

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN,  
ESPECIALIDAD TELEMÁTICA



## CONMUTACIÓN TEMA 6: Red Telefónica Básica

Pablo Pavón Mariño  
Curso 2005-2006

# Índice

---

<b>TEMA 6</b>	<b>3</b>
<b>6.1 RED TELEFÓNICA BÁSICA</b>	<b>3</b>
<b>6.2 ESTRUCTURA DE LA RED DE ENLACES</b>	<b>4</b>
<b>6.3 RED DE ABONADOS</b>	<b>5</b>
6.3.1 TERMINAL TELEFÓNICO	5
6.3.2 SEÑALIZACIÓN CENTRAL LOCAL-ABONADO	6
6.3.3 CABLEADO DENTRO DEL EDIFICIO	8
6.3.4 RED DE ACCESO ( <i>LOOP PLANT</i> )	10
<b>6.4 ESTRUCTURA DE UNA CENTRAL LOCAL</b>	<b>13</b>
6.4.1 ELEMENTOS DE UNA CENTRAL LOCAL	13
6.4.2 DIGITALIZACIÓN DE LA VOZ	15
6.4.3 SERVICIO PROPORCIONADO	15
6.4.4 LÍNEAS TRONCALES	16
<b>6.5 TECNOLOGÍAS PARA LA RED DE ENLACES</b>	<b>17</b>
6.5.1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIA	17
6.5.2 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO	18
<b>6.6 CENTRAL DE CONMUTACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>6.7 DIGITAL CROSS-CONNECT</b>	<b>21</b>

# Tema 6

## Red Telefónica Básica

---

### 6.1 Red Telefónica Básica

El servicio telefónico es aquel que permite a distintos usuarios establecer comunicaciones de voz a través de un terminal telefónico adecuado. Para dar este servicio, si no se emplease la conmutación, en un escenario con  $N$  usuarios necesitaríamos un enlace desde cada usuario a cada uno de los  $(N-1)$  restantes. Esto supone un número de enlaces igual a  $N(N-1)/2$ .

Ejemplo: para dar servicio a 1 millón de usuarios se necesitaría casi medio billón de líneas

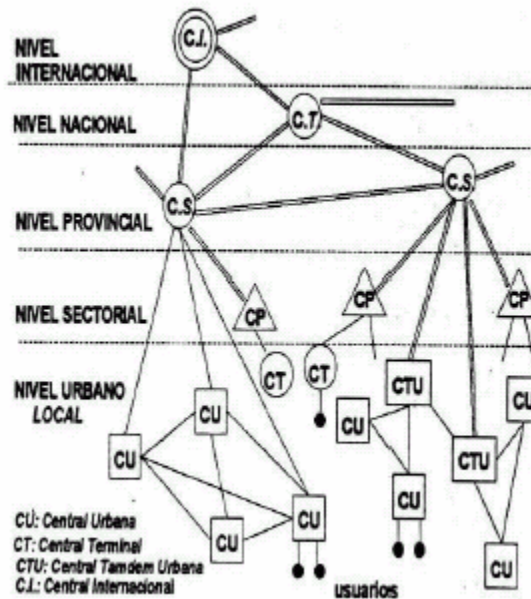
Por ello, el servicio telefónico se apoya en una red de conmutación de circuitos, con las siguientes características:

- Cada usuario se encuentra conectado directamente a una central de conmutación, llamada central local, que le da servicio. En general, una central local se encuentra en un núcleo urbano, dando servicio a usuarios en un entorno de alrededor de 4 km. El circuito físico existente entre las instalaciones del usuario y la central local se conoce como “bucle de abonado” (*last mille*). El conjunto de estos bucles de abonado y los elementos de interconexión entre el usuario y la central local se conoce como **red de abonados**.
- Con la difusión del servicio telefónico, se observó la imposibilidad de conectar todas y cada una de las centrales locales entre sí. La situación existente es que las centrales locales se conectan a centrales de conmutación de orden superior en una arquitectura jerárquica (como veremos más adelante). El conjunto de interconexiones entre centrales se realiza utilizando medios de transmisión diversos (cables de pares, coaxiales, fibras ópticas). A este conjunto de interconexiones entre centrales se conoce como **red de enlaces**.
- **Conmutación de circuitos:** Una llamada entre dos usuarios, (1) establece un circuito desde usuario-central local, a través de la red jerárquica de interconexión de centrales, hasta el otro extremo central local-usuario. (2) El circuito permanece establecido durante la duración de la llamada, permitiendo la transmisión de la voz en ambos sentidos. (3) El circuito es liberado al finalizar la llamada.

En España, al conjunto de medios que permiten la provisión del servicio telefónico, se le conoce como Red Telefónica Básica (RTB), o (quizá antiguamente) Red Telefónica Conmutada (RTC). Esta red ha ido creciendo en complejidad y funcionalidades a lo largo de los años. En las siguientes secciones desglosaremos las partes fundamentales de este Red.

## 6.2 Estructura de la red de enlaces

Como dijimos en la sección anterior, la imposibilidad de interconectar todas las centrales locales entre sí, ha llevado en todos los países a establecer una estructura jerárquica de interconexión entre centrales. En la red pública española (figura inferior), que cuenta con más de 16 millones de usuarios, con centrales suministradas por Alcatel (p.e. modelo 1240), Ericsson (p.e. modelo AXE) y ATT (p.e. modelo 5ESS), tenemos la siguiente clasificación:



- **Central local:** Se conectan directamente a ellas las líneas de abonado. Se le denomina *central terminal* si los abonados pertenecen a varias poblaciones pequeñas dispersas, o *central urbana* si los abonados pertenecen a la misma población. En este caso, la distancia desde el abonado hasta la central urbana suele ser de hasta 4-5 km.
- **Central primaria o central de tránsito sectorial:** Entre dos centrales locales cercanas con suficiente tráfico entre ellas se pueden establecer enlaces directos. Cuando no existe un tráfico suficiente entre centrales locales cercanas, puede situarse una central primaria que interconecta varias centrales locales dentro del mismo sector. Son centrales sin abonados conectados directamente.
- **Central tándem:** Son centrales de tránsito, sin abonados propios, que sirven para cursar llamadas entre centrales primarias, saltándose la jerarquía. No pertenecen a la red jerárquica de centrales, sino a una red complementaria que intenta liberar de tráfico centrales cargadas.
- **Central secundaria:** Centrales de tránsito encargadas de manejar autónomamente el tráfico entre provincias pertenecientes a la misma área multiprovincial. Para ello, se conectan a centrales primarias y centrales tándem de su área de influencia.
- **Central terciaria o central nodal:** Sirven para cursar llamadas entre centrales secundarias pertenecientes a distinta área multiprovincial.

