

# **CONCEPTOS BASICOS DE TELEFONIA**

**Dr. Ing. José Joskowicz**

[josej@fing.edu.uy](mailto:josej@fing.edu.uy)

**Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería**

**Universidad de la República**

**Montevideo, URUGUAY**

**Agosto 2015**

## Temario

Temario .....	2
1 Introducción a las Redes de Telecomunicaciones .....	3
2 Terminal telefónico .....	5
2.1 Reseña histórica .....	5
2.2 Circuito de audio de un teléfono analógico .....	10
2.3 Señalización entre centrales y teléfonos analógicos.....	12
2.3.1 Solicitud de iniciar una conversación .....	13
2.3.2 Selección del destino de la conversación .....	15
2.3.3 Indicación del progreso de la llamada.....	21
2.3.4 Indicación de recepción de una nueva llamada .....	23
2.4 Conexión de teléfonos analógicos a las centrales telefónicas .....	26
2.5 Tecnologías de terminales telefónicos .....	26
3 Redes de Acceso .....	28
4 Conmutación .....	30
4.1 Reseña histórica .....	30
4.2 Centrales de conmutación públicas .....	31
4.3 Centrales de conmutación privadas .....	34
5 Transmisión y Transporte.....	37
5.1 Reseña histórica .....	37
5.2 Transmisión digital TDM .....	38
5.3 Transmisión en redes de paquetes .....	39
6 Sincronismo .....	40
6.1 Relojes .....	40
6.2 Distribución de sincronismo en redes digitales TDM.....	41
6.2.1 Redes digitales plesiócronicas .....	42
6.2.2 Redes digitales sincrónicas.....	42
6.3 Distribución de Sincronismo en redes de paquetes .....	43
7 Señalización.....	44
7.1 Señalización entre centrales y teléfonos.....	44
7.1.1 Señalización analógica por “corriente de bucle” .....	44
7.1.2 Señalización digital .....	44
7.1.3 Señalización IP .....	47
7.2 Señalización entre centrales públicas y centrales privadas .....	47
7.2.1 Señalización analógica por “corriente de bucle” .....	47
7.2.2 Señalización digital ISDN.....	47
7.2.3 Señalización digital R2.....	48
7.2.4 Señalización IP .....	49
7.3 Señalización entre centrales públicas .....	49
Referencias .....	51

# 1 Introducción a las Redes de Telecomunicaciones

El propósito de cualquier sistema básico de telecomunicaciones es comunicar dos usuarios, permitiendo la transmisión de la información entre ellos. Existen diversos tipos de redes de telecomunicaciones, tanto públicas como privadas. La telefonía pública consiste en una de las mayores redes de telecomunicaciones a nivel mundial, y se tomará como ejemplo introductorio, a los efectos de presentar los conceptos básicos de telefonía. Su arquitectura consiste en varios componentes, especializados en diferentes funciones. Estos son:

