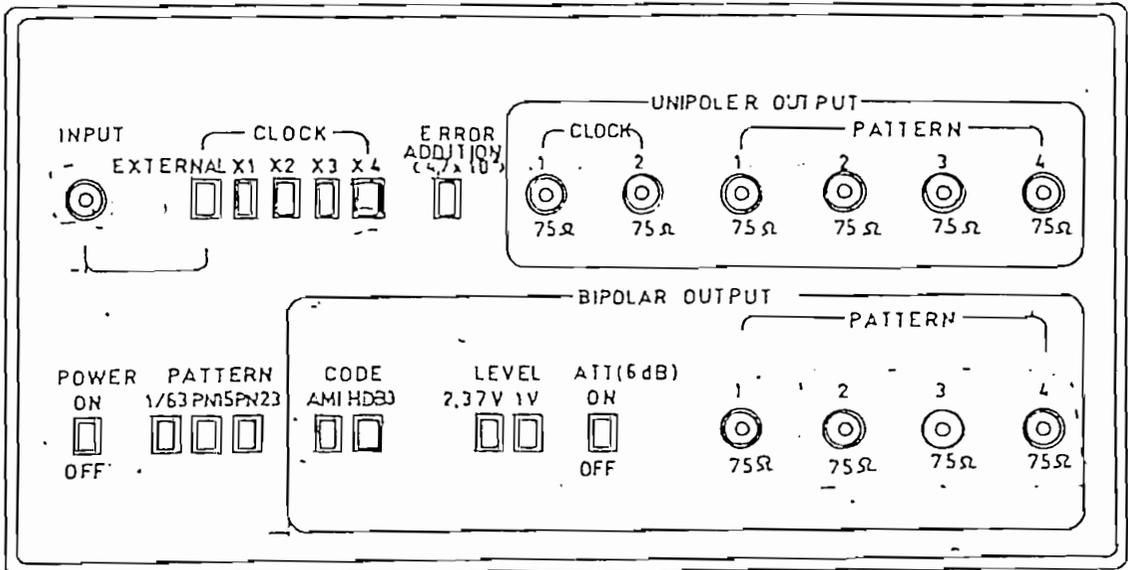
2) EXTERNAL INPUT: Se utiliza para trabajar con un reloj externo de 1 KHz a 50 MHz.

3) ERROR ADITION: Se utiliza para insertar un error de bits de 9.7×10^{-4} .

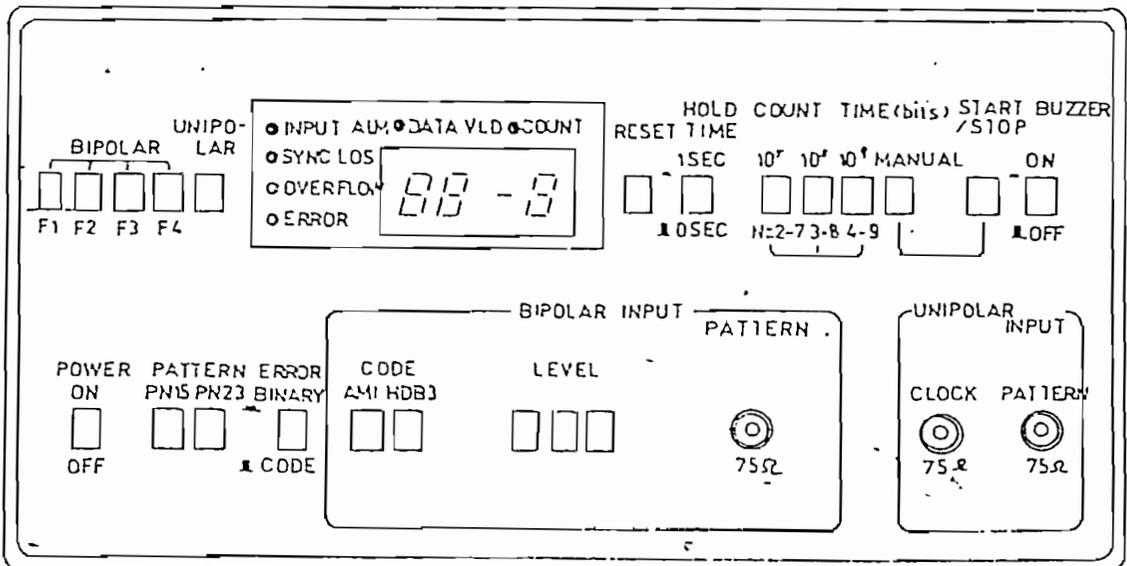
4) UNIPOLAR OUTPUT: Son terminales de salida de la señal unipolar. No se usan en la medición del BER.

