

**Breve Descripción de
Sistemas de Conmutación y Transmisión**

Sr. G. Moumoulidis, OTE



**UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES**



CONTENIDO

- 1. Introducción**
- 2. Sistemas de Conmutación**
 - 2.1 *Generalidades*
 - 2.2 *Sistemas de conmutación por división en el espacio*
 - 2.3 *Sistemas de conmutación por división en el tiempo Sistemas Digitales*
 - 2.3.1 *Ambiente analógico*
 - 2.3.2 *Ambiente digital*
 - 2.4 *Especificación de la central*
- 3. Sistema de Ganancia de Par de Abonado**
 - 3.1 *Antecedentes*
 - 3.2 *Aplicaciones de los sistemas de ganancia de par*
 - 3.3 *Concentrador de línea*
 - 3.4 *Especificación del concentrador de línea*
- 4. Unidad Remota de Abonado**
- 5. Sistemas de Transmisión**
 - 5.1 *Introducción*
 - 5.2 *Transmisión de frecuencia de voz*
 - 5.2.1 *Generalidades*
 - 5.2.2 *Cable multipar*
 - 5.3 *Multiplex por división de frecuencia*
 - 5.3.1 *Portadoras de hilo abierto*
 - 5.3.2 *Sistema portador multipar*
 - 5.3.3 *Propiedades técnicas requeridas para la planificación de redes*
 - 5.4 *Modulación por impulsos codificados*
 - 5.5 *Cable coaxial*
 - 5.5.1 *Antecedentes*
 - 5.6 *Cables de fibra óptica*
 - 5.6.1 *Introducción*
 - 5.6.2 *Aplicación en redes de interconexión*
 - 5.6.3 *Aplicación en redes troncales*
 - 5.7 *Enlaces de microondas de línea de vista*
 - 5.8 *Sistemas múltiplex*
 - 5.8.1 *Sistemas múltiplex MIC (PCM)*
 - 5.8.2 *Sistemas múltiplex MDF (FDM)*

1. INTRODUCCION

En este capítulo trataremos brevemente sobre las especificaciones de los sistemas de conmutación y transmisión que son necesarios en la planificación de redes. No trataremos sobre las características técnicas de los aparatos telefónicos.

En una llamada telefónica, los trayectos entre abonado a centrales y centrales a centrales constituyen los trayectos de transmisión. La Figura 1 es una representación esquemática de las facilidades (aparatos telefónicos, trayectos de transmisión y sistemas de conmutación) involucradas en una llamada telefónica.

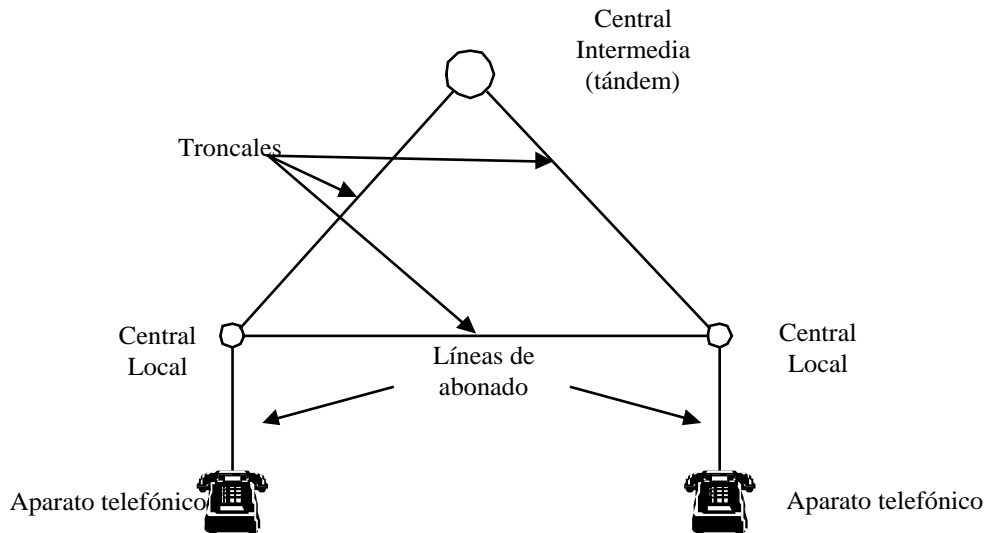


Figura 1

Aunque hay una variedad de sistemas de conmutación en uso, veremos solamente las características generales más comunes de los sistemas de conmutación: electromecánico (convencional) y digital de control por programa almacenado (CPA; Stored program control, SPC). En lo concerniente a facilidades de transmisión, sólo vamos a considerar las más comunes en uso.

2. SISTEMAS DE CONMUTACION

2.1 Generalidades

La función básica de cualquier sistema de conmutación es interconectar trayectos de comunicación. Los dos grupos esenciales, que son comunes en todos los sistemas de conmutación son:

- red de conmutación hecha de dispositivos de conmutación individuales y usados para conectar trayectos entre sí.
- una sección de control para operar los dispositivos de conmutación correctos en el tiempo adecuado.

El tipo más común de red de conmutación es la red por división en el espacio (CPA o electromecánica), en la cual los trayectos de conversación están separados físicamente.

Los sistemas de conmutación digital CPA más recientes usan la red de división en el tiempo, en la cual más de una conversación puede compartir el mismo trayecto físico.

2.2 Sistemas de Conmutación por División en el Espacio

En este tipo de sistema de conmutación hay sistemas convencionales y electrónicos CPA. Ambos sistemas tienen más o menos los mismos bloques principales. Las diferencias fundamentales pueden encontrarse en el hecho de que los componentes de la central CPA son casi electrónicos y el procesamiento de llamadas es controlado por una parte central que es un computador, a menudo llamado procesador de datos.

En las viejas centrales electromecánicas (sistemas strowger) el control es realizado hacia adelante. Los conmutadores son controlados usando impulsos desde el dial del abonado y son llevados a los contactos correctos.

En las modernas centrales electromecánicas (sistemas de control común) el control es realizado por equipo especial, más o menos centralizado, que trabaja rápidamente. Este equipo puede ser del tipo relevo, como en muchos sistemas de barras cruzadas.

En la Figura 2 se muestra una representación esquemática de un sistema de conmutación por división de espacio

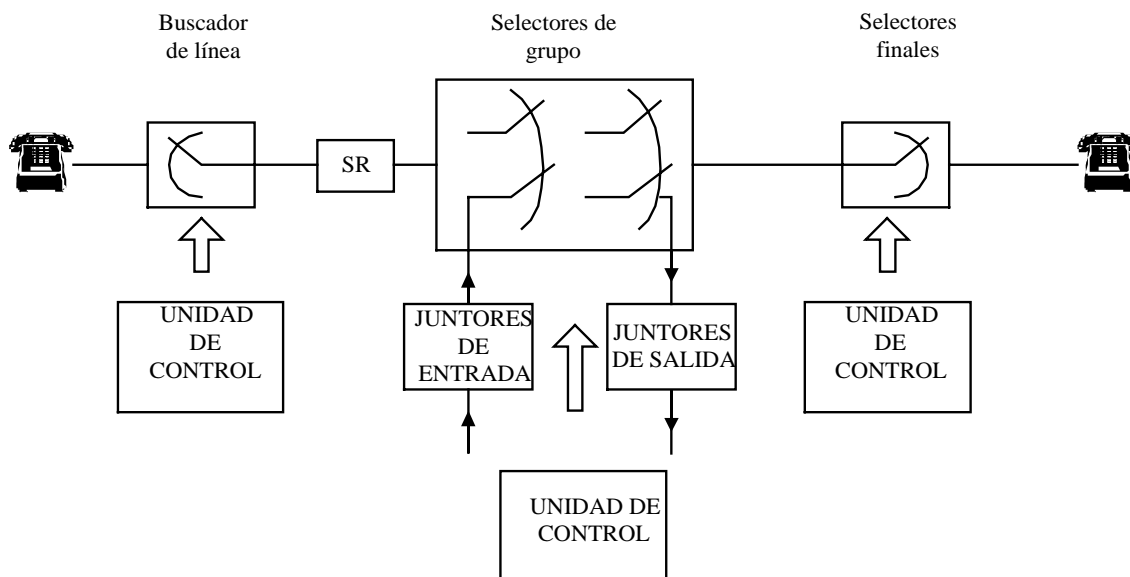


Figura 2

La función principal de:

- el buscador de líneas es detectar al abonado que llama y asegurar la corriente de alimentación;
- el selector de grupo es conectar trayectos de diferentes direcciones;
- los conectores de entrada y salida es la interfaz de los circuitos troncales respecto a los diferentes tipos de señalización;
- la etapa final es seleccionar los dos últimos dígitos hasta que el abonado llamado sea localizado;
- el dispositivo de control es controlar los conmutadores.