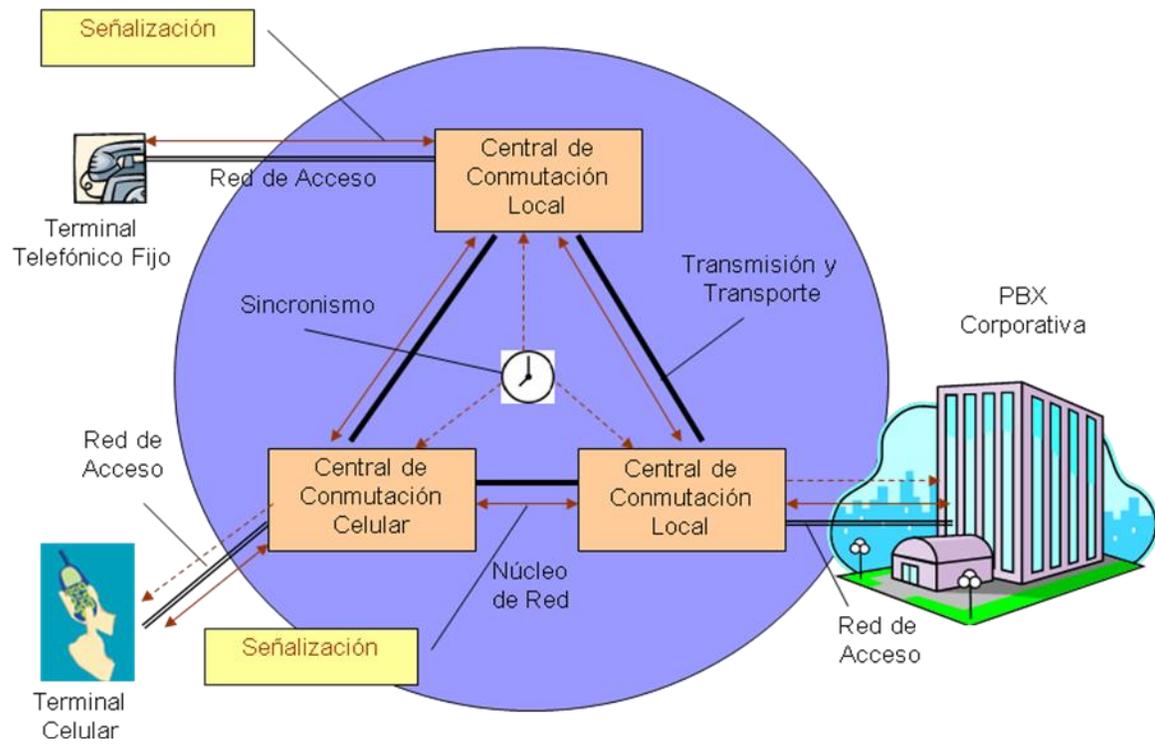
- El terminal telefónico
- Las redes de acceso
- La conmutación
- La transmisión y el transporte
- El sincronismo
- La señalización

En la siguiente figura se muestra, muy esquemáticamente los componentes mencionados. Los terminales telefónicos se encuentran en los extremos de la red, y pueden ser de diverso tipo, tanto fijos como móviles, particulares o corporativos, etc. Estos terminales telefónicos son conectados a los sistemas centrales través de redes de acceso, las que dependen de la tecnología del terminal telefónico. De esta manera hay redes de acceso de cobre, de fibra óptica, con tecnologías inalámbricas, etc.

Una de las principales funciones de las redes de telecomunicaciones es la posibilidad de conectar terminales o usuarios entre sí. Esto se logra mediante las funciones de conmutación, las que se realizan en “centrales de conmutación”. Estas centrales, a su vez, están interconectadas, por medio de una red de transmisión y transporte. El sistema de transmisión y transporte se encarga de enviar grandes volúmenes de información y/o canales de voz y video entre puntos específicos, generalmente asociados a centrales de conmutación o centrales de tránsito. Dado que se trata de una red digital, es necesario establecer y mantener el sincronismo de tiempos y frecuencias entre todos los componentes.

Finalmente, es fundamental mantener un sistema de señalización apropiado entre los diversos componentes.

En las siguientes secciones se describirán brevemente las características principales de cada uno de los componentes mencionados.



## 2 Terminal telefónico

Existe gran diversidad de terminales telefónicos funcionando en las redes de telecomunicaciones, con diversas tecnologías, usos y prestaciones. Entre ellos se pueden mencionar terminales telefónicos fijos, con tecnología analógica o digital, terminales telefónicos móviles, con diverso tipo de tecnologías, terminales de software (“softphones”), terminales para uso corporativo, etc. En esta sección se presenta una reseña histórica del terminal telefónico analógico, y se explica en cierto detalle su funcionamiento. Los conceptos sirven como base para comprender cualquier otra tecnología de terminales telefónicos.

### 2.1 Reseña histórica

Los primeros teléfonos instalados por Bell, y por la compañía Western Union en 1876, utilizaban un único hilo de cobre por el que se enviaba tanto la señalización como el audio (el retorno era por tierra). Un ejemplo de este teléfono se ve en la siguiente foto [1]:



El sistema de “campanilla” fue ideado y patentado por Thomas A. Watson en 1878, 2 años después de presentada la primer patente de Bell, y ya con la primer central telefónica funcionando en New Haven, Connecticut, con 21 abonados.

