

72  
2 ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGÓN"**

**"TRANSMISION DIGITAL CON APLICACIÓN  
A LA FIBRA OPTICA Y REDES DIGITALES  
DE SERVICIOS INTEGRADOS"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
LEOBARDO DE LA ROSA GONZALEZ

ASESOR: ING. DAVID BERNARDO ESTOPIER BERMUDEZ

MÉXICO, .

1998.

257705

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

LEOBARDO DE LA ROSA GONZÁLEZ  
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 13 de octubre del año en curso, relativa la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. DAVID BERNARDO ESTOPIER BERMÚDEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "TRANSMISIÓN DIGITAL CON APLICACIÓN A LA FIBRA ÓPTICA Y REDES DIGITALES DE SERVICIOS INTEGRADOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

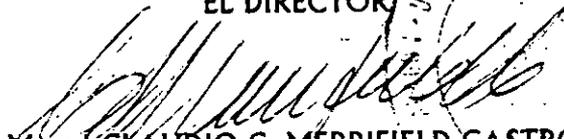
Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

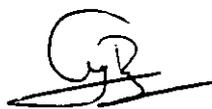
ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México., 30 de octubre de 1997

EL DIRECTOR

  
M en F CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

  
c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura del Area de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
c c p Asesor de Tesis.

  
CCMC/AIR/Ila.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres, Leobardo y Gabina  
por la educación, el apoyo y ayuda  
que me han brindado.*

*A mis hermanos, por su valiosa  
ayuda y consejos, por el ejemplo  
a seguir para lograr esta meta.*

*A mi esposa, Claudia, por su continuo  
apoyo y estímulo para lograr continuas  
metas.*

*Con profundo agradecimiento a la  
U.N.A.M. a la E.N.E.P. "ARAGON",  
por darnos la oportunidad de obtener  
una formación profesional.*

*Ing. David Bernardo Estopier  
Bermúdez por su valiosa colaboración  
y apoyo para la realización de este  
trabajo.*

# INDICE

## INTRODUCCION

1. Fundamentos de la técnica MIC	5
1.1 Teorema del muestreo	5
1.2 Conversión analógico - digital	5
1.2.1 Muestreo	6
1.2.2 Cuantificación	6
1.2.3 Codificación	12
1.2.4. Multiplexado	14
1.3 Conversión digital - analógico	15
1.3.1 Demultiplexado	15
1.3.2 Decodificación	16
2. Transmisión digital	18
2.1 Características generales de un sistema de transmisión MIC	18
2.2 Sistemas de transmisión MIC	20
2.2.1 Sistema de transmisión PCM 30	21
2.2.2 Sistema de transmisión PCM 24	25
3. Conmutador digital	28
3.1 Conmutador temporal	28
3.2 Conmutador espacial	33
3.3 Memoria de control	35
3.4 Equipo de una central digital	36
3.4.1 Equipos de conexión	37
3.4.2 Red de conmutación digital	38
3.5 Comunicaciones entre dos abonados	39
3.6 Sincronización de redes digitales	40

4. Sistemas de transmisión digital de orden superior	41
4.1 Códigos de transmisión	41
4.2 Estructuras jerárquicas	44
4.2.1 Formación del multiplexado MIC	46
4.3 Procedimiento de justificación positiva (relleno positivo)	49
4.3.1 Trama de impulsos	51
4.3.2 Jitter de demora (oscilaciones)	53
5. Transmisión digital con aplicación a la fibra óptica y redes digitales de servicios integrados	
5.1 Conductores de fibras ópticas	57
5.1.1 Diferentes tipos de fibras	58
5.1.2 Estructura de una fibra	61
5.1.3 Ventajas de la fibra óptica	61
5.2 Técnica de transmisión digital	62
5.3 Principio de la transmisión óptica	64
5.4 Niveles de red y familia de sistemas	65
5.4.1 Ejemplo de un sistema de 140 Mbit.	69
5.4.2 Situación internacional de los sistemas con conductores de fibra óptica	72
5.4.3 Capacidad de transmisión y formación de multiplexado	73
5.5 Red digital de servicios integrados ( R D S I )	75
5.5.1 Conceptos y bases de la Red Digital de Servicios Integrados	75
5.5.2 Acceso básico y Línea múltiplex primaria	77
5.5.3 Grupos funcionales	79
5.5.4 Modelo de referencia O S I	81
5.5.5 Definición de la Red de Servicios Integrados	82
5.5.6 R D S I de banda ancha	84
5.5.7 Sistemas de señalización para abonados digitales	85
6. Conclusiones	88
Glosario de términos	92
Bibliografía	99

## INTRODUCCION

Dentro de los campos tan diversos que abarcan las comunicaciones y la electrónica, existen algunos que, por una u otra razón, no han sido difundidos en forma amplia y detallada. Esto propicia la carencia de elementos de consulta o fuentes de información, para quienes, en un momento determinado, deciden profundizar en estas cuestiones; tal es el caso de los procesos aplicados en la fibra óptica para la transmisión digital.

Quizás esto obedezca a que la técnica de transmisión digital, es relativamente nueva en nuestro país, pues son pocas las empresas que la han adoptado dentro de la industria, ( no existe un desarrollo de equipos de alto nivel, ya que la mayoría de estos son importados ), la más representativa o por lo menos, la más enfocada a aplicar este desarrollo digital, es Teléfonos de México. ( Información previa a la apertura de licitación de prestación de servicios de Telefonía de larga distancia. )

La circunstancia que ha motivado la realización de éste trabajo de investigación sobre los procesos de transmisión de señales digitales aplicadas a la fibra óptica es que la incorporación en nuestro país de la tecnología en este campo específico se ha dado de una manera lenta en comparativo con otros países.

El objetivo que se pretende con este trabajo es proporcionar la información de introducción para todos aquellos que deseen ocuparse de la modulación por impulsos codificados ( MIC )de la técnica multiplex por distribución en el tiempo ( TDM ) y de la técnica de transmisión digital. De hecho, las explicaciones se han centrado en los principios y conceptos más importantes para lograr un conocimiento general resumido y de comprensión rápida, los circuitos no han sido tratado en detalle. En todos los casos para los que existen recomendaciones del CCITT, los valores citados coinciden con los recomendados.

La primera transmisión telefónica se realizó en 1876, durante unos experimentos realizados por Alexander Graham Bell, en los cuales pretendía mandar varias señales sobre un solo cable. El instrumento fue aprobado públicamente el 10 de marzo de 1876. La primera red de conmutación comercial comenzó a operar en enero de 1878 y, a partir de entonces, el concepto de una red telefónica pública ha evolucionado hasta como lo conocemos en nuestros días.

Las señales de fonía o las señales telefónicas, son analógicas por su naturaleza, de modo que en el tráfico telefónico no se parte ya de una representación y transmisión digital, razón por la cual las ventajas de una tecnología digital no se entienden por sí mismas.

Precisamente, con la invención del transistor, se dispuso de un componente apropiado que permitió la aplicación comercial de una transmisión telefónica digital. A partir de él surgieron, mediante desarrollos lógicos, la microelectrónica y los circuitos electrónicos digitales, que hicieron posible una nueva orientación en el desarrollo de las telecomunicaciones, es decir, el desarrollo de la red digital con integración de servicios.

La señal telefónica se convierte solamente una vez de analógica a digital, conservando las características originales que la mantienen lo más cercana posible a la emisión originada por el locutor o el abonado que habla. Posteriormente, se transmite en forma digital, se reconstruye en forma analógica y finalmente se transforma en las correspondientes ondas sonoras, para obtener una reproducción lo más aproximada posible al sonido original, con el objeto de que el abonado que escucha pueda reconocerla. Para establecer una red digital integrada es necesario instalar rutas de transmisión digitales y centrales de conmutación digital.

Si desde un principio se establece una red integrada que permita la transmisión y la conmutación digital ininterrumpida, entonces, esta red también se puede utilizar para la transmisión de aquellas informaciones o comunicaciones que originalmente son de naturaleza digital, como por ejemplo: los datos y los textos interpretados por medios electrónicos. De esta forma se llega a la red digital de servicios integrados (ISDN Integrated Services Digital Network). En esta red, todos los "servicios", como son telefonía, transmisión de datos y textos, facsímil, etcétera, se ofrecen de forma integrada a través de una misma red. Para ello, es imprescindible que también el circuito o la línea de abonado se explote en forma digital.

El capítulo número 1 trata de los procesos de la conversión de analógico a digital y de digital a analógico de una señal telefónica; en el capítulo 2 se exponen las características generales de un sistema de transmisión MIC; en el capítulo 3 se habla de los tipos de conmutación digital; en el capítulo 4 se trata de los sistemas de transmisión digital de orden superior y en capítulo 5 se habla de la transmisión digital aplicada a la fibra óptica y la red digital de servicios integrados de una forma general.

# CAPITULO 1

## FUNDAMENTOS DE LA TECNICA MIC

### 1.1. TEOREMA DE MUESTREO

El teorema del muestreo, sirve para determinar la frecuencia mínima con que ha de muestrearse una señal analógica para que sea posible reproducirla en su forma original sin pérdidas de información, a partir de las muestras así obtenidas :

$$f_A > 2 f_s$$

Si no se respeta esta ley, se propician señales perturbadoras, debido al solapamiento del espectro; estas señales interferentes no están contenidas en la señal original, y se les conoce como efecto de repliegue. Para evitarlo, y por principio, se inserta un filtro pasabajo antes del muestreo para limitar el espectro de frecuencias de la señal de entrada, adaptándolo a la frecuencia de muestreo.

### 1.2 CONVERSION ANALOGICA - DIGITAL

#### Modulación por codificación de impulso PCM

Para convertir una señal analógica en una señal modulada por codificación de impulsos se requiere efectuar el siguiente proceso :

- a) Muestreo. Se toman valores instantáneos de la señal analógica a intervalos de tiempos iguales, la señal muestreada es un tren de impulsos, cuya envolvente es la señal original.
- b) Cuantificación. La gama continua de los impulsos es descompuesta en una cantidad finita de valores de amplitud en el proceso de cuantificación.
- c) Codificación. El paso siguiente es convertir el valor cuantificado de la amplitud a una forma de código apropiada para transmitir por la red de enlace.

### 1.2.1. MUESTREO

Internacionalmente se ha especificado una frecuencia de muestreo ( $f_A$ ) de 8.000 hz., para la banda de frecuencias de 300 a 3400 hz. utilizada en los sistemas telefónicos; es decir, la señal telefónica se muestrea 8000 veces por segundo:

La separación entre dos muestras consecutivas de la misma señal telefónica ( periodo de muestreo =  $T_A$ ) se determina:

$$T_A = 1 / f_A = 1 / 8000 \text{ hz} = 125 \text{ microsegundos}$$

### 1.2.2 CUANTIFICACION

Modulación por impulsos de amplitud, MIA ( PAM, Pulse Amplitude Modulation ).

En la modulación por impulsos en amplitud, se toman muestras de las señales telefónicas ( normalmente en forma estrictamente periódica ), las cuales solamente se transmiten con ayuda de un dispositivo de muestreo. Aunque las señales se transmiten en forma parcial, es posible reconstruir la señal o señales originarias en el receptor de forma completa, bajo las siguientes premisas:

1. Las señales a modular tendrán limitada su anchura de banda.
2. El proceso de muestreo cumplirá las leyes del teorema de muestreo.

La figura número 1 nos explica este proceso.

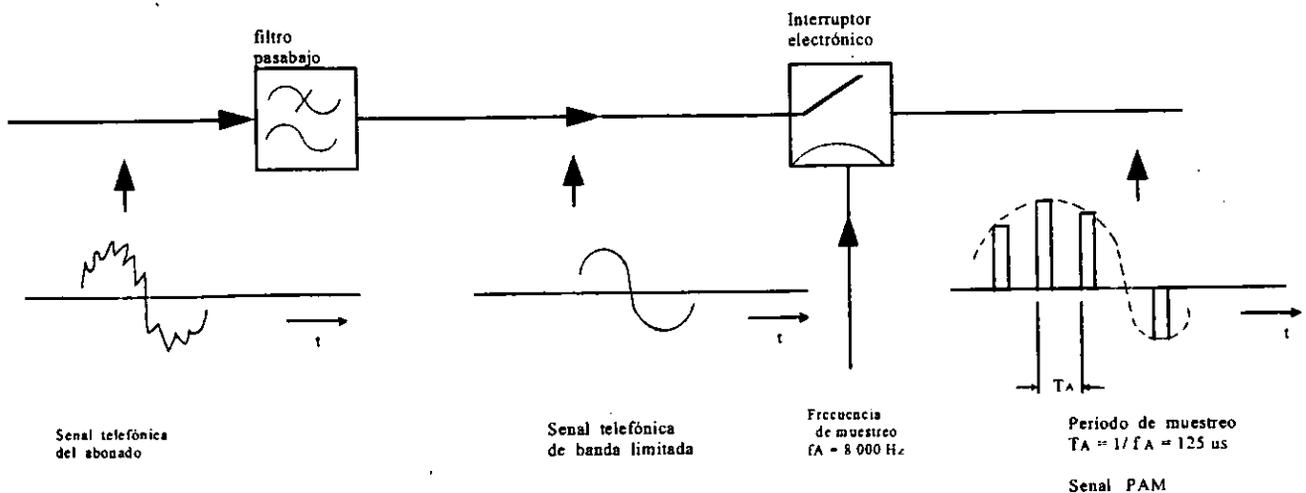


FIG. 1 GENERACION DE UNA SENAL PAM

Con una secuencia de impulsos de muestreo estrechos ( en los que la cadencia de la señal viene dada por AT ), se multiplica ( o se modula ) la señal original ( AS ), con lo que :

$$AM = AS \times AT$$

Se genera, por lo tanto, una secuencia de impulsos, cuyas amplitudes corresponden exactamente a las amplitudes de la señal original en los instantes respectivos.

La señal de modulación de impulsos por amplitud ( señal PAM ), sigue siendo todavía una representación analógica de la señal telefónica. Sin embargo, las muestras pueden transmitirse y procesarse en forma digital con mucha más facilidad. El primer paso para su transformación en señal digital, en este caso una señal modulada por impulsos codificados ( MIC ), es la cuantificación, que consiste en descomponer el margen total de las posibles amplitudes de la señal en intervalos de cuantificación.

El principio de la cuantificación puede apreciarse en la figura siguiente, habiéndose utilizado solamente 16 intervalos de cuantificación iguales, para mayor claridad.

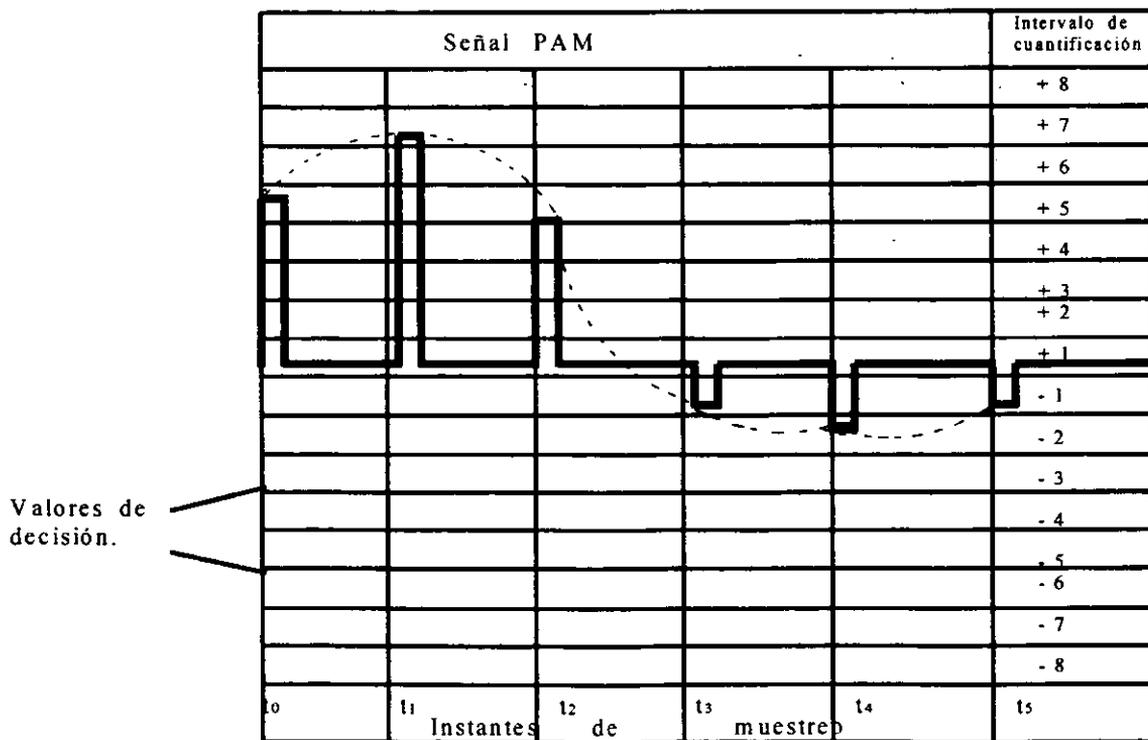


Figura 2. Cuantificación uniforme de las muestras de una señal telefónica

Los intervalos +1 a +8 se encuentran en el margen positivo de la señal telefónica, y los intervalos -1 a -8, en el negativo.

Para cada muestra se determina el intervalo en el que queda incluida, estando separado cada intervalo de cuantificación del siguiente por un valor de decisión. Por consiguiente, en el lado de la transmisión caen varios valores analógicos diferentes en un mismo intervalo de cuantificación. En el lado de recepción, por cada intervalo de cuantificación se recupera un valor de amplitud que corresponde al valor medio del intervalo, lo que da lugar a pequeñas variaciones respecto a las muestras originarias de la señal telefónica en el lado de transmisión. La variación por cada muestra puede llegar a ser, de medio intervalo de cuantificación, como máximo.

Estas variaciones pueden ocasionar, en el lado de recepción, una distorsión de cuantificación que se manifiesta por un ruido superpuesto a la señal útil. La distorsión de cuantificación disminuye cuanto mayor sea el número de intervalos previstos.

Si se hacen los intervalos lo suficientemente pequeños, la distorsión será mínima y el ruido imperceptible.

Si se establecen intervalos de cuantificación iguales de manera uniforme por todo el margen de amplitudes de la señal, cuando las señales de entrada sean pequeñas podrán resultar variaciones relativamente grandes ( **cuantificación uniforme**; ver figura 2 ).

Estas variaciones pueden ser del mismo orden de magnitud que las señales de entrada y entonces la relación señal / ruido será suficientemente grande. Por tal razón, en la práctica se emplean 256 intervalos de cuantificación desiguales ( **cuantificación no uniforme**; ver figura 3 ).

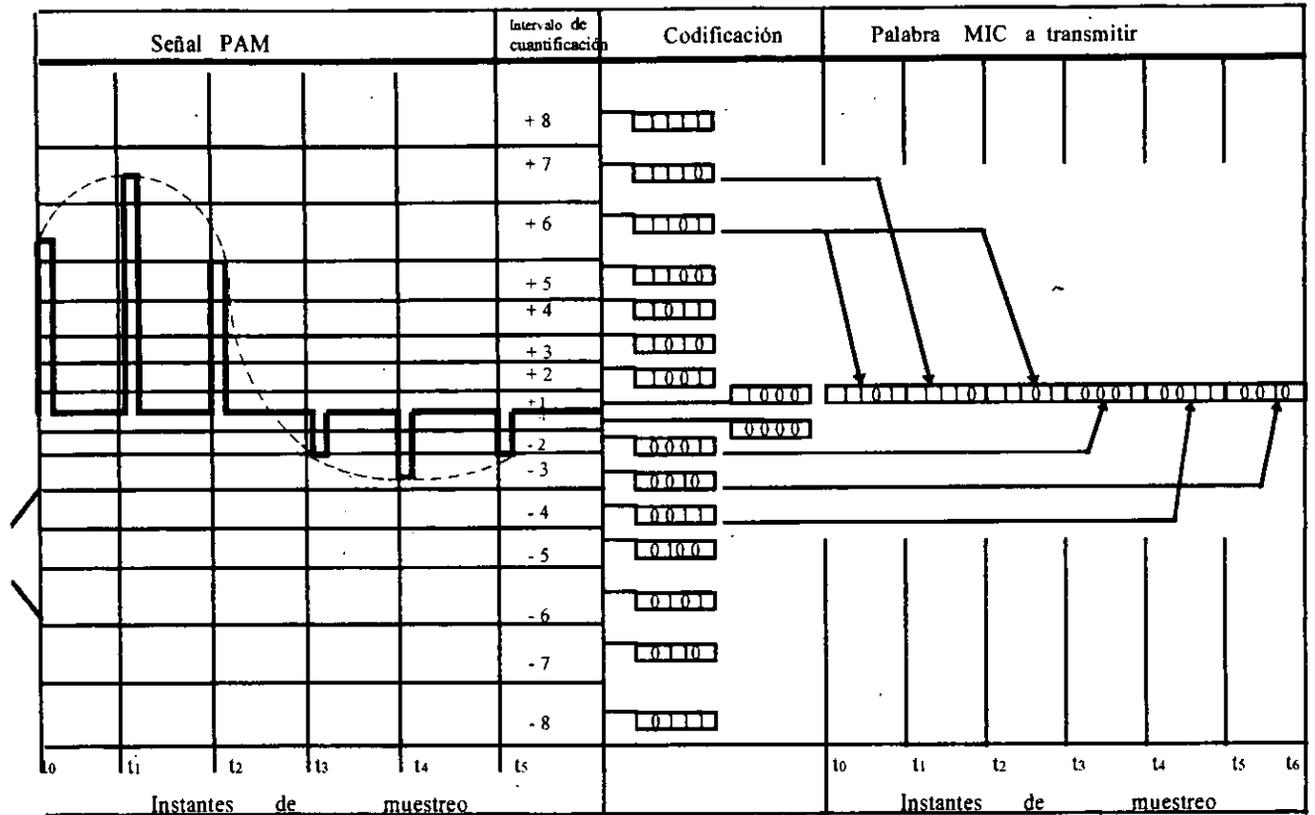


Figura 3. Cuantificación no uniforme y codificación.

Pequeños intervalos en el margen de las señales de pequeña amplitud.

Mayores intervalos en el margen de las señales de mayor amplitud

De esta manera, la relación entre la amplitud de cada señal y la posible variación debida a la cuantificación se mantienen aproximadamente iguales para todas las señales de entrada.

La cuantificación no uniforme se especifica mediante líneas características. El CCITT recomienda, en G. 711 dos de estas características :

a) La característica de 13 segmentos ( Ley A, por ejemplo, para el sistema de transmisión PCM 30, en Europa ).

b) La característica de 15 segmentos ( Ley mu, por ejemplo, para el sistema de transmisión PCM 24 en Estados Unidos ).

En la figura 4 se representa la característica de 13 segmentos, que consta de dos ramas de siete segmentos rectilíneos cada una; una, la de los valores positivos, y otra, la de los valores negativos.

Los dos segmentos coincidentes en el punto cero se unen formando uno solo. Por tal razón, la característica sólo tiene 13 segmentos, y de ahí su denominación.

La rama positiva de la característica de 13 segmentos se representa ampliada en la figura 5, donde la abscisa está normalizada al valor 1, siendo éste una medida de la amplitud máxima de la señal.

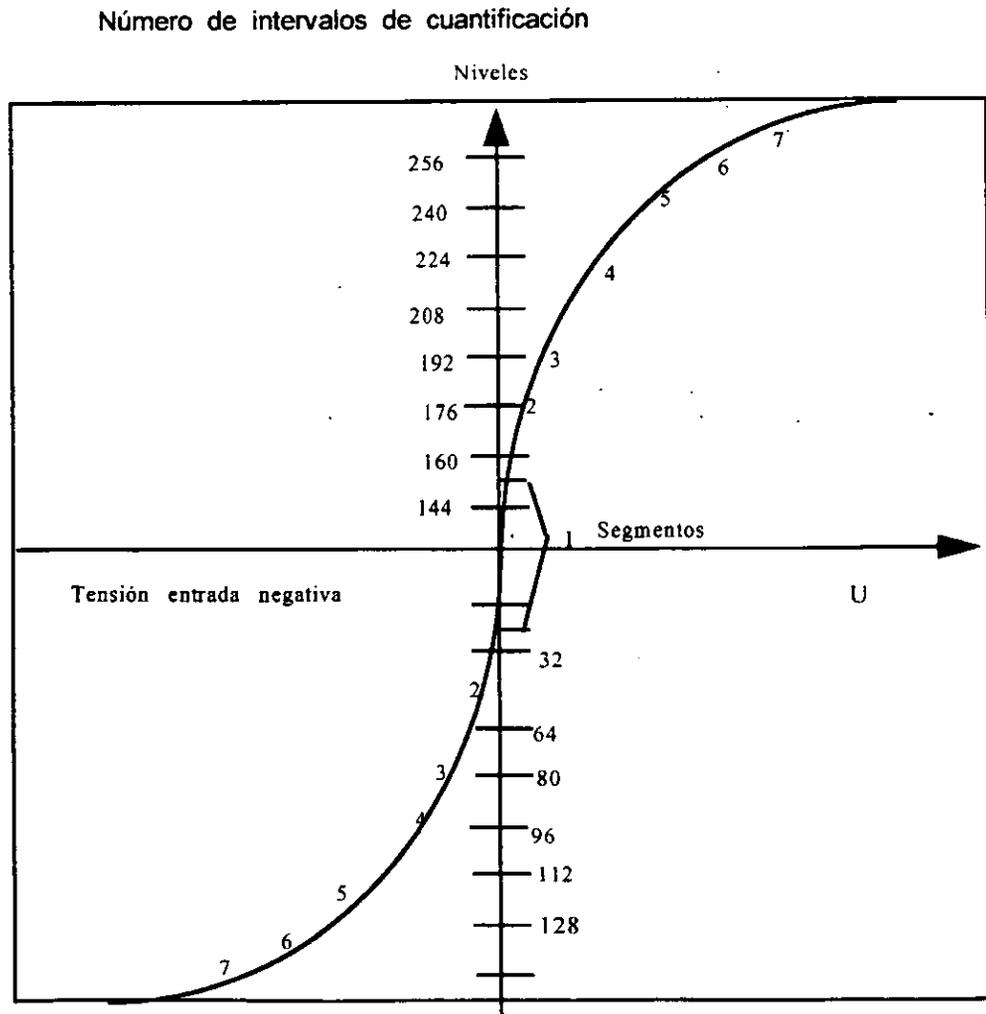


FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS DE 13 SEGMENTOS COMPLETA (LEY A)

En la ordenada se indican los números de los intervalos de cuantificación (1...128) para los valores positivos de la señal.

La asignación de los intervalos de cuantificación a los valores  $U_{ent}$  muestra claramente que las mayores amplitudes de la señal se cuantifican con una escala más amplia; y las amplitudes más bajas, con una escala más fina. Los valores de la señal  $U_{ent}$  se representan en el eje horizontal, en la parte inferior de la figura 5.

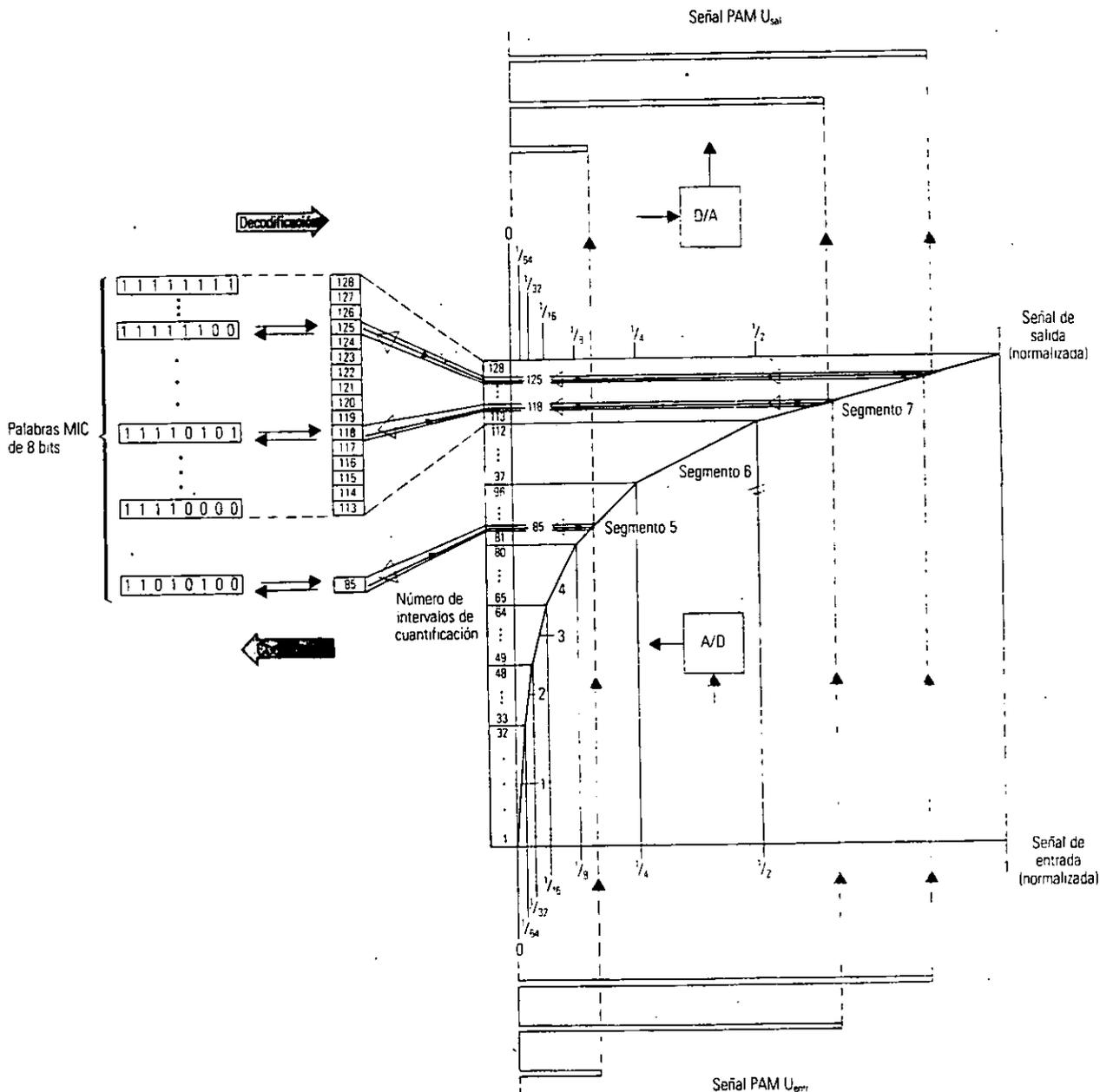
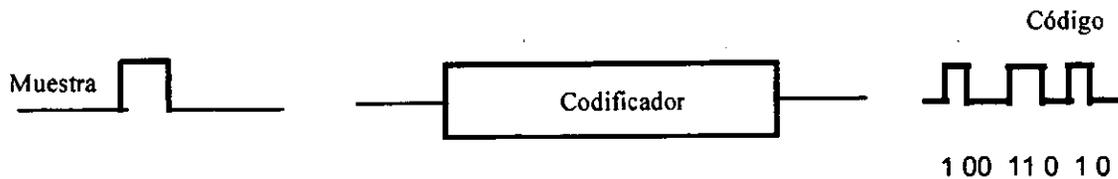


Fig. Rama positiva de la característica de 13 segmentos (Ley A)

## CODIFICACION



A cada nivel patrón, se hace corresponder una palabra de 8 bits llamada "código".

Cada bit puede tener dos valores, "0" y "1", físicamente representados, por ejemplo, por dos tensiones (0 y V, ó -V y +V). Los 8 bits tienen el significado siguiente :

1er bit	: S	: signo 0 para los niveles negativos, 1 para los niveles positivos.
los 3 bits siguientes	: A B C	: segmento
los 4 últimos bits	: W X Y Z	: paso en el segmento.

Ya en los comienzos de la tecnología de transmisión se utilizaron procedimientos para la transmisión en múltiplex temporal, conocida como señal múltiplex de tiempo, pero desde que se dispuso de circuitos digitales suficientemente fiables y accesibles en lo que respecta al precio, se hizo posible implantar también este tipo de transmisión en forma rentable. En vista de que la transmisión por impulsos codificados funciona principalmente con tecnología de circuitos integrados digitales, se le ha denominado "técnica de transmisión digital".

La señal MIC a transmitir se obtiene por codificación de los intervalos de cuantificación, el codificador electrónico asigna a cada muestra una señal de carácter o palabra MIC de 8 bits, que depende del intervalo de cuantificación en que se encuentre la muestra ( ver figura 3 ).

En la figura 5, las flechas que parten de los valores de la señal  $U_{ent}$  (muestras) indican a la palabra MIC. Los 128 intervalos de cuantificación positivos y los 128 negativos ( $128 + 128 = 256 = 2 \times 10^8$ ), se representan mediante un código binario de 8 dígitos y, por consiguiente, las palabras MIC son también de 8 bits. El primer bit de todas las palabras MIC de 8 bits que representan intervalos de cuantificación positivos es un "1" y el primer bit de las palabras que representan intervalos negativos, un "0". Según las recomendaciones G. 711 y G. 732 del CCITT, los bits 2,4,6 y 8 de cada palabra MIC de 8 bits se invierten para la transmisión.