Las etapas anteriores pueden encontrarse en todo tipo de sistemas de conmutación (convencional o CPA).

2.3 Sistemas de Conmutación por División en el Tiempo. Sistemas Digitales

Las señales procesadas son MIC (señales multiplexadas por división en el tiempo). (MIC = Modulación por impulsos codificados; Pulse code modulation, PCM). Los selectores de grupo son de tipo digital, los cuales pueden ser fácilmente conectados a un ambiente de transmisión MIC. Por supuesto, es posible conectar la central a una red analógica con MDF (Múltiplexación por división de frecuencia; Frequency division multiplexing) o transmisión de frecuencia de voz. Como se dijo en el párrafo previo, aquí también se distinguen las principales etapas de una central analógica allá esbozadas.

2.3.1 *Ambiente Analógico*

La Figura 3 muestra un diagrama de bloque de una central digital conectada a un ambiente analógico. Siendo el ambiente analógico, necesitaremos un convertidor analógico - digital (MIC) de manera que las señales hacia y desde la central sean digitales. Para sistemas europeos se usan las especificaciones MIC de la CEPT (2048 de velocidad de bit). Respecto a los juntores, ellos son de tipo convencional. La señalización es manejada por emisores de código (Code senders, CS) y receptores de código (Code receivers, CR) de una manera convencional. Señales desde otras centrales

son extraídas de los aparatos de relevo de línea y multiplexadas dentro del sistema de control, mientras las señales hacia otras centrales son inyectadas por el control dentro de los aparatos de relevo de línea.

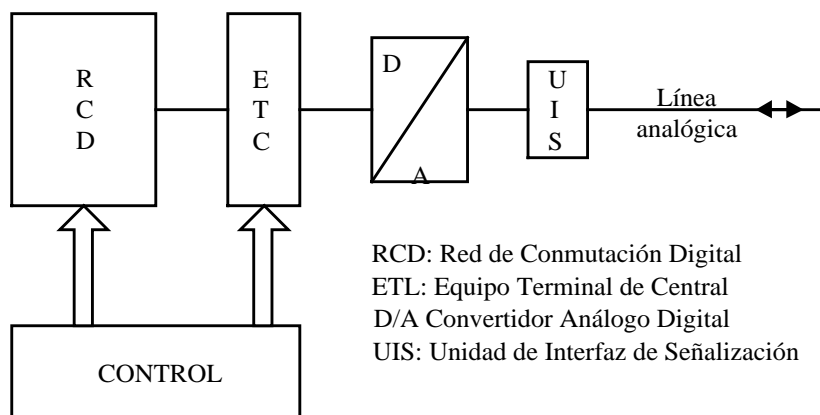


Figura 3

2.3.2 Ambiente Digital

La Figura 4 muestra un diagrama de bloque de una central digital conectada a un ambiente digital. Las diferencias esenciales entre éste y el ambiente analógico es que en el ambiente digital ya no se necesita conversión analógico - digital.

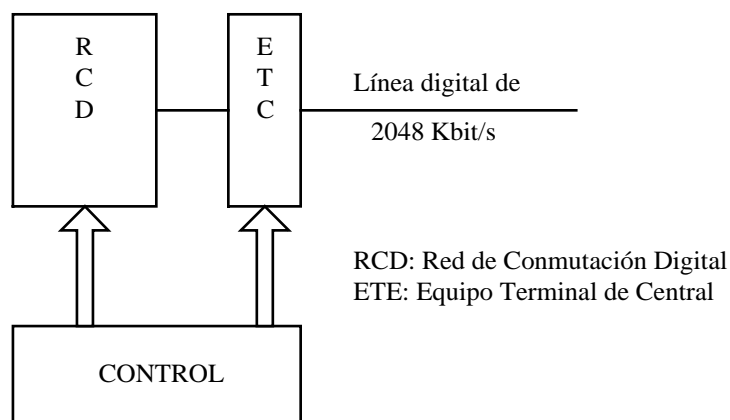


Figura 4

En lo referente a la señalización, se usa señalización por canal común. La información en el canal de señalización (intervalo de tiempo 16) puede extraerse o introducirse directamente por el terminal de central antes de la conmutación, o tomarse vía red de conmutación.

Las etapas comunes a un ambiente analógico y uno digital, son:

- Red de conmutación digital. La red de conmutación conmuta entre señales multiplexadas en el tiempo. Esta consiste de componentes digitales, electrónicos.
- Terminal de central. El propósito del terminal de central es arreglar los intervalos de tiempo, que provienen de los diferentes multiplexores MIC, en fase con los intervalos de tiempo de la central.

- Control Regional y Central. El propósito de esta unidad es realizar el control del sistema con algún tipo de sistema procesador. El control regional se encarga de las funciones frecuentes y simples, mientras el control central maneja las funciones más complejas.

2.4 Especificaciones de la central

Señalaremos todas las especificaciones de centrales requeridas en la planificación de una red. Abajo se da una lista de los datos necesarios para toda clase de centrales en la red; esto es, local, tándem y de tránsito:

- nombre de la central
- tándem/tránsito superior
- tipo de sistema de conmutación (por ej. Strowger - EMD)
- tipo de disponibilidad (plena o restringida)

Otros tipos de datos, referentes también a los sistemas de conmutación y que deberían ser provistos, son:

- grado de servicio
- requerimientos de transmisión y señalización
- principios de encaminamiento
- costo marginal de conmutador

Para las centrales con disponibilidad restringida debe definirse lo siguiente:

- disponibilidades posibles
- número de salidas por selector de grupo
- número máximo de rutas de salida

3. **SISTEMAS DE GANANCIA DE PAR DE ABONADO**

3.1 Antecedentes

En los años recientes, el costo del sistema de ganancia de par de abonado; es decir, el sistema que habilita L abonados para ser servidos por K cables pares ($L > K$), ha disminuido significativamente en comparación con el cable. Más aún, los gastos operativos asociados con una red bucle sólo de cable se han incrementado al mismo tiempo que el costo de la mano de obra, particularmente en áreas con alta movilización de abonados y crecimiento incierto. Por estas razones, la aplicación de sistemas de ganancia de par se ha convertido en algo importante a considerar en el diseño de una planta de bucle.

La estructura básica de un sistema de ganancia de par de abonado se ilustra esquemáticamente en la Figura 5.