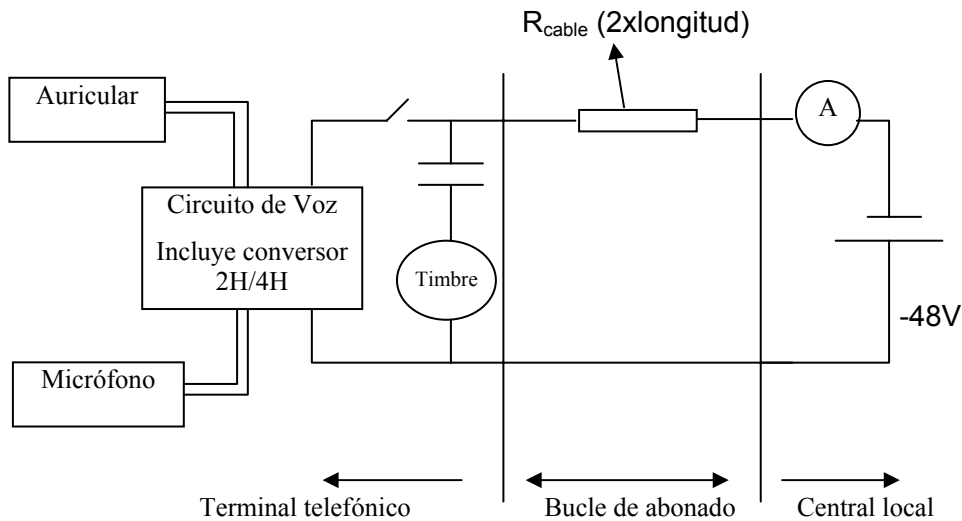
- **Central internacional:** Cursan el tráfico entre distintos países. A ellas se conectan las centrales terciarias. En España están localizadas en Barcelona, Madrid, Sevilla y Valencia.

**Nota:** Esta clasificación tiende a ser cada vez más plana, distinguiéndose solo el nivel de acceso, tránsito e internacional. Pero este modelo es válido y útil, y por ello se describe en esta sección.

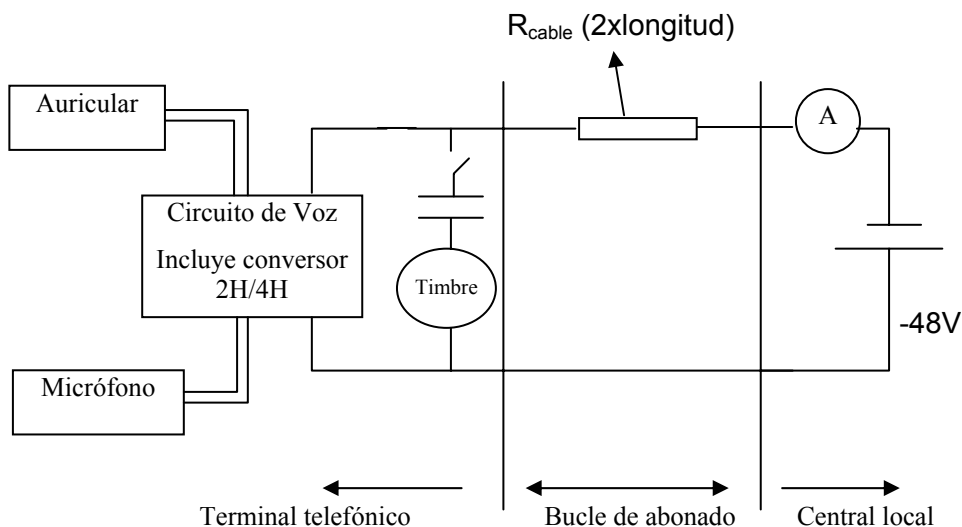
## 6.3 Red de abonados

### 6.3.1 Terminal telefónico

La siguiente figura muestra un teléfono en posición de reposo (colgado, *on hook*). En este momento, el circuito de voz (micrófono y auricular) se encuentra desconectado de la línea, y el timbre se encuentra en línea.



Cuando se descuelga el teléfono, se producen simultáneamente dos situaciones: (1) el timbre se desconecta, y (2) se pone el circuito de voz en línea. Este circuito de voz se ve entonces alimentado por la corriente continua que genera la batería de la central local.



Como vemos, internamente el teléfono trabaja con 4 hilos: 2 para la señal al micrófono y dos para el auricular. Sin embargo, la comunicación con la central se hace únicamente con 2 hilos. Por ello, el circuito de voz incluye un conversor de 2 hilos a 4 hilos. El conversor de 2 hilos a cuatro hilos está basado en una bobina híbrida, que permite separar señales en función de su sentido de propagación, realizando lo siguiente:

- La señal generada por el micrófono (voz hablada del usuario del teléfono) se transmite con poca atenuación por la línea hacia la central, y con mucha atenuación hacia el circuito auricular.
- La señal proveniente de la línea de abonado en sentido hacia el teléfono se transmite con poca atenuación a los dos hilos que hacia el auricular, y con gran atenuación hacia el circuito del micrófono.

### **Alimentación del terminal telefónico**

Los terminales telefónicos son alimentados por una señal de corriente continua desde la central local. El voltaje nominal de esta batería es de  $-48V$ . El voltaje medido en el teléfono depende de la intensidad eléctrica que circula por la línea:

- cuando el teléfono está colgado, la intensidad eléctrica que circula por los cables es muy pequeña, y el voltaje en el teléfono es prácticamente de  $-48V$ .
- cuando el teléfono está descolgado, la corriente que circula es mayor. Esto hace que, en función de la longitud del cable desde la central hasta el teléfono, el voltaje medido en el terminal sea tan bajo como  $12V$ .

## **6.3.2 Señalización central local-abonado**

La señalización entre la central local y el abonado debe ser muy sencilla. El hacerla compleja encarecería el terminal telefónico.

### **6.3.2.1 Señal de continua**

Para las señales de corriente continua, la línea telefónica es un simple circuito en serie, con una batería y un medidor de intensidad de corriente en la central local, una resistencia correspondiente a la longitud del cable, y una resistencia interna dentro del teléfono. Esta resistencia interna es muy alta cuando el teléfono está colgado, ya que eso hace que el circuito de timbre (con un condensador en serie) esté conectado a la línea. Por ello, en este momento la corriente que circula es pequeña, siendo esta la forma de detectar el colgado por parte de la central local. Cuando el teléfono está descolgado, el circuito telefónico se conecta a la línea. Este circuito tiene una resistencia interna del orden de  $500\Omega$ , provocando el paso de una corriente por la línea.

La medición de la intensidad de corriente continua en el bucle de abonado es utilizado por la central local para detección de teléfono colgado / descolgado, antes de generar una señal de timbre en llamadas entrantes, y para la finalización de una llamada en curso.

### 6.3.2.2 Señal de timbre

Cuando la central local detecta una llamada con destino a un terminal telefónico, debe generar una señal de mayor potencia, que haga sonar el timbre. Se trata de una señal AC de 120V de pico, que superpuesta a la de continua hace oscilar el voltaje entre +70V a -170V.

### 6.3.2.3 Tonos de información

Durante el proceso de establecimiento de una llamada generada por A hacia B, la central local, mediante una serie de tonos, señaliza distintas situaciones. Entre estos tonos se destacan:

- tono de invitación a marcar: tono continuo a 425Hz, por la cual la central indica que está preparada para recibir el número.
- tono de llamada: un tren de tonos a 425Hz de 1 segundo de duración, espaciados 5 segundos, que indica que el terminal ha establecido la conexión y se está llamando a B.
- tono de ocupado
- tono de congestión: indica que no es posible establecer la llamada, por saturación en algún punto, o por avería.