En 1881 (con más de 50.000 teléfonos ya en funcionamiento), Graham Bell presentó una patente por un “teléfonos de 2 hilos de cobre”

El sistema de disco conocido hasta hace pocos años, con teléfonos de 2 hilos sin necesidad de cable de tierra, fue originalmente diseñado en 1908. Un ejemplo de este teléfono se ve en la siguiente figura [2]:



En 1933 se instalan las primeras centrales telefónicas públicas automáticas en Uruguay, y junto con ellas los primeros teléfonos de disco. En el diario “El Día”, del 26 de febrero de 1933 [3] se lee, junto con varias fotos en huecograbado:

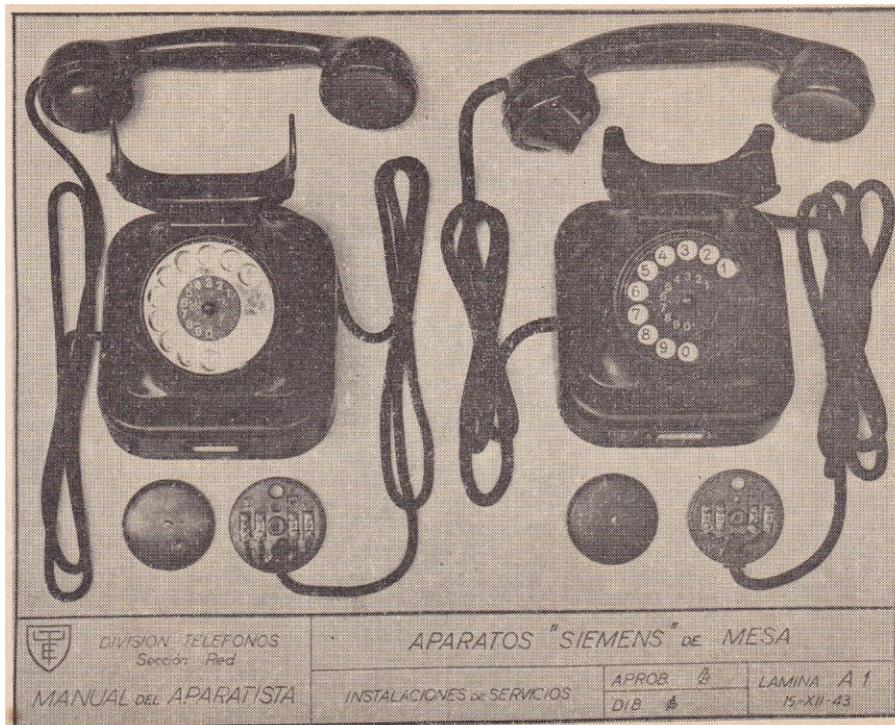
*“Lo que se va: Maraña de hilos de alambre, que al menor soplo de viento se enredan, haciendo más inútil todavía el destino supuesto de establecer comunicaciones; altos palos amenazantes de desplomarse, que afean además el panorama de la ciudad; tortura de timbres y confusiones en el diablado aparato que traidoramente llama donde no se le requirió; riesgo y fealdad. Inutilidad...”*

*“Lo que viene: Sencillez automática en las comunicaciones telefónicas; eliminación de intermediarios que hacen confusos los pedidos, y los interrumpen a destiempo; comunicación directa; sobriedad, práctica. Progreso...”*

La siguiente foto, publicada en el mencionado artículo de “El Día”, muestra uno de los nuevos teléfonos automáticos de disco.



A comienzos de la década de 1940, en Uruguay se instalaban diversos modelos de aparatos telefónicos, tanto de mesa como de pared. En las siguientes figuras, tomadas del “Manual del Aparatista” de la división Teléfonos de UTE, se ven los modelos de mesa “Siemens”, y “Neophone”, en láminas del año 1943.





Uno de los últimos modelos de teléfonos de disco instalados en Uruguay por ANTEL es el "RFT", mostrado en la siguiente imagen:



En 1963 la compañía "Western Electric" lanza al mercado el primer teléfono de tonos, el modelo 1500. Este teléfono tenía 10 botones (0 al 9). El \* (asterisco) y el # (numeral) fueron introducidos en 1967, en el modelo 2500. Los teléfonos de tonos están basados en un sistema de señalización diseñado por el Ingeniero L.