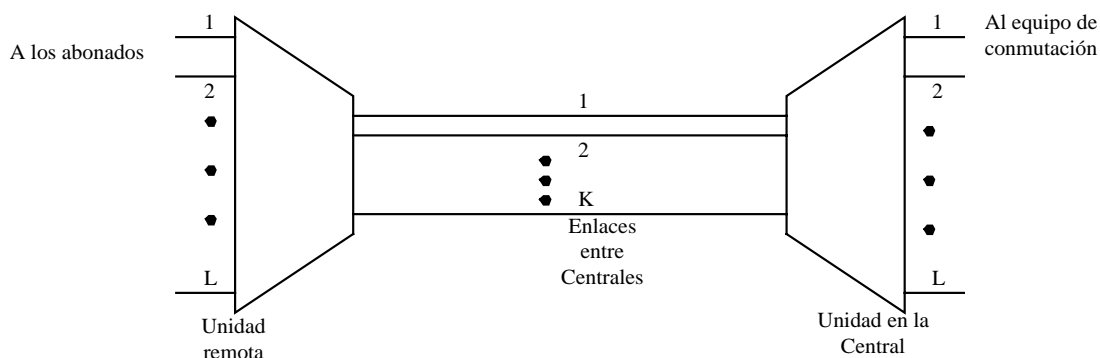


Figura 5

El sistema consiste de una unidad de oficina central (Central office, CO), localizada en el edificio de la oficina central, y una unidad remota, ubicada en el campo. Un número dado, digamos L , de abonados están conectados a la unidad remota por pares de hilos individuales, que serán llamados líneas de abonados. La unidad remota está conectada con la unidad central por K pares de hilos ($K < L$), los cuales serán llamados enlaces CO. La unidad CO convierte efectivamente los K enlaces en L líneas en la oficina central. La ganancia de par, que es definida como la diferencia de $L - K$, es la reducción neta en los requerimientos de cable par, logrados por el sistema de ganancia de par.

Hay dos aspectos básicos para obtener sistemas de ganancia de par:

- Sistema portador, con multiplexación por división de frecuencia o en el tiempo. Estos sistemas se usan para derivar canales adicionales de voz y señalización sobre cada enlace CO. Por ejemplo, la portadora de canal simple deriva una segunda línea desde un par simple ($K=1$, $L=2$)
- Concentrador de línea. Por ejemplo el tipo 27/6 permite conectar 27 abonados a la central sobre 6 pares ($K=6$, $L=27$).

3.2 Aplicación de Sistemas de Ganancia de Par

Los sistemas de ganancia de par reducen la necesidad de cables pares de abonado y, por tanto, la aplicación obvia de ganancia de par es una alternativa al cable adicional. No obstante, la determinación de una política económica para aplicación de ganancia de par no es simplemente asunto de decidir si se usa ganancia de par o cable.

Considere una ruta que está experimentando crecimiento y cuya capacidad existente está agotada. Cualquiera de las siguientes alternativas pueden ser apropiadas:

- (1) Colocar un nuevo cable
- (2) Colocar uno o más sistemas de ganancia de par, usando cables existentes como enlaces
- (3) Colocar uno o más sistemas de ganancia de par inicialmente, usando cables pares existentes como enlaces. Cuando estos sistemas estén agotados, removerlos y colocar un nuevo cable.

La alternativa (1) es la clásica solución “sólo de cable”. La alternativa (2) es a menudo llamada una solución permanente de ganancia de par, ya que los sistemas de ganancia de par no se remueven. La alternativa (3) es llamada solución temporal de ganancia de par, en la cual la colocación del cable de alivio/relevo (relief cable) es aplazada, pero una vez colocado, se sacan los sistemas de ganancia de par. En términos generales, el costo del sistema de ganancia de par con relación al costo del cable debe ser más bajo para justificar (2) que para justificar (3). Este (2) es el que prevalece primariamente en largas rutas rurales, mientras que (3) es más característico en aplicaciones suburbanas.

3.3 Concentrador de Línea

Un concentrador de línea es esencialmente un dispositivo de conmutación. Los enlaces entre las unidades remotas y la central pueden ser líneas físicas o portadora o canales múltiplex.

Un concentrador de línea usa un esquema compartido, en el cual un número de canales de entrada comparten un número más pequeño de canales de salida con base en la demanda. Consecuentemente, no es posible tener todos los abonados del concentrador usando los teléfonos simultáneamente. Por esta razón, el tráfico que se origina desde los abonados juega un papel importante en la planificación y uso de concentradores, en un intento por asegurar que los enlaces estén disponibles cuando se necesiten.

El número de abonados que pueden ser servidos por un concentrador depende también del tipo de servicio ofrecido. Por ejemplo, un sistema de concentrador con un 1% de congestión en la hora pico, diseñado para servir a 96 abonados individuales (single - party subscribers), puede acomodar, bajo ciertas condiciones de tráfico, solamente 72 líneas colectivas de dos abonados (two - party lines).

Para minimizar el número de cables pares entre una localidad remota y la central, es posible, para un sistema concentrador, incluir una técnica de multiplexación transmitiendo más de una señal en el mismo canal de transmisión. Por ejemplo, un concentrador de línea que requiere 30 cables pares, puede servir al mismo número de abonados con solamente 4 pares si el concentrador es usado en conjunto con un sistema MIC de 30 canales.

En general, las solicitudes para el servicio entre dos abonados pertenecientes al mismo concentrador son llevados a cabo por el equipo de la oficina central, aunque hay algunos concentradores diseñados para servir el tráfico interno de abonado sin el control de la oficina central. Cuando se planifican concentradores de línea, debe considerarse la resistencia de bucle entre la unidad central y la unidad remota, y entre la unidad remota y los abonados. También debe cuidarse que la máxima resistencia de bucle permitida de la central no sea excedida por ningún abonado.

Un concentrador de línea apropiadamente dimensionado no degradará el servicio, cualquiera que éste sea. Por tanto, para determinar si un concentrador de línea puede ser usado ventajosamente o no, basta con estudiar sólo el aspecto económico.

3.4 Especificación del Concentrador de Línea

Para los concentradores de línea debe proveerse la siguiente información:

- tipo y nombre del concentrador de línea
- máximo número de abonados que pueden ser servidos por ese tipo específico
- costo marginal de una línea de abonado
- costo marginal de un enlace
- máximo número de enlaces necesarios

4. **UNIDAD REMOTA DE ABONADO (URA)**

La aplicación de una unidad remota de abonado (URA; Remote subscriber unit, RSU) es la misma que en los sistemas de ganancia de par de abonado. Las URA son dispositivos electrónicos digitales diseñados para ser conectados a centrales digitales CPA. Estas unidades son etapas de abonados remotas; es decir, la etapa de abonado de las centrales es sacada de la central e instalada cerca de los abonados.

El tamaño de las URA varía de unos pocos centenares a unos pocos millares de líneas. El tamaño óptimo depende de factores tecnológicos y geográficos, tales como la distribución de la densidad de abonados.

Debido a las grandes capacidades de las URA, la instalación requiere de cassetas, fuente de poder local y equipo de control. Los enlaces entre URA y la central madre deberían ser únicamente MIC, ya que las señales de voz procesadas son digitales. En la Figura 6 (a, b) se muestra una típica conexión de central local de abonados y una URA.