Invit. marcar	_____		425 Hz
	1 seg	5 seg	
Llamada	_____		425 Hz
	1 seg		
Ocupado	0.25 seg	— — — — —	425 Hz
	0.25 seg		
Congestión	0.25 seg	— — — —	425 Hz
	0.75 seg		

### 6.3.2.4 Marcación

La marcación es el proceso por el cual el usuario iniciador de una llamada señala a la central el número del abonado con el que desea hablar. Existen dos mecanismos de marcación:

- **Marcación decádica:** Fue la primera en ser utilizada, por su sencillez. Según este método, para marcar el número  $N$ , el terminal realiza  $N$  cortes en la corriente con la central, uno cada 0.1 seg. Estos cortes de corriente son equivalentes a los que se producen cuando se cuelga el teléfono. La central local detecta esos cortes, y memoriza el número con el que se desea contactar.
- **Marcación DTMF (Dual Tone Multiple Frequency) o touch tone (nombre reservado por AT&T):** Es el formato aprobado por el CCITT para la emisión de tonos desde un teléfono de teclado. Según este esquema, a cada una de las 12 teclas de un teléfono convencional (0...9#\*) se le asigna un par de tonos según la siguiente tabla

	<b>1209Hz</b>	<b>1336Hz</b>	<b>1477Hz</b>	<b>1633Hz (reserva)</b>
<b>697Hz</b>	1	2	3	A
<b>770Hz</b>	4	5	6	B
<b>852Hz</b>	7	8	9	C
<b>941Hz</b>	*	0	#	D

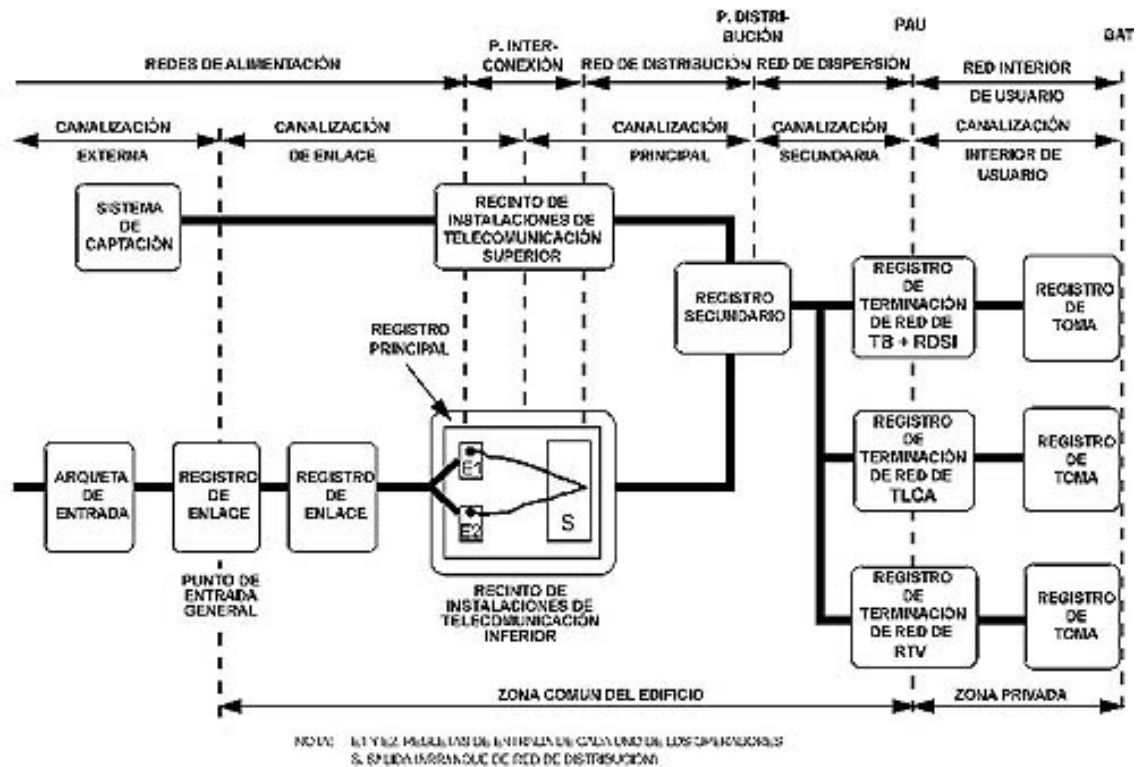
Al pulsar una tecla, se transmite la apropiada combinación de dos tonos según la tabla. Este proceso de marcación es más rápido que el decádico, y no corta la línea durante la señalización. Esto permite la transmisión de tonos durante una llamada, útil por ejemplo en servicios de atención automática de llamadas.

### 6.3.3 Cableado dentro del edificio

En España, el cableado relativo a telefonía en el interior de edificios viene fundamentalmente especificado por la regulación de la Infraestructura Común de Telecomunicaciones (ICT). Esta regulación se produce a través de la Orden Ministerial de 26 de octubre de 1999 por la que se desarrolla el Reglamento de la ICT.

Una instalación de ICT responde al esquema general que se muestra en la figura siguiente, donde se puede distinguir la situación de los distintos tramos de la red (alimentación, distribución, dispersión e interior de usuario) y los puntos de separación entre ellas (de interconexión, de distribución y de acceso a usuario), debiendo incluir obligatoriamente los elementos necesarios para realizar las siguientes funciones:

- Captación adaptación y distribución de las señales de radiodifusión sonora y televisión terrenales.
- Distribución de las señales de radiodifusión sonora y televisión por satélite.
- Acceso al servicio de Telefonía disponible al público
- Acceso al servicio de Telecomunicaciones por cable



APÉNDICE 1 - ESQUEMA GENERAL

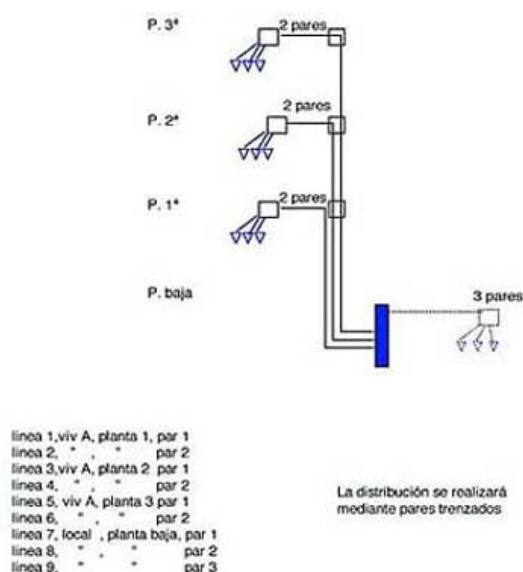
Las partes a destacar dentro del edificio son las siguientes:

- Un recinto (RITI –Registro de Instalaciones de Telecomunicación Inferior), situado en la parte baja del edificio, donde se instalarán equipos y regletas que establecen el punto de interconexión entre las redes de alimentación, pertenecientes a los operadores y la red de distribución, perteneciente a la comunidad de propietarios del edificio.
- Un recinto (RITS), situado en la parte alta del edificio, dotado de suficiente espacio para ubicar los equipos de cabecera que permiten adaptar y mezclar las señales procedentes del sistema de captación (antenas).
- Una canalización principal, formada por tubos rígidos, que partiendo del RITI, llega hasta el Recinto de Instalaciones de Telecomunicación Superior (RITS), con ramificaciones en cada planta (canalizaciones secundarias) mediante las cuales se accede a cada vivienda y canalizaciones de usuario, en el interior de cada vivienda.