Schenker en 1960 [4]. La siguiente foto muestra un teléfono de tonos modelo 1500.



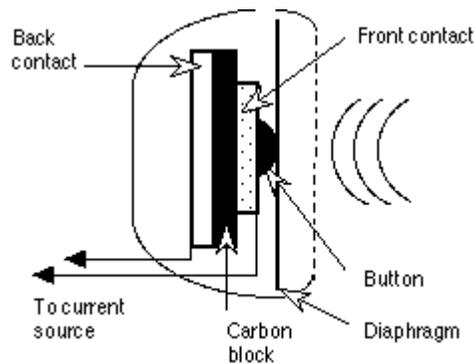
En Uruguay se comercializaron varios teléfonos de tonos por Antel. Un ejemplo, del modelo "Ariel", se muestra en la siguiente figura:



Con la masificación y universalización de los teléfonos de tonos, los precios de los terminales telefónicos bajaron considerablemente, existiendo actualmente una enorme oferta de modelos, con diversas prestaciones. Los operadores telefónicos han dejado de suministrar los terminales telefónicos, y se ha liberado la adquisición de éstos a los abonados.

## 2.2 Circuito de audio de un teléfono analógico

La función básica de los teléfonos es permitir la conversación bidireccional entre dos personas distantes. Para ello, el teléfono debe tener un auricular y un micrófono, los que se ubican en el microteléfono, o “tubo”. El micrófono utilizado históricamente en los teléfonos analógicos fue diseñado originalmente por Thomas Edison en 1877. El dispositivo ideado por Edison se basa en una interesante propiedad del carbón: su resistencia eléctrica varía con la presión. La idea consistía en disponer una barra compuesta de gránulos de carbón entre dos electrodos. Uno de ellos está fijo, mientras que el otro está unido a un diafragma que se mueve según la presión de aire. De esta manera, la resistencia entre los dos electrodos varía según la presión de aire y por lo tanto la corriente varía según las señales acústicas. Un esquema conceptual se muestra en la siguiente figura:



Los micrófonos de carbón resultaron ideales para su función, y fueron los utilizados en los teléfonos durante décadas. Una foto de un micrófono de carbón comercial se muestra en la siguiente figura:

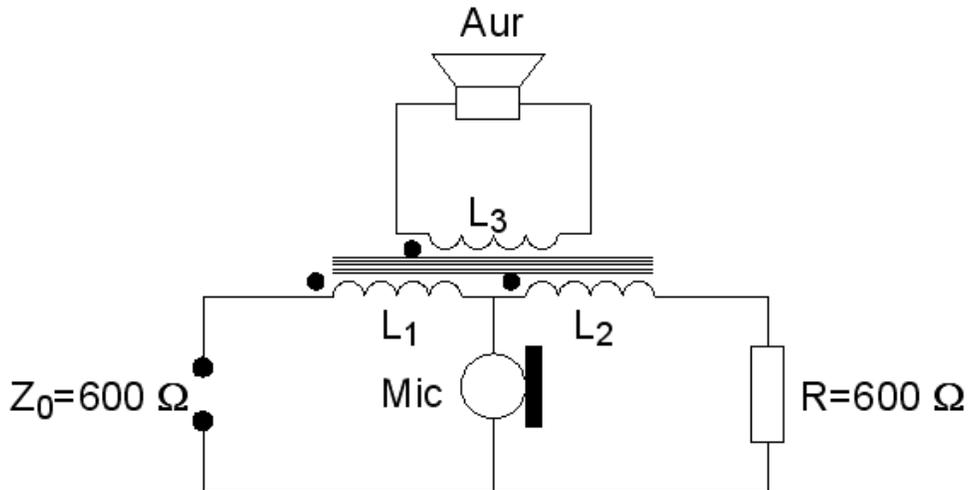


Con el avance de la electrónica, los amplificadores activos basados en transistores o en circuitos integrados permitieron más recientemente sustituir a los micrófonos de carbón por componentes dinámicos, que generan tensiones variables en función de la presión de aire. Estos pequeños voltajes pueden ser amplificados y procesados electrónicamente, y son los utilizados actualmente en los teléfonos electrónicos, tanto los utilizados en la red fija como en los aparatos celulares.