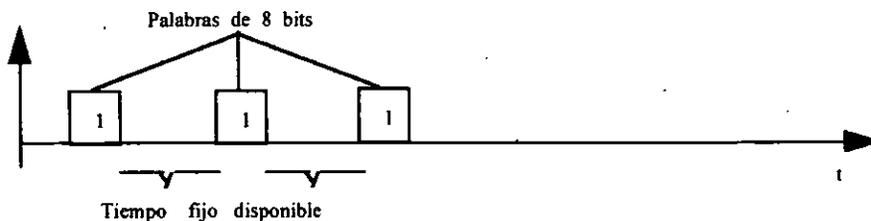
## 1.2.4 MULTIPLEXADO

La palabra MIC de 8 bits de varias señales telefónicas puede transmitirse sucesivamente en forma cíclica; esto es, entre dos palabras MIC de una señal telefónica se intercala en serie cronológica la palabra MIC de otras señales telefónicas. De esta manera se obtiene una señal múltiplex MIC por distribución en el tiempo o "señal múltiplex de tiempo".

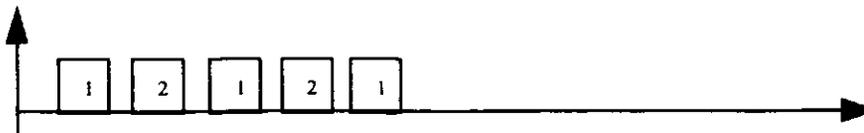
Los procesos de multiplexado se efectúan electrónicamente. Para explicar el principio de multiplexaje, la figura 6 representa varias señales de entrada que son muestreadas cíclicamente :

La señal se envía en forma de una sucesión de palabras binarias. Cada palabra se compone de 8 bits.

Dos palabras binarias sucesivas del mismo canal están separadas por un intervalo fijo, ya que ellas empiezan cada 125 us.



En este intervalo se transmiten palabras que corresponden a otros canales.



Esta operación se llama "Multiplexaje temporal"

Este multiplexaje puede ocurrir :

- después de la codificación de cada uno de los canales
- o antes de la codificación común a todos los canales, la señal múltiplex no codificada recibe el nombre de P A M .

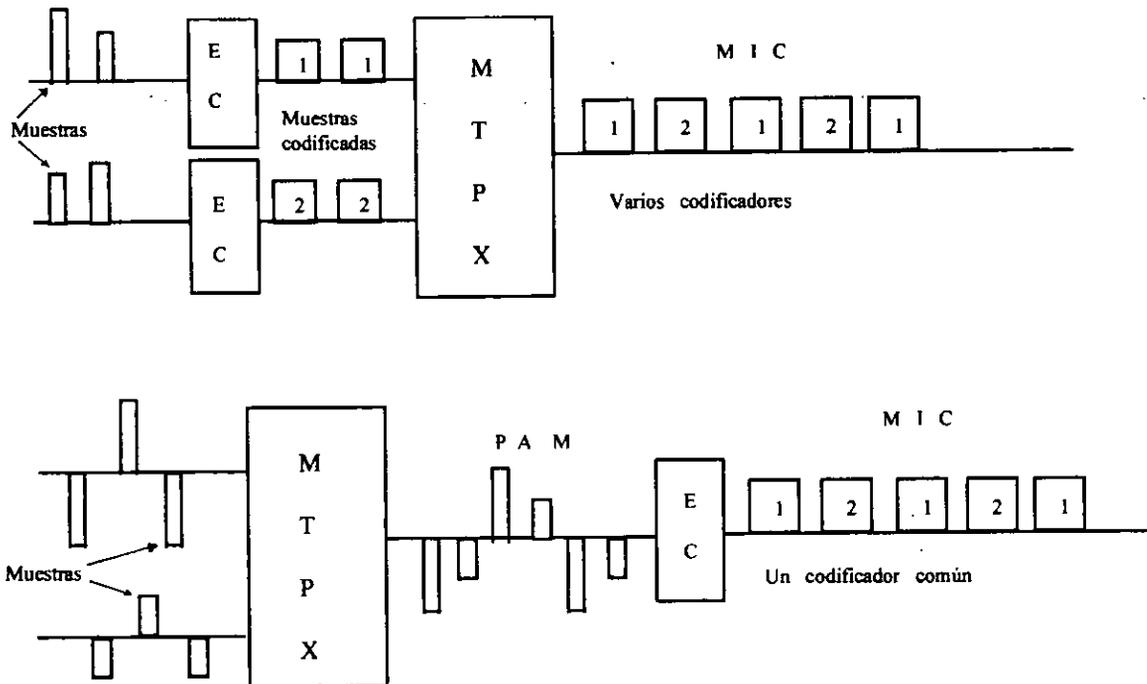


Figura 6. Multiplexaje temporal.

En ambos casos, el número  $N$  de canales que se puede multiplexar es función :

- de la duración del intervalo que separa dos palabras del mismo canal
- y de la duración de cada palabra.

El tiempo que tarda en transmitirse una palabra MIC se denomina "intervalo de tiempo" (time slot).

El tren de bits que contiene una palabra MIC de cada señal de entrada se denomina "trama". La trama en el ejemplo de la figura 6 se compone de las palabras MIC consecutivas correspondientes a las señales de entrada. En el sistema de transmisión PCM 30, la trama se compone de 32 palabras MIC.

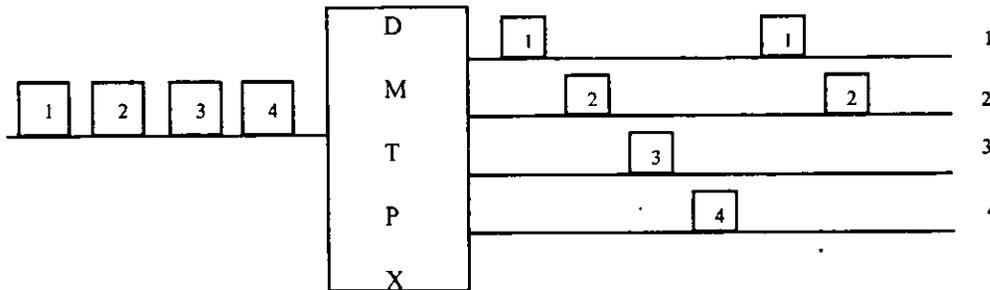
## 1.3 CONVERSION DIGITAL - ANALOGICA

### 1.3.1 DEMULTIPLEXADO

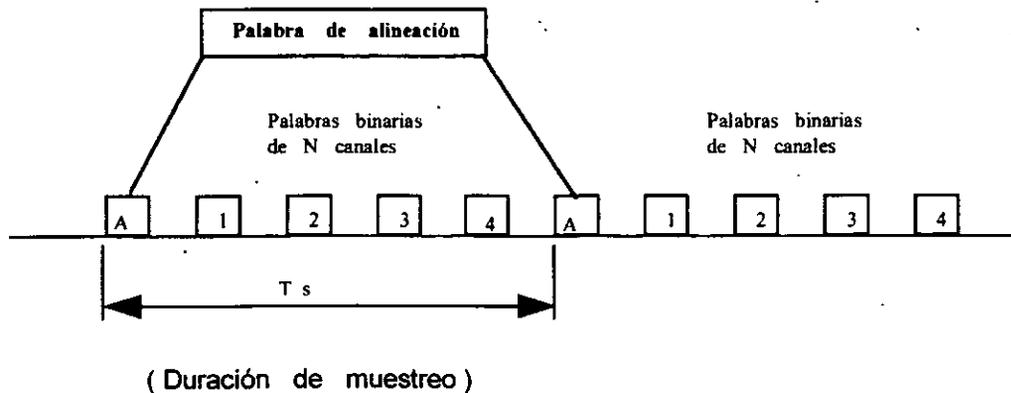
En el lado de recepción, se recuperan las distintas señales MIC de la señal múltiple de tiempo; es decir, las palabras MIC de 8 bits; se distribuyen a las salidas correspondientes.

Igual que al formar la señal múltiplex de tiempo en el lado de transmisión, también aquí los procesos de demultiplexado son totalmente electrónicos.

En el momento de la recepción es necesario ubicar las palabras que pertenecen a los diferentes canales, para demultiplexar los N canales.



Para ello, se transmite una "Palabra de alineación de trama. Entre dos palabras de alineación de trama, las palabras que corresponden a cada uno de los canales multiplexados se suceden siempre en el mismo orden.



### 1.3.2 DECODIFICACION

En el lado de recepción, a cada palabra MIC de 8 bits se le asigna un valor de amplitud de la señal  $U_{sal}$ , que corresponde al valor central del respectivo intervalo de cuantificación. Las características para la decodificación son las mismas que para la codificación no uniforme en el lado de transmisión.

Los valores de la amplitud de la señal  $U_{sal}$  se representan en el eje horizontal debajo de la figura 5.

Las palabras MIC son decodificadas por el orden en que se reciben, y convertidas en una PAM. Finalmente, la señal PAM obtenida se hace pasar por un filtro pasabajo que reproduce la señal telefónica analógica original.

#### DESLIZAMIENTO ( SLIP ).

La temporización autónoma de las centrales digitales ( servicio plesiócrono ) origina diferencias, aunque de pequeña magnitud, entre las velocidades binarias de las centrales. Si una velocidad binaria de entrada es demasiado rápida para la central se suprime una trama a determinados intervalos; si la velocidad es demasiado lenta entonces se repite una trama en dichos intervalos. La supresión o repetición de una trama se denomina deslizamiento. En el caso de un canal telefónico a 64 kbits/s, esto significa que se suprime o se repite una señal de carácter de 8 bits. Por tal razón, el deslizamiento modifica la información y sólo deberá presentarse de vez en cuando. Para una tolerancia del reloj de  $10^{-11}$  en las centrales, teóricamente se origina un deslizamiento, como máximo cada 70 días ( Recomendación G. 811 del CCITT ).

#### FLUCTUACIONES ( JITTER )

Se denomina jitter a las oscilaciones de los instantes significativos de una señal digital alrededor del instante significativo ideal, son fluctuaciones de fase, con frecuencias aproximadamente por encima de 0,01 Hz. Esta fluctuación es corregida con el uso de huecos de bits para completar las tramas, utilizando estos huecos como información de relleno. La explicación más a detalle se tratará en el capítulo 4.

## CAPITULO 2

### TRANSMISION DIGITAL

#### 2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE UN SISTEMA DE TRANSMISION MIC

Sistema PCM de primer orden

El CCITT ha recomendado dos sistemas PCM de primer orden, para ser usados en telefonía: el sistema de 32 canales y el sistema de 24 canales.

El sistema de 32 canales convierte 30 canales de conversación analógica junto con uno de sincronización y uno de señalización en una señal digital. La estructura de esta señal digital se muestra en la figura 7.

La señal digital se divide en tramas con una velocidad de repetición de 8000 tramas/segundo, esto es porque la frecuencia de muestreo es de 8000 hz., y porque la trama contiene una muestra codificada binaria proveniente de cada una de las señales analógicas, cada trama consiste en 32 intervalos de tiempo de 8 bits, de los cuales se usan 30 intervalos de tiempo para canales PCM, y los dos restantes se destinan a la sincronización y a la señalización, respectivamente.

En la práctica, se comienza por un reloj que señala la duración elemental de los bits, o sea 488 ns y luego se construye la trama, bit por bit. Los canales PCM transportan señales analógicas dentro de la banda de frecuencias de 300 a 3400 hz, codificadas de acuerdo con la Ley A.

El intervalo de tiempo de sincronización, es el intervalo cero de cada trama. Este contiene 8 bits y su propósito es formar una señal de reconocimiento para el receptor, a fin de mantener a éste sincronizado con el transmisor de modo que cada canal PCM pueda ser correctamente identificado.

El intervalo de tiempo de señalización, marcado en el número 16, puede usarse de muchas formas. La gran capacidad de señalización ( 64 Kbits/seg ); ofrece flexibilidad en la elección de esquemas adecuados para diferentes propósitos.

Dentro del funcionamiento PCM, una multitrama se define como el agrupamiento de 16 tramas de 30 canales de voz, disponiéndose en cada una de 8 bits para la señalización,

divididos en dos cuatribits que llevan la señalización de un canal de voz cada uno, de modo que un determinado canal de voz dispone de cuatro bits para manejar su señalización, en una de cada 16 tramas.

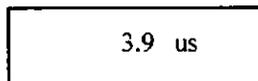
Al multiplexar 30 canales telefónicos.

La trama, de una duración de 125 us, se divide en 32 intervalos de tiempo (IT) numerados de 0 a 31

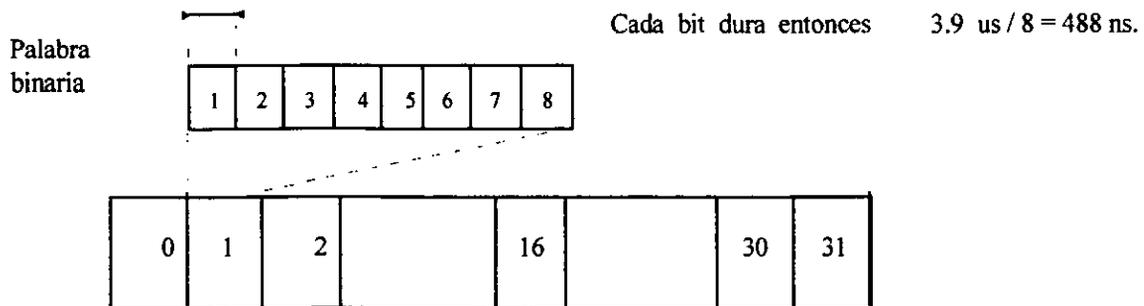
$$32 \text{ (IT)} = \text{TRAMA}$$



Cada IT dura  $125 / 32 = 3.9 \text{ us}$



Cada IT corresponde exactamente a una palabra binaria compuesta de 8 bits numerados de 1 a 8.



De aquí se deduce la velocidad del tren digital :  $1 / 488 \text{ ns} = 2.048 \text{ Mbits/s}$

Figura 7. Estructura de la trama de 2 Mbits/s.

## USOS DE LOS SISTEMAS PCM DE 24 Y 32 CANALES.

El sistema de 32 canales múltiplex por división de tiempo ( PCM - TDM ), se usa en todo el mundo con excepción de Japón, Estados Unidos y Canadá.

El sistema de 24 canales múltiplex por división de tiempo ( PCM - TDM ), se ha adoptado solamente en Japón, Estados Unidos y Canadá.

## CODIGOS EN LINEA.

La señal MIC formada por la sección transmisora consiste en una serie de palabras sucesivas MIC de 8 bits en el código binario NRZ ( non - retur - zero ). Sin embargo, debido a su componente de corriente continua, esta señal digital no puede ser transmitida directamente. La sección transmisora del equipo múltiplex convierte la señal MIC en una señal pseudoternaria; por ejemplo, en el caso de una señal con inversión alternada de las marcas, ( señal AMI, alternate mark inversión ), que no tiene componente alguna de corriente continua. No obstante, una señal AMI contiene largas secuencias de bits "0". En los trayectos de transmisión MIC, con frecuencia se usa una variante del código pseudoternario AMI conocida como código HDB3 ( third - order high - density - bipolar ). En este código, la cantidad de bits "0" consecutivos, se limita a tres, con lo que se obtiene la información de temporización para sincronizar los repetidores regenerativos con un margen de seguridad mayor.

## REGENERADORES

En los trayectos de transmisión MIC se instalan repetidores regenerativos a distancias de aproximadamente 2 a 5 km. Su objetivo es regenerar las señales MIC en ambas direcciones, eliminando las distorsiones ocasionadas por agentes externos y las debidas a los parámetros de transmisión de las líneas.

## 2.2 SISTEMAS DE TRANSMISION MIC

Los sistemas de transmisión PCM 30, que funcionan a 2.048 Mbits/s ( recomendación G.732 del CCITT ) y PCM 24, que funciona a 1.544 Mbits/s ( recomendación G.733 del CCITT ), ambos debidamente descritos a continuación, agrupan 30 ó 24 canales, respectivamente, en cada sentido de transmisión, formando un sistema múltiplex de tiempo. Ambos sistemas son conocidos también bajo la denominación "sistemas de transmisión primarios" o "sistemas básicos", y sus propiedades características se indican en la tabla 2.1

* Características comunes		PCM 30 y PCM 24	
a	Frecuencia de muestreo	8 khz	
b	Número de muestras por señal telefónica	8.000 / s	
c	Período de una trama	$1/b = 1/ 8.000/s = 125 \text{ us}$	
d	Número de bits de una palabra MIC	8 bits	
e	Velocidad binaria de un canal	$b \times d = 8.000/s \times 8 \text{ bits} = 64 \text{ kbits / s}$	
* Características específicas de cada sistema		PCM 30	PCM 24
f	Codificación/Decodificación	LeyA	Leyu
	Cantidad de segmentos de la característica	13	15
g	Número de intervalos de tiempo de canal por trama	32	24
h	Número de bits por trama (* = bit adicional )	$d \times g = 8 \text{ bits} \times 32 = 256 \text{ bits}$	$dxg+1^*= 8 \text{ bits} \times 24 + 1^* = 193 \text{ bits}$
i	Duración de un intervalo de tiempo de canal de 8 bits	$c \times d = 125 \text{ us} \times 8 =$	$c \times d = 125 \text{ us} \times 8 =$
		h 256 aprox. 3,9 us	h 193 aprox. 5,2 us
k	Velocidad binaria de la señal múltiplex de tiempo	$b \times h = 8.000/s \times 256 \text{ bits} = 2,048 \text{ kbits/s}$	$b \times h = 8.000/s \times 193 \text{ bits} = 1,544 \text{ kbits/s}$

### 2.2.1 SISTEMA DE TRANSMISION PCM 30

El sistema de transmisión PCM 30 ( referencia tabla 2.1 ) permite transmitir 30 conversaciones simultáneas utilizando, por ejemplo, dos pares simétricos de un cable de frecuencia vocal ( BF ).

#### TRAMA

Por cada uno de los 30 circuitos telefónicos se transmiten 8.000 muestras por segundo, en ambas direcciones, en forma de palabras MIC ( señales de carácter ) de 8 bits. Es decir, en un periodo de 125 us, equivalente al valor inverso de 8 khz, se transmiten 30 palabras MIC de 8 bits sucesivamente; una para señalización y una alternativamente, como señal de alineación de trama y señal de alarma. Las 30 palabras MIC, junto con las otras dos señales de 8 bits, constituyen una trama. Las tramas se transmiten en sucesión directa.

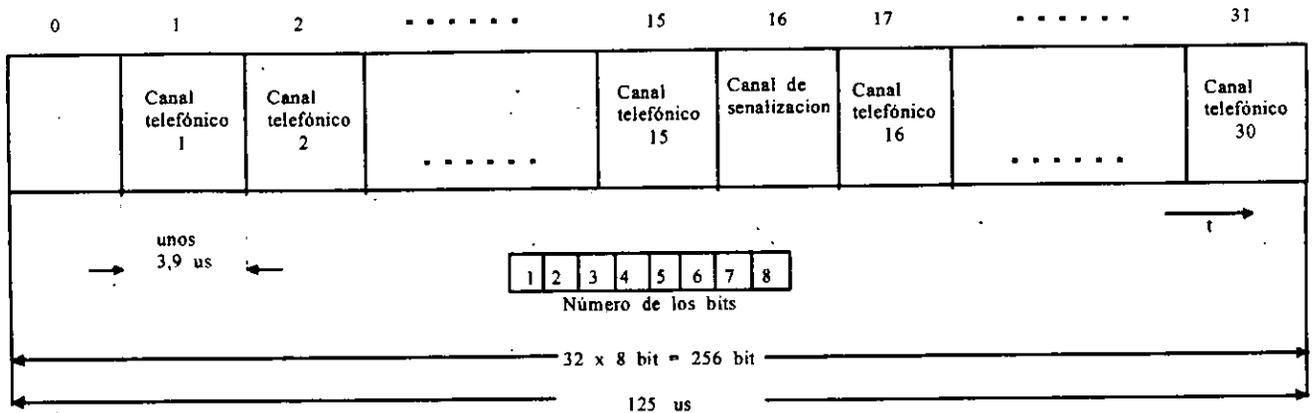


FIGURA 8. ESTRUCTURA DE LA TRAMA DEL SISTEMA DE TRANSMISION PCM 30

### SEÑAL DE ALINEACION DE TRAMA CONCENTRADA

Basándose en las señales entrantes de alineación de trama, las secciones receptoras determinan la posición en el tiempo de las palabras MIC de 8 bits, de manera que los bits recibidos pueden asignarse en la secuencia correcta a los distintos circuitos vocales en el intervalo de tiempo de canal o se transmiten, alternativamente, la señal de alineación de trama y la señal de alarma.

Número de los bits	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor binario	X	0	0	1	1	0	1	1

FIGURA 9 SEÑAL DE ALINEACION DE TRAMA EN EL INTERVALO DE TIEMPO DE CANAL 0

1er. bit = X --- Reservado para uso internacional

2' a 8' bit --- Señal de alineación de trama

El bit 1 en el intervalo de tiempo 0 está reservado para uso internacional

La señal de alineación de trama concentrada se encuentra en los bits 2 a 8 del intervalo de tiempo de canal 0, y tiene siempre la misma muestra binaria 0011011.

Número de los bits	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor binario	X	1	A	Y	Y	Y	Y	Y

FIGURA 10 SEÑAL DE ALARMA EN EL INTERVALO DE TIEMPO DE CANAL 0 DE UNA TRAMA

- 1er. bit = X --- Reservado para uso internacional
- 2' bit = 1 --- Evita la simulación de la señal de alineación de trama
- 3er bit = A --- Fijado internacionalmente para indicación de alarma urgente
- 4' a
- 8' bit = Y --- Reservados para uso nacional

## SEÑAL DE ALARMA

Las señales de alarma transmiten señales de servicio. El bit 3 del intervalo de tiempo ó de señalización es el bit de indicación de alarma urgente. "0" significa que no existe alarma alguna; "1" indica una de las alarmas siguientes :

- \* Fallo de la fuente de energía
- \* Fallo del codec
- \* Pérdida de la señal entrante a 2.048 Mbits / s.
- \* Pérdida de la alineación de trama
- \* Proporción excesiva de errores en la señal de alineación de trama  $1 \times 10^{-3}$

Los bits 4 a 8 del intervalo de tiempo o de señalización están reservados para uso nacional.

## SEÑALIZACION

La señalización del sistema de conmutación se transmite fuera del intervalo de tiempo 16. Esta señalización puede ser, por ejemplo, señal de principio, de fin o de selección, y se divide en :

- \* Señalización asociada al canal para 30 circuitos vocales.
- \* Señalización por canal común a 64 kbits / s.

Para la señalización asociada al canal se subdivide el intervalo de tiempo 16, de tal manera que haya disponibles ciertos bits para cada uno de los 30 canales telefónicos, para lo cual se agrupan 16 tramas formando una multitrama.

Números de orden de las tramas	Bits en los intervalos de tiempo de canal 16							
	a	b	c	d	a	b	c	d
0	0	0	0	0	X	Y	X	X
1	Canal telefónico 1				Canal telefónico 16			
2	Canal telefónico 2				Canal telefónico 17			
3	Canal telefónico 3				Canal telefónico 18			
4	Canal telefónico 4				Canal telefónico 19			
5	Canal telefónico 5				Canal telefónico 20			
6	Canal telefónico 6				Canal telefónico 21			
7	Canal telefónico 7				Canal telefónico 22			
8	Canal telefónico 8				Canal telefónico 23			
9	Canal telefónico 9				Canal telefónico 24			
10	Canal telefónico 10				Canal telefónico 25			
11	Canal telefónico 11				Canal telefónico 26			
12	Canal telefónico 12				Canal telefónico 27			
13	Canal telefónico 13				Canal telefónico 28			
14	Canal telefónico 14				Canal telefónico 29			
15	Canal telefónico 15				Canal telefónico 30			

Tabla 2.2 Asignación de los bits en los intervalos de tiempo de canal 16 de una multitrama del sistema PCM 30 a los canales telefónicos para señalización asociada al canal

0000 = Señal de alineación de multitrama

X = Bit de reserva

Y = Bit para indicar al extremo distante la pérdida de la alineación de multitrama

Se transmite una señal de alineación de multitrama al principio de la misma en el intervalo de tiempo de canal 16 en la trama 0. La muestra binaria de dicha señal de alineación de multitrama es "0000".

Cada intervalo de tiempo de canal 16 de una multitrama se divide en dos grupos de 4 bits (a,b, c, d). En cada multitrama, a cada uno de los 30 canales telefónicos se le asigna uno de dichos grupos de 4 bits para señalización. La velocidad binaria de señalización es de 2 kbits/s, por canal telefónico.

Cuando no se transmite señalización asociada al canal, el intervalo de tiempo 16 ( 64 kbits ) queda disponible para transmitir otras señales digitales, como pueden ser la señalización por canal común ( CCITT No. 6, No. 7 ) o datos.

## 2.2.2 SISTEMAS DE TRANSMISION PCM 24

El sistema PCM 24 ( ver también la tabla 1 ), permite transmitir simultáneamente 24 comunicaciones a través de, por ejemplo, un par simétrico de un cable de BF.

### TRAMA

Igual que el sistema PCM 30, el sistema PCM 24 transmite señales de carácter o palabras MIC de 8 bits en ambas direcciones, tal como se aprecia en la figura 11.

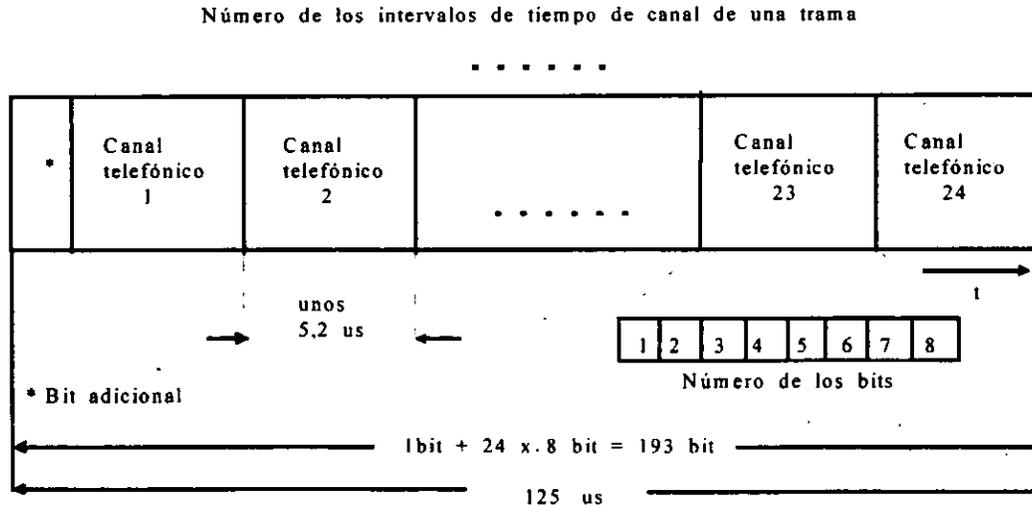


Figura 11. Estructura de la trama del sistema de transmisión P C M 24

Cada trama contiene, en forma de palabra MIC de 8bits (  $24 \times 8 = 192$  ), una muestra de cada una de las 24 señales telefónicas de una dirección y un bit adicional, transmitidos consecutivamente sin interrupción. El bit adicional se usa para transmitir alternativamente la señal de alineación de trama y la señal de alineación de multitrama, o bien para transmitir alternativamente la señal de alineación de trama y la señalización por canal común. Debido a la frecuencia de muestreo y a las 8000 muestras que resultan por señal telefónica y por segundo, el periodo de la trama es de 125 us.

### SEÑAL DE ALINEACION DE TRAMA.

En ambas direcciones, el primer bit de cada segunda trama ( todas las tramas impares ) pertenece a la señal de alineación de trama. Los equipos de sincronización del lado receptor evalúan la señal de alineación de trama y supervisan al mismo tiempo el sincronismo entre las secciones transmisora y receptora. La señal de alineación de trama es 101010.

Números de orden de las tramas	Uso de los 1os. bits (adicionales) de las tramas		Uso de los bits de cada intervalo de tiempo de canal		Canales de señalización
	Señal de alineación de trama	Señal de alineación de multitrama	Señal telefónica	Señalización asociada al canal ( cada canal telefónico 2 bits por multitrama para señalización	
1	1	-	Bit 1....8	-	
2	-	0	Bit 1....8	-	
3	0	-	Bit 1....8	-	
4	-	0	Bit 1....8	-	
5	1	-	Bit 1....8	-	
6	-	1	Bit 1....7	Bit 8	A
7	0	-	Bit 1....8	-	
8	-	1	Bit 1....8	-	
9	1	-	Bit 1....8	-	
10	-	1	Bit 1....8	-	
11	0	-	Bit 1....8	-	
12	-	0	Bit 1....7	Bit 8	B

TABLA 2.3. Asignación de los 1os. bits (adicionales) y de los bits de los intervalos de tiempo de canal de una multitrama en el sistema de transmisión PCM 24 con señalización asociada al canal.

Números de orden de las tramas	Uso de los 1os bits (adicionales) de las tramas	
	Señal de alineación de trama	Señalización por canal común
1	1	-
2	-	S
3	0	-
4	-	S
5	1	-
6	-	S
7	0	-
8	-	S

TABLA 2.4. Asignación de los 1os bits (adicionales) de las tramas de un sistema de transmisión PCM 24 con señalización por canal común

## SEÑALIZACION

En el sistema PCM 24 se dispone igualmente de dos tipos de señalización :

- \* Señalización asociada al canal para 24 circuitos telefónicos
- \* Señalización por canal común a 4 kbits / s.

Para la señalización asociada al canal en el sistema de transmisión PCM 24 se combinan 12 tramas consecutivas formando una multitrama ( véase la tabla número 2.3 ). Para la sincronización se utiliza la señal de alineación de multitrama contenida en los primeros bits de las tramas de número par. En las tramas sexta y duodécima de cada multitrama, el bit menos significativo para la calidad telefónica, de entre los 8 bits de cada palabra MIC de las 24 señales telefónicas se emplea para la señalización. En este caso, la calidad telefónica experimenta sólo una reducción insignificante.

Los bits menos significativos se emplean para la "señalización dentro del intervalo" de los canales telefónicos correspondientes. El CCITT denomina A y B a los dos canales de señalización independientes por canal telefónico ( ver tabla 2.3 ). La velocidad binaria total para la señalización asociada al canal es de 1.333 bits/s por canal telefónico. Utilizando este procedimiento de señalización la integridad de los bits requerida no puede cumplirse si la velocidad de transmisión de los datos es de 64 kbits / s.

En el caso de señalización por canal común hasta 4 kbits, las tramas no se combinan para formar multitramas. Los primeros bits de cada trama con número par no se usan entonces para la señal de alineación de multitrama, sino para la señalización ( bits S, tabla 2.4 ). Los bits S constituyen el canal común usado para la señalización entre dos centrales.

## INDICACIONES DE ALARMA

El sistema de transmisión PCM 24 puede transmitir indicaciones de alarma en las formas siguientes, dependiendo del tipo de señalización empleada :

El segundo bit transmitido de todas las señales telefónicas puede ser un cero.

Si la señalización es asociada al canal, el "0" de la señal de alineación de multitrama de la trama 12 puede ser convertido en un "1".

De esta manera pueden transmitirse las siguientes alarmas :

- \* Fallo de la red de alimentación.
- \* Fallo del codec.
- \* Pérdida de la alineación de trama.

## CAPITULO 3

### CONMUTACION DIGITAL

La técnica digital no sólo resulta extraordinaria para la transmisión, sino que también ofrece grandes ventajas para la conmutación de señales. Tales ventajas pueden aprovecharse plenamente cuando los sistemas de transmisión y las centrales son digitales y funcionan con procedimientos múltiplex de tiempo.

Las centrales digitales establecen las comunicaciones, reordenando las señales de carácter de 8 bits ( palabras MIC ), de diferentes señales telefónicas conforme a los deseos de comunicación. A la frecuencia de muestreo empleada se transmiten 8,000 señales de carácter por segundo en cada dirección de llamada, con lo que se obtienen periodos consecutivos de 125 us en las centrales. Dentro de estos periodos de 125 us, cada señal de carácter ocupa un determinado intervalo de tiempo, lo que corresponde exactamente a la técnica de transmisión digital en la que, en cada trama, una señal de carácter está asignada a un intervalo de tiempo de canal determinado.

La central puede conmutar también grupos de 8 bits ( octetos ), de otras señales, en lugar de las señales de carácter MIC. Esta posibilidad es un requisito previo para conseguir la red telefónica digital de servicios integrados ISDN ( Integrated Services Digital Network ).

Se emplean dos principios de conmutación básicos :

- \* Conmutación temporal.
- \* Conmutación espacial.

#### 3.1 CONMUTADOR TEMPORAL

El conmutador de tiempo o temporal puede conmutar toda señal de carácter de 8 bits ( palabra MIC ), entrante por una línea múltiplex, a un intervalo de tiempo cualquiera de una línea múltiplex saliente ( accesibilidad total ), ya sea que las señales de carácter entrantes, se registran cíclicamente en la **memoria de datos** del conmutador temporal de donde son leídas, en conformidad con las llamadas hechas, ( principio de conmutación A ), o bien, al ser almacenadas, se clasifican ya en conformidad con las llamadas hechas, de manera que pueden ser leídas cíclicamente ( principio de conmutación B ).