Nosotros nos centraremos en lo relativo a las infraestructuras de telefonía. Las partes fundamentales que afectan a esta infraestructura son:

- Un *Registro Principal* equipado con regletas situado en el RITI. Debe disponer de espacio para que, al menos dos operadores de telefonía puedan montar sus regletas de entrada, a las que conectarán los cables de sus redes de alimentación, y desde las que tenderán los puentes correspondientes hasta las regletas de salida para dar servicio a los usuarios.

- Una *Red de Distribución* compuesta por los cables que discurren desde las regletas de salida del Registro Principal hasta las regletas del Punto de Distribución, situado en el Registro Secundario de cada planta.
- Una *Red de Dispersión*, compuesta por los cables que enlazan el Punto de Distribución de cada planta con el Punto de Acceso a Usuario, situado en el Registro de Terminación de Red existente a la entrada de cada vivienda.
- Una *Red Interior de Usuario* compuesta por los cables que enlazan los Puntos de Acceso a Usuario con las Bases de Acceso Terminal a las que se conectan los equipos terminales, terminadas en el conector RJ-11 (que permite 4 hilos, utilizando el teléfono sólo 2 de ellos).



### 6.3.4 Red de acceso (*loop plant*)

Esta sección describe el cableado desde las instalaciones del usuario hasta la central local. Este se produce a través de cables de par trenzado, formados por un conjunto de pares de cables trenzados, agrupados bajo una cubierta común. El número de pares dentro de un cable se incrementa desde las instalaciones del usuario (mínima agrupación es 6 pares en un cable) a medida que se acercan los pares hacia la central local (hasta miles de pares en un cable de entrada a la central local).

El diámetro del hilo afecta a la resistencia del mismo. Los diámetros más comunes vienen indicados en la siguiente tabla

Galga AWG (Gauge)	Calibre (mm)	Resistencia ( $\Omega$ /km) (cable = x2)
26	0.72	146
24	0.80	86
21	0.98	42
18	1.13	23

### Limitaciones para la componente continua

Los detectores de corriente en las centrales locales tienen típicamente un umbral de  $25mA$  para detectar un teléfono descolgado. La resistencia interna de un teléfono descolgado típicamente es de unos  $500\Omega$ .

La corriente en un teléfono descolgado es:

$$I = 48/(500+R_c)$$

Donde  $R_c$  es la resistencia debida a la longitud de la línea de abonado (correspondiente al *doble* de la distancia central-abonado). Para que pueda ser detectado por la central que el teléfono está descolgado, esta intensidad debe cumplir

$$I = 48/(500+R_c) > 0.025 A \Rightarrow R_c < 1420\Omega$$

Esta limitación afecta a la longitud máxima del cable, que será mayor con cables de mayor grosor (y menor resistencia por tanto).

**Ejemplo:** Para un cable #26, esto supone una limitación

$$1420 \Omega / (146 \times 2 \Omega/km) = 4.86 \text{ km de bucle de abonado.}$$

### Transmisión de señal de audio

La señal de audio transmitida en ambos sentidos del cable, ocupa las frecuencias de  $300Hz$  hasta  $3,4 KHz$ .

La atenuación por km de una línea de teléfonos depende de la frecuencia (figura inferior, [figura 1.16 de [1]]). El efecto capacitativo de las líneas hace que la atenuación de las frecuencias más altas sea mayor que las más bajas, provocando una distorsión en la señal. Esta diferencia es mayor a mayores longitudes de cable. El método habitual de combatir esta distorsión de amplitud en líneas largas es introducir inductancias artificiales a lo largo de la línea. Estas inductancias son generadas por bobinas de carga, situadas espaciadas según unas determinadas reglas (en general, con una separación de alrededor de 2 km).

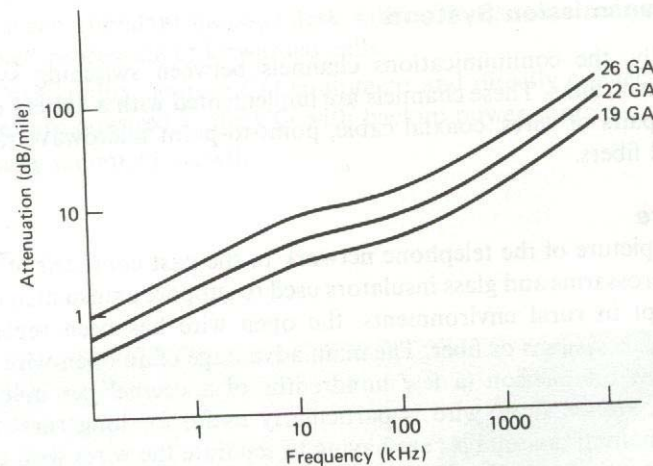


Figure 1.13. Attenuation versus frequency of common gauges of paired cable.

La introducción de estas bobinas consigue una respuesta plana dentro de la banda vocal (300 Hz - 3.4 KHz), lo que es positivo para el servicio telefónico. Por otro lado, estas inductancias provocan una atenuación mucho mayor de lo normal por encima de la banda vocal (ver figura [figura 1.17 de [1]]). Esto afectará en aquellos servicios que pretenden utilizar la línea de teléfono a frecuencias por encima de la banda vocal (RDSI y ADSL). En las líneas de abonado que hacen uso de estos servicios, se hace necesario la eliminación de estas bobinas de carga.

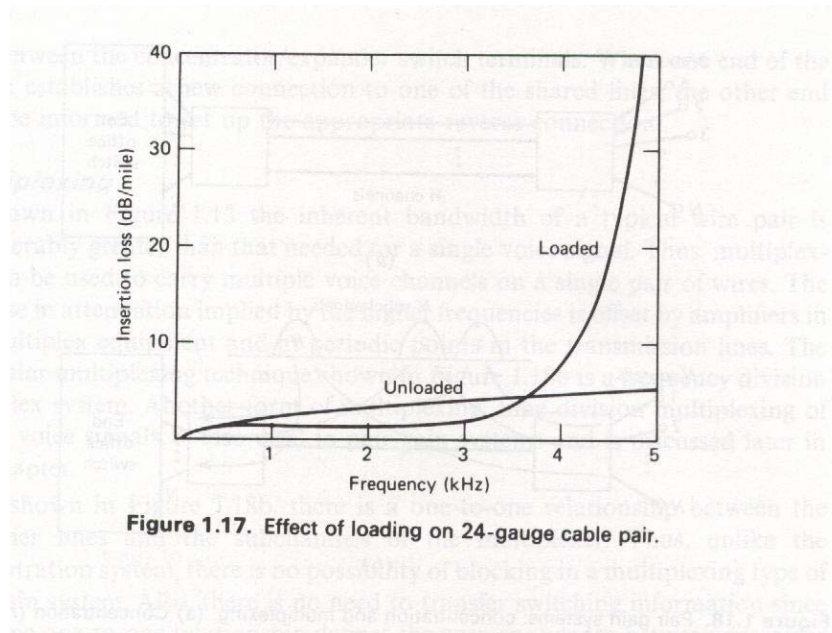
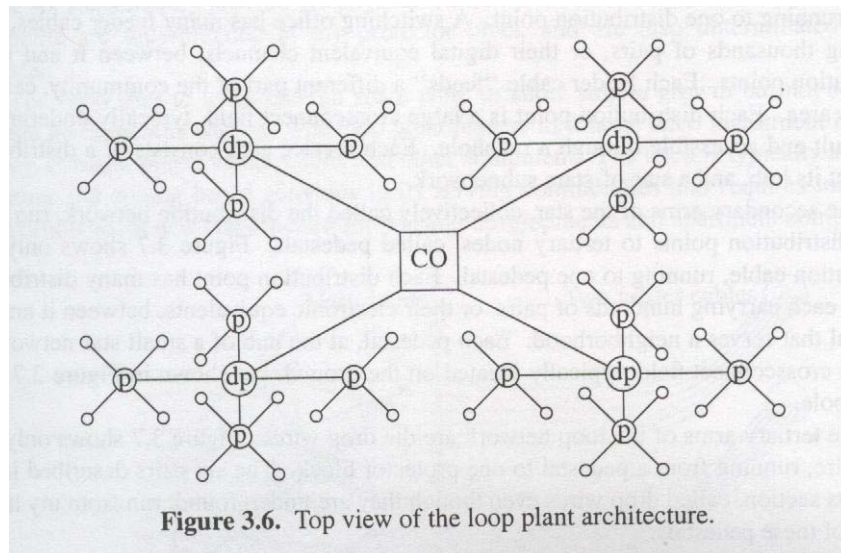