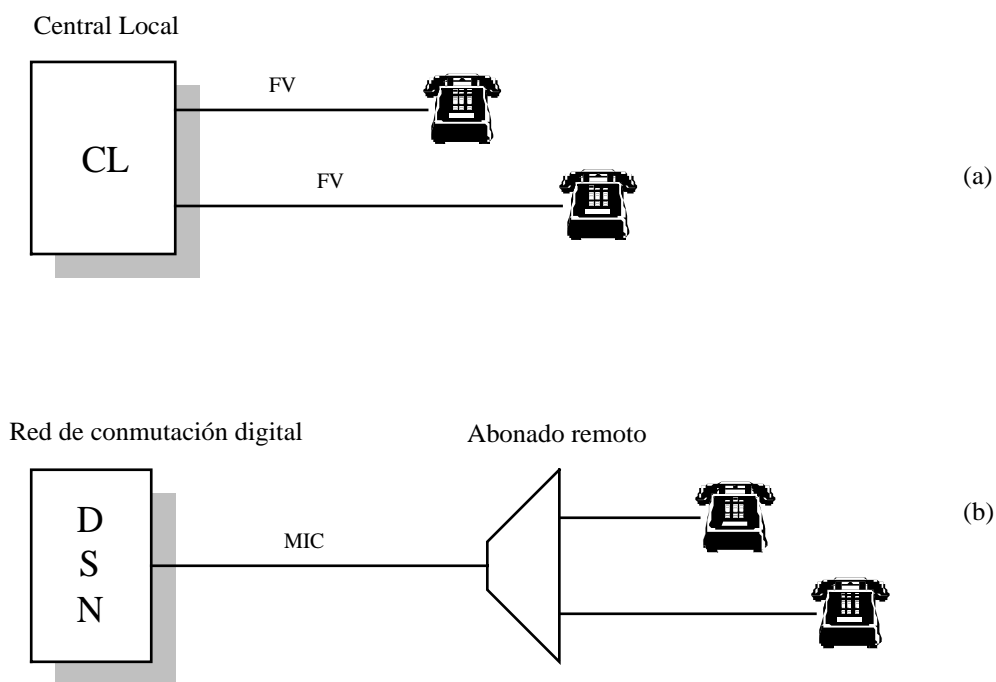


Figura 6

Se asume que la conexión de abonados con la URA es analógica. Generalmente las URA de pequeña capacidad no tienen posibilidades de conmutación local. Esta es realizada en una central madre. Como resultado de esto se produce un aislamiento de los abonados de la URA, en caso de que los enlaces estén fuera de servicio. Es conveniente asegurar enlaces alternativos para evitar esta desagradable situación. Para las URAs de capacidades mayores hay una descentralización de control, que puede asegurar conmutación local. En ese caso hablamos de centrales satélite. Las unidades remotas de abonados están conectadas solamente a centrales digitales CPA y consecuentemente (en estudios de optimización) estas unidades deberían considerarse solamente cuando estén involucrados sistemas de conmutación digital.

Debemos ser muy cuidadosos al elaborar el costo marginal de una URA, con respecto al costo de la etapa de abonado, porque la mayor parte pertenece al costo marginal de la central madre. Solamente deberían considerarse los costos adicionales asociados a los abonados de la URA.

5. SISTEMA DE TRANSMISION

5.1 Introducción

El problema de planificar, proveer y usar las facilidades necesarias para satisfacer la demanda del abonado requiere un balance apropiado entre servicio y costo. Los factores más significativos a ser considerados en la selección de facilidades de transmisión, son:

- demanda de servicio,
- especificaciones técnicas,
- número de canales requeridos y dónde ellos terminan,
- condiciones geográficas,
- compatibilidad del sistema,
- factibilidad económica.

En general, habrá una cantidad de facilidades de transmisión de diferentes tipos que satisfarán los requerimientos. El problema es seleccionar entre ellos el tipo más económico para las necesidades inmediatas y para los requerimientos futuros.

5.2 Transmisión de Frecuencia de Voz

5.2.1 *Generalidades*

“Los sistemas de frecuencia de voz” transmiten información sobre la línea, en frecuencias dentro de la porción útil del espectro audible. Los medios usados para transmitir esta información pueden clasificarse en:

- hilo abierto.
- cables multipar.

El hilo abierto compite económicamente con el cable multipar cuando los requerimientos de circuitos iniciales son bajos (menos de 12 circuitos), de acuerdo con la distancia y el bajo crecimiento. En áreas rurales, las consideraciones de la resistencia pueden requerir que se instale hilo abierto a fin de permitir una señalización de supervisión satisfactoria. El uso de hilo abierto, como medio para la frecuencia de voz en la red de larga distancia y en las rutas vertebrales (backbone routes), es mucho más limitado por consideraciones económicas, de tráfico y técnicas.

El hilo abierto es muy susceptible a la interferencia eléctrica. Sus costos de mantenimiento son más altos que los de cables multipares.

5.2.2 *Cable multipar*

Este medio consiste en conductores aislados de cobre o de aluminio y el aislamiento es de papel o de plástico. Los conductores son cableados en pares o en cuadretes y ensamblados en capas o unidades. El paso de trenzado en esta operación de cableado es controlado cuidadosamente, a fin de reducir la diafonía entre circuitos .

Los tamaños más comunes de conductor de cobre son: 0.4, 0.6, 0.8, 0.9 mm, aunque a menudo encontramos tamaños como: 0.41, 0.51, 0.64, 0.91.

Para cable multipar descargado, cables pares y para frecuencias en las bandas de audio (300 a 4,000 HZ) una fórmula aproximada para el cálculo de la atenuación, α por kilómetro, es dada por:

$$\alpha = \sqrt{\pi f R C}$$

Donde

f= frecuencia

R= es la resistencia óhmica de bucle del par por kilómetro

C= la capacidad de la línea por km

π : = 3,14

La atenuación de línea para una longitud “l” kilómetros es dada por

$$a = \alpha \cdot l$$

La atenuación de cables pares es más alta que para hilo abierto, pero su valor es menos susceptible de variación. Los valores típicos de atenuación a 800 HZ para cables descargados, se ilustran en la Tabla I.

Conductor	Diámetro Ø	Capacidad en nF/km	Resistencia de Bucle en OHM/Km	Atenuación en dB/Km
Cobre	0.4	45	280	1.55
“	0.6	50	130	1.11
“	0.6	55	130	1.16
“	0.6	120	130	1.72
“	0.8	38.5	72	0.73
“	0.9	55	56.6	0.77
“	0.9	120	56.6	1.14

Tabla I: Parámetros de Cable

La carga se usa para reducir la pérdida de los cables pares. Los factores más significativos a considerar en la elección de un sistema de carga son: ancho de banda deseada, capacidad mutua de cables pares, requerimientos de atenuación, impedancia de imagen deseada, velocidad de propagación y costos relativos.

Las típicas bobinas de carga son 88, con inductancia 88 mH; 66 con inductancia 66 mH; y 44 para 44mH de inductancia. En lo que a espaciamento de bobina concierne, tenemos el tipo H con espaciamento de 1830 m, que es el espaciamento más común; el tipo D, con espaciamento de 1362 m; y, el tipo B, con espaciamento de 915 m. Por tanto, la carga H88 significa espaciamento tipo H, con 88 mH de inductancia de bobina.

Los pares cargados eléctricamente se comportan igual que un filtro de banda baja, muy aparte de la atenuación, a; otro parámetro de importancia es la frecuencia de corte. Para frecuencias, f, mayores que f_o , la atenuación del par se vuelve extremadamente alta y la banda $f > f_o$ casi permanece constante. Una fórmula aproximada para cables cargados, dando la atenuación por kilómetro, es:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{SC}{L_p}}$$

donde:

- R: es la resistencia de bucle kilométrica;
- C: la capacidad kilométrica;
- S: la capacidad de carga en kilómetros;
- L_p : la bobina de carga en Henry.

En lo referente a la frecuencia de corte, una fórmula aproximada es::

$$f_o = 1 / \pi \sqrt{sL_p C}$$

En la tabla II, se dan algunos parámetros eléctricos para cables cargados a frecuencias medianas ($300 \leq f \leq 3000$).

CARGA	DIAMETRO	CAPACIDA D en nF/Km	ATENUACION en dB/Km	IMPEDANCIA in \underline{O}	ANCHO DE BANDA en KHz
H88	0.8	38.5	0.30	1150	4.00
H88	0.9	50.0	0.27	1000	3.55
H88	0.9	38.5	0.24	1140	4.00

Tabla II Parámetros de Cable Cargado

Las recomendaciones de CCITT (ahora UIT-T) respecto a cables cargados incluye:

- G522: Uso de cables de audiofrecuencia de diferentes tipos de carga;
- G451: Especificación de las longitudes de fábrica de cables de telecomunicación cargados;
- G542: Especificación de las bobinas de carga para los cables de telecomunicación cargados;
- G543: Especificación para secciones de repetidor de los cables de telecomunicación cargados.

En adición a la carga, se usan amplificadores a fin de reducir más las pérdidas en los circuitos más largos. La ubicación de dispositivos de amplificación debe ser consistente con las diferencias de máximo nivel permitidas entre pares. Los tipos más comunes de cables multipar son:

- cable aéreo
- cable enterrado
- cable en ductos

La instalación del cable aéreo requiere una inversión mínima de capital para terrenos montañosos. Es más flexible (en caso de requerirse cambios o agregados) y la localización de averías es menos costosa, pero es más vulnerable que los otros dos tipos a la interferencia eléctrica, mecánica. Sus características de transmisión son más susceptibles a las variaciones de temperatura.