El principio de conmutación A emplea cuatro señales de carácter, tal como aparece en la figura 13.

Los conmutadores rotativos representados en la figura sólo sirven para explicar los procesos de direccionamiento en la memoria. El "conmutador rotativo" a la entrada de la memoria de datos se controla cíclicamente. Por consiguiente, las señales de carácter entrantes llegan consecutivamente y sincronizadas con los intervalos de tiempo de entrada a las distintas posiciones de la memoria de datos. El orden de salida de la memoria de datos se determina por las llamadas hechas. Las direcciones de control del "conmutador rotativo" a la salida de la memoria de datos son dadas por la memoria de control en sincronismo con los intervalos de tiempo de salida.

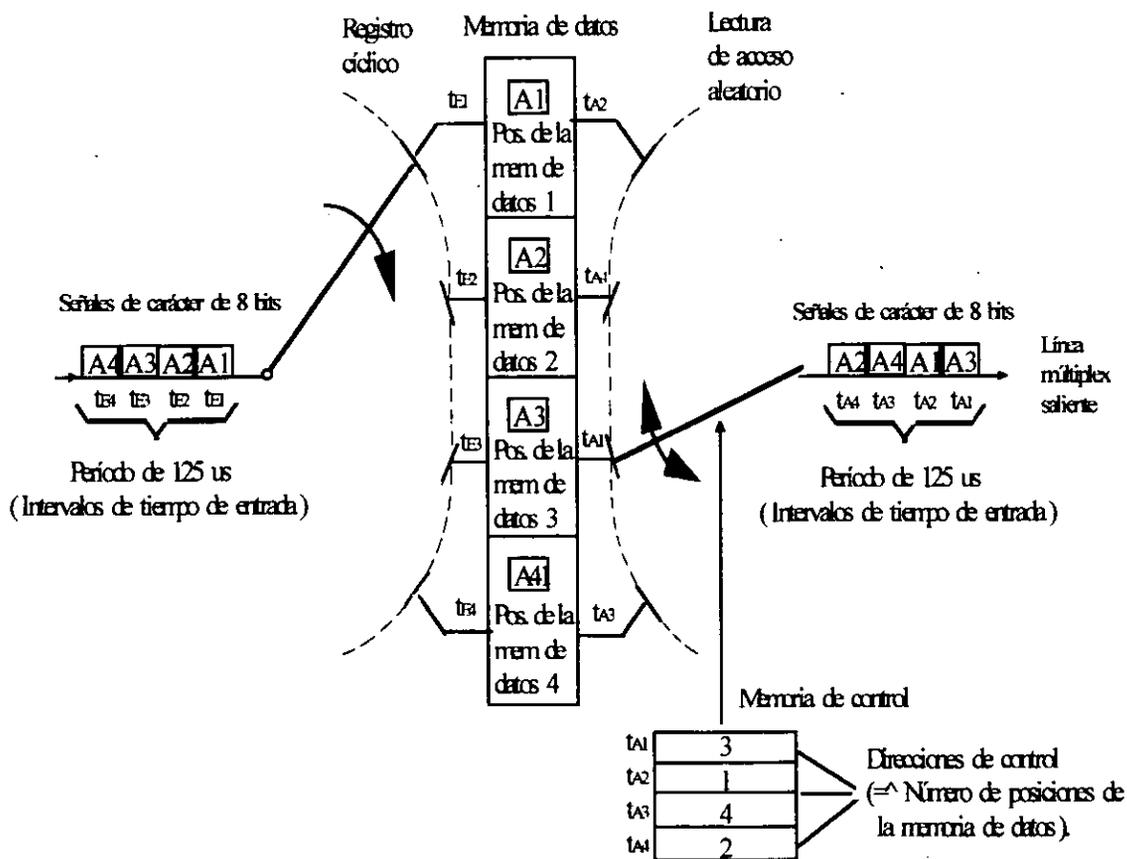


FIG 13. Principio de funcionamiento del conmutador temporal

En la figura 13, el conmutador rotativo a la salida de la memoria de datos aparece gobernado por la memoria de control de la forma siguiente :

- Intervalo de tiempo  $tA1$  a la posición 3 de la memoria de datos
- Intervalo de tiempo  $tA2$  a la posición 1 de la memoria de datos
- Intervalo de tiempo  $tA3$  a la posición 4 de la memoria de datos
- Intervalo de tiempo  $tA4$  a la posición 2 de la memoria de datos

Por consiguiente, el conmutador temporal permuta los intervalos de tiempo de la señal de carácter como sigue :

- Intervalo de tiempo de entrada 1, al intervalo de tiempo de salida 2
- Intervalo de tiempo de entrada 2, al intervalo de tiempo de salida 4
- Intervalo de tiempo de entrada 3, al intervalo de tiempo de salida 1
- Intervalo de tiempo de entrada 4, al intervalo de tiempo de salida 3

Con las 8,000 muestras por segundo, la permuta o intercambio de los intervalos de tiempo de las señales de carácter tiene lugar por cada conexión igualmente 8,000 veces por segundo. Como consecuencia de la permuta de los intervalos, el retardo experimentado por las señales de carácter en el conmutador temporal es diferente para cada conexión.

#### CARACTERISTICAS DEL CONMUTADOR TEMPORAL

- Proceso de conmutación : Se permutan entre sí los intervalos de tiempo de las señales de carácter.
- No hay bloqueos : Todas las señales de carácter entrantes pueden tramitarse, si la cantidad de intervalos de tiempo  $a$  en la línea múltiplex de entrada —es menor ó igual— que la cantidad de intervalos de tiempo  $b$  en la línea múltiplex de salida.
- Accesibilidad total : Cualquier señal de carácter entrante puede ser conmutada a cualquier intervalo de tiempo saliente.
- Eficiente y pequeño : Las memorias y los elementos de control están constituidos por componentes semiconductores de integración en gran escala.

La figura 14 muestra el símbolo con el que frecuentemente se representan un conmutador temporal y sus parámetros.

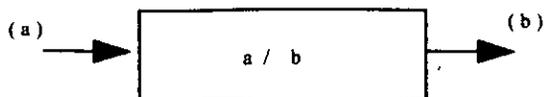


FIG. 14 Símbolo del conmutador temporal ( sin normalizar )  
 $a$  = Número de intervalos de tiempo en la línea múltiplex entrante  
 $b$  = Número de intervalos de tiempo en la línea múltiplex saliente  
 $a$  y  $b$  pueden ser iguales

## CONMUTADOR ESPACIAL - TEMPORAL

El conmutador espacial - temporal es una variante de alta velocidad del conmutador temporal. Debido a su gran velocidad de operación, puede conmutar las señales de carácter de 8 bits de varias líneas múltiplex entrantes a cualquier intervalo de tiempo de varias líneas múltiplex salientes, tal como se aprecia en la figura 15.

Para conseguirlo, las señales de carácter de las líneas múltiplex entrantes tienen que agruparse (multiplexadas) y enviarse a la memoria de datos. Esto significa que la velocidad binaria por la línea entre el multiplexor y la memoria de datos es varias veces mayor que la velocidad por las líneas múltiplex de entrada. En el ejemplo aclaratorio que se ilustra en la figura 15, con cuatro líneas múltiplex de entrada, la velocidad binaria hacia la memoria de datos es cuatro veces mayor que la velocidad por una de las líneas múltiplex. Después de la conmutación, el demultiplexor distribuye las señales de carácter nuevamente entre las cuatro líneas múltiplex de salida, con la velocidad binaria original. Por lo demás, el conmutador espacial - temporal funciona según el mismo principio que el conmutador temporal. Por lo tanto, también puede conmutar cada señal de carácter del lado entrante a cualquier intervalo de tiempo de cualquiera de las cuatro líneas múltiplex del lado saliente, sin que se origine ningún bloqueo (accesibilidad total).

La figura 16 muestra los símbolos usados para representar un conmutador espacial - temporal y sus parámetros.

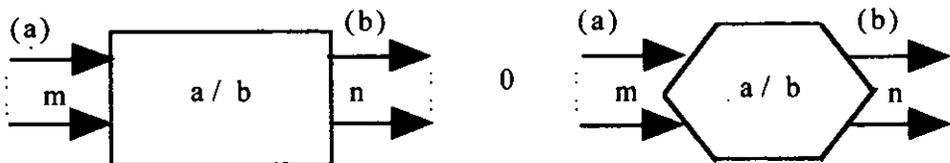


FIG 16 Símbolo del conmutador espacial - temporal (sin normalizar)

a = Número de intervalos de tiempo por cada línea múltiplex de entrada

b = Número de intervalos de tiempo por cada línea múltiplex de salida

m = Número de líneas múltiplex de entrada

n = Número de líneas múltiplex de salida

a y b así como m y n pueden ser iguales

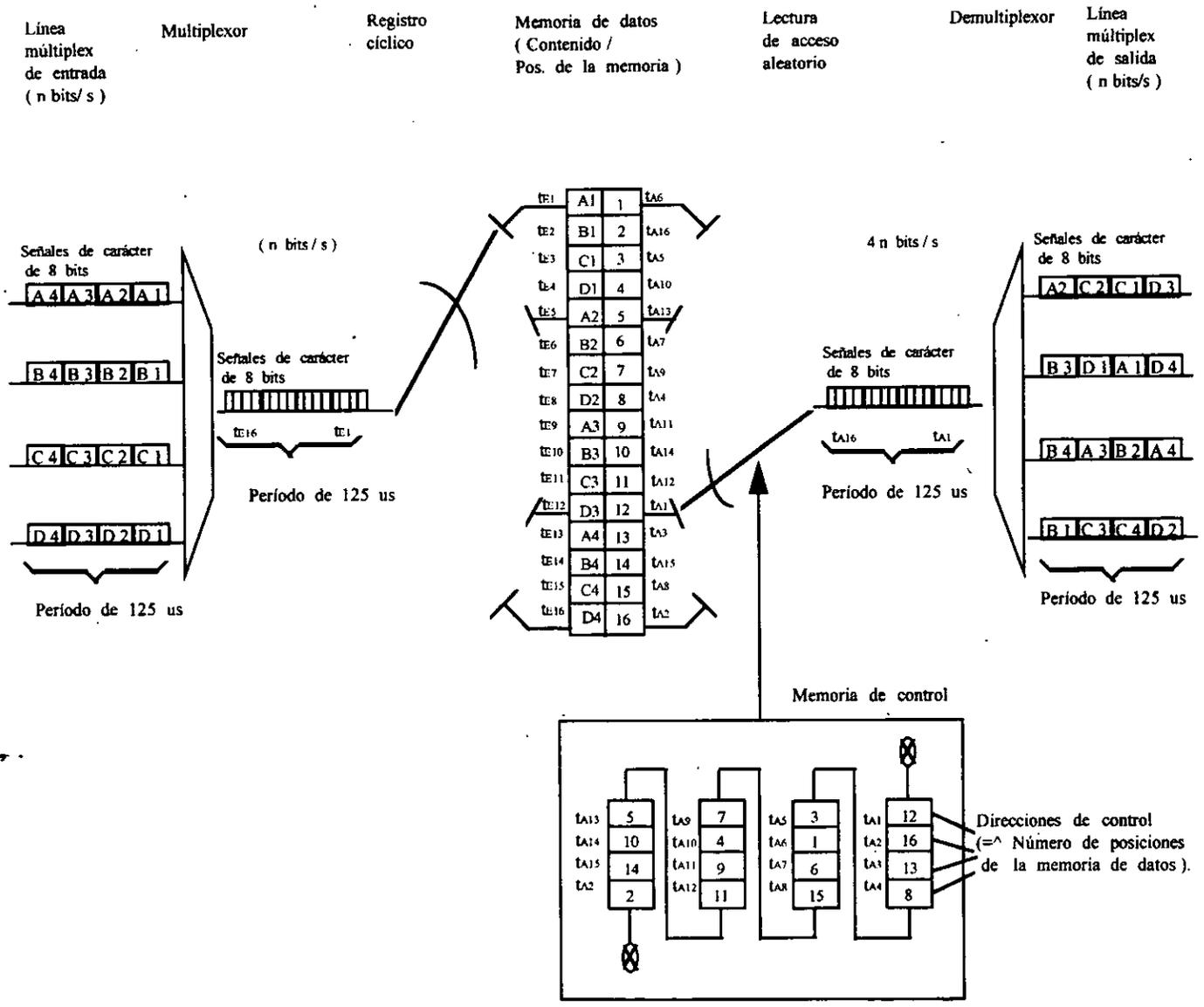


FIG. 15. Principio de funcionamiento del conmutador espacial - temporal

### 3.2 CONMUTADOR ESPACIAL

A diferencia del conmutador temporal, el conmutador espacial no permuta los intervalos de tiempo. Este puede conmutar cada una de las señales de carácter de 8 bits de las líneas múltiplex de entrada a cualquiera de las líneas múltiplex de salida, sin cambiar los intervalos de tiempo. Por consiguiente, las señales de carácter conservan sus intervalos de tiempo originales durante la conmutación y después de la misma, es decir, no experimentan retardo alguno. El único cambio que tiene lugar es su posición "espacial", es decir, cambian de línea múltiplex. La figura 17 muestra el principio del conmutador de espacio.

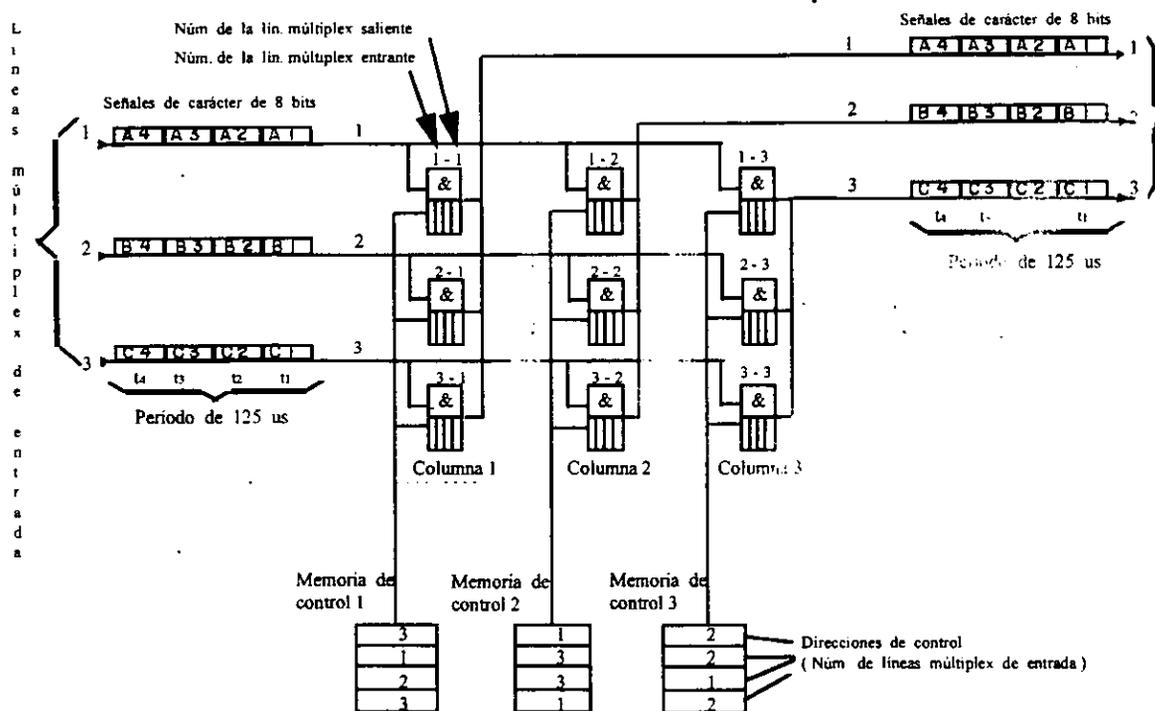


FIG. 17. Principio de funcionamiento del conmutador espacial

Para simplificar la explicación, en la figura sólo se consideran tres líneas múltiplex a la entrada y tres a la salida, y se muestran solamente cuatro señales de carácter por periodo de 125 us en lugar de las 32 acostumbradas. Por igual razón, en la red de conmutación sólo se ha representado una puerta Y por cada punto de conmutación. La muestra de las puertas Y conductoras cambian con cada intervalo de tiempo. En cada intervalo se establece un enlace, a través de una puerta Y, por cada línea múltiplex de entrada.

La puerta Y correspondiente se hace conductora 8,000 veces por segundo para un determinado intervalo de tiempo, mientras dura un enlace. En la figura 15, las puertas Y aparecen como conductoras en un determinado intervalo de tiempo. El ciclo completo (A1, A2, A3, A4) se repite 8,000 veces por segundo.

La secuencia exacta en la que las puertas Y han de conducir o bloquear viene indicada por una memoria de control en cada columna de la matriz, equivalente a cada línea múltiplex saliente). Las direcciones de control en la memoria de control designan la puerta Y que ha de hacerse conductora para cada intervalo de tiempo y dicha compuerta equivale a la línea múltiplex de entrada a conectar. La matriz representada en la figura 17, se controla de la forma como se muestra en la tabla 3.1.

Intervalo de tiempo	Puerta Y conductora	Lineas múltiplex conectadas	
		Entrantes	Salientes
t1	1_2	1	2
	2_3	2	3
	3_1	3	1
t2	1_1	1	1
	2_3	2	3
	3_2	3	2
t3	1_3	1	3
	2_1	2	1
	3_2	3	2
t4	1_2	1	2
	2_3	2	3
	3_1	3	1

Tabla 6

#### CARACTERISTICAS DEL CONMUTADOR ESPACIAL

- \* Proceso de conmutación: Las señales de carácter conservan sus intervalos de tiempo, pero pueden ser asignadas a cualquiera de las líneas múltiplex salientes.
- \* No hay bloqueos: En una disposición con  $m$  líneas múltiplex entrantes y  $n$  salientes, no existe bloqueo, aun cuando  $n$  sea mayor o igual que  $m$ .
- \* Accesibilidad total: Cualquier señal de carácter entrante puede ser conmutada a cualquier línea múltiplex saliente.
- \* Eficiente y pequeño: El conmutador espacial esta constituido por conmutadores electrónicos de integración en gran escala. Las puertas Y se usan de forma múltiple.

La figura 18, muestra los símbolos empleados frecuentemente para representar un conmutador espacial y sus parámetros.

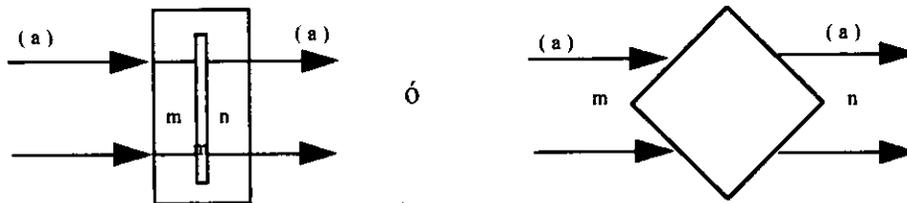


Fig. 18. Símbolos del conmutador espacial ( sin normalizar )

a = Número de intervalos de tiempo por cada línea múltiplex  
 m = Número de líneas múltiplex de entrada  
 n = Número de líneas múltiplex de salida  
 m y n pueden ser iguales

### DIFERENCIAS PRINCIPALES ENTRE EL CONMUTADOR TEMPORAL Y EL ESPACIAL

En las comunicaciones establecidas por un conmutador de tiempo, las señales de carácter cambian sus intervalos de tiempo a la entrada y a la salida, mientras que en comunicaciones por conmutadores de espacio, las señales de carácter cambian sus líneas múltiplex de entrada y de salida, pero conservan el mismo intervalo de tiempo.

### 3.3 MEMORIA DE CONTROL

A cada conmutador temporal y a cada columna de un conmutador espacial se le asigna una memoria de control ( referencia figuras 13, 15 y 17 ). Como memoria de control se emplea una memoria de acceso aleatorio conocida como RAM ( Random Access Memory) cuyo contenido puede modificarse cuando se desee.

Las direcciones de control se registran en determinadas posiciones de la memoria de control y se borran de otras a medida que lo vaya exigiendo el desarrollo de las comunicaciones. Las direcciones registradas indican las comunicaciones que han de establecerse y permanecen almacenadas en la memoria de control mientras duren las conversaciones respectivas.

Una memoria de control dispone de una posición para cada intervalo de tiempo del periodo de 125 us ( microsegundos ).

Cada posición de la memoria puede contener una dirección de la memoria de datos ( conmutador temporal ) ó de una línea múltiplex entrante ( conmutador espacial ). Durante un periodo de 125 us, todas las posiciones de la memoria de control se muestrean cíclicamente una vez y se leen las direcciones de control registradas en las mismas.

a ) En el conmutador temporal la dirección de control designa una determinada posición para la señal de carácter de 8 bits en la memoria de datos. En el caso de conmutadores temporales con registro ó escritura cíclica, la dirección de control indica en que posición de la memoria de datos ha de leerse la señal de carácter a transmitir. En los conmutadores temporales con lectura cíclica, la dirección indica en qué posición de la memoria de datos ha de escribirse la señal de carácter recibida.

b ) En el conmutador espacial la dirección de control designa una línea múltiplex de entrada. En la columna de la matriz ( equivalente a la línea múltiplex de salida ), una puerta Y se hace conductora, de manera que, durante el intervalo de tiempo en cuestión, la línea múltiplex de entrada direccionada está interconectada con la línea múltiplex de salida de la memoria de control.

### 3.4 EQUIPOS DE UNA CENTRAL DIGITAL

Los equipos de las centrales digitales efectúan dos tipos de funciones principales :

- \* Los equipos de conexión, adaptan los distintos tipos de líneas a las vías de conmutación digital.
- \* La red de conmutación digital, efectúa las interconexiones.

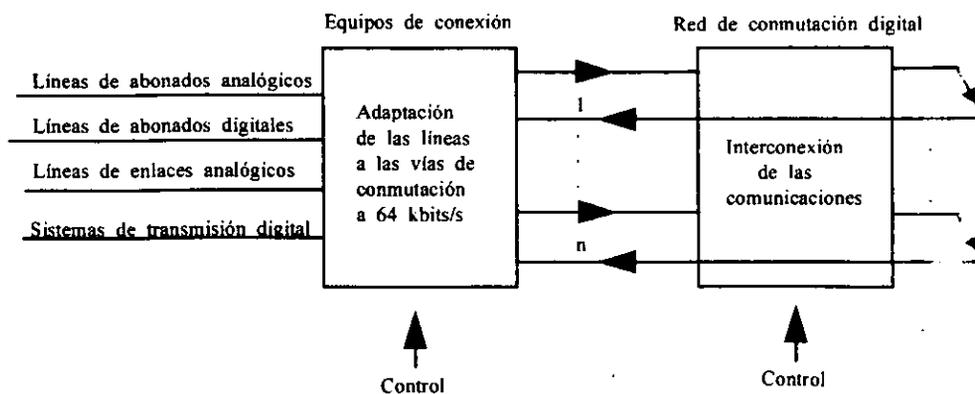


Fig. 19. Funciones de una central digital

Estos dos tipos de funciones son realizados por procesadores con control por programa almacenado SPC ( Stored Program Control ).

Los equipos de conexión y la red de conmutación digital están conectados entre sí mediante líneas múltiplex internas. Por cada línea múltiplex desde los equipos de conexión a la red de conmutación existe también otra línea múltiplex desde la red de conmutación a dichos equipos, lo que equivale a las dos direcciones de comunicación entre el abonado A al abonado B. Las señales procesadas por los equipos de conexión son insertadas como señales de carácter de 8 bits en los intervalos de tiempo de los periodos de 125 us y transmitidas a la red de conmutación. Cada señal de carácter ocupa un intervalo y las señales de carácter de una comunicación ocupan el mismo intervalo de tiempo en cada uno de los periodos consecutivos de 125 us de una línea múltiplex. Los restantes intervalos de tiempo de esta línea múltiplex pueden utilizarse para otras comunicaciones simultáneamente. La red de conmutación digital establece las comunicaciones asignando las señales de carácter a otros intervalos de tiempo y/o a otras líneas múltiplex y determina los intervalos de tiempo y líneas múltiplex en que han de transmitirse las señales de carácter a los equipos de conexión seleccionados mediante el proceso de conmutación. Las señales de carácter de una conversación vuelven a ocupar siempre los mismos intervalos de tiempo en cada uno de los periodos de 125 us de una línea múltiplex. Por consiguiente, los procesos de conmutación de la red digital se basan en dichos periodos, es decir, que tienen que repetirse cíclicamente cada 125 us, ó lo que es igual, 8,000 veces por segundo.

### 3.4.1 EQUIPOS DE CONEXIÓN

Los equipos de conexión sirven de enlace entre el entorno de la central digital y la central digital y la red de conmutación ( ver figura 19 ). Preparan las señales telefónicas procedentes de las líneas para su interconexión mediante la red de conmutación e, igualmente, convierten las informaciones interconectadas por la red de conmutación en la forma adecuada para su transmisión por las líneas salientes.

Las funciones que un sistema de conmutación digital ha de ser capaz de efectuar por cada línea de abonado analógico pueden expresarse mediante el término BORSCHT tomado de las iniciales de las palabras en inglés que designan a las distintas funciones.

A excepción de las conversiones analógico - digital y digital - analógico ( C, codec ), tales funciones ya son conocidas de la tecnología analógica. Sin embargo, en la técnica digital han de solucionarse de otra forma :

a) En los sistemas analógicos se utilizan contactos en los puntos de conexión de la red de conmutación. Dichos puntos pueden soportar corrientes relativamente altas. Por consiguiente, pueden ejecutarse las funciones siguientes de forma centralizada por la red de conmutación :

Alimentación ( B = Battery feed )

Llamada ( R = ringing )

Supervisión ( S = supervisión )

Acceso de prueba ( T = test acces )

Por el contrario, la red de conmutación en los sistemas digitales está formada por circuitos integrados que sólo permiten señales digitales, lo que obliga a que las funciones arriba citadas sean realizadas por separado para las distintas líneas de abonado.

b) Debido a la sensibilidad de los componentes electrónicos empleados en los equipos de conexión de los sistemas digitales, se necesita una protección especial contra sobretensiones ( O = overvoltage protección ).

c) Además de las señales telefónicas, los equipos de conexión también reciben las de señalización ( S = signaling ) que son procesadas para controlar el establecimiento de la comunicación.

d) Como la conversión analógica - digital y digital - analógica, se efectúa individualmente por la línea de abonado analógico, también se necesita un circuito híbrido ( H = hybrid ) para conversión de 2 a 4 hilos y viceversa, por cada línea bifilar.

La mayoría de estas funciones han de efectuarse también cuando se conecten líneas de enlace analógicas.

Las señales se transmiten en forma digital por las líneas de abonado y por las secciones de transmisión digitales, por lo que en los equipos de conexión se prescinde de las tareas de codificación y decodificación.

### 3.4.2. RED DE CONMUTACIÓN DIGITAL.

Las redes de conmutación digital se forman con conmutadores temporales, temporales - espaciales y espaciales, como los descritos anteriormente, dichos conmutadores pueden emplearse individualmente o combinados a voluntad. En la figura 20 se representa un conmutador temporal - espacial - temporal, empleado frecuentemente.

La combinación más conveniente en cada caso dependerá del concepto del sistema de conmutación y de la capacidad de la central.

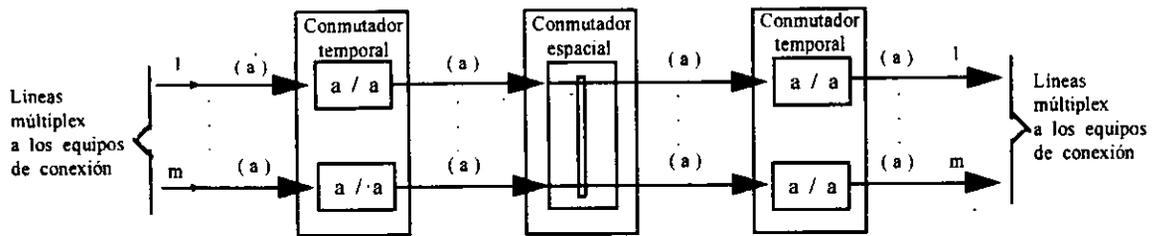


Fig. 20. Diagrama de bloques de una red de conmutación con un conmutador temporal - espacial - temporal

### 3.5 COMUNICACION ENTRE DOS ABONADOS

Toda comunicación tiene dos direcciones y, por lo tanto, para cada una de ellas han de interconectarse dos vías en la red de conmutación digital (dirección A hacia B y dirección B hacia A). Por consiguiente, las comunicaciones interconectadas digitalmente equivalen siempre a las de cuatro hilos en la tecnología analógica.

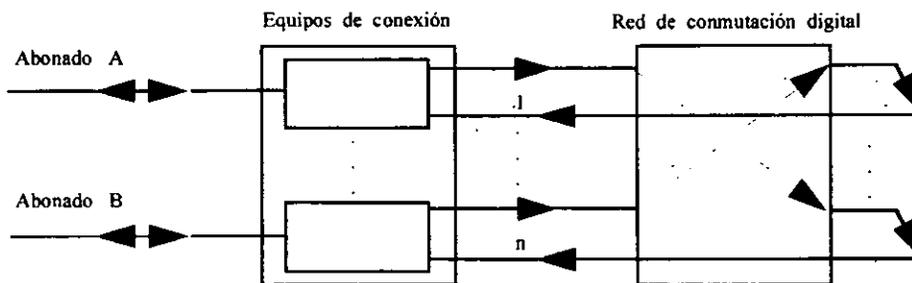


Fig. 21. Los dos enlaces para una comunicación entre el abonado A y el abonado B

La figura 21 muestra una comunicación entre los abonados A y B. Las señales de carácter de 8 bits de la línea de abonado A llegan a un intervalo de tiempo de la línea múltiplex 1 a la red de conmutación, donde son conmutadas a un determinado intervalo de tiempo de la línea múltiplex n y conducidas al equipo de conexión de la línea de abonado B. Las señales de carácter de la línea de abonado B llegan en este caso, por la línea múltiplex n, la red de conmutación y la línea múltiplex 1 al equipo de conexión de la línea de abonado A. Por consiguiente, durante la conversación del abonado A con el abonado B se interconectan dos vías de enlace en la red de conmutación, en cada periodo de 125 microsegundos.

En el momento en que termina la conversación, las dos vías establecidas en la red de conmutación se desconectan y los contenidos correspondientes de las memorias de control se borran. Los intervalos de tiempo que así quedan libres pueden volver a emplearse para otras comunicaciones.

### 3.6 SINCRONIZACION DE REDES DIGITALES.

Un elemento reloj suministra a la central digital los impulsos de temporización requeridos. Estos impulsos sincronizan todos los procesos de conmutación en los equipos de conexión y en la red de conmutación. La alta precisión del generador de impulsos de temporización es condición primordial para el funcionamiento de las centrales digitales en una red. Para conseguirla, se emplea una de las clases de servicio siguiente :

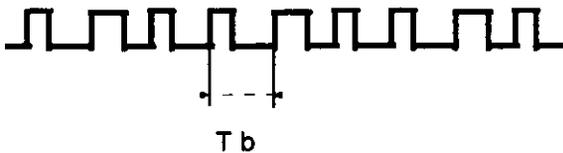
- \* Funcionamiento plesiocrono
- \* Sincronización despótica ( master - slave )
- \* Sincronización mutua.
- \* Combinación de sincronización despótica y mutua.

Todo sistema digital es gobernado por un reloj que proporciona pulsos rectangulares, cuyo ritmo es igual a la velocidad binaria del sistema.

Para el MIC T 1, el reloj se compone :

- de un cuarzo que oscila a la frecuencia 4096 khz.
- y de un divisor por 2.

El conjunto constituye una " base de tiempo" de frecuencia 2048 khz + 102 Hz.



Tiempo binario = 488 ns.

Para los enlaces digitales en servicio internacional, el CCITT recomienda el funcionamiento plesiocrono en el que la inexactitud de frecuencia no será superior a  $1 \times 10^{-11}$ .

Teóricamente, esto significa que, como máximo, puede producirse un deslizamiento de una trama completa con 30 ó 24 canales telefónicos por central, alrededor de cada 70 días. La misma inexactitud de frecuencias se recomienda también para las redes nacionales participantes.

Este alto grado de precisión se ha establecido para satisfacer los requerimientos de los servicios de transmisión de datos. Por consiguiente, sólo es necesario en las redes digitales de servicios integrados (ISDN = Integrated Service Digital Network).