Figure 1.17. Effect of loading on 24-gauge cable pair.

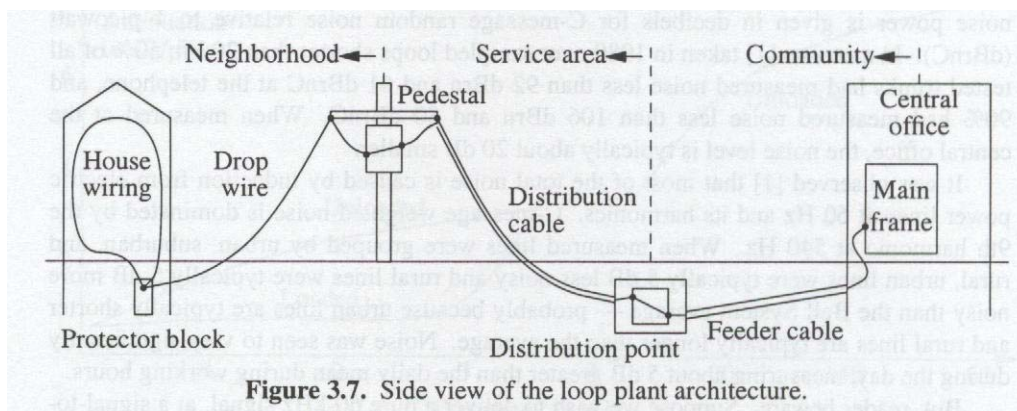
### Topología de Distribución

Desde la central local hasta los terminales telefónicos, los pares son agrupados en cables según una topología como la de la figura (figura 3.6 de [2]).



De la central local (CO –*central office*) salen un conjunto de cables (*feeder cables*) hacia los puntos de distribución (DP- *distribution points*), donde cada cable transporta miles de pares. Los puntos de distribución disponen de una capacidad de interconexión de cables, para dar flexibilidad a la gestión y mantenimiento. De los puntos de distribución salen cables con menor número de pares, llamados cables de distribución, hacia puntos de distribución de siguiente nivel.

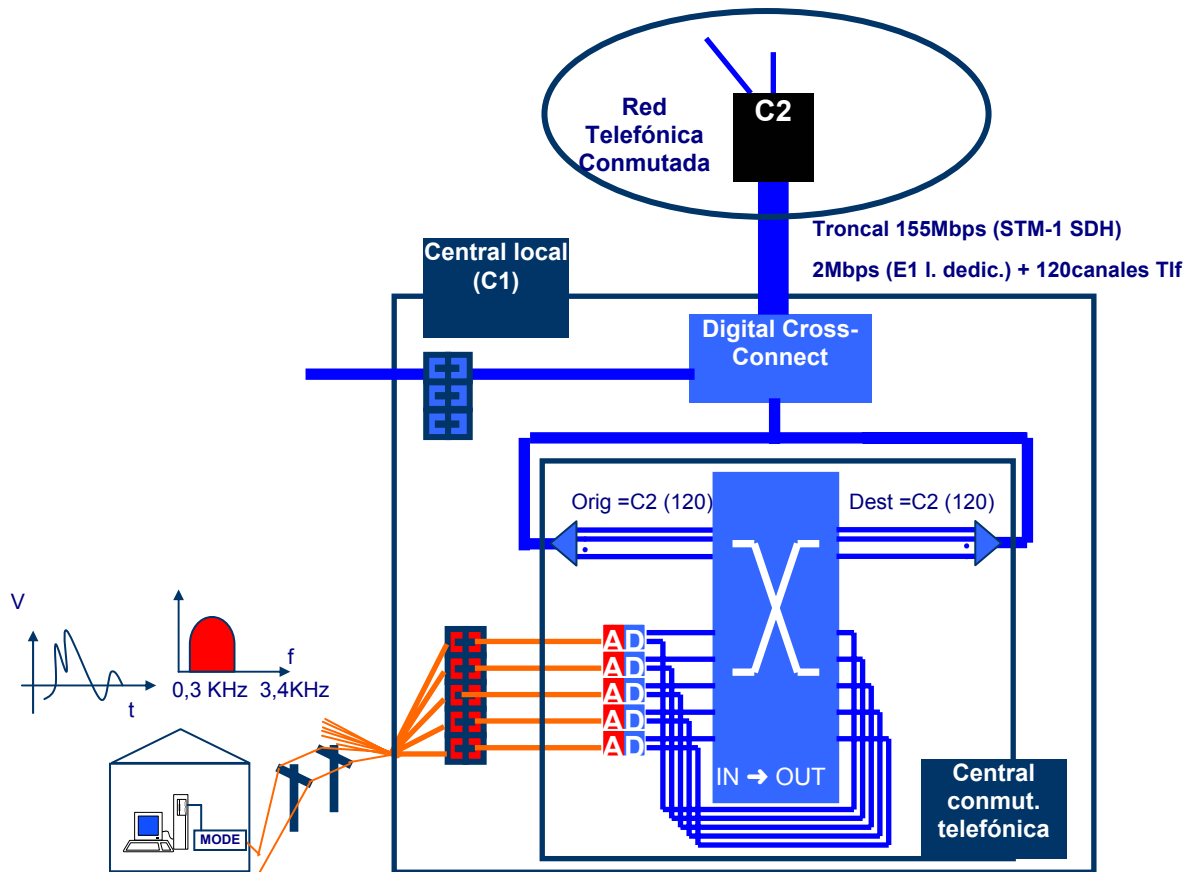
La distribución se realiza disminuyendo el número de pares en cada cable, hasta llegar al cable de 6 pares que habitualmente llega a las instalaciones del usuario (figura 3.7 de [2]). El número de pares en los cables está siempre sobredimensionado respecto al número de usuarios del área que sirven. Esto es así para permitir absorber un incremento en el número de usuarios o reparación/eliminación de una línea sin tener que volver a tender más cable.