El cable enterrado es relativamente libre de interferencias cuando se compara con el cable aéreo y tiene costos anuales de operación y mantenimiento más bajos. Los cables en ductos tienen el más alto costo inicial por circuito comparado con los otros tipos. Los bucles de abonado que exceden los requerimientos de pérdida que impone el plan de transmisión, pueden ser cargados con H66 o H88, usar dispositivos de amplificación de calibre más grueso o portadora de abonado, a fin de ponerlos dentro de sus límites. Los pares de abonado y de interconexión deben estar en fundas de cables separados, a menos que los costos sean significativamente inferiores cuando se usa la combinación de cables

Los cables de interconexión normalmente son enterrados o subterráneos. Desde el punto de vista de planificación, técnico y operativo, es deseable limitar el número de calibres usados en la planta de interconexión de una área dada a un mínimo de uno o no más de dos.

Esta selección dependerá del plan de transmisión, requerimientos de señalización intercentrales, distribución de interconexiones y el costo relativo de proveer tal arreglo. Una alternativa deseable a considerar en el establecimiento de un plan de facilidad fundamental, es el uso de sistemas MIC en áreas multicentral. Los cables interurbanos pueden ser aéreos o enterrados. Ellos pueden consistir de pares, estrella o cuadretes dobles múltiples. Normalmente, ellos son usados sólo en rutas relativamente cortas o para un cable completo que está siendo instalado primariamente para operación de portadora.

5.3 Múltiplex por División de Frecuencia

La división de frecuencia es un método de multiplexación en el cual las señales de un número de canales son trasladadas a bandas de frecuencias separadas por un proceso de modulación, de manera que son combinadas y transmitidas sobre un medio simple.

Los canales son arreglados en grupos a fin de hacer un enlace de portadora. Varios grupos pueden ser combinados para constituir un grupo de mayor capacidad y esta operación puede repetirse varias veces por medio de equipos trasladadores.

La capacidad y los medios de transmisión de la portadora MDF para propósitos de abonados se ilustran en la Tabla III.

No.	TIPO	CAPACIDAD DE PORTADORA	MEDIOS DE TRANSMISION
1	Canal simple	1	Cables simétricos o líneas de hilo abierto
2	3-canales	2	Hilo abierto
3	12-canales	3	Cables simétricos o líneas de hilo abierto

Tabla III : Portadoras típicas para propósitos de abonado

5.3.1 Portadoras de hilo abierto

La portadora MDF, comúnmente aplicada a facilidades de hilo abierto, incrementa la capacidad de las líneas de hilo abierto existentes hasta 12 canales de voz por par. La señal es aplicada a un par de hilo abierto y es transmitida usando la frecuencia de banda dividida.

Es posible usar en el mismo par una portadora de doce canales y una de tres canales. En este caso, la capacidad máxima de la línea es incrementada hasta 15 canales de voz. Las recomendaciones CCITT (ahora UIT-T) relacionadas con este asunto son: G311, G312, G313, G314, G361. La diafonía, causada por acoplamientos inductivos entre pares de hilos paralelos, es uno de los principales problemas en la transmisión de la portadora de hilo abierto. Una solución efectiva es el uso de la técnica de transposición. La aplicación principal de la portadora de hilo abierto es en aquellas áreas donde la tasa de crecimiento es pequeña y las facilidades de hilo abierto ya están instaladas. En general su uso está disminuyendo, ya que estos sistemas están dando paso a sistemas de cable.

5.3.2 Portadora de Cable Multipar

El tipo más común de sistema MDF en cables pares provee 12 ó 24 canales de voz por sistema.

Las recomendaciones pertinentes de CCITT para el manejo de esta materia son: G321, G322, G323, G325, G326.

Si un gran número de sistemas van en la misma funda de cable, debe tomarse especial cuidado en el proceso de selección del cable y del par, y también en los procedimientos de ingeniería e instalación. No es aconsejable mezclar diferentes sistemas de portadoras dentro del mismo cable; pero, si fuese necesario, entonces deben asegurarse la frecuencia y el nivel de compatibilidad.

5.3.3 Especificaciones técnicas requeridas para planificación de redes

A fin de hacer una elección óptima entre los varios sistemas de transmisión que cumplan los requisitos de transmisión, debe especificarse sus costos y sus propiedades técnicas. Con este propósito, deben proveerse los siguientes datos para múltiplex por división de frecuencia:

- Sistema múltiplex
 - * sistema de señalización
 - * capacidad de canal del sistema
 - * costo del equipo múltiplex
 - * costo de la porción de bastidores
 - * costo de instalación

- Sistema de Línea
 - * tipo de medios de transmisión
 - * distancia entre repetidores
 - * capacidad de la caseta del repetidor
 - * capacidad del sistema de línea
 - * costo del equipo de terminal de línea
 - * costo del repetidor
 - * costo de la caseta
 - * costo de instalación

5.4 Modulación por Impulsos Codificados

La modulación por impulsos codificados (MIC) muestrea cada canal de voz 8,000 veces por segundo y transmite el resultado de cada muestra por medio de impulsos codificados. En la terminal receptora se decodifican los impulsos son decodificados y la información se usa para reconstruir la señal en aquel canal respectivo. Cada valor de señal separado tiene un arreglo único de impulsos y solamente la presencia o ausencia de impulsos, no su forma, determina la calidad de recepción para un arreglo codificado dado. Los repetidores regeneradores espaciados a intervalos fijos, detectan la presencia o la ausencia de impulsos y los reemplaza con otros nuevos en perfecto estado. Teóricamente, este concepto de regeneración haría posible transmitir mensajes a distancias ilimitadas, pero en la

práctica, pequeños errores en el tiempo tienden a sumarse, colocando un límite a la longitud del sistema. Hoy en día se usan básicamente dos tipos de sistemas MIC:

- El sistema de canal (30 + 2) que consiste en 30 canales de voz, más uno para señalización y otro para sincronización. Este sistema ha sido estandarizado para aplicación europea por la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications); también ha sido reconocida por la UIT-T como el estándar para las comunicaciones internacionales.

- El sistema de 24 canales es ampliamente usado en Norteamérica y Japón. En la tabla IV se ilustran los parámetros básicos de los dos sistemas: los sistemas MIC operan sobre la base física de cuatro hilos, con las dos direcciones de transmisión en pares separados, dentro del mismo cable o en fundas de cables separados.

Los principales factores de cable que controlan el diseño de una línea MIC, son: atenuación, diafonía y ruido de impulsos.

El regenerador espaciado común es el intervalo de bobina para carga H88. Los repetidores finales están localizados a la mitad del espacio intermedio, a fin de minimizar el efecto de ruido de impulsos que está muy cerca de los sistemas de conmutación.

Los sistemas MIC pueden operar en una red analógica o digital (red digital integrada). En una red analógica, MIC opera entre oficinas centrales convencionales o conectando concentradores de línea convencionales a centrales convencionales o abonados analógicos a centrales analógicas. Todos estos casos se ilustran en la Figura 7.