## SISTEMAS DE TRANSMISION DIGITAL DE ORDEN SUPERIOR

## 4.1 CODIGOS DE TRANSMISIÓN

Las señales MIC u otras señales digitales se generan en los equipos, la mayoría de las veces como señales de salida que provienen de circuitos integrados ( por ejemplo de silicio ), presentándose, por lo tanto, como señales binarias con "niveles lógicos" de los circuitos en cuestión ( por ejemplo : CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor, TTL = Transistor - Transistor Logic ). Para su transmisión estas señales tienen que ser convertidas en la forma adecuada ( aunque sea solamente a través de "una línea de interfaz " entre dos equipos que pudieran estar en un mismo edificio ). Los requisitos más importantes son los siguientes ( para la transmisión eléctrica ) :

- \* que no haya tensión o corriente continua y que las componentes de baja frecuencia sean lo menor posibles, para que puedan intercalarse transformadores en la vía de transmisión de la señal .
- \* mantener el espectro de la señal en las frecuencias más bajas posibles, para que la atenuación en el canal sea pequeña.
- \* que haya la posibilidad de transmitir secuencias de bit discrecionales ( por ejemplo, incluso secuencias prolongadas de ceros ), es decir, que exista lo que se llama independencia de la secuencia de bits ( bits sequence independence ) o transparencia de bits.

Las señales binarias, como son entregadas por los circuitos lógicos ( fig. 4.1a ), no cumplen estos requerimientos, por lo que se han implantado o introducido otros códigos de transmisión :

Código AMI ( Alternate Mark Inversión ). En este código se transmite cada "1" como impulso; cambiando o alternando la polaridad de impulsos consecutivos, los valores binarios "0" se reproducen como pausas ( fig. 4.1b ). El código AMI se utiliza especialmente en Norteamérica en gran medida para la transmisión de señales multiplexadas con 1.544 kbits / s. Pero no cumple el requerimiento de la transparencia de bits o de la independencia de la secuencia de bits, que ha sido formulada en relación con la RDSI ó ISDN .

Códigos HDBn ( High Density Bipolar of order n ). Estos códigos son "códigos AMI modificados", en los cuales la regla de la alternancia de polaridades de impulsos consecutivos es violada intencionalmente: en el caso de que en la señal binaria se presenten más de n bits cero consecutivamente, se inserta un impulso V ( impulso de violación "violation pulse" ) que tiene la misma polaridad que tenga el precedente ( fig. 4.1c) .Para lo cual se sustituyen n + 1 bits "0" ó bien por n bits "0" con el impulso V siguiente o por impulsos AMI B + ( n - 1 ) bits "0" + el impulso V ; un ejemplo para el código HDB3 nos lo muestra la figura 4.1c. La aplicación de ambas variantes - aquí 000V ó B00V - tiene lugar de tal forma que la polaridad del impulso V es alternativa. Mediante el impulso V se consigue que un receptor de señales pueda extraer también el reloj incluso durante secuencias de ceros prolongadas, de tal forma que se cumpla la transparencia de la secuencia de bits ( secuencia binaria ).

El código HDB3 es el código interfaz para los 2.048, 8.448 y 34.368 Mbits / s y es utilizado también en las rutas con cables simétricos a 2.048 Mbits / s como código de transmisión ó código de línea.

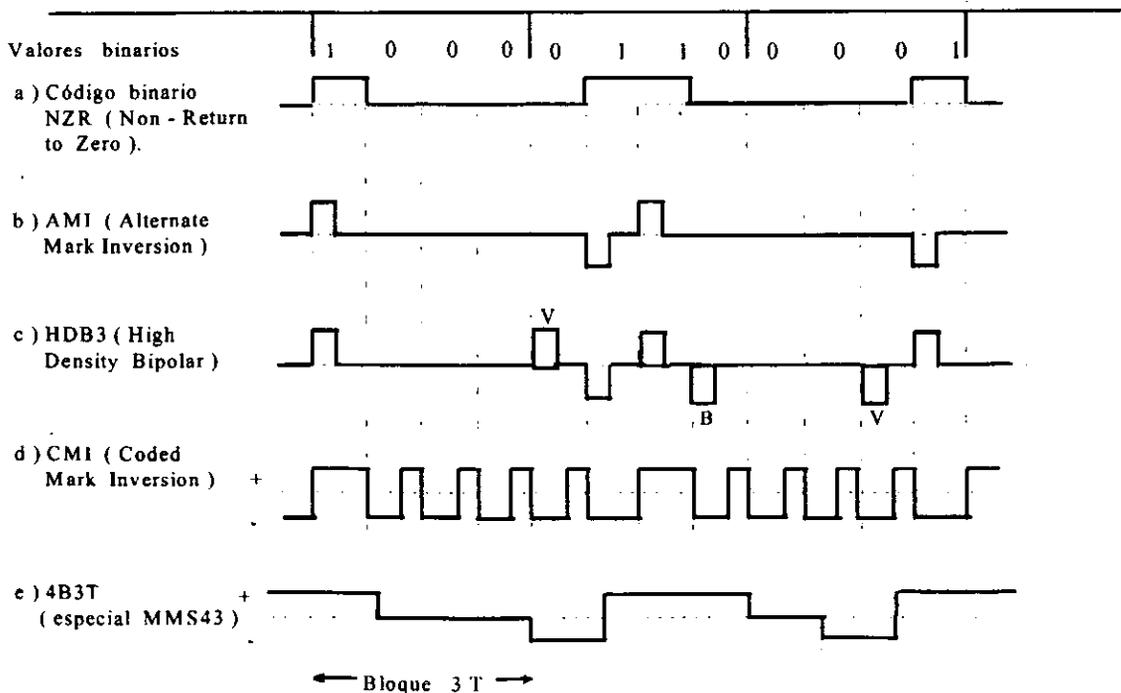


Figura 4.1. Código binario y otros códigos de transmisión AMI, HDB3 y CMI están normalizados por el CCITT.

El código HDB2 (denominado en los Estados Unidos B3ZS) es el código de interfaz para los 44.736 Mbits/s.

Códigos BnZS (Bipolar with n Zeros Substitution) son otros códigos en los cuales se sustituyen grupos de n bits "0" por grupos con elementos de señal que contienen impulsos V; son utilizados:

- \* el B6ZS en los Estados Unidos como código de interfaz para los 6.312 Mbits/s; en este código se sustituyen  $6 \times 0$  por  $0+ - 0 - +$  (donde "+" representa a un impulso positivo, y "-" a un impulso negativo), en el caso de que el impulso precedente fuese positivo y por  $0 - + 0 + -$  si fuese negativo.
- \* el B8ZS como interfaz y código de línea para los 1.544 Mbits/s y en el Japón también como código de interfaz para los 6.312 Mbits/s. En este caso se sustituye  $8 \times 0$  por  $000+ - 0 - +$ , en el caso de que el impulso precedente fuese positivo y por  $000 - + 0 + -$  si éste fuese negativo.

Código CMI (Coded Mark Inversión). Es un código de interfaz binario (fig. 4.1d), en principio para los 140 Mbits/s, en el cual los bits "1" alternan en su polaridad, mientras que los bits "0" son negativos en la primera mitad del intervalo de tiempo del bit y positivos en la segunda mitad.

Código 4B3T. En este código se reemplaza un grupo de cuatro bits por tres elementos de señal ternarios, para desplazar el espectro de la señal hacia frecuencias más bajas. Se utilizan para la transmisión en líneas coaxiales (por ejemplo, con los 34 Mbits/s). Hay diferentes variantes; para una de estas variantes (código MMS43) la figura 4.1e nos muestra un ejemplo de la conversión del código binario en el código de línea.

Código 5B / 6B. Las fibras ópticas tienen otros requerimientos puesto que en ellas se presentan solamente dos estados de la señal (hay luz / no hay luz). El código de línea que se emplea para este caso es el 5B / 6B, con el cual se puede conseguir la transparencia de bits así como depositar informaciones adicionales de supervisión: cada 5 bits de la señal binaria original son sustituidos por 6 bits de la señal de línea NRZ.

El CCITT ha normalizado solamente códigos de interfaz, porque para ellos es deseable una normalización, derivada del interés que hay para que se puedan realizar conexiones flexibles entre las líneas de interfaz.

## 4.2 ESTRUCTURAS JERARQUICAS

Con la aparición de nuevos y mejores medios de transmisión, actualmente se dispone de grandes anchos de banda para el manejo de señales eléctricas.

Medios de transmisión tales como el cable coaxial, la fibra óptica ó los sistemas de microondas y satelitales permiten la utilización de sistemas PCM basados en el multiplexaje de los sistemas PCM de primer orden.

En el CCCITT se han definido diferentes sistemas jerárquicos de multiplexaje para PCM que permiten hacer uso óptimo de los medios de transmisión al manejar grandes cantidades de información, según las diferentes necesidades y aplicaciones.

La tabla 4.1 indica los sistemas de transmisión de orden superior recomendados por el CCITT .

	Número de canales telefónicos	Velocidad ( binaria *) kbits/s	Factor
Basados en el sistema de transmisión PCM 30	30	2,048	1.
	120	8,448	4
	480	34,368	4
	1,920	139,264	4
Basados en el sistema de transmisión PCM 24	24	1,544	1.
	96	6,312	4
	480 ( Japón )	32,064	5
	ó 672 ( EE.UU. )	44,736	7
	1,440 ( Japón )	97,728	3
ó 4,032 ( EE.UU. )	274,176	6	

( \*) Información útil y señal de alineación de trama, señal de alineación de multitrama, señal de alarma, señalización y servicio de justificación

TABLA 4.1. Jerarquias de los sistemas de transmisión digital

Los sistemas de transmisión son tanto más rentables cuando mayor número de canales telefónicos pueden agrupar. Por ello las señales a transmitir se agrupan escalonadamente y, en caso necesario, pueden puentearse y distribuirse en el nivel de agrupamiento respectivo ( nivel jerárquico ). Las estructuras de multiplexado que se originan con ello se fundamentan en el sistema MIC básico.

A partir de 1962 se introdujo en los Estados Unidos, y posteriormente también en Japón, un sistema básico MIC de 24 canales, mientras que, a partir de 1968, Europa se puso de acuerdo en un sistema para 30 canales. Sobre él se estructura la jerarquía de niveles. En la mitad superior de la figura 4.2 se pueden ver los equipos de multiplexado y los equipos de conmutación para los niveles jerárquicos individualmente, desde 2 Mbits / s hasta 140 Mbits / s; en la mitad inferior se han indicado los medios de transmisión que, en función de la velocidad binaria de la señal digital, son los más adecuados.

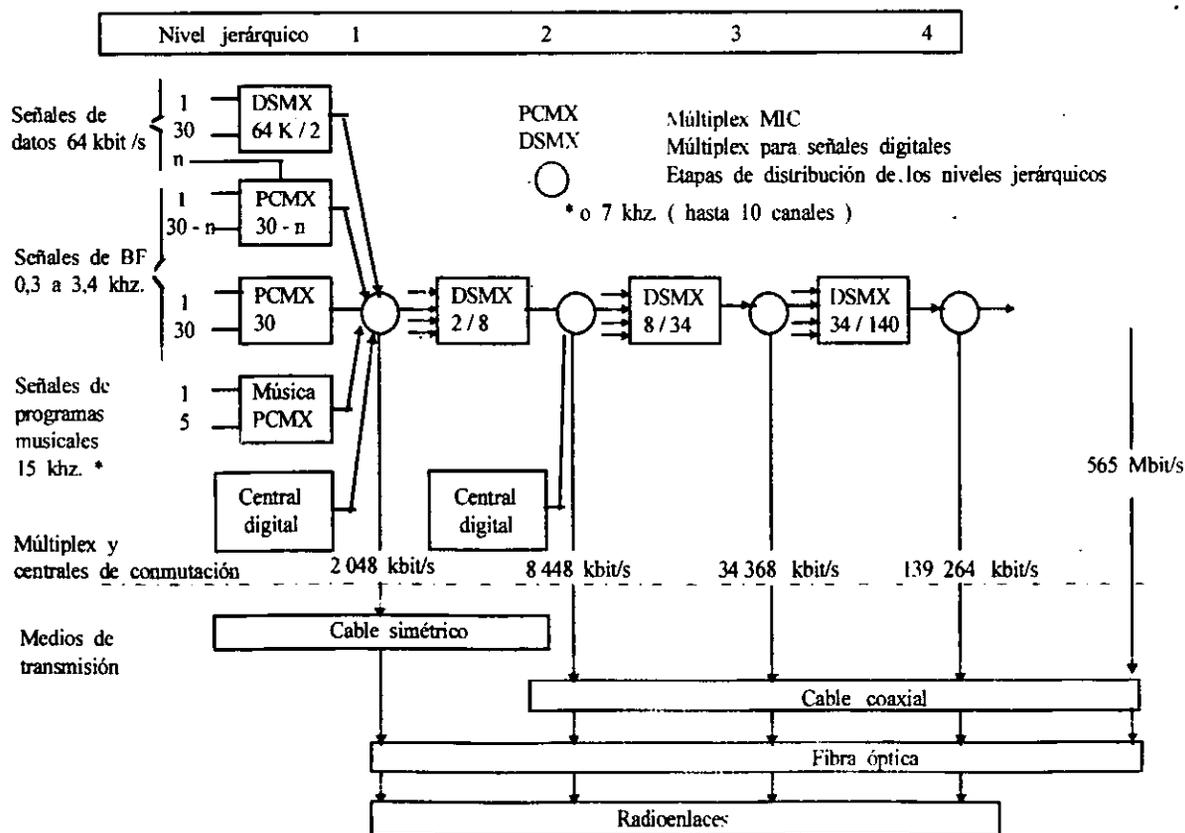


Figura . 4.2 . Estructura jerárquica y medios de transmisión de los sistemas de transmisión digitales desde 2 hasta 565 Mbit/s

La aplicación más importante de la transmisión MIC es utilizar de forma múltiple rutas de transmisión mediante procedimientos de multiplexado temporal - TDM ( Time División Multiplex ) -. A las señales telefónicas que se van a agrupar se les asignan intervalos discretos en el tiempo ( intervalos de tiempo ) dentro de una trama de impulsos y luego se transmiten en canales de tiempo ( canales temporales ) en la jerarquía respectiva. Se diferencian los siguientes procedimientos de multiplexado :

- \* el multiplexado MIC, que combina MIC ( PCM ) con TDM para formar una señal digital multiplexada de salida a partir de varias señales de entrada analógicas: y
- \* el multiplexado de señales digitales, que agrupa o segrega señales de entrada y salida de velocidades binarias más bajas en una señal con una velocidad binaria más elevada.

#### 4.2.1 FORMACION DEL MULTIPLEXADO MIC

Después de la codificación en el origen de la señal se dispone de una palabra de código de 8 bits a una frecuencia de 8 khz para la transmisión digital por cada señal telefónica. Para obtener un rendimiento más elevado de los medios de transmisión se transmiten varias señales en un múltiplex de tiempo ( TDM ), en el cual las palabras de código se entrelazan primeramente en forma temporal o en tiempo ( fig. 4.3 ) y se agrupan en una trama de impulsos. La figura 4.4 nos muestra la trama de impulsos de la jerarquía de 2 Mbits/s para el sistema MIC 30 con 32 intervalos temporales - contados desde el 0 hasta el 31 - en cada uno de los cuales tiene lugar una palabra de código de 8 bits. Además de los 30 intervalos de tiempo para las 30 señales telefónicas, hay adicionalmente un intervalo de tiempo 0 para la palabra de alineamiento de trama ó para la palabra de alarma y un intervalo de tiempo 16 para la información de la señalización ( que proviene de los abonados ). La trama tiene 256 bits y se repite a una frecuencia de 8 khz ( 125 us ).

En el lado de recepción tiene lugar una sincronización de tramas para conseguir una distribución inequívoca de la señal digital. Para ello, y al comienzo de cada una de las tramas primera, tercera y quinta, se presenta la palabra de alineamiento de trama con una muestra fija de 7 bits.

Durante el proceso de sincronización se explora la corriente o el flujo de bits primeramente bit a bit buscando esta muestra. Una vez que se ha encontrado, se continúa

contando toda la trama ( 256 bits ) y, por lo tanto, se prueba si el segundo bit de la palabra de código que sigue a ella - tiene que ser la palabra de alarma - es un estado lógico 1 . En caso de que no ocurra de esta manera, se hace una interrupción y se vuelve a explorar nuevamente bit a bit en busca de la muestra que forma la palabra de alineamiento de trama. Solamente cuando la muestra de bits o la muestra binaria se ha detectado, esta vez de una forma completa, se permite en el sistema de multiplexado la transmisión.

De forma inversa, la transmisión se bloquea y se inicia el proceso de sincronización, cuando se encuentren tres o cuatro palabras de alineamiento de trama consecutivamente erróneas. A partir de esta supervisión continua de la palabra de alineamiento de trama, se obtiene una afirmación sobre la calidad de transmisión de la ruta y de la tasa de bits de error implícita en ella.

En el intervalo de tiempo número 16 se transmite la información de señalización perteneciente a los canales telefónicos. A un canal telefónico se le asignan 4 bits del intervalo de tiempo 16 y, por lo tanto, por cada trama solamente se puede transmitir la información de señalización de 2 canales telefónicos. Por este motivo el intervalo de tiempo número 16 está insertado o forma parte de una multitrama ( trama de impulsos de señalización ) que comprende los 16 intervalos de tiempo número 16 ( fig. 4.5 ).

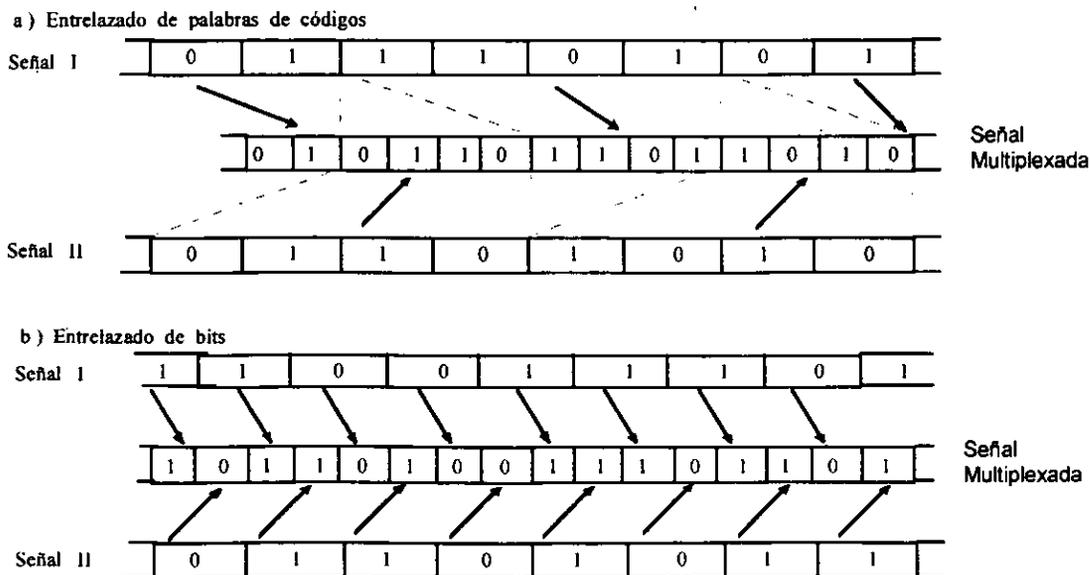


Figura 4.3 Formas de entrelazado en múltiplex temporal

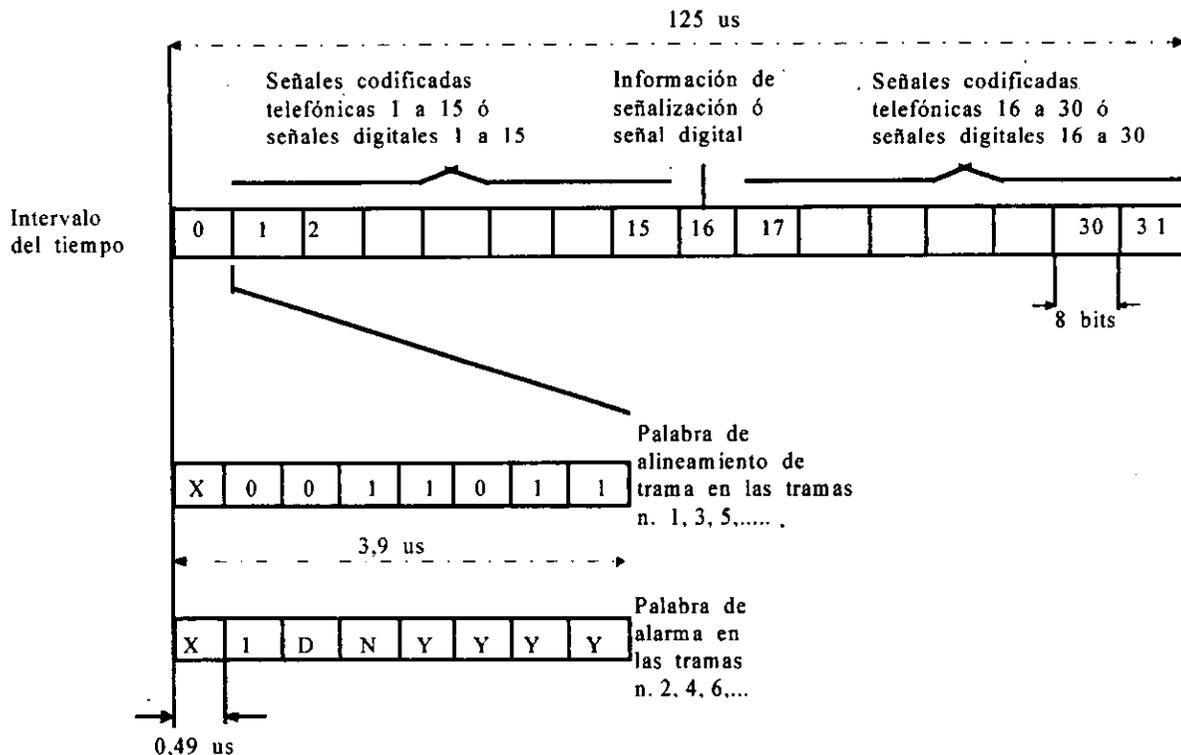


Figura 4.4 Trama de impulsos para señales a 2 Mbits/s (Recomendación G. 704 del CCITT).

## PROCEDIMIENTO DE MULTIPLEXADO DE SEÑALES DIGITALES

Las señales de los equipos de multiplexado MIC y de otras fuentes de señales digitales pueden agruparse en velocidades binarias más elevadas de los niveles jerárquicos inmediatos, es decir, estos equipos de multiplexado disponen ya de señales de entrada digitales, procedentes de los sistemas tributarios o sistemas jerárquicos inferiores. En la jerarquía de multiplexado de señales digitales se agrupan respectivamente 4 señales digitales - según la norma que es usual también en Europa - en una nueva señal de multiplexado.

En este contexto hay que tener en cuenta que las velocidades binarias de los cuatro sistemas tributarios tienen un margen de tolerancia de  $2.048 \pm 5 \times 10^{-5}$  Mbit/s, por lo que no son sincronas y atendiendo a la definición, se puede decir que son plesiócronas. Para la adaptación de estas cuatro señales plesiócronas al reloj del sistema del equipo multiplexor se hace uso de un sistema de justificación por impulsos positivos (justificación positiva).

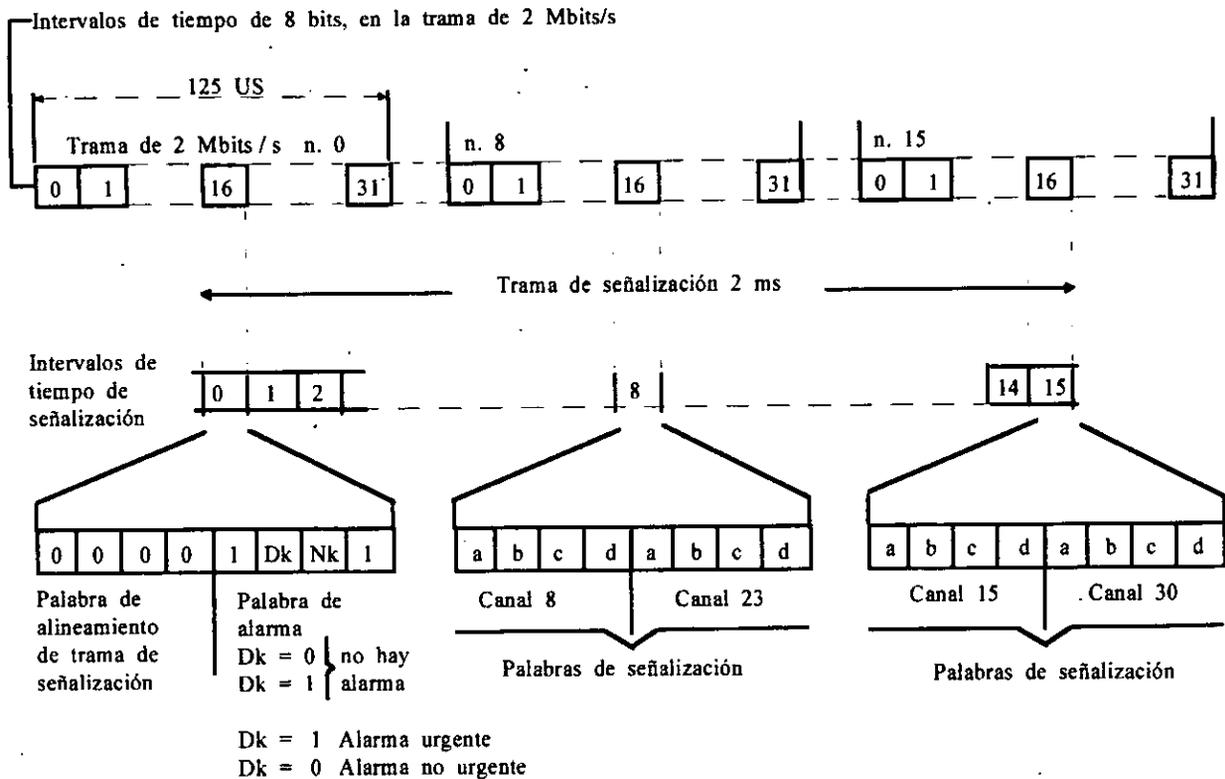


Figura 4.5 Trama de señalización

### 4.3 PROCEDIMIENTO DE JUSTIFICACION POSITIVA (RELLENO POSITIVO).

La justificación positiva es un procedimiento para la transmisión sin interferencias de una señal digital, con otra velocidad binaria que no sea la suya original. En la justificación positiva se pone a disposición de una señal de entrada un canal de transmisión cuya capacidad, condicionada por el sistema, es mayor (alrededor de 0.2 %) que la velocidad binaria nominal de la señal de entrada. (La expresión justificación positiva o relleno positivo se ha originado en analogía con el lenguaje usual en las imprentas, en las que para cuadrar un texto, y que tenga la misma longitud exacta de renglones, se insertan espacios intermedios).

De los tres sistemas de justificación diferentes que se desarrollaron, la mayoría de empresas telefónicas utilizan habitualmente el sistema de justificación positiva para sus equipos de multiplexado de señales digitales.

El principio es el siguiente ( fig. 4.6 ). A partir de la señal entrante, se recupera el reloj respectivo y con ello se inscribe la señal digital en la memoria tampón . En la memoria tampón es posible la simultaneidad del proceso de escritura y lectura. La frecuencia de lectura que se obtiene del multiplexor condicionada por el sistema, se elige más rápida de lo que pueda ser la frecuencia del sistema tributario - teniendo en consideración todas las tolerancias y pausas del reloj, en lo que se refiere a la formación de la trama - . Con una frecuencia del reloj más elevada queda asegurado que se puedan transmitir todos los bits entrantes. A causa de esta lectura sistemática más veloz, se presenta inmediatamente la situación en la que habría que leer datos, aunque no haya nuevos datos inscritos. Para evitarlo se comparan en un circuito las direcciones de lectura y escritura. En el caso de que la dirección de lectura alcance o adelante a la dirección de escritura se inserta, mediante el circuito comparador, un hueco en la frecuencia del reloj de lectura, por cuyo motivo la dirección de lectura no continúa transfiriendo y la dirección de escritura que sigue activa obtiene nuevamente un adelanto ( salto ).

Sin embargo, la transferencia hacia la ruta de transmisión tiene que seguir en forma continuada; por consiguiente, se inserta un bit de relleno para la transmisión que carece de información. De esta forma, a modo de ejemplo y explicado de una manera sencilla, el bit precedente que está aplicado a la salida de la memoria tampón, se inserta de nuevo.

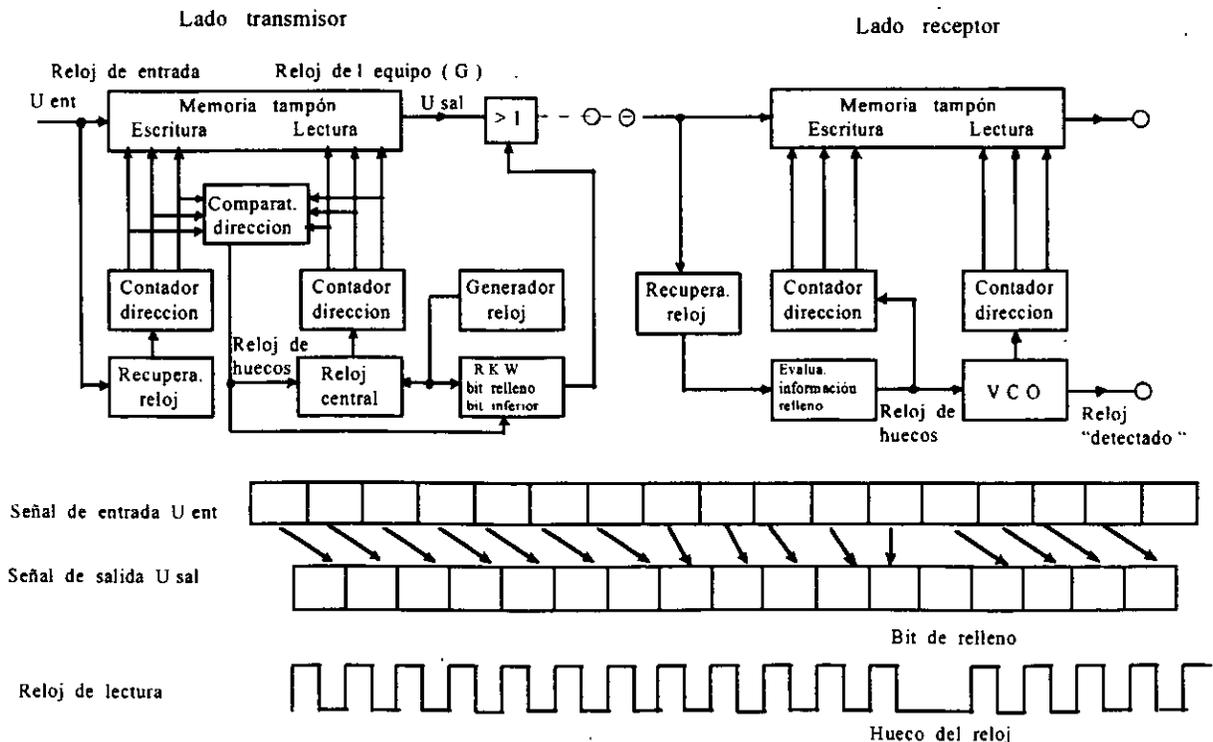


Fig. 4.6. Principio de la justificación positiva

De cualquier forma este *bit de relleno* no aporta información útil. La certeza de que un bit determinado es un bit de relleno ha de serle comunicada al puesto colateral mediante la *información de relleno*. Esta información es evaluada allí, configurándose el hueco en el punto correcto, con lo que se impide la escritura en la memoria tampón. Adicionalmente, el contador de dirección de escritura no sigue contabilizando.

Para la transferencia de la señal a través de la ruta de transmisión, la frecuencia del reloj no debe de presentar ningún hueco. Con un oscilador ( VCO ) de banda estrecha controlado por tensión se determina el hueco en la frecuencia del reloj. Las oscilaciones residuales en la frecuencia del reloj se denominan jitter ( fluctuaciones de fase ). La frecuencia del reloj en el lado de recepción sigue a la del lado de transmisión siendo, por lo tanto, independiente de la frecuencia de la ruta de transmisión.

#### 4.3.1 TRAMA DE IMPULSOS .

El transmisor informa continuamente al receptor si ha tenido lugar la justificación y de que forma, mediante dígitos de servicio de justificación. Los dígitos de servicio de justificación se necesitan para revertir la justificación en el receptor y recuperar así las señales originales. Se dispone de capacidad de transmisión adicional para los dígitos de servicio de justificación. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 4.7

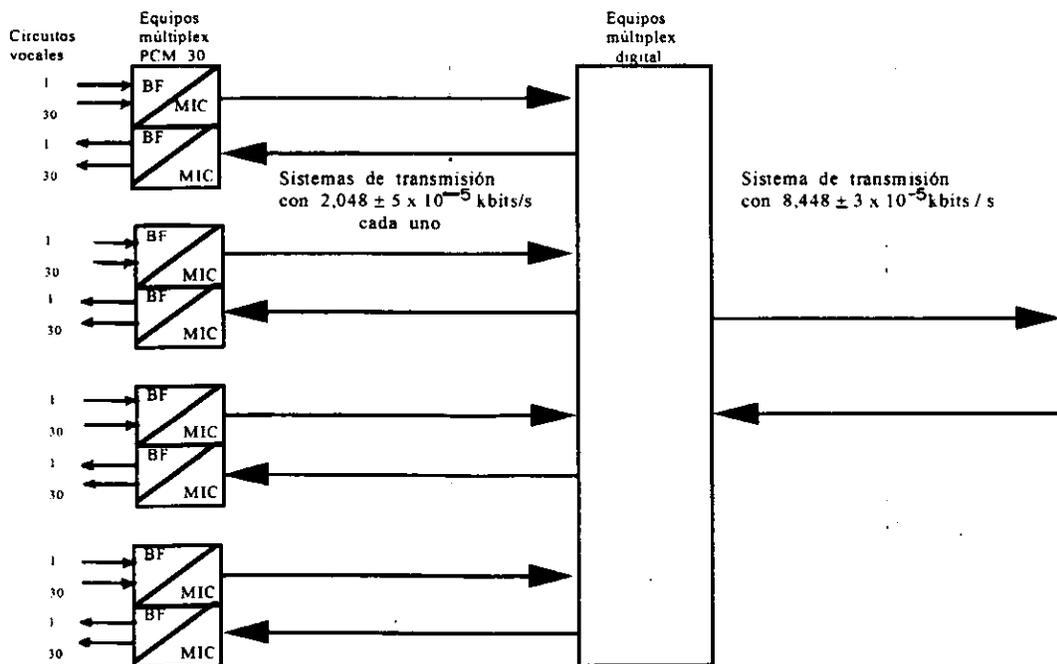


FIGURA 4.7. Entrelazado de cuatro sistemas de transmisión de 30 circuitos vocales cada uno, formando otro de 120 circuitos.