5) CODE: Permite seleccionar el código de la señal

B) EQUIPO DE MEDICION DE TASA DE ERROR



UNIDAD DE TRANSMISION



UNIDAD DE RECEPCION

bipolar, HDR₃ o AMI.

6) LEVEL: Sirve para seleccionar el nivel de voltaje de la señal bipolar.

7) ATT (6 dB): Permite atenuar el nivel de salida de la señal bipolar.

8) PATTERN: Son terminales no balanceados de salida de la señal bipolar.

Los controles básicos de la unidad de recepción y que se usan en las pruebas efectuadas son los siguientes:

1) INPUT (BIPOLAR-UNIPOLAR): Son pulsadores que se utilizan para seleccionar la velocidad de la señal de entrada. Para señal bipolar se tiene: 2.048 Mb/s (F₂), 8.448 Mb/s (F₃) y 34.368 Mb/s (F₄). Para señal unipolar se tiene el rango de 1kb/s a 50Mb/s.

2) RESET: Se utiliza para iniciar la medición.

3) COUNT TIME (bits): Se utiliza para seleccionar el rango de bits transmitidos: 10⁷, 10⁸ o 10⁹.

4) MANUAL-START/STOP: Permite realizar la medición en forma manual.

5) BUZZER (ON-OFF): Es un interruptor del zumbador de alarma que suena al detectarse errores.

6) ERROR (BINARY CODE): Permite seleccionar la medición de tasa de error o error de código.

7) BIPOLAR INPUT: Incluye un terminal no balanceado de la señal bipolar de entrada y switches de selección de código (HDB₃ o AMI) y nivel de voltaje de la señal.

8) UNIPOLAR: Terminales de entrada de la señal unipolar. No se usan en las pruebas efectuadas.

9) DISPLAY: Permite visualizar el valor de la tasa de error. Dispone además de los siguientes indicadores luminosos.

9.1) INPUT ALARMA: Se ilumina cuando detecta ausencia de señal o reloj de entrada. También cuando todos los pulsos son "1" o "0".

9.2) SYNC LOSS: Se ilumina cuando detecta falta de sincronismo del patrón de transmisión y recepción.

9.3) OVERFLOW: Se ilumina cuando sobrepasa los límites de medición.

9.4) DATA VALID: Se ilumina cuando termina la primera medición, en el caso de determinación de tasa de error.

9.5) COUNTING: Se ilumina durante el tiempo de conteo.

9.6) ERROR: Se ilumina cuando detecta error de pulso.

C) UNIDADES DE MEDICION USADAS EN TELECOMUNICACIONES.-

Las unidades de medición más usadas en telecomunicaciones son las siguientes: dB, dBm, dBv,

dBmo y dBmop.

- dB.-

El decibel (dB) expresa simplemente una relación de potencias (P_2/P_1) y se basa en los logaritmos comunes de Briggs, con base 10. Por ejemplo, la ganancia de un amplificador o pérdida de un atenuador, puede ser expresada en dB.

$$dB = 10 * \log (P_2/P_1)$$

- dBm.-

El dBm expresa una relación de potencias, referida a una potencia de 1 milivatio. El dBm, por tanto, no solo es una relación, sino que es un nivel de potencia.

$$X [dBm] = 10 * \log (P/P_0) [dBm]$$

$$P_0 = 1 \text{ mw}$$

- dBr.-

El dBr es una unidad de transmisión, la cual se usa con propósitos prácticos. En los circuitos telefónicos se define un punto como " punto de nivel relativo cero ". Tal punto tiene un nivel relativo de OdBr.