Ya desde los primeros teléfonos fue necesario resolver varios desafíos respecto al audio. Uno de ellos consistió en poder enviar y recibir audio por un único par. Otro problema consistía en brindar al auricular el retorno apropiado desde el micrófono. Si este retorno es muy bajo, al tener un oído tapado por el auricular, se tiende a hablar más fuerte. Si el retorno es muy alto, se escucha como “eco”, con una sensación incómoda.

El circuito básico de audio de los teléfonos analógicos se muestra en la siguiente figura. La línea telefónica se esquematiza como una impedancia  $Z_0$ . Esta impedancia incluye la línea telefónica (par de cobre, de hasta algunos kilómetros de largo) y los componentes internos de la placa de abonado en la central telefónica. Los componentes  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  conforman un transformador. La resistencia  $R$  es un componente interno al aparato telefónico. La señal proveniente desde la línea telefónica queda aplicada sobre las bobinas  $L_1$  y  $L_2$ , en serie, y es inducida en la bobina  $L_3$ , quedando luego aplicada directamente sobre el auricular. La señal generada por el micrófono se divide, parte hacia la línea telefónica a través de  $L_1$  y parte hacia la resistencia interna  $R$ , a través de  $L_2$ . Como la corriente que pasa por  $L_1$  es de sentido inverso a la que pasa por  $L_2$ , la inducción sobre  $L_3$  depende de la diferencia de estas corrientes. Esto hace que el audio generado por el micrófono no sea escuchado en el auricular del propio teléfono. Para que esto sea efectivamente así, si las bobinas  $L_1$  y  $L_2$  son del mismo valor, la resistencia  $R$  debe ser del mismo valor que la impedancia  $Z_0$ . Sin embargo para

lograr cierto retorno en el auricular, la rama  $L_2 R$  se diseña con valores ligeramente diferentes a la rama  $L_1 Z_0$ .



### 2.3 Señalización entre centrales y teléfonos analógicos

Para establecer una comunicación telefónica entre dos dispositivos, es necesario implementar protocolos de señalización, que permitan indicar el número discado, la atención de una llamada, etc.

Esta señalización ha estado presente casi desde los orígenes de la telefonía, y desde ese momento, ha sido prácticamente siempre “compatible hacia atrás” en la telefonía analógica. Sin embargo, en la telefonía digital, y en la telefonía IP, existen diversos protocolos de señalización, varios de ellos incompatibles entre sí.

La primera señalización telefónica fue la necesaria para vincular teléfonos entre sí, y rápidamente derivó a la señalización necesaria entre teléfonos y “centrales telefónicas”. Las primeras centrales telefónicas, puestas en funcionamiento en las últimas décadas del siglo XIX, fueron centrales “públicas”. Poco tiempo después comenzaron a instalarse centrales “privadas” (dando servicio a varios teléfonos dentro de una misma empresa, hotel, etc.)

Con el crecimiento de centrales públicas, fue necesario implementar señalizaciones entre ellas. A su vez, con el crecimiento de las centrales privadas, fue necesario implementar señalizaciones entre centrales públicas y centrales privadas, atendiendo a los requerimientos específicos de éstas últimas.

Quizás la señalización más conocida (y a su vez más antigua), es la conocida como “señalización por corriente de bucle” (o “loop start signaling” en inglés). Es la señalización utilizada por los teléfonos conocidos como “analógicos”, o “comunes”.

Esencialmente, la señalización básica que debe existir entre un teléfono y una central telefónica (ya sea un abonado público y la central pública, o un interno de una Empresa y la PBX o sistema telefónico interno), consiste en poder enviar y / o recibir la siguiente información:

- Solicitud de iniciar una conversación
- Seleccionar con quien se desea hablar
- Indicación del progreso de la llamada (timbrando, ocupado, etc.)
- Indicación de recepción de una nueva llamada