La idea es combinar cuatro sistemas de transmisión PCM 30 plesiocronos para que resulte un sistema de transmisión para 120 circuitos telefónicos. Cada uno de los cuatro sistemas PCM 30 opera a una velocidad binaria nominal de 2,048 kbits/s, pero debido a la tolerancia del generador de temporización (por ejemplo,  $5 \times 10^{-5}$ ), puede diferir del citado valor nominal en el equipo múltiplex MIC respectivo. Por consiguiente, es necesario que exista una justificación para combinarlos en un sistema de transmisión de orden superior. En consecuencia, la velocidad binaria del sistema de orden superior no es cuatro veces la velocidad de uno de los sistemas de transmisión PCM 30 ( $4 \times 2,048 \text{ Kbits/s} = 8,192 \text{ kbits}$ ) sino que es 8,448 kbits/s. Los 256 kbits/s adicionales se usan para transmitir los dígitos de justificación y las señales de alineación de trama para el sistema de transmisión de orden superior.

En el nivel jerárquico de los 8 Mbits/s se agrupan cuatro señales con las velocidades binarias de 2,048 Mbit/s en una señal conjunta de 8,448 Mbit/s. Para una diferenciación expresa de los cuatro canales tributarios se ha dotado también a esta señal múltiplex digital de una trama de impulsos, normalizada por el CCITT (fig. 4.8), en la que se reflejan los requisitos específicos del procedimiento de justificación positiva.

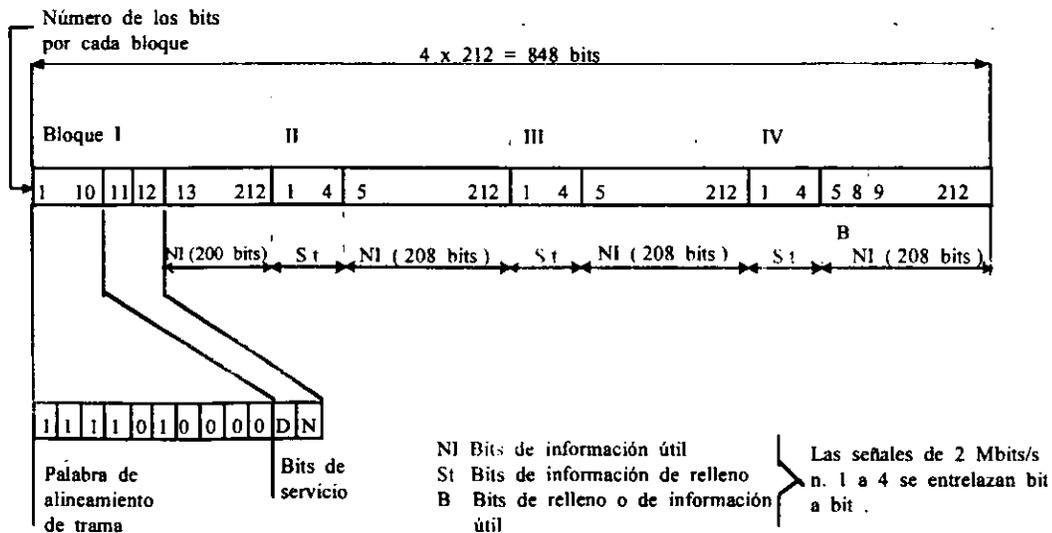


Figura 4.8 Trama de impulsos para señales de 8 Mbits/s .  
(Recomendación G. 742 del CCITT).

Se ha convertido una trama de impulsos con 848 bits de forma que se pueda dividir en cuatro bloques conteniendo cada uno 212 bits. Al comienzo del primer bloque se

encuentra la palabra de alineamiento de trama con una muestra fija de 10 bits, seguida de dos bits de servicio. El bit 13 es el primer bit útil, y precisamente proviene del sistema tributario número 1, el bit 14 es un bit útil procedente del sistema tributario número 2 y así sucesivamente. En este caso, así como en todos los casos de multiplexado de señales se entrelazan o intercalan bit a bit. Al comienzo del segundo, tercero y cuarto bloque se presenta, por cada uno de ellos, un grupo de 4 bits que contienen la información de relleno. En el bloque cuarto se añade inmediatamente otro grupo de 4 bits que, en caso de necesidad, pueden ser definidos como bits de relleno.

El primer bit de cada grupo de cuatro pertenece al sistema tributario número 1, el segundo bit al sistema tributario número 2 y así sucesivamente. Solamente se puede definir un bit determinado como bit de relleno por cada sistema tributario dentro de una trama de impulsos. En el caso de que los tres bits de información de relleno respectivos se hayan activado previamente a 111, entonces el bit que podría ser de relleno no contiene ninguna información útil; en el caso de que estuvieran activados a 000, entonces el bit que podría ser de relleno contiene información útil. La información de relleno se transmite de esta forma asegurada por triplicado. En el lugar de recepción se aplica la decisión múltiple, puesto que una interpretación errónea de la información de relleno tendría amplias consecuencias: se transmitiría no solamente un bit erróneo o bien se omitirían un bit útil, sino que todos los bits útiles que siguieran estarían desplazados temporalmente en una posición binaria. Por esto en la práctica quedan interferidos todos los canales en el sistema tributario afectado; la palabra de alineamiento de trama aparece en una posición errónea, el sistema tributario tiene que sincronizarse nuevamente y permanece durante este tiempo bloqueado.

En un equipo de multiplexado digital el proceso de sincronización se da por finalizado cuando se han detectado como correctas tres palabras de alineamiento de trama inmediatas consecutivas. El sistema no se considera sincronizado si hay cuatro palabras de alineamiento de trama erróneas.

#### 4.3.2 JITTER DE DEMORA.

Se denomina jitter a las oscilaciones de los instantes significativos (flancos de la señal) de una señal digital alrededor del instante significativo ideal, la mayoría de las veces equidistantes; en un sentido estricto son fluctuaciones de fase, con frecuencias aproximadamente por encima de 0,01 Hz. El jitter se origina principalmente debido a efectos de tensiones perturbadoras, a justificaciones, a procesos de auto-oscilación en los

sistemas de sincronización y a recuperación incompleta del reloj. De esta forma y a modo de ejemplo, se origina un jitter de ruta debido a una recuperación incompleta del reloj en la regeneración de las señales digitales distorsionadas que se realiza en los tramos de la ruta de transmisión. Los multiplexores de señales digitales ocasionan además un *jitter de demora* en la señal saliente en el sistema tributario, que depende de la estructura de la trama de impulsos y del proceso de relleno (justificación). A continuación se profundizará más en el jitter de demora.

Las frecuencias del reloj en los canales individuales tienen diferentes huecos después de la evaluación de los bits de información de relleno. Cada canal tiene un gran hueco de 3 bits por trama de impulsos - en este tiempo se ha transmitido la palabra de alineamiento de trama - y otros huecos que proceden de los bits de información de justificación, en intervalos de 50, 52 y 52 impulsos de reloj. Si en estas tramas de impulsos se hubiese realizado una justificación por relleno, entonces el último hueco en la trama sería de 2 bits de anchura. En la figura 4.9 se ha representado esta frecuencia de huecos en forma esquemática, sobre la trama de impulsos. Al representar la "diferencia de fase" (un período es un bit) entre la dirección de escritura y de lectura de la memoria tampón, se hace evidente el proceso de impulsos y el temblor en la señal del reloj que va implícito en él.

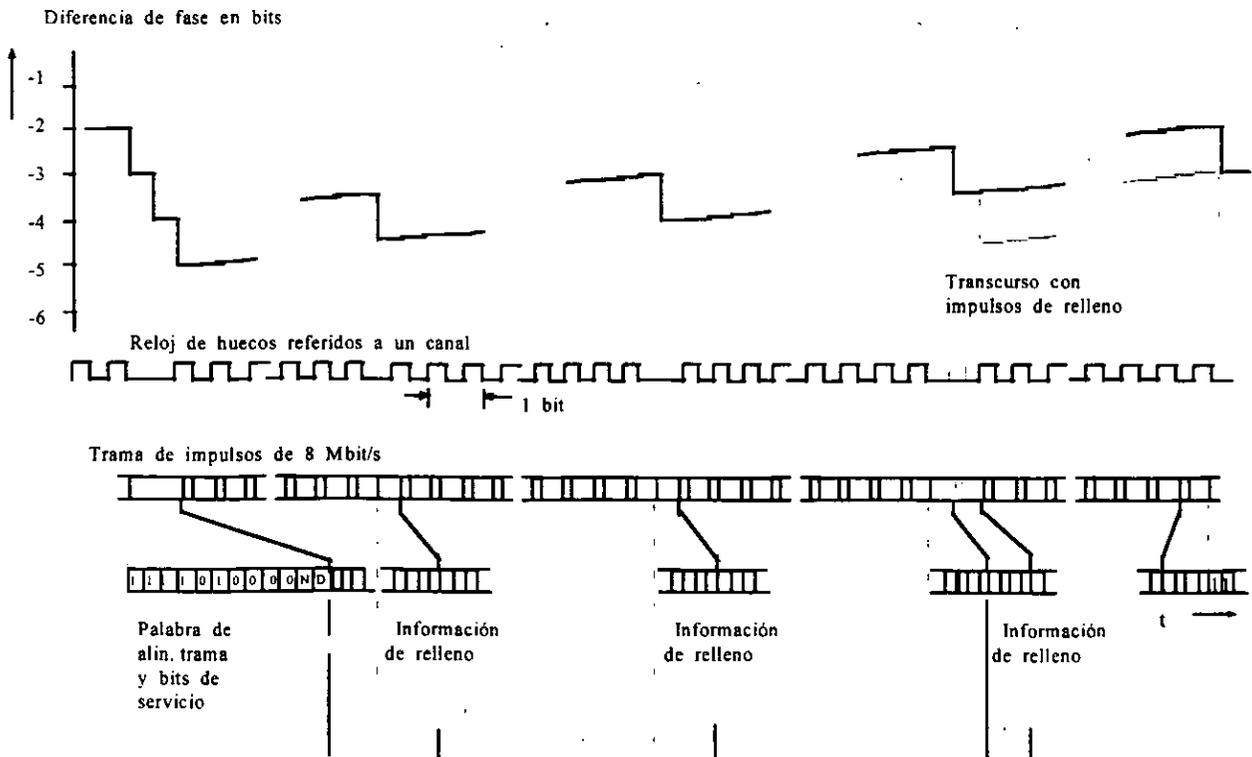


Figura 4.9 Jitter de demora

Cuando el reloj del equipo multiplexor tiene su valor nominal de 8,448 Mbits/s, pueden transmitirse por sistema tributario y trama impulsos 212 bits. En este caso la duración de la trama de impulsos es de 100,379 us. Durante este tiempo un sistema tributario - con una velocidad binaria de 2,048 Mbit/s - escribirá en la memoria tampón 205,5762 bits. El reloj del multiplexor es aproximadamente 6,4238 bits más rápido que el sistema tributario por cada trama de impulsos. Seis bits se compensan con la frecuencia del reloj de huecos que siempre está presente. Si no hubiese justificación o relleno se leerían 0,4238 bits más por cada trama de impulsos que, a su vez se inscribirían, por lo que se efectúa justificación en el 42,38 % de todas las tramas de impulsos en las figuras 4.9 y 4.10 se muestra la diferencia de fase respectiva entre la dirección de escritura y lectura. La dirección de lectura tiene que retrasarse siempre por "detrás" de la dirección de escritura, por lo que la diferencia de fase siempre es negativa. Si la diferencia es menor que 2 bits, se hace un requerimiento de justificación. Al comienzo de cada una de las palabras de alineamiento de trama se realiza una interrogación a cada uno de los cuatro circuitos comparadores de si hay requerimientos de justificación. Si éste es el caso, se activan en este canal los 3 bits de información de relleno a un estado lógico 1 y se genera un hueco en el reloj adicionalmente en el momento correspondiente a los bits de relleno; con lo que la diferencia de fase se aumenta en 2 bits en lugar de 1 bit, habiéndose aumentado, por lo tanto, de tal forma que en la trama de impulsos siguiente no se tiene que realizar ya una justificación.

El jitter, finalmente, es función de que, una vez que se hayan sobrepasado lo límites de requerimiento de justificación y dependiendo del instante, habrá que esperar un tiempo diferente hasta que aparezca el bit de relleno en la secuencia de la trama de impulsos ( jitter de demora ).

El "temblor" o la "intranquilidad" ( que es la traducción de jitter ) se comporta en la frecuencia del reloj, según la trama de impulsos, en forma periódica con una frecuencia de alrededor de 10 khz. El oscilador controlado por tensión ( VCO con bucle de enganche de fase ) que efectúa la detección de los huecos del reloj tiene, sin embargo, una anchura de banda de aproximadamente 20 Hz, de forma que después del filtrado, debido al VCO ( Voltaje Controlled Oscillator ) se supone que no se encontrará jitter residual. Lo que es exacto en la mayoría de los casos.

Pero si las frecuencias del reloj del multiplexor y de los sistemas tributarios varían en el margen de tolerancia permitido, se obtendrán combinaciones de frecuencias en las cuales el jitter residual es más elevado de una forma mensurable.

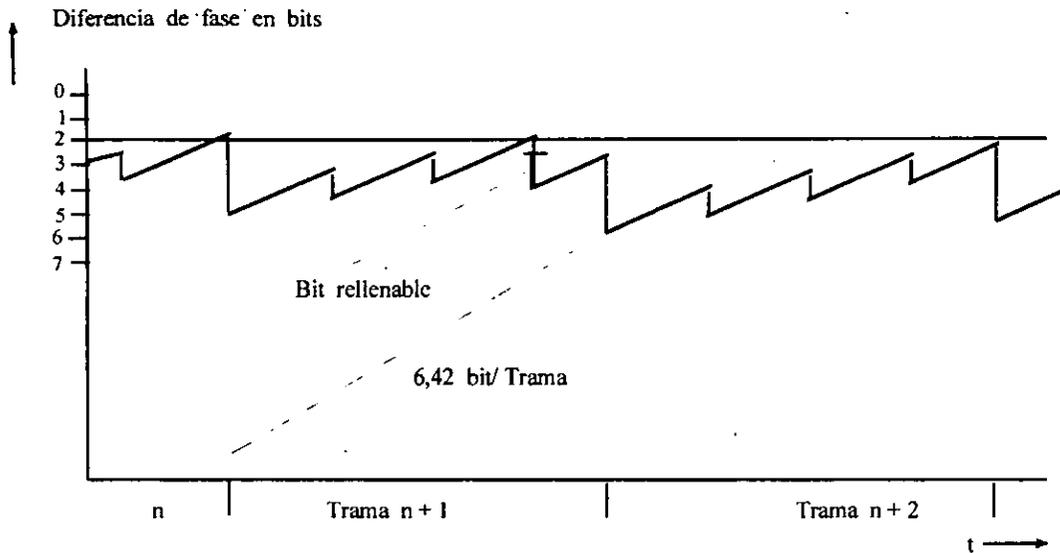


Figura 4.10 Jitter de demora

Aparecen componentes de jitter de baja frecuencia que llegan hasta el margen de frecuencias de algunos pocos hercios. El motivo de ello es que se estacionan en forma transitoria "muestras" fijas del proceso de justificación que, después de transcurrido algún tiempo, otra vez saltan a una nueva "muestra". Cuanto más larga es la duración de una "muestra", mayor será la aportación de jitter de baja frecuencia. A modo de ejemplo, guarda relación la cuota de justificación nominal de 0,4238 con el valor  $5/12 = 0,4167$ . Esto significa una muestra fija dentro de 12 tramas de impulsos, alternando justificación y no justificación, pero en dos posiciones inmediatas consecutivas, dos veces no justificación. El valor  $3/7 = 0,4286$  está situado ligeramente por encima de la relación de relleno o de justificación nominal, que da lugar asimismo a una muestra fija. El jitter residual es especialmente elevado si la relación de relleno o justificación actual se puede representar como cociente de dos números primos (por ejemplo  $3/7$ ).

## CAPITULO 5

### TRANSMISION DIGITAL CON APLICACION A LA FIBRA OPTICA Y REDES DIGITALES DE SERVICIOS INTEGRADOS.

#### 5.1 CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA

La reseña de la fibra óptica se inicia con la invención del láser en 1960, ( Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ). Este láser es un generador de luz coherente que desempeña en el dominio luminoso el mismo papel que el oscilador radioeléctrico en el caso de las ondas hertzianas.

Esta luz es, en efecto, monocromática, directiva, estable en amplitud y frecuencia. En atmósfera libre esta señal luminosa se ve alterada ( niebla, inestabilidad de propagación ) de donde surge la idea de proteger esta luz confinándola en una guía : fibra de vidrio o de silicio, recubierto por una funda formando una guía de luz que se llama, Fibra óptica.

En los años 70 se realiza una evolución importante de la tecnología de las fibras ópticas, con la aparición de la fibra de débil atenuación kilométrica.

La tecnología de transmisión asociada a las líneas ha estado siempre a la expectativa de nuevas mejoras técnicas o descubrimientos de nuevos elementos ó materiales. Precisamente con el desarrollo del láser semiconductor y de la fibra óptica, así como de la tecnología digital avanzada, se abrió el paso a una revolución en las transmisiones: las señales eléctricas podían ser convertidas en señales ópticas y conducirse, a través de fibras del espesor de un cabello, fabricadas de vidrio, a lo largo de grandes distancias, con lo que se irrumpía en una nueva era de las telecomunicaciones, en cuyo transcurso se irá pasando gradualmente de la era del cable de cobre a la del cable de fibra óptica. Ciertamente, en el curso de la digitalización de las redes de telecomunicaciones se seguirán utilizando los cables de cobre existentes, pero los nuevos enlaces o trazados de cable se instalarán a nivel mundial casi exclusivamente con cables de fibra óptica.

Alrededor del año 1980 se desarrollaron numerosas redes en fibra óptica:

- En diferentes países funcionan numerosas realizaciones con satisfacción general ( 12 canales TV sobre una fibra en los U.S.A., red de cable en Japón, en Canadá e Inglaterra enlaces entre centrales telefónicas ... ).



- b) Fibra multimodos de gradiente de índice.

En este tipo de fibra el índice de refracción disminuye desde el centro del corazón hacia la periferia según una ley de variación muy precisa.

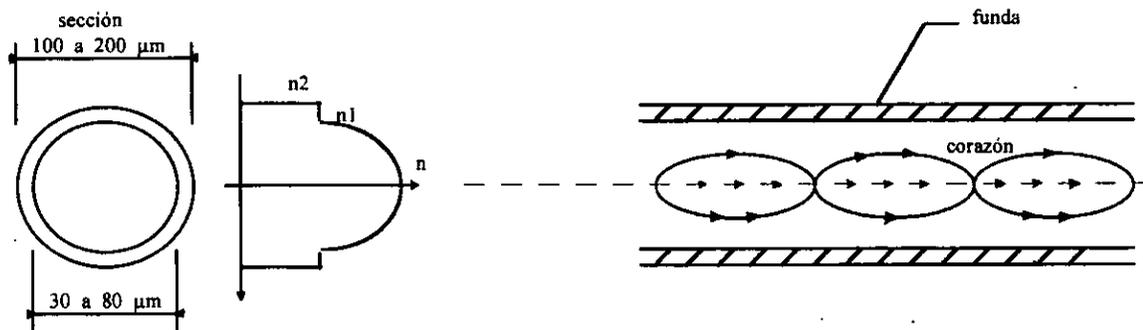
Los tiempos de propagación de los diferentes rayos son así más o menos igualados, produciéndose un aumento de la banda de paso.

La velocidad de la luz en un medio de índice dado  $n$  es igual a  $V = C / n$

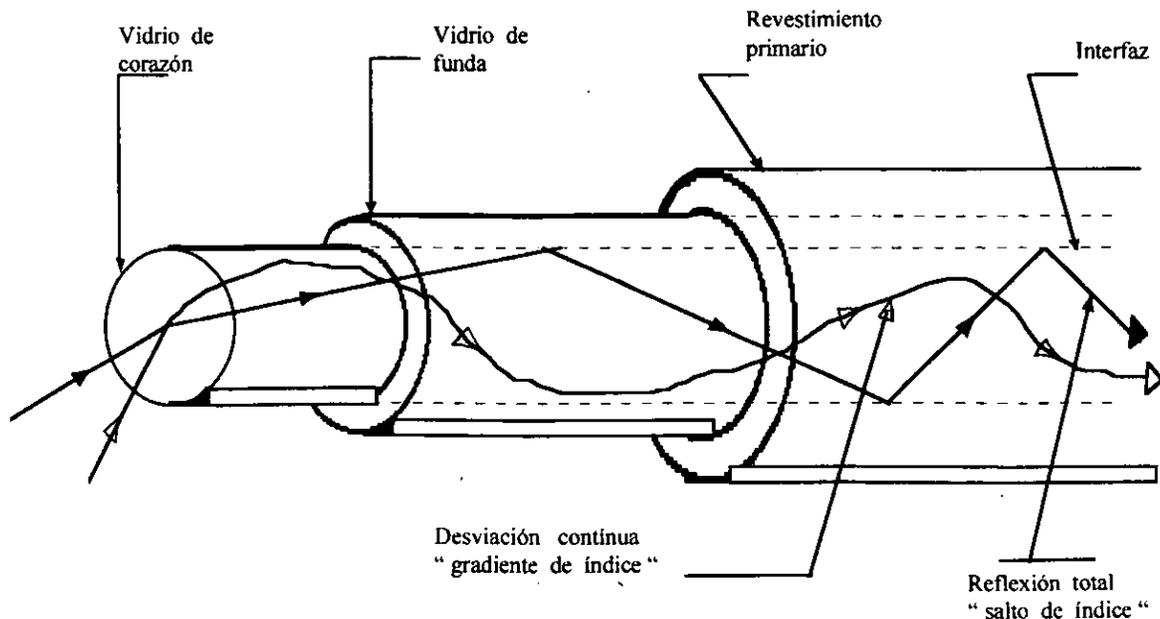
( $C$  = aceleración de la luz en el vacío = 300 000 km/s).

En las zonas en las que el índice es más débil, los rayos luminosos tendrán velocidades de propagación más importantes.

Fibra de gradiente de índice



### FIBRAS MULTIMODOS

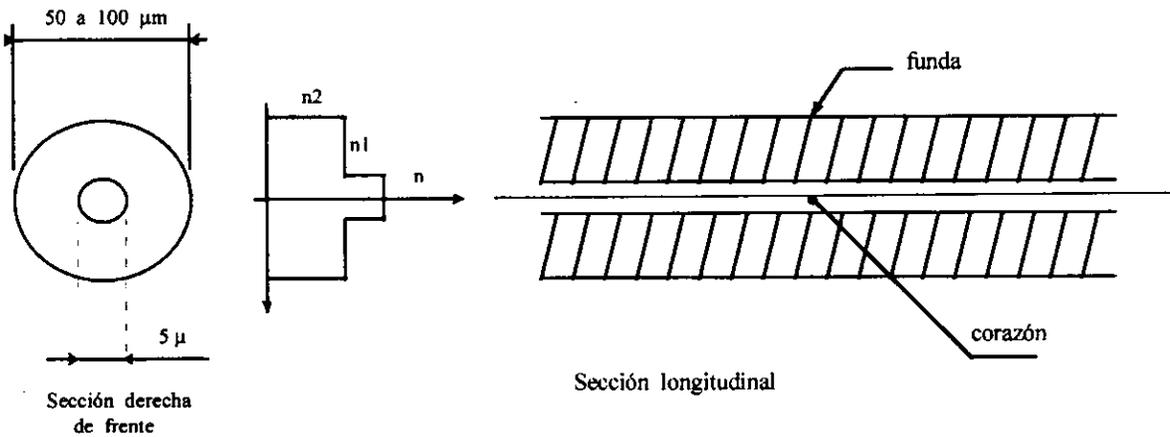


- Fibra monomodo

La pequeña dimensión del corazón de este tipo de fibra (varios micrones) no permite más que un modo de propagación de los rayos luminosos : siguiendo el eje de la fibra.

No existe fenómeno de dispersión de los tiempos de propagación, quedando una banda de paso muy grande.

Fibra monomodo



	MULTIMODOS	MONOMODOS
diámetro del corazón	de salto de índice $30 \mu < 0 < 80 \mu$	de gradiente de índice $30 \mu < 0 < 80 \mu$
diámetro de la funda	$100 \mu < 0 < 200 \mu$	$50 \mu < 0 < 100 \mu$
índice del corazón	constante	disminución del centro a la periferia
banda de paso	$< 50 \text{ Mhz.}$	$100 \text{ Mhz. a } 1 \text{ Hz.}$

En las telecomunicaciones se utilizan actualmente fibras multimodos de gradiente de índice.

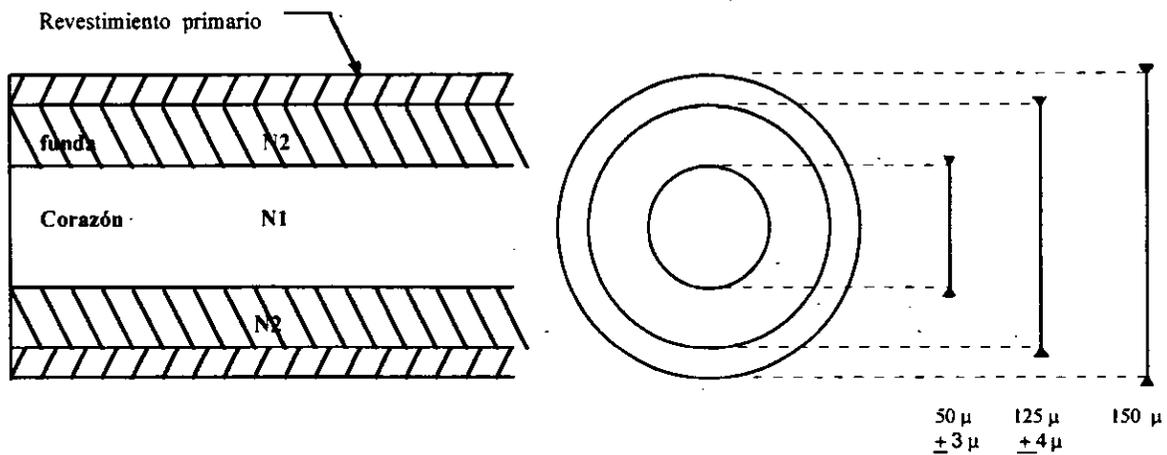
### 5.1.2 ESTRUCTURA DE UNA FIBRA.

Una fibra óptica es una guía cilíndrica de naturaleza dieléctrica ( vidrio o silicio ) que permite a la luz propagarse sobre una gran distancia.

#### Constitución

- Primer medio de índice de refracción  $N_1$  = corazón óptico ;
- Rodeado de un segundo medio de índice  $N_2$  = funda óptica (  $N_1 > N_2$  ) ;
- Un revestimiento llamado "revestimiento primario" asegura la protección mecánica de la fibra.

ESTRUCTURA DE UNA FIBRA



### 5.1.3 VENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA.

La ventaja esencial de la fibra óptica es permitir una gran capacidad de transmisión por una débil atenuación, tanto en relación a los cables coaxiales como a los cables a pares simétricos.

A - La capacidad de transmisión está caracterizada por la banda de paso; cuanto más ancha es esta más importante es la capacidad de transmisión y ofrece la posibilidad de nuevos servicios ( Teledistribución, Videotelefonía, Videoteca..., ).

B - La capacidad de la guía óptica de transmitir más o menos lejos la luz depende de su atenuación.

La de una fibra estándar es actualmente de sólo 3 db / km.

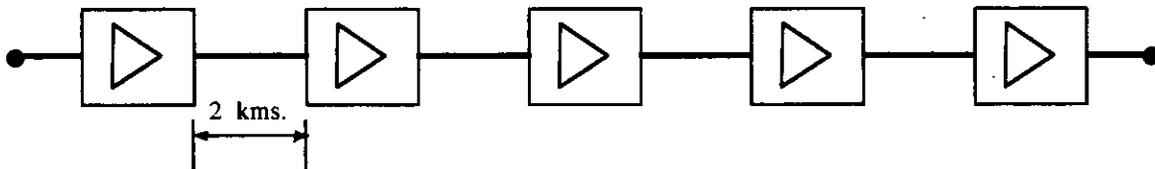
Un soporte que presenta una atenuación de 3 db restituye al cabo de la distancia considerada la mitad de la potencia emitida al principio.

- Así los sistemas sobre pares simétricos y coaxiales necesitan una amplificación cada 2000 metros más o menos.

- El paso de amplificación de la fibra óptica que tiene una débil atenuación kilométrica aliada a una gran banda de paso, será llevado de 10 a 40 kms. ( según los tipos de fibras, emisores y de receptores ).

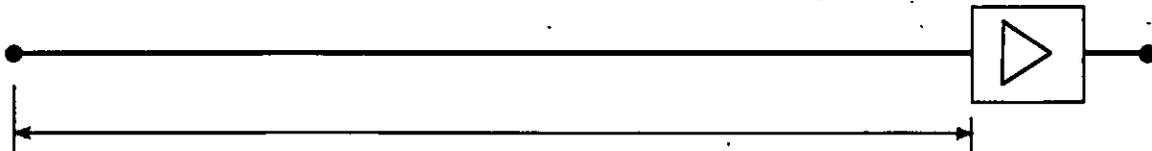
### PASO DE AMPLIFICACION

#### SISTEMAS SOBRE PARES SIMETRICOS Y COAXIALES



Amplificación cada dos kilometros más o menos

#### SISTEMAS SOBRE FIBRAS OPTICAS



Amplificación de 10 a 40 kms.

Con su gran ancho de banda y baja atenuación, la fibra óptica es un medio excelente para la transmisión de señales digitales. Si al inicio se utilizó un margen de longitud de onda de  $\lambda = 850 \text{ nm}$ , con el desarrollo de los materiales de medio de transmisión, actualmente domina el espectro de los 1300 nm, siendo ya accesible con el estado actual de la técnica la tercera ventana óptica en el margen de los 1550 nm.

## 5.2 TECNICA DE TRANSMISION DIGITAL .

Las principales funciones de la técnica de transmisión digital son : la conversión de señales analógicas en digitales multiplexadas con velocidades de transmisión normalizadas y la transmisión de dichas señales digitales, por ejemplo : a través de conductores de fibras ópticas .

Con la introducción de la técnica digital, en especial el multiplexado por división de tiempo con modulación por pulsos codificados ( P C M ), se han establecido las condiciones básicas para una integración de los servicios tales como telefonía, telex, transmisión de datos y fax .

En el CCITT / CEPT se fijaron sistemas de transmisión con determinadas velocidades de acuerdo a la tabla inferior .

Tabla .5.1    Sistemas de transmisión para señales digitales

Número de canales de 64 kbit / s	Velocidad de transmisión ( valor redondeado ) Mbit / s
30	2
120	8
480	34
1920	140
7680	565 *

CEPT.- Conferencia Europea de las administraciones Postales y de Telecomunicaciones .

\* .- No es un valor de la escala de jerarquías de CCITT / CEPT .

El nivel básico de esta jerarquía está dado por el sistema PCM 30. En el mismo se agrupan en una secuencia de bits de 2048 kbit / s, 30 canales telefónicos de 64 kbit / s cada uno. En forma abreviada se indica que el sistema trabaja con una velocidad de transmisión de señales de 2 Mbit / s .