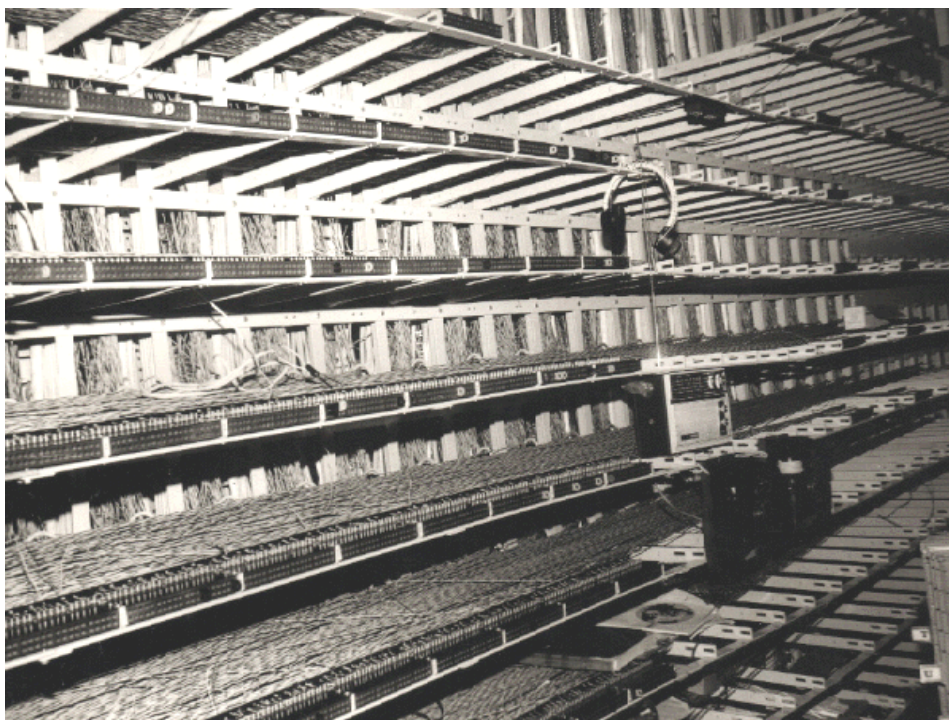
## 6.4 Estructura de una central local

### 6.4.1 Elementos de una central local

La estructura de una central local se muestra en la siguiente figura ejemplo:



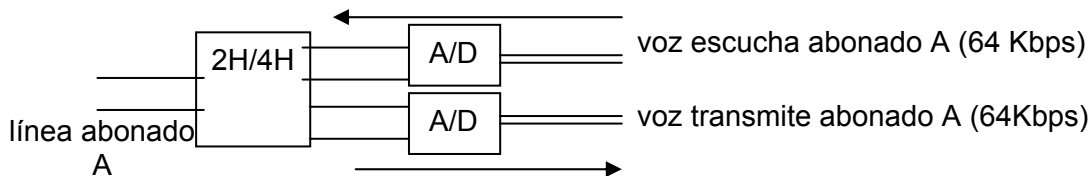
- *Main distribution frame (MDF)*. Consiste en la terminación en regletas numeradas de los pares de bucle de abonado. Suele situarse en unas instalaciones en el sótano de la central local, cerca de la llegada de los cables de pares de abonado.



- *Central de conmutación*: Se trata del dispositivo más importante y complejo dentro de la central local. A esta central llegan las líneas conmutadas, de abonado y troncales. Su función principal es establecer un circuito entre una línea de entrada de un abonado de la central, y una línea de salida (hacia otro abonado de la misma central, o hacia un canal libre en un enlace con otra central) **en función del número marcado** (las líneas dedicadas, con destino fijado estáticamente, no consumen recursos en la central de conmutación telefónica).
- *Digital Cross Connect*: Es una matriz de conmutación digital que controla la reserva de ancho de banda de manera estática en los enlaces troncales.

## 6.4.2 Digitalización de la voz

Hoy en día, en su camino entre dos usuarios, el único tramo que sigue la voz en forma analógica es en el bucle de abonado. A la entrada de la central local, la línea de abonado sufre una separación de 2 hilos a 4 hilos, y una conversión A/D y D/A como muestra la figura



El proceso de digitalización de la voz empleado se llama modulación por impulsos codificados (PCM *Pulse Code Modulation*) consiste en dos fases: muestreo y cuantificación, tal y como se ha estudiado en la asignatura Teoría de la Comunicación. Según este proceso:

- el voltaje analógico de la voz es una señal de ancho 3.1 KHz (300 Hz-3.4 KHz)
- es muestreado 8000 veces por segundo ( $f_m = 8000$  muestras/seg) => 1 vez cada  $125\mu s = T_{muestra}$
- cada muestra es reflejada en un número entre 0 y 255 (8 bits), siguiendo el proceso de cuantificación (explicado en Teoría de la Comunicación).
- esto da una velocidad de  $8000$  muestras/seg \* 8 bits/muestra = 64 Kbps

## 6.4.3 Servicio proporcionado

Una central local de una ciudad da servicio a del orden de decenas de miles de líneas de abonado. En general, las instalaciones de una central local se sitúan dentro de una edificación situada cerca del centro geográfico del área de influencia. En España, las centrales locales son propiedad de Telefónica, que, como operador dominante, se encarga de administrar las líneas de abonado. Estas líneas han sido instaladas a lo largo del siglo XX por Telefónica desde su posición de monopolio, y se consideran patrimonio de todos los ciudadanos. El proceso de liberalización de las telecomunicaciones ha traído consigo la regulación del acceso en igualdad de todos los operadores de telefonía a este bucle de abonado. La central local se encarga de coordinar adecuadamente la redirección de llamadas desde el bucle de abonado de un usuario hacia las instalaciones de otras operadoras en caso de ser necesario. En esta sección no se tratará la problemática asociada a la compartición del bucle de abonado.

A través de la central local, es posible acceder a varios tipos de servicios. Destacamos a continuación los siguientes:

- **Servicio telefónico conmutado:** desde una línea, es posible establecer comunicación vocal con un usuario elegido **a través de un número de teléfono**. La forma de acceder a este servicio puede ser variado:
  - Como un usuario de telefonía vocal convencional, sobre una línea de abonado, como hemos visto en las anteriores secciones.
  - Como un usuario de la Red Digital de Servicios Integrados, que establece uno varios canales de 64 Kbps.
- **Servicio de línea dedicada (no conmutada):** Usuarios con requisitos de comunicación especiales tienen la posibilidad de contratar líneas dedicadas que los conecten directamente con otro usuario **fijo (fijado en el momento de la contratación de la línea)**, situado en esta u otra central local. Las líneas dedicadas se contratan de capacidad fija, siendo válidos unos determinados múltiplos de 64 Kbps. Ambos extremos disponen del ancho de banda contratado reservado para su uso, lo utilicen o no.

Ejemplos de utilización de líneas dedicadas:

- Contratación de un canal a 2 Mbps para interconexión entre dos routers IP.
- Contratación de un canal a 64 Kbps para conexión de una sucursal bancaria con una central de alarmas.

La contratación de una línea dedicada exige lo siguiente:

- En cada extremo, conexión usuario-central. El tipo de medio físico empleado entre el usuario y la central local, para proporcionar este servicio de línea dedicada es variado, en función del ancho de banda (fijo) contratado y la distancia a la central local.
- Reserva (provisionamiento) del ancho de banda contratado, a lo largo de los enlaces entre las centrales que dan servicio a ambos extremos.

## 6.4.4 Líneas troncales

El tráfico correspondiente a las líneas conmutadas (conversaciones telefónicas con destino elegido por marcación) o a las líneas dedicadas que atraviesan o tienen uno de los extremos en una central, deben utilizar uno de los enlaces que lo conectan con otras centrales. Estos enlaces que conectan dos centrales se conocen como **enlaces troncales (líneas troncales)**.