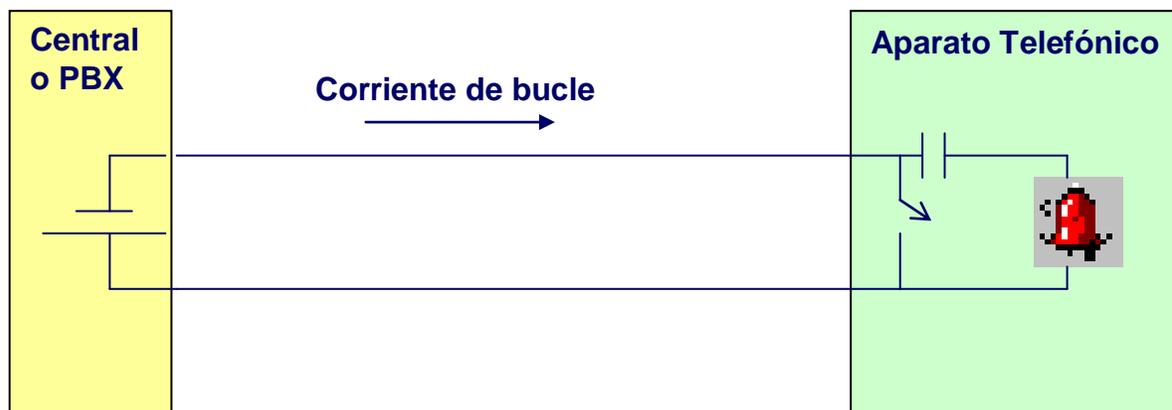
Los primeros teléfonos instalados por Bell, y por la Western Union, utilizaban un único hilo de cobre (heredado de las instalaciones telegráficas), por el que se enviaba tanto la señalización como el audio (el retorno era por tierra).

Con el incremento de la cantidad de teléfonos, las interferencias entre ellos hicieron necesario instalar un segundo hilo por cada teléfono. En 1881 (con más de 50.000 teléfonos ya en funcionamiento), Graham Bell presentó una patente por “teléfonos de 2 hilos de cobre”. El sistema de disco conocido hasta hace algunos años, con teléfonos de 2 hilos sin necesidad de cable de tierra, fue originalmente diseñado en 1908. A partir de esa fecha, tanto la señalización como el audio, utilizan un par de cobre, entre el aparato telefónico y la central o PBX.

Este único par, adicionalmente, provee de energía al aparato telefónico, por lo que no es necesario conectar el mismo a fuentes de energía locales (salvo en algunos aparatos de “telefonía rural”, aún en funcionamiento, que requieren de “batería local”, debido a la gran distancia existente entre el aparato y la central telefónica).

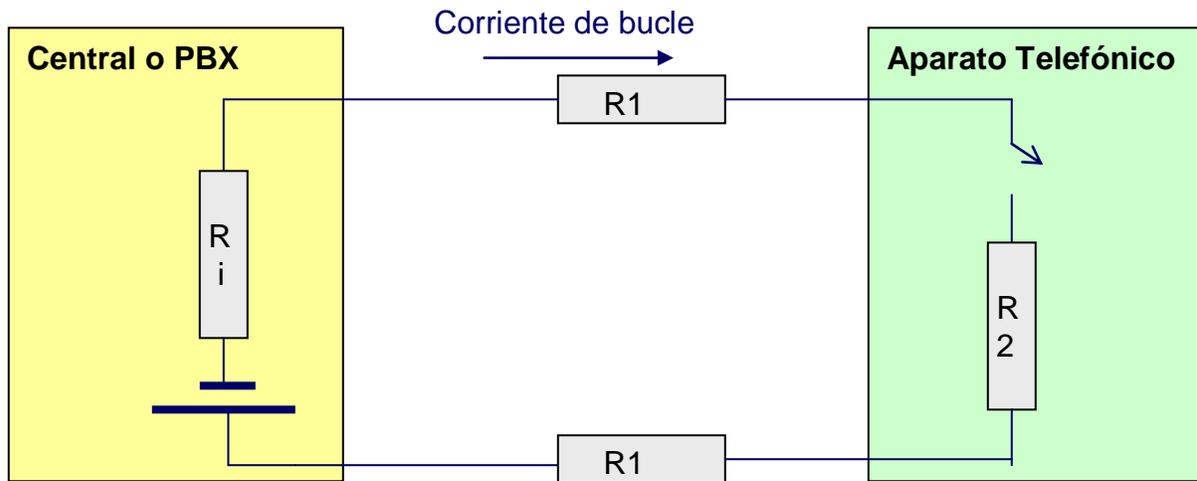
### 2.3.1 Solicitud de iniciar una conversación

La señalización utilizada es a la vez sencilla e ingeniosa. La central telefónica, o PBX, conecta en su extremo del par telefónico, una batería de alimentación (típicamente de 48 V de corriente continua, aunque algunas PBX puede entregar tensiones más bajas, del orden de los 30 V de corriente continua).