Codificando cada muestra en una palabra de 8 bits se obtiene la velocidad de transmisión disponible para cada una de las señales telefónicas, o sea :

$$8 \text{ kHz } ( 1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1} ) \cdot 8 \text{ bit} = 64 \text{ kbit} \cdot \text{s}^{-1}$$

La secuencia de bits del sistema PCM 30 es de :

$$64 \text{ kbit} / \text{s} \cdot 32 = 2048 \text{ kbit} / \text{s} .$$

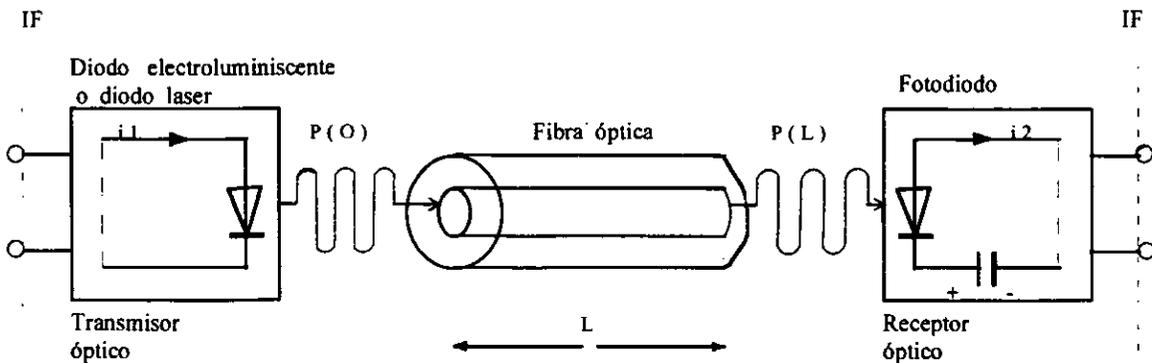
Los sistemas de mayor número de canales transmiten con velocidades de bits de 8, 34 140, o 565 Mbits / s; se basan en la señal de 2 Mbit / s del equipo múltiplex PCM 30 y se forman con equipos múltiplex de señales digitales .

Para todos los niveles jerárquicos de la PCM citados anteriormente existen equipos terminales de líneas ( L E ), aptos para ser conectados a redes de conductores de fibras ópticas que trabajan con las longitudes de onda usuales .

### 5.3 PRINCIPIO DE LA TRANSMISION OPTICA

Para transmitir señales eléctricas a través de conductores de fibras ópticas se utilizan sistemas de transmisión ópticos. Las transmisiones ópticas pueden representarse de una forma sencilla como en la figura siguiente : en el transmisor se convierte la señal eléctrica en una señal óptica mediante un transductor electro-óptico ( led o diodo láser ). De una forma más precisa se podría decir que, mediante la corriente en el diodo modulada por impulsos binarios  $i_1$ , se modula la intensidad luminosa del diodo emisor inyectándose luz con una potencia  $P(O)$  en la fibra óptica. Una vez que la luz ha recorrido la fibra óptica, se reconvierte en una señal eléctrica al final del trayecto en un transductor optoelectrónico ( un fotodiodo ), en el receptor. La ruta de transmisión óptica comienza y finaliza, en una interfaz eléctrica, cuyos datos están normalizados, utilizándose para los sistemas digitales sobre fibras ópticas, por principio, las mismas interfaces ( Recomendación G. 703 del CCITT ), tal y como se aplican para los radioenlaces y los equipos multiplexores.

Los sistemas de transmisión ópticos y eléctricos tienen ambos, los mismos puntos de interconexión. De este modo se logró, con la introducción de la técnica de los conductores de fibras ópticas, alcanzar un importante objetivo con el cual además se facilitó de manera considerable, la integración en redes existentes.



- L Longitud de la ruta transmisión óptica
- $i_1, i_2$  Corriente del laser o del fotodiodo
- $P(O), P(L)$  Potencia óptica de transmisión o de recepción
- IF Interfaz eléctrico normalizado ( CCITT )

Figura 5.1 Principio de la transmisión óptica .

La técnica digital se impuso en la transmisión de señales por conductores de fibras ópticas, ya que permite la libre interconexión de velocidades de transmisión de las más diferentes fuentes ( redes telefónicas, de datos, etc. ).

Con la incorporación de la técnica de los conductores de fibra óptica, la transmisión de señales analógicas tiene cada vez menos importancia y se usa sólo para determinadas áreas de aplicación.

#### 5.4 NIVELES DE RED Y FAMILIA DE SISTEMAS

Las señales digitales se agrupan en escalones de 2, 8, 34, 140, o 565 Mbit / s. Como ejemplo se puede mencionar que utilizando multiplexado por división de tiempo, en el escalón de 2 Mbit / s se podrán transmitir hasta 30 comunicaciones telefónicas y 480 en el de 34 Mbits / s .

Se fijaron determinadas escalas jerárquicas para niveles de red urbana e interurbana, que presentan determinadas características para los respectivos niveles.

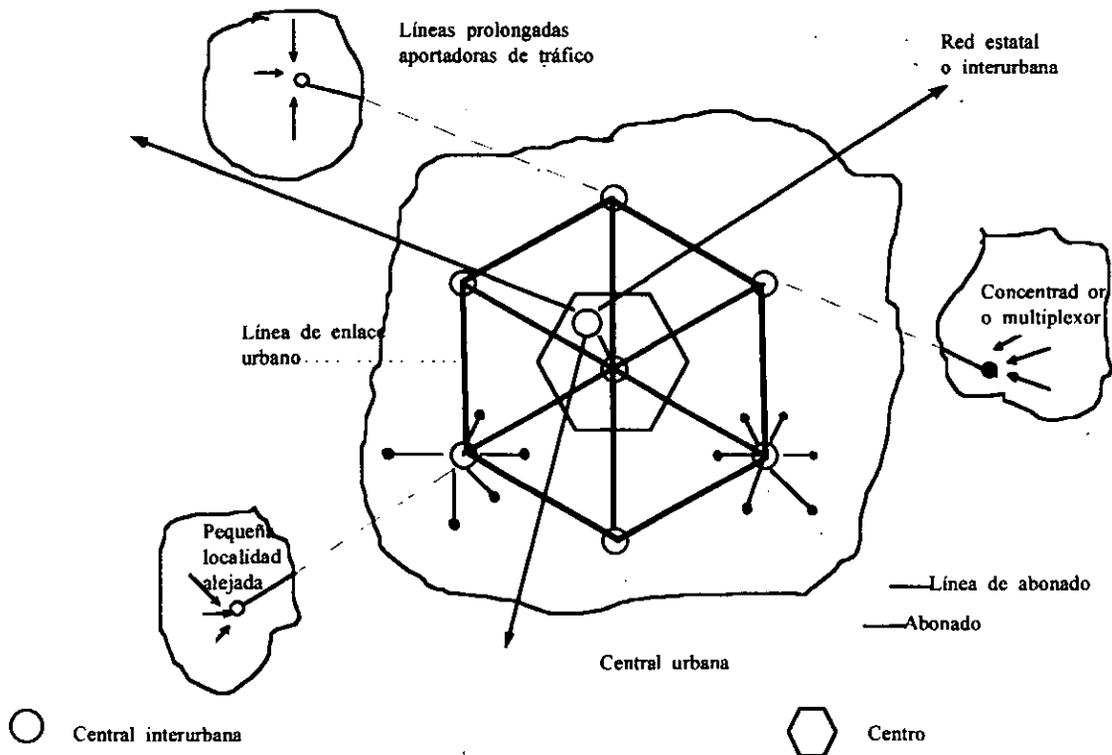


Figura 5.2 Niveles de red para sistemas de transmisión por Fibra óptica

Las redes de comunicación públicas están divididas en diferentes niveles; conforme al funcionamiento, a la capacidad de transmisión, así como al alcance, se definen, como en la figura 5.2, por ejemplo, cuatro niveles de red. Si nos aproximamos desde el exterior hacia el interior de una gran ciudad, tendremos primeramente la red interurbana y la red estatal, a continuación las líneas prolongadas aportadoras de tráfico de más baja capacidad procedentes de áreas alejadas ( red rural ), hacia el centro la red urbana y finalmente las líneas de abonado. Si ahora asignamos a los diferentes niveles de la red de telecomunicaciones las familias de los sistemas de fibra óptica, se pueden producir relaciones como en la figura 5.3. Los parámetros dictados por la práctica son el tramo de transmisión que es posible cubrir y la velocidad binaria específica así como el tipo de fibra óptica apropiado, es decir, cables con fibras monomodo o multimodo.

### SISTEMAS DE TRANSMISION PARA REDES URBANAS

Actualmente se instalan en la red urbana sistemas de 34 y 140 Mbits/s, ( tercer y cuarto nivel jerárquico ), además de equipos simplificados de la misma jerarquía. Están diseñados para las particularidades específicas de rutas de transmisión cortas de un máximo de 20 a 30 kms. Han sido concebidos para la aplicación en fibras monomodo - multimodo en el margen de longitud de onda de 1300 nm. Enlazando equipo terminal de línea ( LE ) a equipo terminal de línea se alcanzan tramos de línea de longitud suficiente, de forma que no se precisan regeneradores intermedios, siendo posible en cualquier caso una conexión en serie de dos tramos de línea, de acuerdo a figura 5.3

Para obtener a velocidades de transmisión bajas de 34 Mbits/s una adaptación rentable de las longitudes de regeneración a cubrir, hay básicamente dos ejecuciones de equipos terminales de línea: con transmisores a base de diodos electroluminiscentes ( LED ) y con diodos láser ( LD ). En el caso de la versión con LD el margen de los tramos de regeneración está dentro de los 20 hasta alrededor de los 30 kms. ( fibra multimodo ) y de 41 hasta aproximadamente 68 kms. ( fibras monomodo ).

Para las velocidades de transmisión de 140 Mbits/s se instalan exclusivamente como transmisores los diodos láser, de forma que con el estado actual de la técnica y utilizando fibras monomodo es posible cubrir distancias desde 28 a 47 kms.

## REDES URBANAS

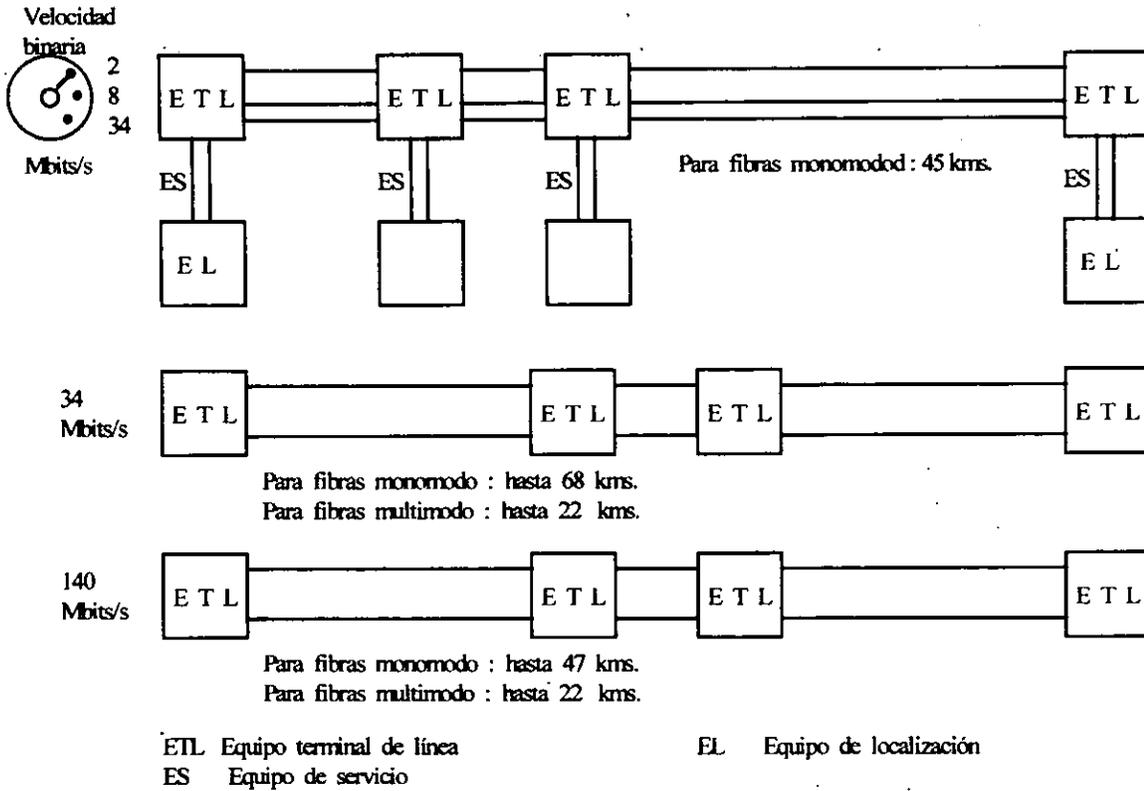


Figura 5.3 Sistemas de transmisión para redes urbanas

### SISTEMAS PARA REDES INTERURBANAS Y ESTATALES.

Para la red interurbana y estatal ( larga distancia ), actualmente se aplican sistemas de 34, 140 y 565 Mbits/s ( figura 5.4 ); trabajándose en el aumento de la capacidad de transmisión a 2.4 Gbits/s por cada portador óptico. Típico para esta familia de sistemas es el poder cubrir grandes distancias mediante la inserción de regeneradores intermedios con tramos de regeneración lo más amplios posibles y una gran capacidad de transmisión. Mencionaremos los requerimientos para el servicio que son característicos de esta familia de sistemas: elevada potencia de transmisión y sensibilidad de recepción, pero también localización de averías, alimentación de energía sencilla y alojamiento de los regeneradores intermedios ( exclusivamente en edificios de superficie ) así como servicios adicionales en el cable de fibra óptica sin necesidad de conductores metálicos.

Para enlazar áreas alejadas ( rural ), como ejemplo de una central urbana a otra, la transmisión óptica ofrece, incluso para velocidades de transmisión de 2, 8 y 34 Mbits/s en la red rural, soluciones universales. En contraposición a la ejecución para la red interurbana

los equipos terminales de línea están contruidos de una forma más sencilla, semejante al concepto para el sistema de la red urbana de 34 Mbits/s. No se han previsto regeneradores intermedios; más bien para cubrir grandes distancias se conectan dos equipos terminales de línea en serie, es decir, adosados. En caso de necesidad pueden conectarse unidades de servicio con todas las prestaciones. Para las tres velocidades binarias se utiliza el mismo equipo terminal de línea; la conmutación a la velocidad binaria respectiva es programable. Por lo tanto, se puede aumentar la capacidad de transmisión de una comunicación escalonadamente, sin tener que cambiar los equipos de ruta. Únicamente las propiedades ópticas del receptor (sensibilidad estándar o sensibilidad ampliada) proporcionan el juego necesario desde el punto de vista de transmisión en lo que se refiere al tramo de regeneración.

Para la red interurbana con distancias muy grandes y excepcionales requerimientos en materia de capacidades se emplean principalmente sistemas de 140 o 565 Mbit / s.

Se estima que en el futuro se utilizarán sistemas con más de 565 Mbit / s, es decir en la gama de los Gigahertz, para formar " autopistas de telecomunicaciones ". Para estos sistemas se utiliza la longitud de onda en la " tercer ventana " .

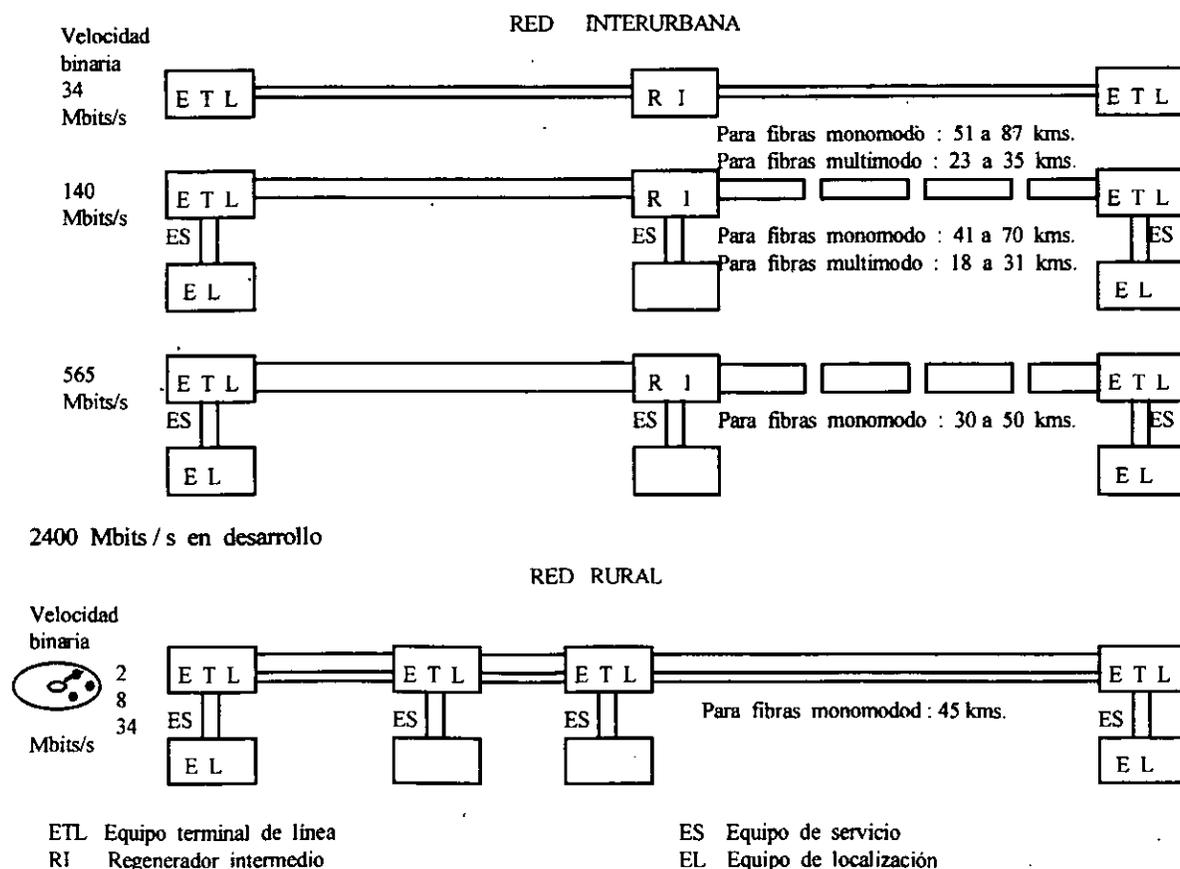


Figura 5.4 Sistemas de transmisión para redes interurbanas y estatales

## SISTEMAS PARA LA LINEA DE ABONADO.

Con motivo de la normalización de interfaces existentes se dispuso en corto tiempo de los sistemas de transmisión por fibra óptica para los tres niveles mencionados anteriormente de la red pública de telecomunicaciones para una amplia aplicación. Para sistemas de la red de abonado hay de momento una serie de comentarios.

Para la conexión de un teléfono, incluso para la conexión RDSI ( Red Digital de Servicios Integrados ) con 144 kbits/s, es completamente suficiente con los conductores de cobre existentes. Precisamente con la implantación de los servicios en banda ancha, como la videoconferencia, la videotelefonía etc., la fibra óptica se hará imprescindible para el abonado. Con el BIGFON ( red urbana integrada de telecomunicaciones en banda ancha por fibra óptica ), proyecto realizado en Alemania, el conexionado de 1500 abonados por cable de fibra óptica en Biarritz, Francia; se han recopilado amplias experiencias en este terreno.

A partir de la estrategia que se ha elaborado entretanto, los servicios en banda ancha se basarán en la RDSI en el marco de la futura RDSI - B ( ISDN - B ) y posteriormente se ampliarán con los servicios de distribución de radio y de televisión en una red de telecomunicaciones integrada en banda ancha ( IBFN ).

### 5.4.1 EJEMPLO DE UN SISTEMA DE 140 MBIT.

La configuración de este sistema se ajusta a la recomendación G. 703 de CCITT y es capaz, entre otras posibilidades, de transmitir 1920 señales telefónicas digitalizadas o una señal de TV o bien señales de audio y datos; se compone de equipos terminales de líneas, regeneradores intermedios y módulos de localización, y comprende las siguientes funciones básicas :

Transmisión de la señal de 140 Mbits / s a 1300 nm

Alarmas, señalización

Localización de fallas y supervisión en servicio

( I S M Monitoreo de Servicio en Línea )

### LINEA BASICA PARA SEÑAL DIGITAL

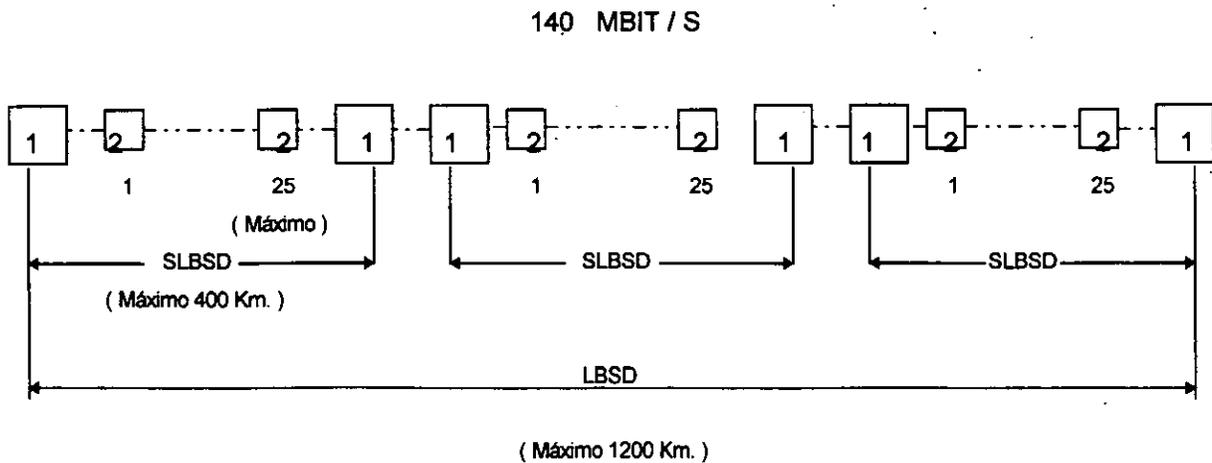
Una línea básica para señal digital puede tener, según el tipo de conductor de fibra óptica, una longitud máxima de 1200 km. si se utiliza fibra óptica multimodo ( 50 / 125  $\mu$ m )

2400 km. si es monomodo ( 10 / 125 um ); a su vez puede estar formada por varias secciones ( figura 5.5 ) cada una de las cuales podrá tener una longitud máxima de 400 km. tratándose de fibras ópticas multimodo y 800 km. cuando son monomodo. En este caso se conectan hasta 25 regeneradores intermedios en cadena .

#### EQUIPO TERMINAL DE LINEA

En los extremos de todas las secciones de las líneas básicas se conectan equipos terminales de líneas; actúan como nexo entre los multiplexores u otras fuentes de señales y el conductor de fibra óptica. Estos, en el lado emisor, convierten la señal digital suministrada en código MIC a través del punto de interconexión eléctrico, en una señal adecuada para la transmisión óptica. Para ello, se compensa la distorsión de la señal eléctrica de entrada, se la regenera, se modifica su estructura. \* y se le convierte en señal binaria con código de línea 5B / 6B.

Figura 5.5 DIAGRAMA EN BLOQUES EN UNA LÍNEA DE TRANSMISION DE



- 1      Equipo terminal de línea
- 2      Regenerador intermedio ( max. 25 )
- SLBSD    Sección de una línea básica para señales digitales
- LBSD    Línea básica para señales digitales

\*.- La señal que presenta una estructura con un cero o con un uno continuo se modifica en otra con una secuencia pseudoaleatoria.

La señal de entrada compuesta de elementos binarios se divide en palabras de 5 bit. Estas se convierten en palabras de 6 bit y se registran en una tabla de codificación. En el módulo emisor, esta secuencia de palabra de 6 bit se convierte, por medio de diodos láser, en una señal óptica apta para la transmisión.

## REGENERADOR INTERMEDIO

Cada regenerador intermedio - formado por grupos modulares del equipo terminal de línea - tiene para cada dirección de transmisión un receptor óptico, un regenerador y un emisor óptico; además contiene, al igual que el equipo terminal de línea, un circuito de protección para desconectar el diodo láser. El equipo recibe la energía eléctrica por medio de una alimentación local, por ejemplo: una batería de 48 - 60 volts, eventualmente con baterías solares o por medio de una telealimentación con conductores de cobre.

## SISTEMA DE SUPERVISIÓN EN SERVICIO Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS

Para detectar reducciones de calidad del servicio limitadas en tiempo, se requiere un sistema de supervisión en servicio ( in service monitoring ), sin tener que desconectar al equipo. Posibilita supervisar los regeneradores intermedios y el equipo terminal continuamente y localizar el campo regenerador con fallas.

La información de la falla se transmite a los equipos terminales por medio de un canal de transmisión separado a través de un conductor de fibra óptica propio utilizando una señal telemétrica (con una longitud de 28 bit divididos en 7 bloques a razón de 4 bit cada uno). La señal telemétrica está subordinada a la actividad principal y se puede transmitir a través de varias secciones telealimentadas. Un sector de supervisión puede contener hasta 510 regeneradores intermedios.

En un equipo localizador de fallas se evalúan las informaciones que llegan desde cada uno de los regeneradores intermedios. Conectando un impresor es posible evaluar durante el servicio, de forma continua, la tasa de errores de bits de todo el tramo o de determinados regeneradores intermedios seleccionados de modo sistemático.

En principio se puede decir que, aplicando la técnica de los conductores de fibra óptica y transmisión digital, se pueden conformar sistemas que satisfacen todos los requerimientos que se plantean en un moderno sistema de telecomunicaciones.

## 5.4.2 SITUACION INTERNACIONAL DE LOS SISTEMAS CON CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA .

En el área europea se impusieron exclusivamente los sistemas digitales para la transmisión óptica utilizando conductores de fibra óptica. En el CCITT se respetan los niveles jerárquicos de 2, 8, 34 y 140 Mbit/s. En general, los sistemas trabajan en longitudes de onda en la gama de los 1300 nm. La asignación de los diversos sistemas a determinados sistemas de la red ( urbana, interurbana ) difiere en los diversos países, sin llegar a ser un requisito indispensable para la técnica de los conductores de fibra óptica.

Como medio de transmisión se impusieron los cables con conductores de fibra óptica huecos rellenos, salvo en Francia, donde se emplean cables de cámara, siendo también en todos estos casos la tendencia en general la de reemplazar las fibras ópticas multimodo ( .50/125  $\mu\text{m}$  ) por las monomodo (10/125  $\mu\text{m}$  ).

Fuera del ámbito europeo se deben considerar sustancialmente los desarrollos norteamericanos y japoneses en la materia. Los sistemas utilizados para transmitir señales ópticas son similares, pero los niveles jerárquicos difieren de los usuales en Europa.

En los Estados Unidos, para alojar las fibras ópticas se utiliza como elemento básico conductores huecos, la técnica de cintas o - para determinadas aplicaciones - también el cable de cámara. Para sistemas de larga distancia se utiliza exclusivamente conductores de fibra óptica monomodo.

Las velocidades de transmisión (en Mbit/s ) usuales se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 5.2 COMPARACIÓN DE LAS PRINCIPALES VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN ( EN MBIT/S ) EUROPEAS, NORTEAMERICANAS Y JAPONESAS.

	Velocidades de transmisión en Mbit/s ( valores redondeados )					
Europa	- 2	- 8	- 34	-	140	565*
EE.UU.	1,5 -	6 -	- - 45	-	135 ( 90 )	405* 565*
Japón	1,5 -	6 -	32 - -	100	-	400* -

\* Al respecto no existe recomendación de la CCITT

### 5.4.3 CAPACIDAD DE TRANSMISION Y FORMACION DE MULTIPLEXADO

Por lo general, los parámetros más interesantes e importantes del sistema son el máximo alcance entre transmisor y receptor, así como la capacidad de transmisión. Actualmente existe en la transmisión óptica la posibilidad de aumentar de una vez la capacidad del sistema en una longitud de onda a base de la jerarquía de multiplexado digital (por ejemplo  $n \times 140$  Mbits/s), pero además también existe la posibilidad de aumentar eficazmente la capacidad de transmisión de la misma fibra con un "multiplexado en longitud de onda" ( $\lambda$ ) (WDM, Wavelength División Multiplexing), como se muestra en el esquema de la figura 5.6.a

Si se transmite entonces luz desde diversas fuentes y con longitudes de onda diferentes entre sí, se podrá modular cada haz óptico individualmente. Al comienzo de la ruta en los acopladores ópticos se puede agrupar la luz en un concentrador múltiple, para a continuación al final de la ruta separarla en un desacoplador óptico selectivo.

Además, para la transmisión simultánea de varias señales eléctricas a lo largo de una ruta de Fibra óptica hay otros dos procedimientos (Figura 5.6 b y c); por una parte, el multiplexado de fibras con sistemas paralelos iguales y por otra parte, el multiplexado eléctrico, es decir, se forma la señal multiplexada eléctricamente y se controla con ella al transductor electro-óptico.

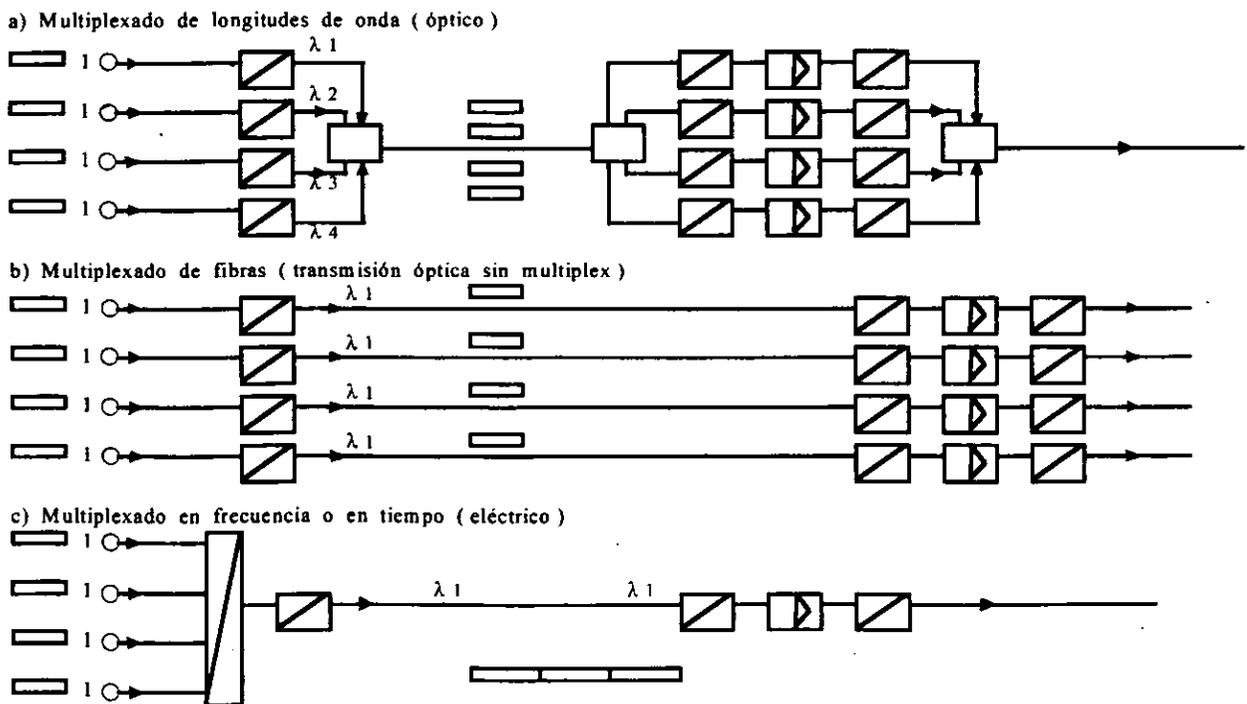


Figura 5.6 Capacidad de transmisión y formación del multiplexado.

El procedimiento que se utiliza en la práctica es función de múltiples factores y finalmente de la rentabilidad. Según esto parece conveniente, en una primera etapa constructiva utilizar completamente la anchura de banda disponible para una longitud de onda mediante multiplexado eléctrico de las señales, o bien utilizarla tanto como la tecnología de los equipos de transmisión lo permita. Cuando se haya alcanzado una de estas dos fronteras, se podrá aumentar la capacidad de transmisión por cada fibra aplicando el multiplexado de longitudes de onda ( $\lambda$ ).

La técnica de multiplexado " $\lambda$ " fue probada prácticamente en el proyecto alemán "Berlín IV" en la ruta de transmisión por fibra óptica a lo largo de 36 kms. (sin regenerador intermedio). En total se transmiten  $2 \times 565$  Mbits/s en la ventana óptica a 1300 nm y  $2 \times 140$  Mbits/s a 1550 nm, correspondiendo a 1.4 Gbits/s. Las longitudes de onda se infieren de la figura 5.7, están situadas naturalmente en el marco de la segunda y tercera ventana y en la proximidad inmediata al mínimo de dispersión de las fibras monomodo. Aplicando diodos láser con una anchura espectral muy estrecha se puede ampliar el procedimiento WDM también a  $4 \times 565$  Mbits/s. De este modo se pueden conducir 30720 conversaciones telefónicas por una fibra monomodo, con la capacidad de transmisión de 2.3 Gbits/s.

Esta técnica está resaltada decisivamente por el multiplexor de longitud de onda, que es un módulo compacto (figura 5.7), Construido por filtros de interferencia como elementos selectivos. Por módulo y canal se obtienen pérdidas de inserción ópticas entre 0,5 y 2 db. Este sistema de transmisión se usa para la dirección de línea para 140 o 565 Mbits/s.