Los enlaces troncales son enlaces de gran capacidad. Actualmente, se trata de líneas de tecnología de transmisión PDH o SDH. El ancho de banda que permite cada enlace troncal debe repartirse entre cuatro posibles fuentes de tráfico:

- Tráfico correspondiente a canales de 64 Kbps pertenecientes a líneas conmutadas.

- 1) De usuarios de la central local con usuarios fuera de la central local, que se alcanzan a través de ese enlace troncal.
- 2) Centrales de tránsito: un enlace con otra central puede transportar canales de voz de conversaciones que atraviesan la central, sin ser origen ni destino de la llamada.
- Tráfico correspondiente a las líneas dedicadas
  - 3) Contratadas por usuarios de la central local, con usuarios fuera de la central local, que se alcanzan a través de ese enlace troncal.
  - 4) Centrales de tránsito: un enlace con otra central puede transportar tráfico de líneas dedicadas que atraviesan la central.

## 6.5 Tecnologías para la red de enlaces

Las centrales se encuentran enlazadas siguiendo una estructura de tipo más o menos jerárquica. Los medios físicos utilizados son de mayor capacidad, de manera que un número elevado de canales telefónicos es transmitido sobre el mismo enlace (*concepto de multiplexación*). El dimensionamiento de la capacidad de estos enlaces se realiza en función del tráfico (número de llamadas simultáneas) que se espera deban soportar.

### 6.5.1 Multiplexación por división en frecuencia

Inicialmente, la voz no era digitalizada en las centrales locales, y se transmitía en formato analógico multiplexado en frecuencia en los enlaces entre centrales. La unidad mínima multiplexada es un circuito de 4KHz, capaz de transportar una señal de telefonía vocal analógica. A partir de ahí, la multiplexación se organiza con unas agrupaciones especificadas:

<b>Grupo primario</b>	12 canales	60-108 KHz
<b>Grupo super</b>	5 primarios (60 canales)	312-552KHz
<b>Grupo maestro</b>	5 super grupos (300 canales)	812-2044KHz
<b>Grupo super maestro</b>	3 grupos maestros (900 canales)	8516-12388KHz

Para capacidades más elevadas existen diferentes sistemas. Por ejemplo, en cable coaxial:

- 12MHz: 2700 canales
- 60MHz: 10800 canales

Los enlaces entre centrales basados en multiplexación por división en frecuencia se encuentran en desuso, a partir de la generalización del proceso de digitalización de la voz en las centrales locales, y su conmutación y transmisión digitalizada en todas las centrales.

## 6.5.2 Multiplexación por división en el tiempo

Hoy en día los enlaces entre centrales transmiten la voz correspondiente a una conversación en formato digital en flujos de 64 Kbps. Los flujos son agrupados multiplexados en el tiempo, sobre señales binarias de mayor capacidad (hasta Gigabits por segundo), transmitidos sobre medios físicos adecuados (cable coaxial, enlace de microondas y –principalmente- fibra óptica).

Existen dos tecnologías fundamentales de capa física para transmisión de estas señales multiplexadas por división en el tiempo:

- **Jerarquía digital plesiócrona (PDH):** Los dos extremos del enlace operan con un reloj (de cuarzo en general) independiente. La diferencia de sincronismo entre ambos relojes no puede ser despreciada, lo que da un funcionamiento “casi síncrono” (plesiócrono). Será gradualmente sustituida por la tecnología SDH.
- **Jerarquía digital síncrona (SDH en Europa, SONET en EEUU):** Las dos centrales comparten una señal de reloj común, de gran precisión.

Ambas tecnologías serán estudiadas en profundidad en la asignatura Sistemas de Telecomunicación. A continuación se destacarán simplemente los aspectos fundamentales de las mismas.

### 6.5.2.1 PDH

La jerarquía digital plesiócrona es el mecanismo de transmisión empleado ampliamente en los primeros sistemas de telefonía, principalmente en medios de transmisión basados en cobre.

Existen un número limitado de capacidades de enlace PDH, organizados en una jerarquía de transmisión. Esta jerarquía es distinta en Europa, EEUU y Japón, como muestra la siguiente tabla:

JERARQUIA DIGITAL PLESIOCRONA		
EUROPA	NORTE AMERICA	JAPON
E5 - 555 Mbps		400 Mbps
E4 - 139 Mbps	274 Mbps	100 Mbps
E3 - 34 Mbps	DS3 - 45 Mbps	32 Mbps
E2 - 8 Mbps	DS2 - 6,3 Mbps	6,3 Mbps
E1 - 2 Mbps	DS1 - 1,5 Mbps	1,5 Mbps

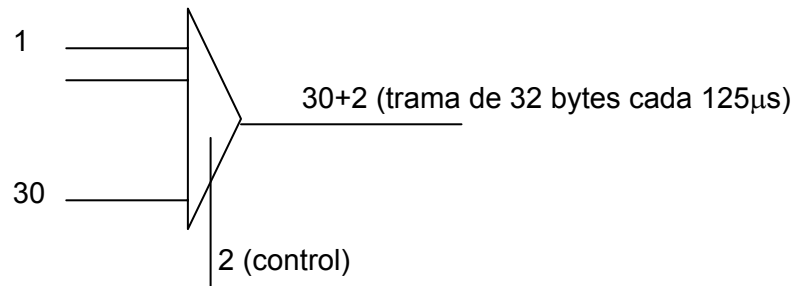
#### Jerarquía PDH europea

En Europa, la agrupación de menor orden se conoce como E1. Un enlace PDH E1 agrega 30 canales telefónicos. Los enlaces E1 son transmitidos mediante una trama con las siguientes características:

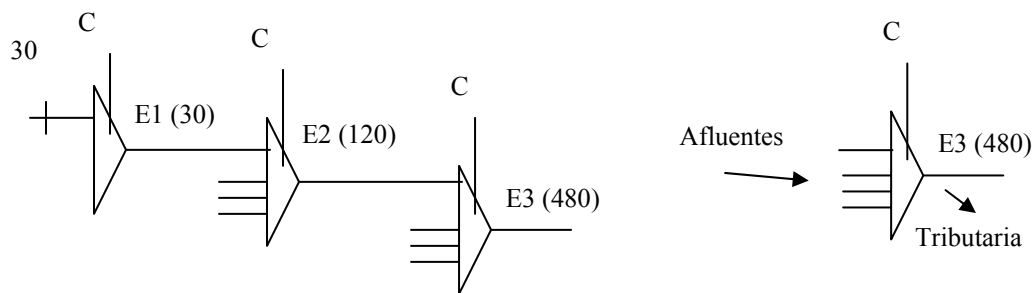
- Tamaño: 32 bytes. 1 byte para cada canal telefónico. 1 byte para sincronización. 1 byte para transmitir información de señalización.
- Periodo de trama: 125  $\mu$ s.

- Velocidad binaria de la trama: el tamaño de una trama es de  $8 \text{ bits} * 32 = 256 \text{ bits}$ . El tiempo de trama es de  $125 \mu\text{s} \Rightarrow v_{tx} = 256 \text{ bits} / 125 \mu\text{s} = 2.048 \text{ Mbps}$ .

<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	...	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	...	<b>31</b>
Sincr.	C.Tif.	C.Tif.	...	C.Tif.	Señ.	C.Tif.	...	C.Tif.