"Nivel relativo" es por tanto el nivel de un punto de un

circuito comparado con el nivel de la misma señal en otro punto del circuito, llamado el "punto de nivel relativo cero".

De acuerdo a la recomendación del CCITT, se ha fijado un valor convencional de potencia media de las señales transmitidas por un canal telefónico, durante la hora cargada, en un punto de nivel relativo cero. Ese valor es de $31.3 \text{ uw} = -15 \text{ dBm}$.

Esto significa, que se puede transmitir -15 dBm por un canal de voz, en el punto de nivel relativo 0 dBr y si el fabricante define un punto de -8 dBr , en ese punto, una potencia de -23 dBm es óptima.

- dBmo.-

Además de la información, un sistema de transmisión lleva otras señales. Estas pueden ser deseadas y necesarias tales como señalización, o indeseables como interferencia, ruido y diafonía. Para facilitar la indicación del nivel de cualquiera de estas señales respecto del nivel de información, se ha introducido el término dBmo.

Si se dice que una señal tiene -20dBmo , la señal tiene un nivel de -20dBm en el punto de nivel relativo cero. El valor del nivel de esta señal, en dBm, es en cualquier punto del circuito, 20 dB por debajo del valor relativo en ese punto, en dBr.

$$Y(\text{dBm}) = X(\text{dBm}) + Z(\text{dB})$$

- dBmop.-

El dBmop es una unidad asociada con la ponderación de ruido, por medio de una red definida por el CCITT, bajo un tono de prueba de canal de 800 Hz. El ruido ponderado con esta red, se expresa como ruido ponderado psufométricamente (psufometrically weighted) y se mide en dBmop.

BIBLIOGRAFIA

1.-Arita, " Digital Data Switching Network ", Electrical Communication Laboratories, vol 28, 1986.

2.-Bellamy J, Digital Telephony, 1982.

3.-Braun, "Transmisión óptica de informaciones en redes de comunicación de banda ancha urbanas e interurbanas", Siemens Comunicaciones Opticas, 1983.

4.-CCITT, Libro Rojo, Tomo III, fascículos III.2 y III.3, 1985.

5.-CGCT, Concentrador de líneas de abonados CT130, Compagnie Generale de Constructions Telephonique, Paris-Francia.

6.-CSELT, Optical Fibers Communications, 1988

7.-Elfgren K. y Fernius I, "Private Business Communication System EIS", Ericsson Review, No B, 1987.

8.-Finley, Optical Fibers in local area networks, 1988.

9.-INICTEL, Tecnología Básica de la conmutación digital, 1983.

10.- KLUHR, MARENDING Y TRIMMEL, "UN SISTEMA DE F.O PARA LA TX. DE SEÑALES DE 8 MB/S", TELECOM REPORT, 1983.

11.- Kvarnemo y Landberg C, "Sistema de línea de 8 Mb/s por fibras ópticas", Ericsson Review, No1, 1987.

12.- Kobayashi y Nomura, "Update an efficient light

sources", Optical Communications", 1984.

13.- Koinuma, "Line Concentrator and Subscriber Line Circuit in Digital Local Switching System", Electrical Communication Laboratories, Vol 31, 1983.

14.- Larson C. y Olson E, "Multiplexer remoto de abonados-RSM", Ericsson Review, Número 2, 1983.

15.- NEC, Descripción del Sistema Multiplex para el Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones del Ecuador, Vol 1-VI, 1986.

16.- NEC, Protocolo de Ensayos del Equipo Terminal PCM de 30 canales, 1986.

17.- NEC, Cable de fibra óptica, DOI-G01327, 1985.

18.- NEC, Fundamentos del Sistema de conmutación digital NEAX 615, 1986.

19.- Ortega Patricio Ing. Unidades de medición usadas en Telecomunicaciones, inédito.

20.- Raushagen A. y Wolf H, "Business Communication in AXE", Ericsson Review, NoB, 1987.

21.- Siemens, ' Díaz de la Iglesia, Comunicaciones por fibra óptica, Mundo Electrónico, 1985.

22.- Siemens, Conductores de fibras ópticas, 1987.

23.- Vancek K, Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas, 1986.