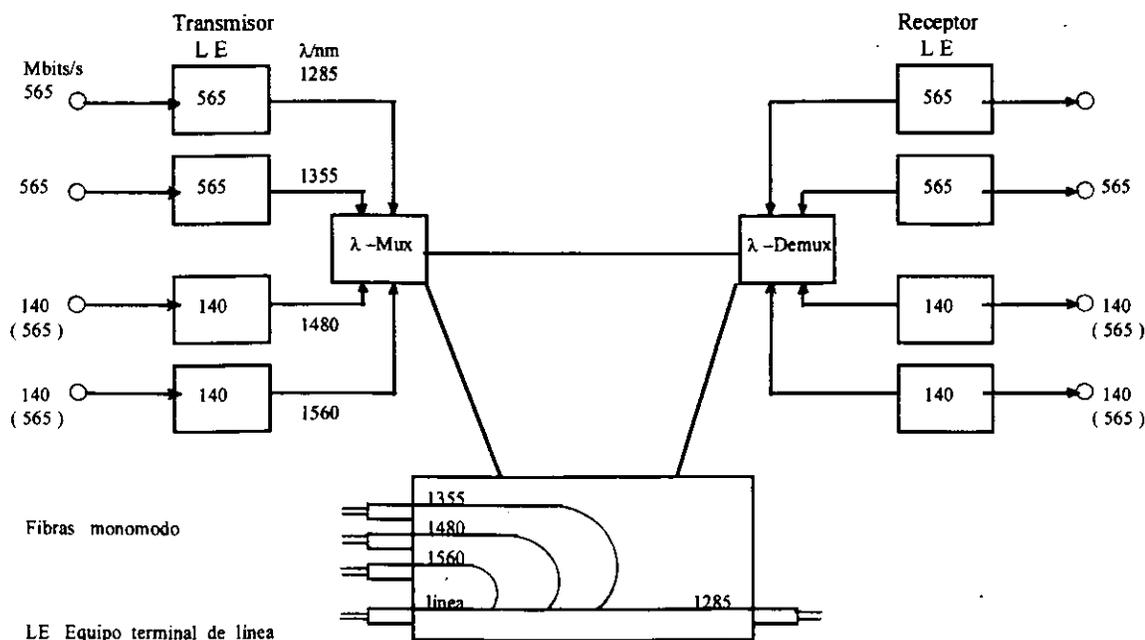


Figura 5.7 Multiplexado óptico de longitudes de onda en la práctica

## 5.5 RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS ( RDSI )

### 5.5.1 CONCEPTOS Y BASES DE LA RED DE SERVICIOS INTEGRADOS.

La Red Digital de Servicios Integrados, esta basada en la digitalización de la red telefónica llamada Red Digital Integrada ( R D I ). e incluye :

- \* Líneas ordinarias de abonado de dos hilos.
- \* Estructura de enlace PCM de 24 ó 32 canales.
- \* Sistema de señalización número 7 .

En octubre de 1983 se aceptó la siguiente definición :

Una red RDSI debe de constar de 3 elementos esenciales y uno opcional :

Los esenciales son que debe de :

- \* Proporcionar canales digitales de extremo a extremo bajo el control del usuario.
- \* Acomodar una amplia gama de servicios sobre tramas de bits interpuestos, y
- \* Contar con interfases estándar para el acceso del usuario.

El no esencial :

- \* Servicios de procesamiento de información dentro de la red.

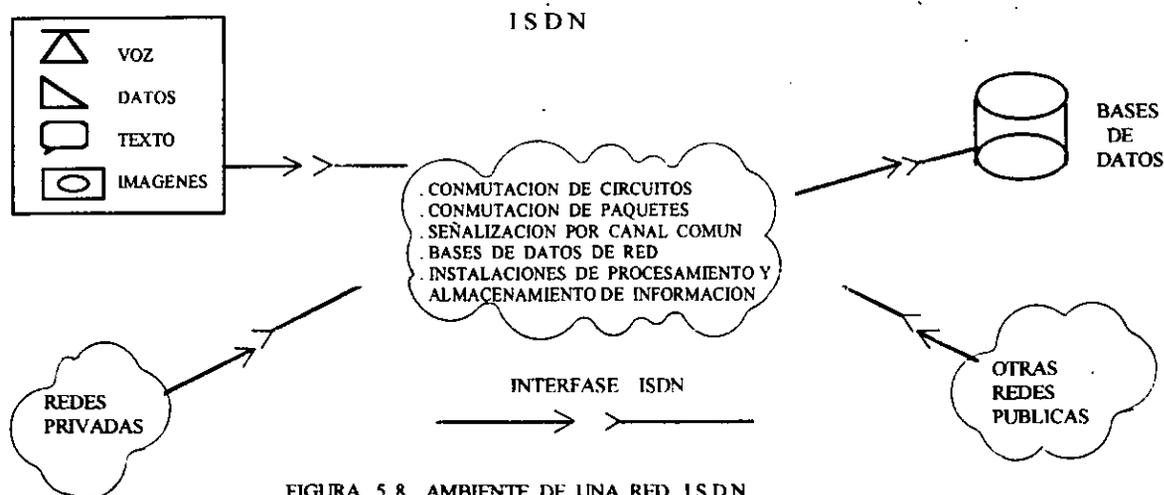


FIGURA 5.8 AMBIENTE DE UNA RED ISDN.

El CCITT ( Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía ) ha emitido una serie de normas sobre Redes Digitales ( R D S I ). Recomendaciones del grupo de trabajo No. XVIII, Serie I :

- 1.100 .- GENERALIDADES. Descripción, Definición, Modelos.
- 1.200 .- SERVICIOS Y CAPACIDADES . Servicios de procesamiento, Teleservicios.
- 1.300 .- ASPECTOS GLOBALES DE LA RED : Funciones, Modelos, Numeración, Conexiones, Protocolos, Señalización, etc.

1.400.- INTERFASES USUARIO / RED. Estratos 1, 2 y 3 de OSI, Multiplexaje,

Tasas, Aplicaciones, etc.

1.500.- INTERFASES ENTRE REDES

1.600.- PRINCIPIOS DE MANTENIMIENTO

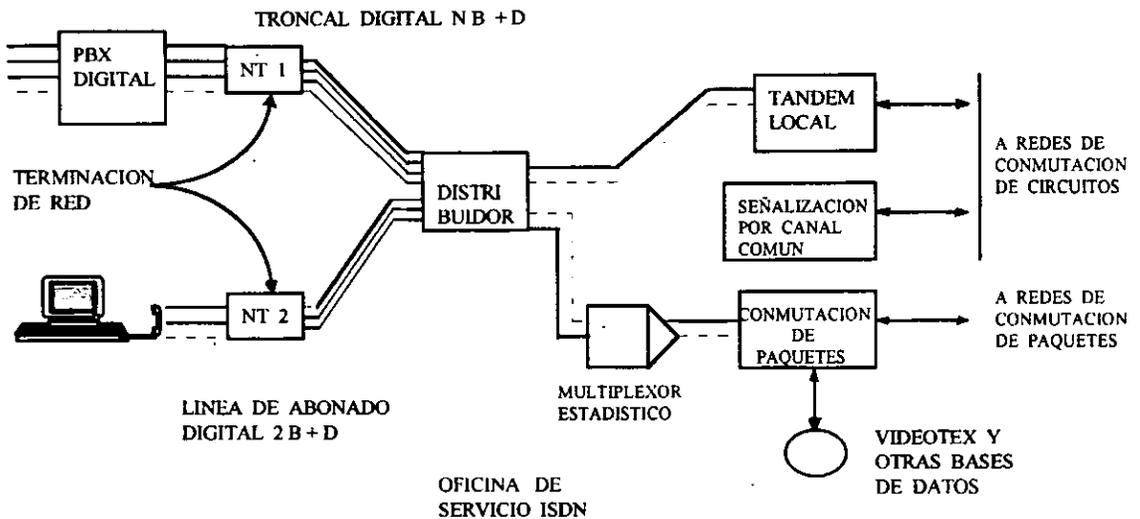


FIGURA 5.9 EL CONCEPTO DEL SERVICIO ISDN

#### TIPOS DE ACCESO.

Los esquemas de acceso deberán permitir :

- \* Definir interfases modularmente
- \* Separar funcionalmente los equipos del usuario y los de la red.

El CCITT ha definido dos tipos de canales :

I) Canales ( exclusivos ) de información para conmutación de circuitos

- \* Canal B a 64 Kbps
- \* Canal HO a 384 Kbps
- \* Canal H1 a 1.5 / 2.0 Mbps

II) Canales de información y de señalización para conmutación de circuitos y de paquetes

- \* Canal D a 16 Kbps para acceso básico.
- \* Canal D a 64 Kbps para acceso primario.

ACCESO BASICO            144 Kbps con 2B + D

ACCESO PRIMARIO        1.5 Mbps con 23 B + D ( EUA y Japón )

2.0 Mbps con 30 B + D ( Europa y México )

## 5.5.2 ACCESO BASICO Y LINEA MULTIPLEX PRIMARIA

El acceso básico, cuya estructura de canales es  $2B + D$ , sirve para conectar uno o varios equipos terminales a una central. Para conectar un equipo individual se requiere un enlace punto a punto, mientras que para conectar varios equipos se necesita un enlace punto multipunto. Para conectar varios equipos terminales (se suelen conectar hasta ocho) se utiliza por el lado del abonado el bus pasivo (Figura 5.10, punto de referencia S/T). El bus pasivo consta de dos líneas bifilares, una para cada dirección de transmisión, y está dotada de tomas (hasta 16). Los equipos terminales pueden conectarse a cualquier toma del bus y son accesibles marcando directamente un número de abonado múltiple (múltiple subscriber number). En el acceso básico pueden utilizarse en el punto de referencia U líneas de abonado convencionales de cobre bifilares para el enlace entre la NT1 y la central.

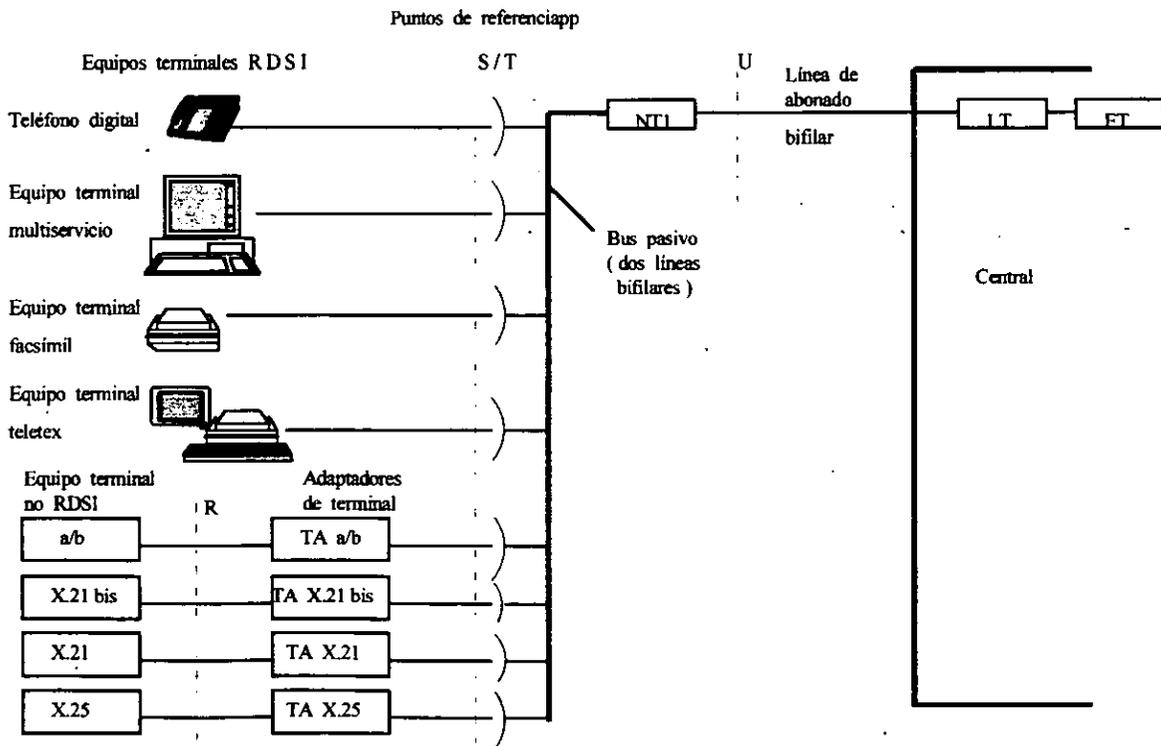


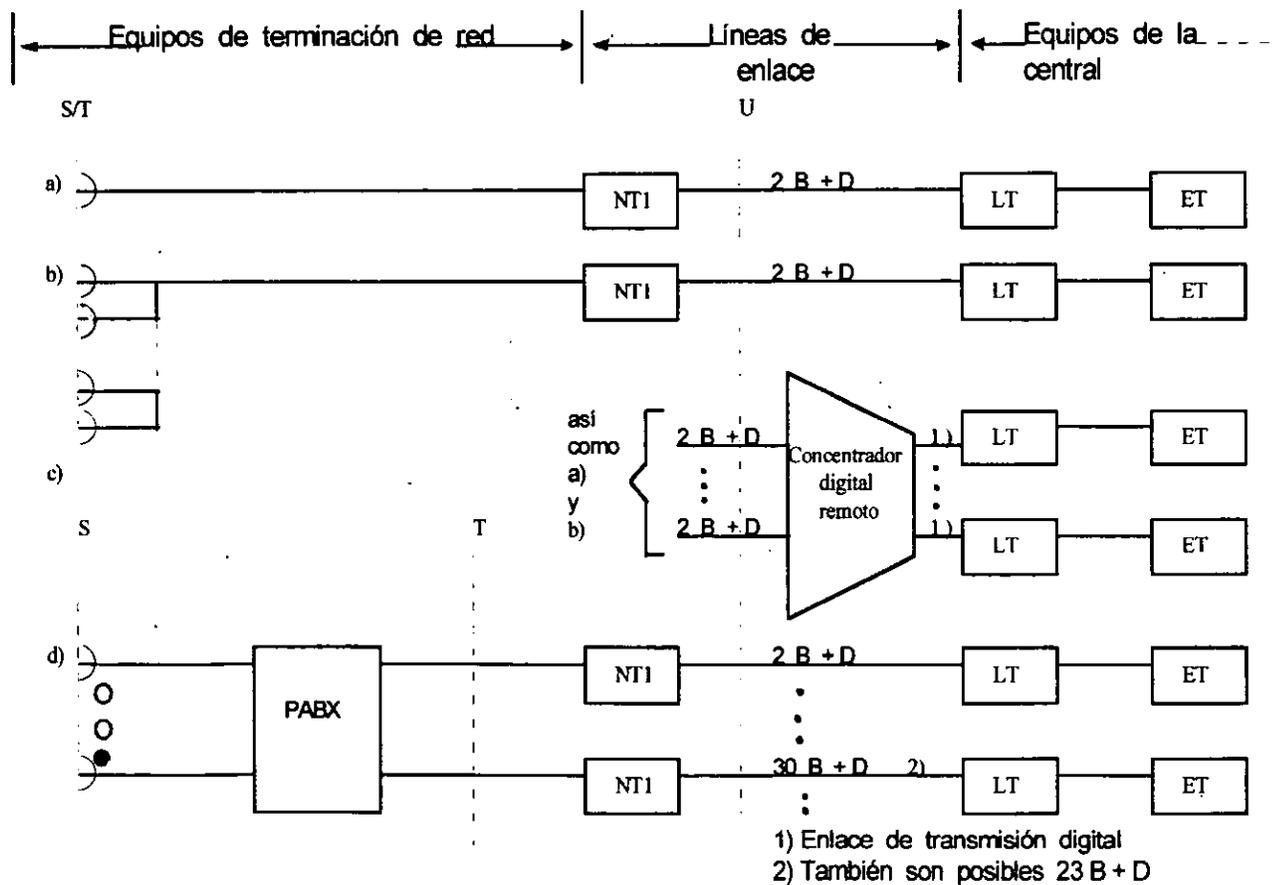
Figura 5.10 Acceso básico RDSI con varios equipos terminales .

El acceso múltiplex primario, cuya estructura de canales es de  $23$  ó  $30B + D$  sirve para la conexión punto a punto de las PABX medianas a grandes a la central. El enlace de transmisión a través del interfaz U la constituyen dos pares de hilos simétricos de un cable de baja frecuencia, fibras ópticas o trayectos de radioenlace.

Si se emplea una PABX, los interfaces en los puntos de referencia S y T pueden ser distintos. Los usuarios pueden estar conectados a la PABX, por ejemplo a través de acceso básico ( punto de referencia S ) y la PABX puede estar conectada a la central a través de líneas múltiplex primarias ( punto de referencia T ).

Según su tamaño, las PABX pueden conectarse a la central

- \* a través del acceso básico y línea múltiplex primaria ( figura 5.11 )
- \* sólo a través de acceso básico ó
- \* sólo a través de línea múltiplex primaria.



Directamente a la central

con un solo equipo terminal ( conexión de equipo individual, a)

con varios equipos terminales a través de un bus pasivo ( conexión de varios equipos, b)

A través de concentradores digitales remotos ( la conexión a la central es realizada generalmente con enlaces de transmisión digitales, c).

A través de las PABX ( d ).

FIGURA 5.11 Ejemplos de conexión de usuarios RDSI a una central a través de acceso básico ( $2B + D$ ) y líneas múltiplex primarias ( $30B + D$  ó  $23B + D$ ).

## 5.5.3 GRUPOS FUNCIONALES

Los grupos funcionales se describen a continuación en la siguiente figura 5.12.

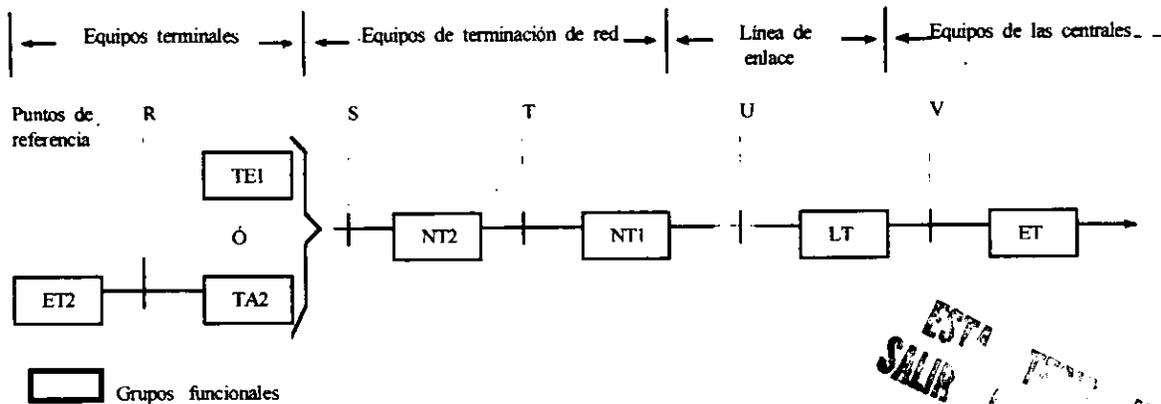


FIGURA 5.12 CONFIGURACION DE REFERENCIA

Equipo terminal RDSI (TE1 = terminal equipment type 1)

El TE1 dispone de los protocolos correspondientes al interfaz en el punto de referencia S y pueden conectarse directamente al bus pasivo.

Equipo terminal no RDSI (TE2 = terminal equipment type 2)

A diferencia del TE1, el TE2 tiene un interfaz convencional (por ejemplo: a/b, X.21, X.25, V.24) y sólo puede conectarse al bus pasivo a través de un módulo adaptador adecuado.

Adaptador terminal (TA = terminal adapter)

Permite utilizar en la RDSI equipos terminales convencionales (no RDSI) adaptando los interfaces convencionales a los protocolos del interfaz en el punto de referencia S.

Terminación de red (NT = network termination)

La terminación de red (NT) puede constar de dos partes (NT1 y NT2). La terminación de red 1 (NT1) se encarga de la adaptación física del equipo terminal a la línea de conexión a la central, permitiendo también la utilización común de dicha línea por parte de varios equipos terminales. Además, una NT1 puede apoyar el mantenimiento independientemente del estado operativo del usuario (bucle de prueba) y comunicar a la central criterios de calidad de transmisión. La NT2, que puede estar implementada adicionalmente, tiene funciones de conmutación, es decir, puede ser una PABX. Si no se requieren funciones NT2 de este tipo, se suprime la NT2 (NT2 cero).

Terminación de línea ( LT = line termination )

La terminación de línea constituye, en cuanto a la técnica de transmisión, la terminación de una línea de conexión en la central. Según se utilice en un acceso básico o una línea múltiplex primaria, puede ejecutar funciones tales como la alimentación de la NT o de los regeneradores intermedios, la puesta a disposición de bucles de prueba, la regeneración de señales y la conversión de código.

Terminación de central ( ET = exchange termination )

La ET constituye la terminación de control para una línea de conexión en la central. A través de la ET pasa la información útil y la información de señalización. La ET trata en la central el protocolo de la capa de enlace de datos ( capa 2 del modelo de referencia OSI ) del DSS1. El formato de la información de señalización recibida en los equipos terminales se convierte, en su caso, a otro formato antes de continuar su procesamiento fuera de la ET.

La LT y la ET pueden estar integradas en una misma unidad funcional.

## INTERFAZ USUARIO - RED

Un requisito indispensable para la introducción de la RDSI es que la tecnología digital se haya introducido hasta en los equipos terminales. Para las líneas de abonado, el CCITT ha definido grupos funcionales con puntos de referencia ubicados entre los mismos, figura anterior. Esta ubicación determina las tareas de los distintos grupos de abonados y de funciones de conmutación, lográndose así la compatibilidad de diversos sistemas de conmutación y equipos terminales.

El CCITT define el interfaz usuario - red tanto para el acceso básico como para la línea múltiplex primaria. Estas definiciones se basan en el modelo de referencia OSI, y se refieren no sólo a las características físicas de tales interfaces, sino, por ejemplo también a las posibilidades de acceso y a los protocolos. Los interfaces definidos garantizan concretamente

- \* la aplicación de distintos equipos terminales para diferentes servicios
- \* la portabilidad de los equipos terminales
- \* el desarrollo ulterior autónomo de las tecnologías, configuraciones e instalaciones de los equipos terminales y las redes así como
- \* posibilidades económicas de enlace con medios de almacenamiento y procesamiento de datos especiales y con otras redes.

El interfaz usuario - red puede cubrir los puntos de referencia S y T :

- \* Si existe una terminación de red 2 ( NT2, una PABX ), el interfaz usuario - red está situado en el punto de referencia T.
- \* Si no existe ninguna NT2, los puntos de referencia S y T coinciden ( punto de referencia S/T ) y el interfaz usuario - red está situado efectivamente en el punto de referencia S.

Esto significa que la existencia o la ausencia de una NT2 determina la ubicación del interfaz usuario - red. En ambos casos se trata por regla del mismo interfaz usuario - red.

El CCITT no especifica el intefaz en el punto de referencia U, pero presenta el enlace entre la terminación de red 1 ( NT1 ) y la central como sistema de transmisión digital ( Recomendación G.961 del CCITT ).

## 5.5.4 MODELO DE REFERENCIA OSI.

El modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos OSI ( Open system interconnection ), desarrollado por la Organización Internacional de Normalización ( ISO ) constituye una estructura para los procesos lógicos en una red de telecomunicacion.

La aplicación consecuente del modelo de referencia OSI posibilita la comunicación entre equipos terminales de diferente procedencia ( sistema abierto ) dentro de una red. Puertas adecuadas de acceso a redes y servicios permiten obtener una comunicación abierta entre todos los usuarios de dichas redes.

El modelo de referencia OSI constituye el marco necesario para la incorporación y el desarrollo de protocolos e interfaces para la comunicación en sistemas abiertos. Sin embargo, no ofrece soluciones técnicas, prescribiéndose únicamente como deben comportarse los equipos hacia el exterior.

### LAS CAPAS

El sistema de referencia OSI asigna las funciones de comunicación requeridas a siete capas de acuerdo a la siguiente figura ( 5.13 ).

Las capas 1 a 7 de un sistema abierto están basadas en las demás capas. Una capa inferior pone ciertos servicios preestablecidos a disposición de la capa superior, en su caso con el apoyo de otras capas inferiores. Esto rige para las capas 1 a 7 sin excepción alguna. Las funciones de las capas inferiores se requieren para las funciones de las capas superiores. En la Recomendación X.200 del CCITT se describen las funciones de las capas 1 a 7. Las tareas principales de las siete capas son :

- Capa 1 : Control del medio de transmisión físico
- Capa 2 : Salvaguarda de la transmisión a través de la comunicación en toda la red
- Capa 3 : Conmutación y establecimiento de la comunicación en toda la red
- Capa 4 : Enlace de transporte extremo - extremo
- Capa 5 : Control de la relación extremo - extremo
- Capa 6 : Presentación de una comunicación independiente del usuario y de los equipos
- Capa 7 : Control de la comunicación específica del usuario

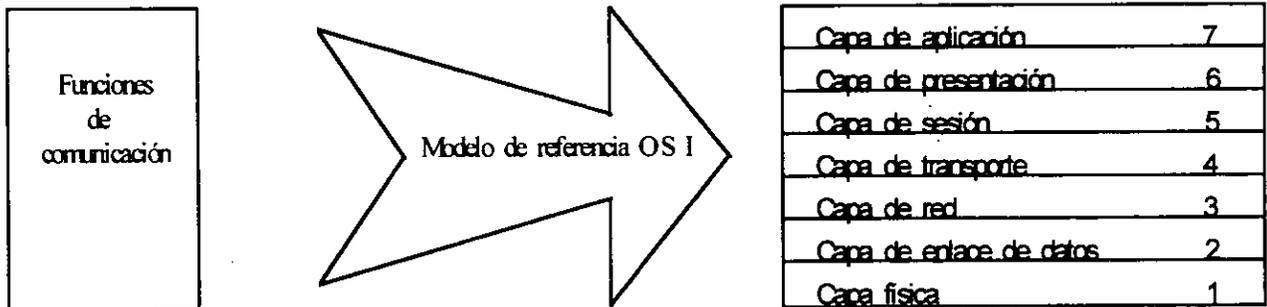


Figura 5.13 LAS SIETE CAPAS DEL MODELO DE REFERENCIA O S I .

### 5.5.5 DEFINICION DE LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

De acuerdo a lo anteriormente descrito, la Red Digital de Servicios Integrados, surge como un desarrollo de tecnología enfocado hacia los grandes usuarios. ( oficinas gubernamentales, consorcios industriales, empresas, etc . ) bajo las siguientes premisas :

- \* Utilizar la tecnología existente y gradualmente sustituirla
- \* La nueva tecnología tendría que ser compatible con los protocolos existentes
- \* Está misma tendría que ser escalable
- \* Estaría basada sobre el modelo OSI de la Organización Internacional de Estandares I S O.

En base hasta lo ahora mencionado, se da una definición más acorde con los tipos de servicios a utilizar dentro de la Red Digital de Servicios Integrados : Es una red digital unificada en la cual el abonado o usuario final puede recibir y emitir información, utilizando una sola línea, para todas las clases de comunicación ( voz, textos, datos, imágenes fijas y móviles ) está información se transmite por una sola conexión en el sistema de conmutación.

El rápido avance de la tecnología de conductores de fibras ópticas y la introducción de las técnicas digitales dieron el impulso necesario para reconsiderar el concepto tradicional de las redes. Hace poco, se finalizó este proceso con resultados positivos para la técnica de cables con conductores de fibra óptica que fue sometida a prueba en todos los niveles de la red telefónica.

Desde el inicio de la transmisión eléctrica de comunicaciones han surgido redes de servicio separadas para las formas de comunicación vocal, de textos y datos, optimizadas de acuerdo a las posibilidades tecnológicas y teniendo en cuenta la finalidad prevista. Sin embargo, estas redes sólo se han logrado imponer hasta hoy para comunicaciones mundiales, redes telefónicas y telegráficas.

Ello dió lugar a establecer, a nivel internacional, el objetivo de desarrollar una red unitaria así como métodos y equipos que permiten transmitir no sólo todos los servicios existentes en la actualidad sino, además, nuevas clases de comunicación, reunidas en una única red, sin crear problemas de compatibilidad.

En la técnica analógica se cuenta, como se sabe, para transmitir en baja frecuencia con un ancho de banda de 0.3 hasta 3.4 Khz. En el sistema digital se planearon dos servicios: velocidad básica (BRI) de 16 y 64 kbits/s y otra velocidad primaria (PRI) para 24 y 30 canales (1544 y 2048 kbits/s).

En el sistema RDSI se puede transmitir a una velocidad de 144 Kbit/s, subdividida en 2 x 64 Kbit/s (canales B) para transmitir voz, textos y/o datos así como 1 x 16 Kbit/s (canal D) para tres posibles usos (emisión de señales, transmisión de datos " lentos " y en el futuro, posiblemente para servicios de telemetría ( figura 5.14 ).

La transmisión se efectúa actualmente en los cables simétricos ( coaxiales ) de cobre, facilitándose considerablemente el acceso a las redes públicas.

La diferencia fundamental entre las redes telefónicas tradicionales y la RDSI radica en que el abonado tiene a su disposición en lugar de una única conexión, dos conexiones digitales y, además, un canal de 16 Kbit/s, separado de los anteriores, para la señalización. El sistema público de conmutación telefónica EWSD ( Sistema Electrónico Selector Digital ) ya está preparado de tal manera que puede ser usado en el sistema RDSI con algunos agregados, ante todo el área de conexión del abonado. Para ello se puede utilizar la red de transmisión existente con conductores de cobre simétricos, sin efectuar modificación alguna.

Entretanto, los esfuerzos dirigidos a elaborar normas internacionales han avanzado al punto de que el CCITT logró aprobar, la mayoría de las normas más importantes para el sistema RDSI. ( Códigos de línea, La codificación, multiplexaje y dos velocidades, la básica de 16 y 64 kbits/s y la primaria con 1544 y 2048 kbits/s ).

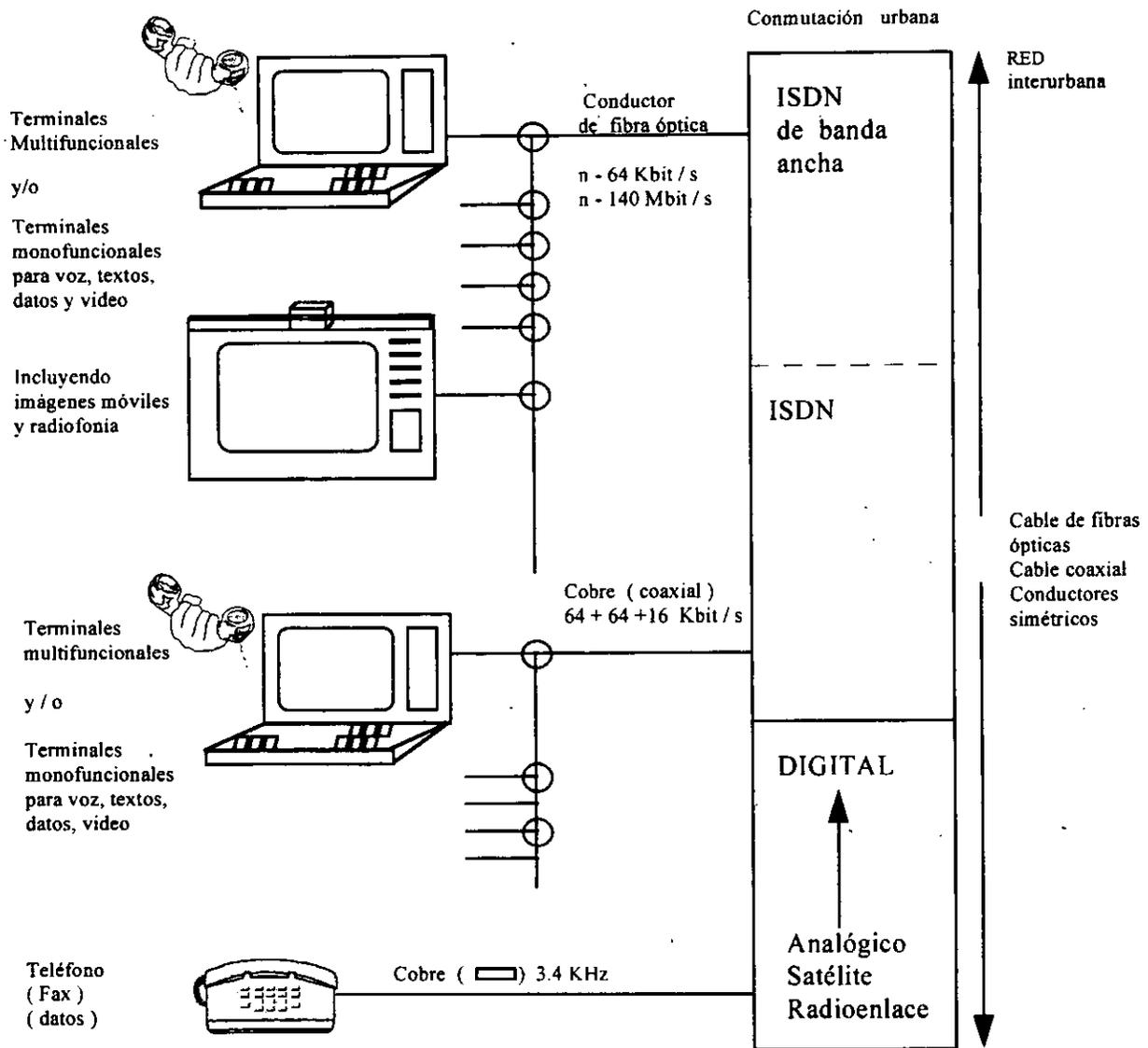


Figura 5.14 De la red analógica a la red ISDN de banda ancha.