Desde esta batería de alimentación (ubicada dentro de la central o PBX), se forma un “bucle” consistente en el par de cobre y el aparato telefónico conectado en su extremo. El aparato dispone de una llave, accionada por la horquilla, que puede abrir o cerrar el bucle de corriente. Con el aparato “colgado”, el bucle se encuentra abierto, y por lo tanto no circula corriente. Con el aparato “descolgado”, el bucle se cierra, y por lo tanto circula una corriente continua. La resistencia interna del aparato telefónico, sumada a la resistencia de los propios cables de cobre, se diseña para que sea del orden de los 600 Ω.

Un esquema eléctrico simplificado se muestra en la siguiente figura



Si el voltaje de la batería es  $V$ , la corriente de bucle  $I$  es

$$I = V / (R_i + 2R_1 + R_2)$$

Donde  $R_i$  es la resistencia interna de la fuente,  $R_1$  es la resistencia de cada hilo de cobre y  $R_2$  es la resistencia interna del aparato telefónico.

La resistencia de cada hilo  $R_1$  puede calcularse como

$$R_1 = \rho L/S$$

Siendo  $\rho$  la resistividad del cobre,  $L$  la distancia del cable y  $S$  su sección. El cobre tiene una resistividad aproximada de  $\rho = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ . Los cables telefónicos típicos tienen un diámetro de 0,5 mm, equivalentes a una sección aproximada de 0,20 mm<sup>2</sup>. Con estos datos, un kilómetro de cable de cobre tiene una resistencia aproximada de

$$R_1 = 0,017 \times 1000 / 0,20 = 85 \Omega$$

Sustituyendo por los valores típicos,

$$I = 48 \text{ V} / (600 \Omega + 2 \times 85 \Omega + 400 \Omega) = 41 \text{ mA}$$

Para iniciar una conversación, el aparato telefónico “descuelga”, cerrando el bucle, y permitiendo el pasaje de corriente. En la Central o PBX, basta disponer de un sensor de corriente para detectar esta situación.

### 2.3.2 Selección del destino de la conversación

Luego de “descolgar” es necesario seleccionar el destino de la conversación. En los primeros sistemas, esto se realizaba a través de la “operadora”, quien preguntaba con quien se deseaba hablar, y realizaba la conexión manualmente.