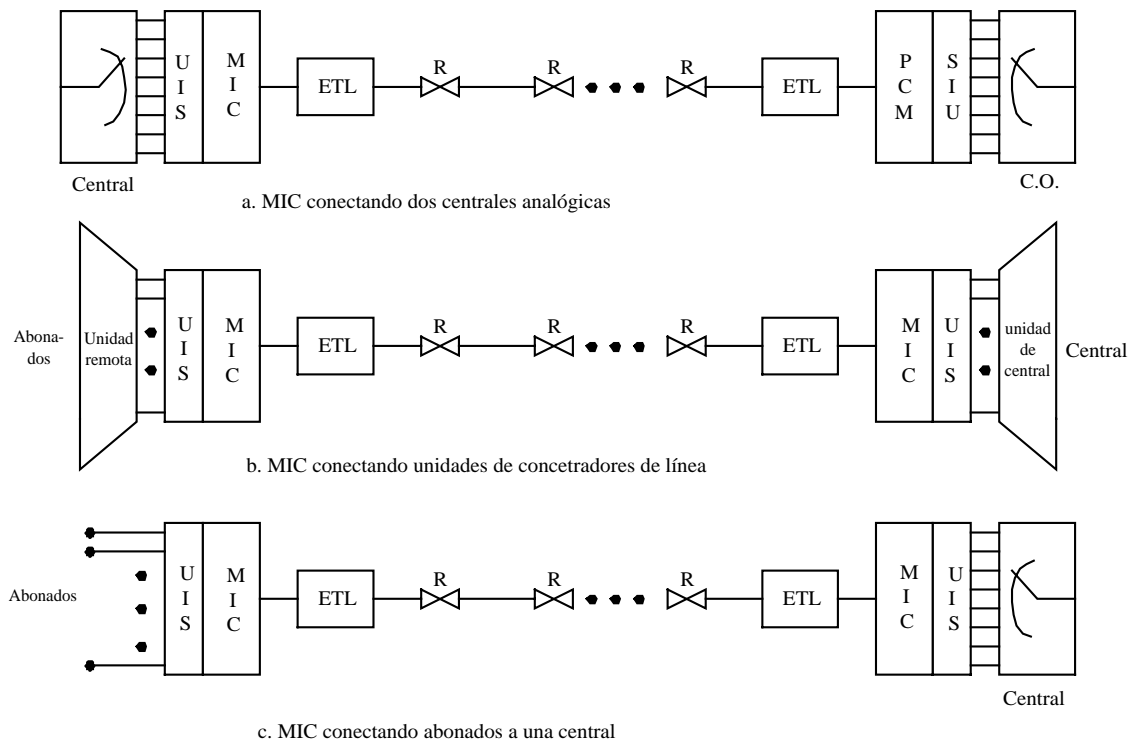


Figura 7

- UIS: Unidad de interfaz de señalización
- MIC: Terminal MIC
- ETL: Equipo de terminación de línea
- CO: Central
- R: Regenerador

Cada caso antes mencionado necesita un interfaz de señalización y un terminal MIC para cada final. La primera unidad se requiere para señalización y la última para convertir las señales digitales de voz a señales analógicas.

Una red digital integrada (RDI; Integrated digital network, IDN) donde hay sinergia entre conmutación y transmisión, sólo se tratan señales digitales; las terminales MIC para propósitos de interconexión se eliminan completamente.

La información requerida para los estudios de optimización de sistemas MIC son los siguientes:

Sistema múltiplex

- * Propiedades técnicas
- * Sistema de señalización
- * Capacidad del canal
- * Costo de:
 - convertidores A/D
 - equipo múltiplex (multiplexores 2/8, 8/34, 34/140)
 - bastidores
 - instalación

Sistema de línea/Medios de transmisión

- * Tipo de cable mutipar
- * Tipo de cable coaxial
- * Tipo de radioenlace
- * Tipo de fibras ópticas
- * Capacidad del canal
- * Distancias entre repetidores
- * Capacidad de caseta
- * Costo de:
 - equipos de terminal de línea
 - repetidores
 - medios de transmisión
 - casetas
 - bastidores
 - instalación

5.5 Cable Coaxial

5.5.1 *Antecedentes*

El cable coaxial es un medio de transmisión apropiado de banda base para banda ancha MDF o señales MIC. Hay dos tipos de cable coaxial que la UIT-T recomienda. Un tipo es el de diámetro grande 2.6 / 9.5 mm y el otro tipo es el cable coaxial de diámetro pequeño 1.2 / 4.4 mm. La tabla 6-5 comprende los sistemas de transmisión MDF y MIC, que son usados en cables coaxiales. Tubos coaxiales descansan en una funda de cable junto con varios pares simétricos, que pueden ser usados para mantenimiento y supervisión del sistema portador sobre los pares coaxiales y también para proveer circuitos adicionales sobre un sistema portador pequeño o en frecuencia de voz (FV; Voice frequency, VF). Generalmente la capacidad de un cable coaxial varía entre dos y veinte tubos. Los tamaños más comunes son: 4, 6, 8, 12 y 20.

Los medios de transmisión de cable coaxial son básicamente libres de interferencia de radio frecuencias. La contribución al ruido del cable en sí mismo, es casi imperceptible. Las pérdidas entre dos puntos son casi constantes, en contraste con sistemas de microondas de línea de vista que padecen desvanecimiento, y las pequeñas variaciones en las pérdidas que ocurren se deben principalmente a cambios de temperatura a lo largo del sistema.

Las principales ventajas de los sistemas de cable coaxial son:

- a) Alta flexibilidad, por ejemplo:
 - Posibilidad de planificar un sistema reciente. Los tubos de repuesto planificados para soportar nuevos sistemas MDF, pueden usarse exitosamente para sistemas MIC, para los cuales hay demanda debido a la penetración de la conmutación digital.
 - Separación e inserción de canal.
 - Añadidos o eliminación de equipo para los sistemas en operación
 - Facilidad de interconexión con diferentes tipos de sistemas de transmisión.
- b) Alta fiabilidad y disponibilidad

c) Bajo costo de mantenimiento.

Los rubros de mayor contribución al costo inicial de un sistema son:

- Estudio de ruta;
- Costo del cable en sí;
- Costo de instalación. Esto representa un porcentaje sustancial del costo total; repetidores, casetas y requerimientos de energía;
- Equipo de supervisión y detección de averías;
- Equipo terminal.

El sistema de 960 canales en un cable de diámetro pequeño es usado para distancias medianas y largas, para conectar áreas de alta densidad telefónica.

Los sistemas de 12, 18 y 60 Mhz operando sobre un cable coaxial largo, se usan básicamente para circuitos de trayecto largo para conectar áreas de alta densidad telefónica. En lo referente a transmisión digital, el cable coaxial pequeño es apropiado para cuarto orden. En años recientes apareció el quinto orden (7680), que puede ser instalado sobre cables coaxiales largos (regeneradores espaciados cada 1.5 km).

La Tabla IV provee algunas características técnicas de sistemas de transmisión usados sobre cables coaxiales.

Tipo de Cable Coaxial	M-D-F				M-I-C			
	Tipo de Sistema de Trans.	Banda Base MHz	Capacidad del Canal	Espaciamiento del Repetidor Km	Tipo de Sistema de Trans.	Velocidad de Bit Mb/s	Capacidad de Canal	Espaciamiento del Repetidor Km
2.6/9.5	2.6	2.6	600	9.0	34	34	480	9.0
	4.0	4.0	960	9.0				
	6.0	6.0	1260	9.0				
	12.0	12.0	2700	4.5	140	140	1920	4.5
	18.0	18.0	3600	4.5				
1.2/4.4	60.0	60.0	10800	1.55	565	565	7680	1.55
	1.3	1.3	300	6 o 8				
	4.0	4.0	960	4.0	34	34	480	4.0
	6.0	6.0	1260	3.0				
	12.0	12.0	2700	2.0	140	140	1920	2.0

TABLA IV : SISTEMAS DE TRANSMISION MDF, MIC USADOS EN CABLES COAXIALES

5.6 Cables de Fibra Optica

5.6.1 Introducción

En años recientes, el uso de fibras ópticas para la transmisión de una gran cantidad de información ha venido creciendo más y más. A pesar del hecho que los sistemas de transmisión óptica pueden ser diseñados para operar utilizando técnica analógica o digital, el campo de mayor aplicación es la técnica digital. El uso extensivo de fibras ópticas, vino con la llegada de la red digital integrada (RDI), en conjunción con los mucho más grandes espaciamientos de repetidor que pueden lograrse al transmitir señales digitales.

Las principales ventajas de las fibras ópticas pueden ser resumidas en:

- baja pérdida de transmisión;

- amplio ancho de banda;
- inmunidad a interferencia electromagnética;
- pequeño radio de flexión o curvatura.

Las fibras ópticas son muy prometedoras. Los pocos problemas que quedan todavía, serán resueltos en breve. Esta técnica, con reducido costo debido a su amplia utilización, es un medio de transmisión muy competitivo para propósitos de telecomunicaciones.