Cuatro afluentes E1 pueden multiplexarse en un enlace E2. Cuatro afluentes E2 pueden multiplexarse en un enlace E3, etc. (ver tabla jerarquía).



### Limitaciones PDH

Lo que caracteriza al sistema PDH, es que los dos extremos del enlace están cada uno basado en un reloj (de cuarzo en general) propio, pudiendo existir una pequeña deriva entre los relojes de ambas centrales. Esto tiene dos implicaciones fundamentales:

- Limita la velocidad binaria máxima alcanzable por un enlace.
- Obliga a implementar unos determinados mecanismos de adaptación de velocidades, para por ejemplo manejar el caso en que en un multiplexor, un afluente (proveniente de una central) vaya más rápido que otro afluente (de otra central distinta). Estos mecanismo de adaptación de velocidades implementados, obligan a que, para poder acceder a la información en un canal individual dentro de una señal multiplex, todos los canales deben ser demultiplexados. Por ejemplo, una central telefónica a la que llega un enlace E4, debe incluir la circuitería que demultiplexe/multiplexe toda la jerarquía  $E4 \rightarrow E3 \rightarrow E2 \rightarrow E1 \rightarrow \text{canal } 64 \text{ Kbps}$  para poder extraer/incluir una llamada en el enlace. Esto encarece el equipamiento PDH.

## 6.5.2.2 SDH/SONET

El SDH (Synchronous Digital Hierarchy) es un método de transmisión diseñado para ser usado en redes de fibra óptica. Requiere que los extremos de un enlace compartan una señal de reloj común, proveniente de un reloj atómico muy preciso (se considera que no existe deriva entre ambos relojes). La eliminación de la deriva permite a un receptor establecer la posición exacta de los bits de los afluentes dentro de un tributario, lo que permite extraer cada canal individual, accediendo directamente a su posición en la trama.

SDH define sus propias jerarquías de multiplexación, como se muestra en la siguiente tabla:

JERARQUIA DIGITAL SINCRONA		
SONET	SDH	TASA
STS - 1	STM - 0	51,840 Mbps
STS - 3	STM - 1	155,520 Mbps
STS - 9	STM - 3	466,560 Mbps
STS - 12	STM - 4	622,080 Mbps
STS - 18	STM - 6	933,120 Mbps
STS - 24	STM - 8	1.244,160 Mbps
STS - 48	STM - 16	2.488,379 Mbps

SONET tiene una jerarquía de velocidades algo distinta (por ejemplo comienza con una velocidad más baja, no permitida en SDH)

Debido a que la actualización de equipos PDH a SDH se haría de forma gradual, SDH/SONET se diseñó para poder convivir con PDH, haciendo que una señal multiplex PDH pudiera ser encapsulada como un afluente dentro de un multiplex SDH.

## 6.6 Central de conmutación

La central de conmutación es el dispositivo más complejo necesario para la provisión del servicio telefónico. Las partes principales que constituyen una central de conmutación son:

- **Interfaces de línea de abonado:** se conectan a ellos las líneas analógicas de abonados. Incluye convertor de 2H/4H, A/D en cada sentido, control de corriente continua y lo necesario para la señalización de usuario.
- **Interfaces para líneas troncales,** de distintos tipos: E1, E3...
- **Unidad de control** basada en SPC (*Stored Program Control*): Las centrales de conmutación son controladas por un número variable de procesadores de programa almacenado (en redundancia para mayor fiabilidad y tolerancia a fallos). Estos procesadores son programados para realizar numerosas funciones, como control del hardware, tarificación o señalización.
- **Red de interconexión** (*switch fabric*): Permite el establecimiento de circuitos de voz entre sus entradas y salidas. Actualmente, estos circuitos de voz son canales

de 64 Kbps. La problemática asociada a este tipo de dispositivos se describe en el siguiente tema.

## 6.7 Digital Cross-Connect

En una central telefónica, el ancho de banda de sus enlaces con otras centrales debe repartirse entre las siguientes necesidades:

- Tráfico de llamadas que deben ser cursadas a través de ese enlace.
- Líneas dedicadas para las que se debe reservar un ancho de banda (fijo) en ese enlace.

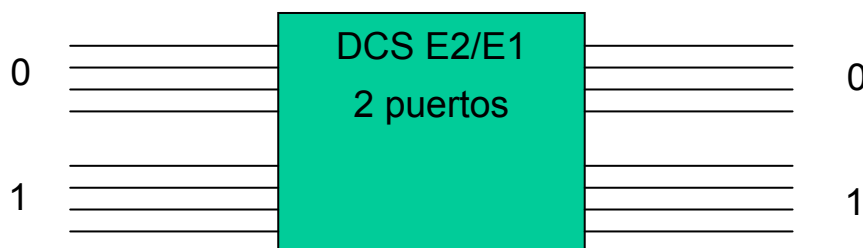
Este reparto de ancho de banda tiene las siguientes características:

- Se realiza de manera estática en función de las necesidades estimadas.
- Se trata de un reparto “grueso” del ancho de banda, en fracciones de ancho de banda que se ajustan a algún tributario de la jerarquía PDH ó SDH de los enlaces que se manejen.

Este reparto se conoce como provisionamiento, y es realizado por un dispositivo específico dentro de la central llamado *Digital Cross-Connect* (DCS). Simplificadamente, un dispositivo DCS está especificado por 3 parámetros  $N$ ,  $J_1$ ,  $J_2$ :

- Número de enlaces de entrada y salida  $N$ .
- Jerarquía de los enlaces de entrada y de salida  $J_1$ .
- Jerarquía de conmutación de los enlaces  $J_2$  (capacidad  $J_2 < \text{capacidad } J_1$ )

Su funcionamiento se describe más fácilmente mediante ejemplos. En la figura se muestra un dispositivo DCS para PDH: DCS E2/E1, con dos enlaces de entrada PDH E2, y capacidad para conmutación a nivel de E1:



- Dos enlaces de entrada E2 y dos enlaces de salida E2. Cada enlace E2, está formado por cuatro E1.
- El DCS E2/E1 es capaz de conmutar E1 completos de un E2 hacia otro.

- Todos los canales pertenecientes a un E1 se conmutan en bloque => permanecen juntos dentro del mismo E1 => no es posible conmutar separadamente canales telefónicos.
- La conmutación de canales E1 dentro de las entradas y salidas E2 se configura mediante una tabla de provisionamiento, donde para cada canal E1 de entrada, se indica su posición dentro de los E2 de salida.

E1 IN	E1 OUT
0.0	1.0
0.1	0.1
0.2	1.2
0.3	0.0
1.0	1.1
1.1	0.3
1.2	1.3
1.3	0.2

Un DCS del tipo DCS C/C (por ejemplo DCS E3/E3) proporciona una interconexión de los  $N$  puertos E3, con granularidad E3 (sin demultiplexar).

Los DCS están basados en redes de interconexión (*switch fabric*) sin bloqueo y multiplexores / demultiplexores, unidos a un software que permite la configuración de las tablas de provisionamiento y la gestión del dispositivo.

Para una descripción más extensa de las funciones de un dispositivo DCS se recomiendan las páginas 359-370 de [2].

## Bibliografía

---

[1] J. Bellamy, "Digital Telephony", Ed John Wiley & Sons, 1991.

[2] R. A. Thompson, "Telephone Switching Systems", Ed. Artech House, 2000.