### 5.5.6 RDSI DE BANDA ANCHA ( B - ISDN ).

Además, en su concepto de futuros desarrollos de la infraestructura de las telecomunicaciones, se previó incorporar, a partir de 1990, servicios de banda ancha en la red de servicios integrados. En las entidades que trabajan en tareas de estandarización ( p.ej. CCITT ) se discutió las cuestiones relativas al sistema RDSI de banda ancha. Se cuenta con las recomendaciones sobre estandarización desde fines del período de estudio del CCITT ( 1988 ). Estas recomendaciones aseguran la compatibilidad de redes y servicios de banda ancha a nivel mundial.

Se ha proyectado agregar gran número de servicios de banda ancha a los servicios ( de banda angosta ) del sistema RDSI. Se trata de los siguientes: videotelefonía, videoconferencia en empresas, videotextos en banda ancha, transmisión de datos a alta velocidad, distribución de programas televisivos ( tv para abonados, televisión de alta definición ) distribución de programas de audio estereofónicos así como textos por cable en banda ancha. La integración de estos servicios de banda ancha requiere velocidades de transmisión de por lo menos 140 Mbit/s en las líneas de abonados así como la incorporación de conductores de fibra óptica de la red.

Se contempla que los abonados del sistema RDSI de banda ancha tengan a su disposición, en una conexión de banda ancha y en determinados grados, toda la gama de servicios y prestaciones específicas del RDSI. A la conexión básica del RDSI ( dos cables de servicio B y un canal de señales D ) se agrega un canal de banda ancha, para el cual la señalización se efectúa a través del canal D.

La introducción de la técnica de conmutación en banda ancha no requiere nuevos sistemas de conmutación. Será posible ampliar los sistemas de conmutación RDSI como p. ej. EWSD, con los correspondientes módulos para la conmutación de banda ancha. Además del aparato de abonado de banda ancha, se encuentra en la etapa de desarrollo una red de acoplamiento de banda ancha que deberá ajustarse a requerimientos particularmente elevados. Para la misma se encuentra disponible, en un futuro próximo, un módulo con una velocidad de transmisión de hasta 170 Mbit/s. Los gastos requeridos para desarrollar el hardware y el software para estos sistemas son en ambos casos sumamente elevados. Con algunos proyectos piloto, p.ej. BIGFON ( Alemania ), ya resultó posible demostrar la factibilidad técnica del sistema RDSI de banda ancha.

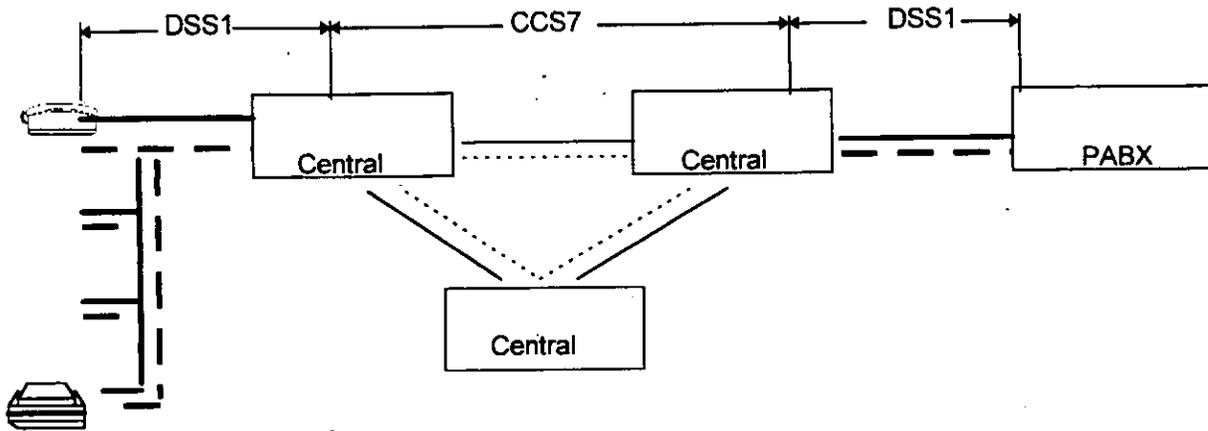
### 5.5.2 SISTEMAS DE SEÑALIZACION PARA ABONADOS DIGITALES ( D S S ).

La diversidad de servicios y atributos que ofrece la red digital de servicios integrados ( RDSI ) requiere en comparación con los sistemas de comunicación convencionales una potente señalización tanto :

- entre las centrales como
- entre las centrales y los equipos terminales / sistemas de telecomunicación.

Para transmitir la señalización ( informaciones de control ) en la RDSI, el Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía ( CCITT ) ha especificado dos sistemas. ( figura 5.15 )

- el sistema de señalización por canal común No. 7 ( CCS7 ) entre centrales
- el sistema de señalización No. 1 para abonados digitales RDSI ( DSS1, antes llamado protocolo de canal D ) entre las centrales y los equipos terminales, el cual se expone en la presente información.



Equipos terminales

Figura 5.15 Señalización en la red digital de servicios integrados

Para ciertos atributos adicionales, estos dos sistemas permiten una señalización extremo-extremo entre los equipos terminales de los respectivos abonados. Esta información se basa en las recomendaciones correspondientes del CCITT ( libro azul ).

Para garantizar en la RDSI la transmisión simultánea - por eje: de voz y señalización o de texto y señalización sin perturbaciones mutuas se dispone de canales separados : Los llamados canales B en la RDSI transmiten voz, texto, datos e imágenes, mientras que para la señalización se ha creado el canal D autónomo.

El CCITT ha fijado dos tipos de líneas de abonados RDSI. (figura 5.16 )

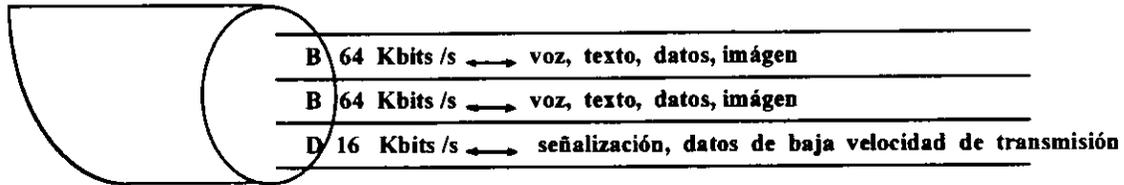
- El acceso básico para líneas de abonado individuales así como para las PABX ; un acceso básico dispone de dos canales B y un canal D.
- La línea múltiplex primaria para las PABX ; una línea múltiplex primaria tiene 30 ó 23 canales B y un canal D.

El canal D autónomo es muy potente y ofrece disponibilidad permanente. Dentro de su capacidad de transmisión, el canal D puede transmitir, además de la señalización, también datos de baja velocidad de transmisión ( datos en modo paquete, datos de telemetría e informaciones usuario - usuario ), otorgándose a tal efecto prioridad a la señalización.

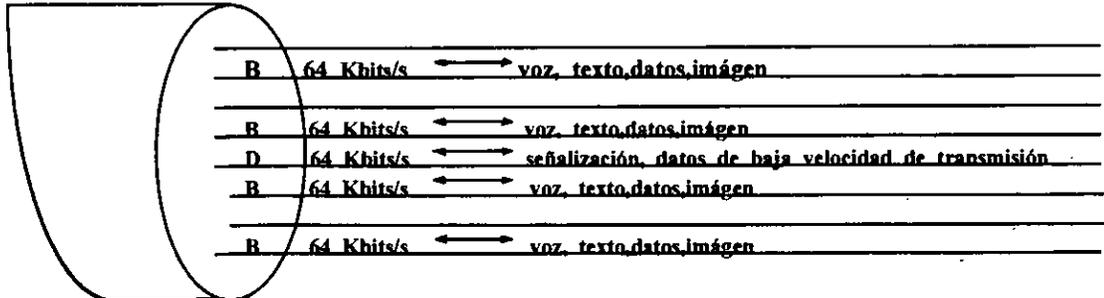
El canal D Transmite señalización y datos independientemente del estado de ocupación de los canales B. Así, un usuario puede transmitir, por ejemplo : una telecopia por uno de los canales B y sostener una conversación telefónica por el otro, mientras que se le indica el número telefónico de un abonado que le está llamando. Este número telefónico se transmite por el canal D. El acceso al canal D está garantizado permanentemente desde cualquier equipo terminal y desde la central.

El DSS1 se distingue por las siguientes características principales :

- Normalización internacional
- Alto grado de seguridad de transmisión y flexibilidad
- Aptitud para todos los servicios de comunicación ( telefonía, fax, transmisión de datos, etc )
- Tiempos de reacción breves
- Orientado a nuevos requisitos del futuro .



a) Acceso básico



b) Línea Múltiple primaria

Figura 5.16 Tipos de línea de abonados RDSI

## CONCLUSIONES

Hoy en día la mayoría de los dispositivos digitales resultan ser más económicos que sus equivalentes analógicos; por otra parte, los sistemas digitales están basados en circuitería LSI ( Integración a gran escala ) por lo que son altamente confiables. Es posible emplear esta tecnología para transmitir todo tipo de informaciones. Las redes digitales no sólo transportan voz, sino que también son capaces de transmitir datos, imágenes de video y facsímil por el mismo canal. Con las técnicas digitales se superan muchas de las limitaciones de transmisión y almacenamiento que presenta la tecnología analógica

La transmisión digital tiene unas ventajas fundamentales si se le compara con la tecnología analógica : puesto que una señal digital solamente puede tener valores discretos determinados ( en el caso más simple solamente dos ), esta señal digital puede librarse por medio de amplificadores regeneradores casi totalmente de las interferencias causadas por el ruido o por la diafonía, las cuales normalmente se van sumando a la señal a lo largo de la ruta de transmisión. Con una señal analógica esto no sería posible. Esta gran ventaja hace que la tecnología digital se pueda instalar incluso bajo las circunstancias de transmisión más desfavorables como, por ejemplo, en cables urbanos, los cuales originariamente se habían definido solamente para la transmisión de señales en el margen de las frecuencias telefónicas. Incluso cuando se utilizan radioenlaces, la posibilidad de regeneración es una gran ventaja.

Si en el transcurso de la transmisión se falsea un elemento de la señal, se produce un bit de error y, a consecuencia de la regeneración que se hace a tramos regulares, se van sumando solamente bits erróneos, no los ruidos. La tasa de bits de error ( BER ) tendrá que mantenerse, por lo tanto, tan pequeña como sea posible.

Mencionaremos dos ventajas de la tecnología digital adicionales a las ya mencionadas :

- \* Es una tecnología normalizada, y además los circuitos digitales ocupan muy poco espacio para la transmisión y conmutación de la información.
- \* Es posible la transmisión y conmutación de las señales normalizadas para todos los tipos de comunicación como telefonía, texto, imágenes y datos.

Existen varias razones que justifican la sustitución de los sistemas analógicos por aquellos que utilizan técnicas de transmisión y conmutación digital. La tecnología digital a tenido una gran disminución de costos en los últimos años, debido a los avances en la microelectrónica y la capacidad de fabricar en gran escala, parece que esta tendencia se

refuerza con nuevos proyectos y pruebas de otros tipos de materiales aplicados en diversos campos de las telecomunicaciones. La demanda del tráfico digital también seguirá en aumento, con la difusión de las microcomputadoras y nuevos servicios al alcance de un gran número de usuarios, se espera un enorme crecimiento en la demanda de estos servicios.

También hay que agregar los recientes avances en campos como el procesamiento digital de imágenes, técnicas de compresión de voz, técnicas de criptografía de información, sumados a la disponibilidad de componentes de buen precio para el almacenamiento, entre otras abrirán nuevas áreas de desarrollo, que serían muy difíciles de manejar en el terreno de las técnicas analógicas. Además los sistemas digitales son más sencillos de instalar, modificar, mantener y operar; son considerablemente más confiables y consumen menos potencia.

#### VENTAJAS DE LA TECNICA DE FIBRA OPTICA

Las fibras ópticas, el nuevo medio de transmisión que dominará los medios o la tecnología de transmisión del futuro, se puede decir que es apropiada principalmente sólo para la transmisión digital. Con la fibra óptica disponemos hoy de un medio de transmisión óptico que supera a los conductores metálicos en importantes aspectos :

-Atenuación de línea muy escasa.

Mientras una señal de alta frecuencia en un cable coaxial ya después de pocos cientos de metros ha perdido la mitad de su potencia, en fibras ópticas particularmente buenas, la potencia lumínica disminuye a la mitad después de 15 kms. Esto significa que en los sistemas de larga distancia los amplificadores para la reactivación de la señal sólo son necesarios a distancias mucho mayores o bien ya puede prescindirse totalmente de ellos.

-Significativa mayor capacidad de transmisión de determinados tipos de fibras.

Teóricamente son posibles tasas de transmisión en el orden de magnitudes superiores a 10 Gbits/s ( contrariamente a ello, en los cables coaxiales se llega en la actualidad a aproximadamente 1 Gbits/s ). Esta capacidad puede ser aumentada aún utilizando varias portadoras con diferentes longitudes de ondas lumínicas.

-Considerable reducción del volumen y peso del cable.

Un diámetro de fibra muy pequeño ( con capa sintética protectora de 0,25 hasta 0,5 mm. de espesor contra aproximadamente 10 mm. en pares coaxiales de cobre ) y un

peso de cable reducido, con una flexibilidad mecánica considerablemente mayor, brindan una serie de ventajas para transporte, tendido y espacio necesario en tramos de líneas de cables.

-Ninguna conductividad eléctrica.

Debido a ello no son necesarias disposiciones de puesta a tierra y protección contra rayos. Una fibra puede, por ejemplo en instalaciones de alta tensión, salvar grandes diferencias de potencial como línea de control, ser instalada en "medios peligrosos" como plantas químicas.

-Ninguna interacción entre onda luminica por un lado y ondas electromagnéticas y campos fuera de la fibra por el otro.

Durante la transmisión sobre fibra óptica no son generados campos electromagnéticos perturbadores; inversamente, la transmisión tampoco puede ser interferida externamente por estos campos. Esto significa, que una transmisión así, solo muy difícilmente podrá ser escuchada por personas no autorizadas.

#### TENDENCIA EN EL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS.

Mientras que actualmente las posibilidades de la nueva técnica son probadas en el uso práctico, en los laboratorios de investigación se trabaja ya en nuevas soluciones técnicas. Labores teóricas y prácticas tienen por objeto, activar procesos de conmutación directamente con impulsos lumínicos. Más allá de esto, se espera desarrollar conmutadores ópticos, que puedan emplearse en lugar de conmutadores electromagnéticos y electrónicos. Esto ha de permitir, por ejemplo, conmutar aún más conversaciones telefónicas con mayor celeridad que hasta el presente.

También en el futuro se mantendrá el impetuoso desarrollo de las comunicaciones ópticas. Por una parte, se alcanzarán capacidades de transmisión más elevadas y mayores tramos de regeneración; por otra parte, adquieren importancia áreas de aplicación suplementarias, como redes urbanas públicas para conexiones en banda ancha ( ISDN - B, Integrated Services Digital Network-Broadband ), redes de área local privadas ( LAN, Local Area Networks ), transmisión de datos en sistemas de automatización, cableado en barcos, trenes, aviones, etc...

Finalmente, se incluyen en los planes de desarrollo las fibras de fluoruro de una extremada baja atenuación en lugar de las fibras de vidrio actuales. Los primeros cálculos

nos muestran posibilidades de alcanzar, en el margen de longitud de onda de 2 a 10  $\mu\text{m}$ , atenuaciones específicas con un orden de magnitud de 0,01 db/km. e incluso inferiores.

El objetivo primordial del desarrollo de este trabajo es que sirva de consulta y referencia técnica, además que de pauta para seguir desarrollando los temas en esta tratada con mayor profundidad ó acordes a los cambios e innovaciones técnicas que se estén dando en el campo. En el presente trabajo se conjuntaron una serie de consideraciones, datos y comparaciones que son una guía práctica del quehacer diario en ámbito de las telecomunicaciones.

La aportación personal a este trabajo es hacer más accesible la información contenida en el mismo, tratando la información desde un punto de vista de desarrollo técnico y práctico, situaciones que hasta este momento desarrollo de forma personal, dentro del área de las telecomunicaciones. En el desarrollo de este trabajo surgieron dudas, que aumentaron el interés por conocer más y ampliar las bases teóricas y prácticas con las que hasta ahora cuento. De lo anterior menciono : ser parte activa del cambio tecnológico, el cual lo desarrollo y práctico a diario.

Señal de alarma.- Estas señales transmiten en los sistemas PCM 30 señales de servicio.

Señal de alineación de trama.- Está formada por determinados bits de una señal digital y sirve para identificar las tramas consecutivas, consiguiendo así la alineación de trama de un equipo receptor. La señal de alineación de trama completa no tiene que estar necesariamente en cada trama, pudiendo, por ejemplo, encontrarse sólo en cada segunda trama o distribuida en dos tramas.

Señal digital.- Señal que debe presentar una característica discontinua en el tiempo y no tener más que cierto conjunto de valores discretos.

Sincronización despótica.- La organización del sincronismo de una red es despótica cuando existe un solo reloj maestro que ejerce un dominio absoluto de control sobre los demás relojes.

Síncrono.- Dos señales son sincrónicas si sus instantes significativos coinciden o tienen una relación de fase constante, deseada.

En una red síncrona todos los relojes funcionan a la misma velocidad o a la misma velocidad media con una variación de fase relativa limitada. Considerando rigurosamente este último caso se trata de una red mesócrona.

Tasa de bits.- Velocidad de transmisión de una señal binaria cuyos -- bits se suceden en una frecuencia establecida, también llamada frecuencia de sucesión de bits.

Trama.- Conjunto de intervalos de tiempo de dígitos consecutivos, en el cual la posición de cada intervalo de tiempo de dígito se puede identificar con relación a una señal de alineación de trama.

Transmisión digital.- Transmisión de una señal discreta, ganada normalmente de una señal analógica mediante digitalización, preferentemente mediante impulsos ópticos binarios en una configuración de intervalos de tiempo.

Valor de decisión.- Valor de referencia que define la frontera entre intervalos adyacentes en la cuantificación o en la codificación.

## GLOSARIO DE TERMINOS

Alineación de trama.- Estado en el cual la trama del equipo receptor está en una relación de fase correcta con la trama de la señal recibida.

Ancho de banda.- Frecuencia a la cual la función de transferencia de un conductor de fibras ópticas ha disminuido a la mitad del valor que tenía a la frecuencia cero, es decir a la cual la atenuación de la señal lumínica llega a los 3 db. Dado que el ancho de banda de un conductor de fibra óptica disminuye proporcionalmente con su longitud ( -- mezcla de modos ) se indica a menudo, como característica de calidad, el producto -- ancho de banda por longitud.

B - ISDN .- ISDN para transmitir gran número de servicios de banda ancha ( alta velocidad de transmisión ) como videotelefonía, videoconferencia en el puesto de trabajo y en estudio, -- videotexto en banda ancha, transmisión rápida de datos, -- distribución de programas televisivos así como texto por cable en banda ancha.

Bit .- Unidad de información en sistemas de transmisión digitales. El bit es la unidad de cómputo para señales binarias y refleja la transición entre dos estados, usualmente denominados 0 ó 1. En la electrónica digital los bits se representan por pulsos. Un grupo de 8 bits se denomina usualmente byte.

Bit menos significativo.- En los sistemas MIC, a cada muestra tomada se le asigna una señal de carácter de 8 bits para la transmisión y conmutación. El menos significativo de estos bits es el octavo, que es el último que se transmite. Si se recibe falseado, el abonado telefónico receptor no se da cuenta de ello, razón por la que dicho bit puede ser utilizado para señalización.

Borscht.- Facilidades que ha de proporcionar toda central local digital individualmente a cada línea de abonado analógico.

Byte.- Una serie de elementos de código ( bits ) asociados. En la terminología del CCITT se denomina octeto a todo grupo de ocho bits asociados, por ejemplo, una señal de carácter de 8 bits.

Canal de señalización.- En los sistemas de transmisión MIC, las señales necesarias para el tráfico cursado se transmiten por canales de señalización.

CCITT.- Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía, es un organismo de las Naciones Unidas. Entre sus actividades se incluye la publicación de recomendaciones para sistemas de transmisión digital y sistemas de conmutación digital (referencia series G.700, G.800, G.900 y Q.500).

Circuito híbrido.- Los equipos de conexión de una central digital contienen un circuito híbrido por cada línea de abonado analógico y cada línea de enlace a 2 hilos. El híbrido constituye el elemento de paso de la línea a 2 hilos a la central digital, la cual equivale a un circuito a 4 hilos en la tecnología analógica.

Codec.- Conjunto constituido por un codificador y un decodificador en un mismo equipo.

Codificación.- Generación de señales de carácter para representar muestras cuantificadas. Codificación y decodificación son procesos en los que se modifica solamente la forma de representación de una información, pero no su contenido.

Código.- Carácter o secuencia de caracteres que forman una parte de un mensaje o un mensaje completo, con un significado específico. El código prescribe la equivalencia inequívoca entre los caracteres de dos conjuntos de caracteres.

Código binario.- En un código binario los elementos del mismo (bits) sólo pueden adoptar dos valores discretos: "1" y "0". La palabra "bit" es una forma abreviada de la expresión en inglés "binary digit" (dígito binario).

Conector.- Dispositivo para conexión de fácil separación y ensamble de dos fibras ópticas. Normalmente la -- atenuación de inserción de un conector es mayor a la -- de un empalme.

Conmutador espacial.- Conmuta las señales de carácter de 8 bits entre varias líneas múltiplex de entrada y de salida sin cambiar los intervalos de tiempo.

Conmutador espacial - temporal.- Conmuta las señales de carácter de 8 bits entre varias líneas múltiplex de entrada y de salida con cambio de los intervalos de tiempo.

Conmutador temporal.- Conmuta las señales de carácter de 8 bits entre una línea múltiplex de entrada y otra de salida cambiando los intervalos de tiempo.

Cuantificación no uniforme.- Cuantificación en la que no todos los intervalos son iguales.

La cuantificación no uniforme prevé :

- \* pequeños intervalos de cuantificación para amplitudes pequeñas de la señal.
- \* grandes intervalos de cuantificación para amplitudes grandes de la señal. De esta manera, la relación de la amplitud de la señal con la desviación posible debida a la cuantificación se mantiene aproximadamente igual tanto con amplitudes grandes como pequeñas.

Decibel.- Decibel ó decibelio ( db ), es la unidad que mide la sonoridad ó la intensidad de una señal. Las personas perciben sonidos desde un murmullo de 10 db. hasta alrededor de 140 db. También se dice que se deduce de un nivel de referencia inicial y un nivel observado final.

Decodificación.- Es el proceso inverso a la codificación.

Deslizamiento ( slip ).- La temporización autónoma de las centrales digitales ( servicio plesiocrono ) origina diferencias, aunque de pequeña magnitud, entre las velocidades binarias de las centrales. Si una velocidad binaria de entrada es demasiado rápida para la central, se suprime una trama a determinados intervalos; si la velocidad es demasiado lenta, entonces se repite una trama en dichos intervalos. La supresión o repetición de una trama se denomina "deslizamiento". En el caso de un canal telefónico a 64 kbits/s, esto significa que se suprime o se repite una señal de carácter de 8 bits. Por tal razón, el deslizamiento modifica la información y sólo deberá presentarse de vez en cuando. Para una tolerancia del reloj de 10 - en las centrales, teóricamente se origina un deslizamiento, como máximo, cada 70 días ( recomendación G.811 del CCITT ).

Diámetro del núcleo.- Diámetro del círculo más pequeño que encierra la superficie de la sección del núcleo. El radio del núcleo es el radio de este círculo.

Diodo emisor de luz ( LED ).- Diodo emisor de luz. Un componente semiconductor que emite luz incoherente en forma espontánea.

Diodo láser.- Diodo que emite luz coherente cuando la corriente supera un valor umbral ( - emisión estimulada ). Se diferencia entre diodos láser de ganancia y de índice.

Dispersión.- Básicamente, la dispersión se entiende como un ensanchamiento del pulso óptico al propagarse éste a lo largo de la fibra.

Empalme.- Conexión fija de dos fibras ópticas. Aquí se diferencian entre empalmes pegados y soldados ( – empalme de fibras ópticas por fusión ).

Integridad de los bits.- Los dígitos binarios de un octeto ( por ejemplo una señal de carácter de 8 bits ) se transmiten a la salida sin que tenga lugar modificación alguna. La integridad de los bits es una condición imprescindible para la transmisión de datos. Por tal razón, antes de transmitir los datos ha de hacerse inefectivo cualquier atenuador existente en el área digital ( atenuación digital ).

Intervalo de tiempo.- Cualquier intervalo que aparece cíclicamente y que es posible identificar y definir sin ambigüedad. En las centrales digitales, los periodos de 125 microsegundos se subdividen en intervalos de tiempo. Las señales de carácter de 8 bits en una dirección de la conversación ocupan los mismos intervalos de tiempo en periodos consecutivos de 125 microsegundos.

Intervalo de tiempo de canal.- Un intervalo de tiempo que comienza en una fase particular de una trama, asignado a un canal para transmitir una señal de carácter y, eventualmente, señalización dentro del intervalo u otra información.

ISDN Integrated Services Digital Network.- Red digital unificada en la cual el abonado puede recibir y emitir, utilizando una sola línea, todas las clases de comunicación ( voz, textos, datos, imágenes móviles y fijas ) que se transmiten por medio de una sola conexión en el sistema de conmutación.

Justificación.- Operación que consiste en modificar de forma controlada la velocidad de una señal digital, de modo que se adapte a una velocidad distinta de la suya propia, usualmente sin pérdida de información.

Justificación positiva.- Procedimiento de justificación en el que se pone a disposición un canal de transmisión cuya capacidad es algo superior a la velocidad binaria nominal de la señal útil a transmitir. En determinados intervalos de tiempo de dígito de la señal a transmitir pueden insertarse dígitos de justificación que no contengan ninguna información útil. Los dígitos de servicio de justificación informan al equipo múltiplex en el lado receptor si los citados intervalos de tiempo de dígito contienen informaciones útiles o dígitos de justificación.

**Memoria de control.**- Se emplea en las redes de conmutación digital para almacenar direcciones de control. Las direcciones de control y su secuencia en cada una de las memorias de control determinan las conexiones a efectuar en un conmutador temporal, espacial o espacial - temporal.

**Memoria de datos.**- Es un componente fundamental del conmutador temporal. Se usa para almacenar transitoriamente ( buffer ) y, por consiguiente, desplazar en el tiempo las señales de carácter de 8 bits. Tal desplazamiento temporal es necesario para conmutar las señales de carácter de los intervalos de tiempo en la línea múltiplex de entrada a los intervalos de tiempo en la línea múltiplex de salida.

**Modulación.**- Modificación del parámetro de la señal de una portadora de modulación mediante una señal de entrada moduladora. El parámetro de la señal puede ser la amplitud, la frecuencia o la fase de la portadora de modulación. Si la portadora es un impulso, se habla de modulación por impulsos, la señal moduladora puede ser una señal telefónica.

**Modulación de impulsos por amplitud.**- Procedimiento de modulación que convierte una oscilación analógica en un impulso analógico. Se obtiene una señal PAM cuando se muestrea una oscilación analógica. Dicha señal se compone de cortos impulsos. La amplitud de cada impulso de la señal PAM corresponde a la amplitud instantánea de la oscilación analógica. Una señal PAM puede transmitirse sola o entrelazada con los impulsos de otras señales PAM ( señal PAM múltiplex por distribución en el tiempo ).

**Modulación por impulsos codificados ( MIC ).**- Procedimiento de modulación que convierte una oscilación analógica en una señal digital. La señal analógica se muestrea y las muestras así obtenidas se cuantifican y codifican. La señal MIC obtenida se compone de señales de carácter que se asignan según un código de impulsos a los intervalos de cuantificación ( muestras ). Una señal MIC puede transmitirse sola o entrelazada con las señales de carácter de otras señales MIC ( señal MIC múltiplex por distribución en el tiempo ).

**Multiplexado.**- Combinación de varias señales de entrada para transmisión simultánea por una línea.

**Multitrama.**- En el sistema de transmisión PCM 30, una multitrama se compone de 16 tramas y en el sistema PCM 24, se compone de 12 tramas.

PABX.- Central telefónica automática privada.

Plesiocrono.- Dos señales son plesiocronas si sus instantes significativos correspondientes se presentan con la misma cadencia nominal.

Proporción de errores de bits.- La proporción de errores de bits indica la relación existente entre la cantidad de los bits falseados durante la transmisión y la totalidad de los mismos. En una comunicación a 64 kbits/s por una central la proporción de errores de bits deberá ser, como máximo, de  $10^{-9}$ .

Además de la proporción de errores, a veces se mide también el número de errores de bits por unidad de tiempo.

Rayos meridionales.- Son rayos de luz que pasan a través del eje de la fibra y son reflejados internamente, su propagación está confinada en un plano llamado meridional, que es perpendicular a la sección transversal del núcleo

Red asincrónica.- Red en la cual no es necesario que los relojes de las estaciones interconectadas sean sincronos o mesócronos.

Red Digital de Servicios Integrados.- Además de las señales digitales vocales pueden transmitirse de la misma manera por la red digital de servicios integrados datos para texto, imágenes u otras informaciones. Los canales útiles en la red digital de servicios integrados tienen - como los canales telefónicos - una velocidad de transmisión de 64 kbits/s. Para servicios que requieran un mayor ancho de banda pueden combinarse "n" canales de 64 kbits/s.

Refracción y Reflexión.- Un parámetro óptico fundamental en fibras ópticas es el índice de refracción. En el vacío la luz viaja a una velocidad de  $C = 3 \times 10^8$  m/s, en un medio dieléctrico o no conductor, la luz viaja a una velocidad "V" normalmente menor que "C"; dicha velocidad depende del medio en el que se propague la luz.

El índice de refracción es la razón de la velocidad de la luz en vacío "C" a la del medio en cuestión ( ecuación ).

$$n = \frac{C}{V} = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en el material}}$$

Algunos valores típicos de "n" son :

- 1.00 para el aire
- 1.5 para el cuarzo
- 2.42 para el diamante

Señal de alarma.- Estas señales transmiten en los sistemas PCM 30 señales de servicio.

Señal de alineación de trama.- Está formada por determinados bits de una señal digital y sirve para identificar las tramas consecutivas, consiguiendo así la alineación de trama de un equipo receptor. La señal de alineación de trama completa no tiene que estar necesariamente en cada trama, pudiendo, por ejemplo, encontrarse sólo en cada segunda trama o distribuida en dos tramas.

Señal digital.- Señal que debe presentar una característica discontinua en el tiempo y no tener más que cierto conjunto de valores discretos.

Sincronización despótica.- La organización del sincronismo de una red es despótica cuando existe un solo reloj maestro que ejerce un dominio absoluto de control sobre los demás relojes.

Síncrono.- Dos señales son sincronas si sus instantes significativos coinciden o tienen una relación de fase constante, deseada.

En una red síncrona todos los relojes funcionan a la misma velocidad o a la misma velocidad media con una variación de fase relativa limitada. Considerando rigurosamente este último caso se trata de una red mesócrona.

Tasa de bits.- Velocidad de transmisión de una señal binaria cuyos bits se suceden en una frecuencia establecida, también llamada frecuencia de sucesión de bits.

Trama.- Conjunto de intervalos de tiempo de dígitos consecutivos, en el cual la posición de cada intervalo de tiempo de dígito se puede identificar con relación a una señal de alineación de trama.

Transmisión digital.- Transmisión de una señal discreta, ganada normalmente de una señal analógica mediante digitalización, preferentemente mediante impulsos ópticos binarios en una configuración de intervalos de tiempo.

Valor de decisión.- Valor de referencia que define la frontera entre intervalos adyacentes en la cuantificación o en la codificación.

## BIBLIOGRAFIA

- RIOS, G. F. Redes digitales, Palacio de Minería, Junio 1992
- “ Notas técnicas 1 “ GN elmi, Agosto 1988
- “ Telecomunicaciones digitales “, Marcombo, 1988.
- “ Notas técnicas de Modulación por impulsos y Codificación ”  
France Telecom, 1992
- “ Notas técnicas de Líneas y Transmisiones fibras ópticas “  
France Telecom, 1992
- “ Conductores de fibras ópticas “, Marcombo, 1987.
- “ Comunicaciones ópticas “ , Revista Telcom Report , 1983.
- “ Apuntes técnicos de curso Las Redes Digitales y sus Servicios ”  
Empresa Kb - TEL Telecomunicaciones 1993.