Los sistemas de transmisión digital más comúnmente usados en fibra óptica son sistemas MIC de 34 y 140 Mb/s (MIC de tercer y cuarto orden). Este hecho, en conjunción con la posibilidad de lograr en cables de tamaño pequeño un número considerable de pares, permite la transmisión de tremendas cantidades de información, en forma digital, en un solo cable.

Respecto, en particular, a las redes de interconexión y troncal, todas las ventajas arriba mencionadas hacen a las fibras ópticas sistemas de transmisión apropiados. Las bajas pérdidas permiten a las oficinas centrales enlazarse sin repetidores intermedios, y el pequeño tamaño de los cables ópticos permite una utilización más eficiente de los ductos, resultando así en un ahorro de costos notable.

5.6.2 *Aplicación a la red de interconexión*

Los valores promedio de longitud de enlaces intercentral van en un rango de 2 a 12 km. aproximadamente . Estos valores corresponden a secciones repetidoras fácilmente logradas por el uso de sistemas de transmisión de fibra óptica de primera ventana (800 nm). Para enlaces que excedan los 15 km, se pueden usar sistemas de transmisión óptica que operen en 1,300 nm. En enlaces intercentral debe evitarse la instalación de repetidores. La introducción de conmutación digital en áreas metropolitanas resultará en la necesidad de un gran número de circuitos digitales. La única forma de cumplir estos requerimientos es implementando enlaces de fibra óptica.

5.6.3 *Aplicación a la Red Troncal*

A la red troncal le conciernen enlaces entre centrales de larga distancia. La troncal puede variar considerablemente en longitud desde 20 hasta más de 300 km y ,en algunos casos, sobre 1000 km. Debido a que las rutas troncales son rutas más grandes que portan gran tráfico, es obvia la necesidad de sistemas de transmisión de alta capacidad. En tales casos, la instalación de MIC de más alto orden sobre fibra óptica es económico (encima del tercer orden). En rutas donde la longitud excede el diseño del espaciamiento del repetidor, es necesario tener repetidores intermedios. Tenemos que evitar dotar de energía al repetidor a distancia. La mejor solución es instalar repetidores en edificios de superficie a lo largo de la ruta donde está disponible la energía. En la tabla V se tabulan datos prácticos para sistemas de transmisión de fibra óptica.

Estas tablas deben ser consultadas cuando se planifican sistemas de transmisión.

TIPO DE FIBRA DEL SISTEMA		INDICE GRADUAL MULTIMODO			UNIMODO
VELOCIDAD DE BIT (Mbit/s)		34		140	140
DETALLES DE LA FUENTE	longitud de onda (nm)	850	1300	1300	1300
	tipo de dispositivo	Láser	Láser	Láser	Láser
	ancho del espectro (nm)	≤5	≤10	≤10	≤10
	potencia media de salida (dBm)	- 1	- 3	- 3	- 6
DETALLES DE LA FIBRA	Atenuación (dB/km)	≤3.5	≤1.0	≤1.0	≤0.7
	Ancho de Banda (MHz.km)	≥400			
DETALLES DEL DETECTOR	Tipo de dispositivo	APD	PIN FET	PIN FET	PIN FET
	Sensibilidad por BER 10 ⁻⁹ (dbm)	- 48	- 45	- 41	- 41
PARAMETROS DEL SISTEMA	Relación de poder disponible(db)	47	42	38	35
	Ancho de Banda del Sistema Global (MHz)	≥40	≥40	≥100	≥100
	Espaciamiento del repetidor (Km)	10	22	18	≥30

TABLA V : ALGUNOS DATOS TECNICOS UTILES SOBRE EL SISTEMA

5.7 Enlaces de microondas de línea de vista

Los enlaces de microondas pueden transmitir hasta 2700 canales de voz, usando multiplexación por división de frecuencia, y hasta 900 canales usando multiplexación por división en el tiempo sobre cada portadora de radio.

Para cumplir los requisitos de ruido, el número de repetidores de banda base debe ser limitado. La repetición de banda base debería usarse solamente en ramas laterales cortas y en enlaces finales, fuera de una ruta de radio principal. Se recomiendan repetidores de frecuencia intermedia (FI; Intermediate frequency, IF) para rutas vertebrales, en sitios donde no existen requerimientos de separar e insertar. La repetición “FI” contribuye mejor a que haya menos ruido que la “banda base”, porque reduce el número de pasos de modulación/demodulación.

Los repetidores de radioenlace están separados por distancias en el orden de 50 km. La separación depende de la configuración del terreno y de las características de los medios de transmisión, principalmente la continua variación del índice atmosférico refractario con la altura.

Los rubros principales a ser considerados en la planificación e ingeniería de un terminal en las estaciones repetidoras, son:

- ingeniería del trayecto, interferencia de radiofrecuencia y planificación de frecuencia;
- adquisición del terreno, edificios, caminos de acceso y disposición de la estación;
- decisión, sitio por sitio, sobre “FI” o base de banda, repetidores, requerimientos de energía y equipo de reserva;
- torres para antenas;
- requerimientos de alarma;
- requerimientos diversos.

Los sistemas de alta capacidad son usados normalmente para rutas vertebrales de largo trayecto o rutas principales. Los sistemas de baja capacidad son usados normalmente como ramas laterales fuera de las rutas principales de alta capacidad o como independientes para rutas de baja capacidad. La decisión entre usar sistemas de radio o de fibra óptica es una decisión de gestión, conjugada con los requerimientos de tráfico, especificaciones técnicas y factibilidad económica.

5.8 Sistemas Múltiplex

Las principales características de los sistemas múltiplex MIC y MDF se han proporcionado en los párrafos precedentes. Aquí presentaremos las diversas jerarquías de los sistemas múltiplex.

5.8.1 *Sistemas múltiplex MIC*

El sistema múltiplex básico para MIC es el MIC de 30/32 (2048 kb/s) para países CEPT y 24 (1544 kb/s) para Norteamérica y Japón. El MIC básico constituye múltiplex de más alto orden; la llamada "jerarquía" MIC.

El tiempo de multiplexación de 4 MIC 30/32 provee el MIC de "segundo orden", que consiste de 120 canales de voz telefónicos, a una velocidad de bit de 8440 kb/s. La multiplexión de 4 MIC de segundo orden, constituye un MIC de tercer orden de 480 canales telefónicos, con una velocidad de bit de 34 Mb/s. Esta forma de construir los varios órdenes MIC es aplicable hasta el 5to. orden.

En la figura 8 se muestran todos los sistemas múltiplex MIC.

Vale la pena observar que la conexión de una central digital se lleva a cabo sobre la base de 2048 kb/s (RDI), mientras la conexión de una central analógica se hace en base a los canales. Este hecho es significativo para propósitos de comparación de costos.

5.8.2 *Sistemas múltiplex MDF*

Doce canales de audiofrecuencia (300-3400Hz) pueden ser trasladados dentro del grupo primario de CCITT (60-108khz), por medio de modulación directa o modulación pre-grupo. Un supergrupo de 60 canales está formado por cinco grupos de 12 canales en la banda de frecuencia de 312-552 KHz. Un grupo maestro básico es de 5 super grupos básicos de 60 canales en los 812-2044 KHz. Un supergrupo maestro básico de 900 canales está formado por tres grupos maestros básicos; en los 8516 - 12388 Khz. En la Figura 9 se muestran los grupos de diferente orden.

SISTEMAS MULTIPLEX MIC

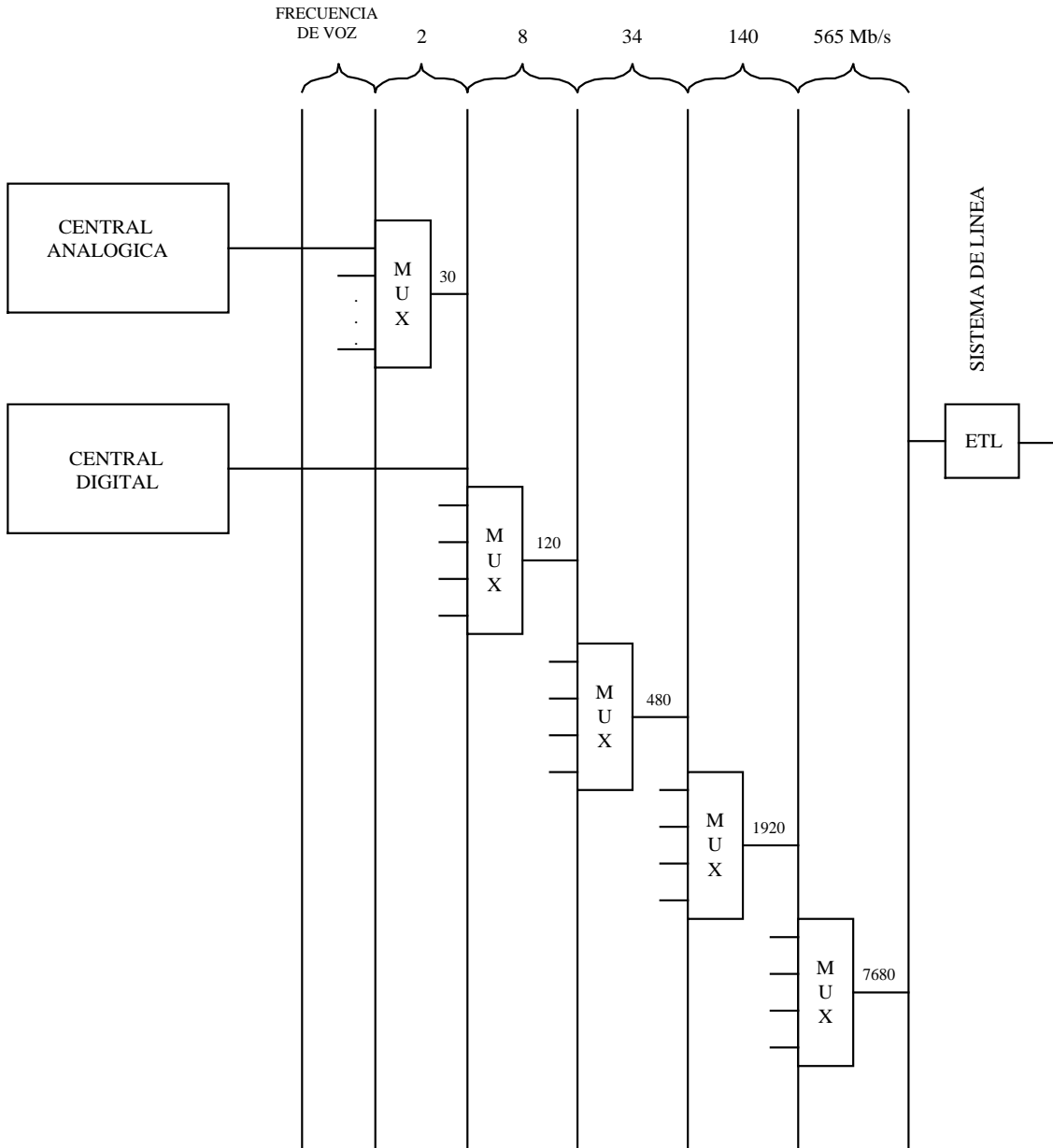


Figura 8
Sistemas Múltiplex MIC

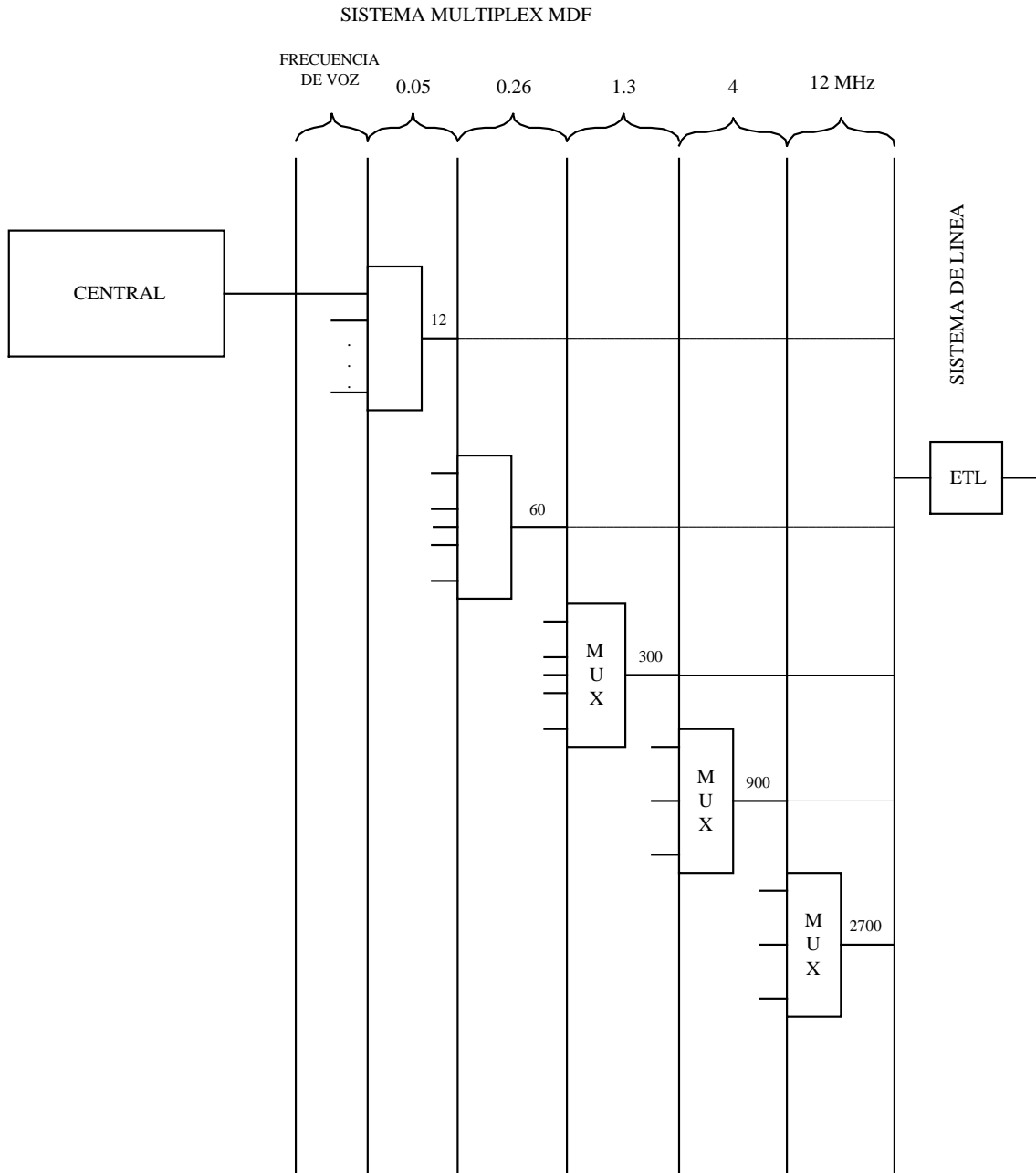


Figura 9
Sistema Múltiplex MDF

Referencias

1. Planificación de una Red Local UIT/ CCITT
2. Planificación General de la Red UIT/CCITT
3. Seminario UIT sobre Ingeniería de Tráfico y Redes
4. G. Moumoulidis: Planificación de una Red de Medios de Transmisión 1984
5. Datos Básicos en la Planificación de Redes Telefónicas. Documento Ericsson XF / SY 83076
6. CCITT- Grupo de Estudio XV. Aplicación de Fibras Ópticas en la Red Troncal. Documento Temporal No 12- E Ginebra 83
7. ITT, Planificación en Telecomunicación, Standard Electrica
8. Ingeniería y Operaciones en los Sistemas Bell. Laboratorios Bell, 1980
9. Siemens, Cables de Comunicaciones y Sistemas de Transmisión
10. M.T. Hills: Principios de Conmutación en Telecomunicaciones, George Allen & Unwin, Londres 1979