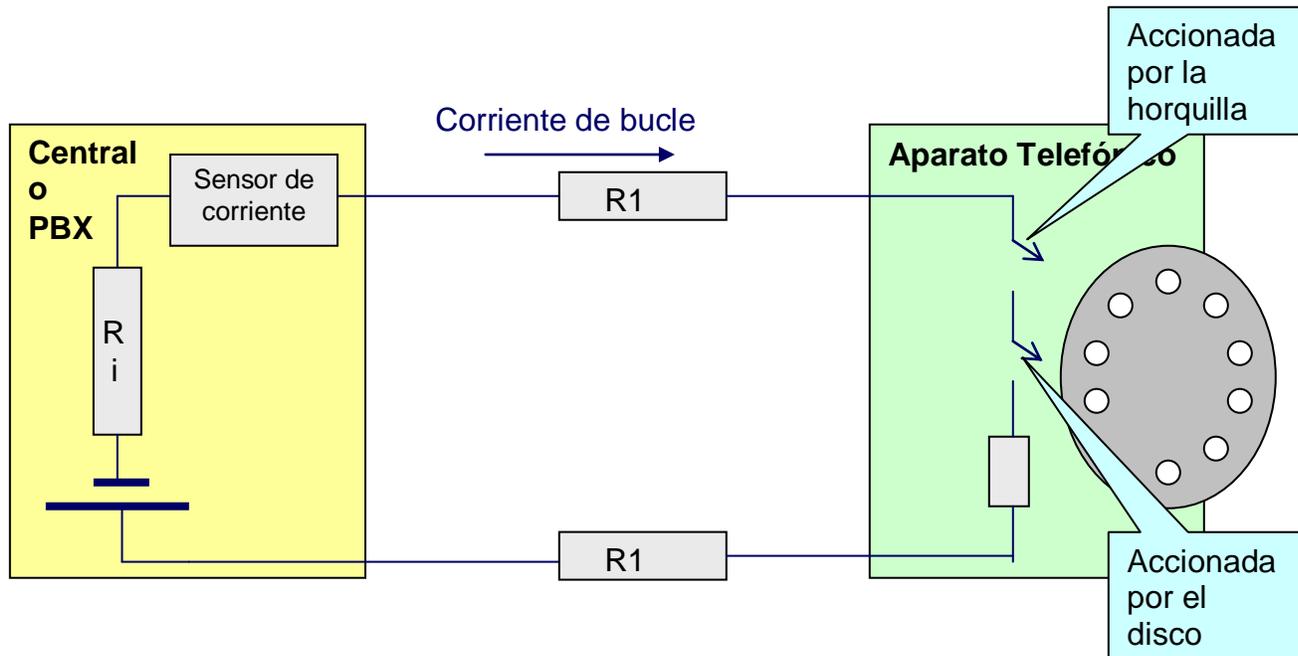


Los primeros sistemas que implementaron selección del destino en forma automática desde el aparato de origen fueron instalados en 1892, utilizando las ideas patentadas por el Sr. Almon B. Strowger. En 1896, los hermanos John y Charles Erickson, junto con Frank Lundquist, diseñan el primer sistema de “disco”. La idea original surgió durante la estadía de Lundquist en un hotel de Salina, en la que quedó sorprendido por la operación de una pequeña central telefónica privada. Según los propios comentarios de Lundquist: “Se me ocurrió la idea de que algún día todas esas conexiones se realizarían automáticamente. Paseaba



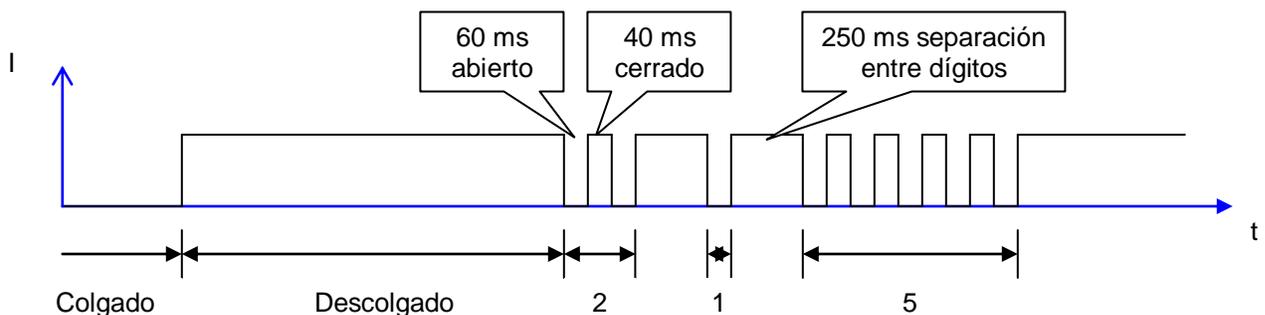
por la recepción del hotel, y examinaba la central telefónica, teniendo estas ideas en mi cabeza. Luego, regresé a casa y comencé a trabajar en esta idea” [5]. Lundquist y los hermanos Erickson habían trabajado juntos en varios inventos (entre los que se encontraban el diseño de máquinas de “movimiento perpetuo” y motores a explosión), aunque la mayoría de éstos no fueron viables. Sin embargo, vieron en el teléfono de disco, una posibilidad real de un invento rentable.

La idea del teléfono de disco consiste en enviar, sobre el mismo par de cobre, una señalización numérica que indique el destino de la conversación. Los teléfonos de disco (o teléfonos decádicos) implementan esta señalización interrumpiendo por periodos cortos de tiempo la corriente de bucle, tantas veces como el dígito “discado”.

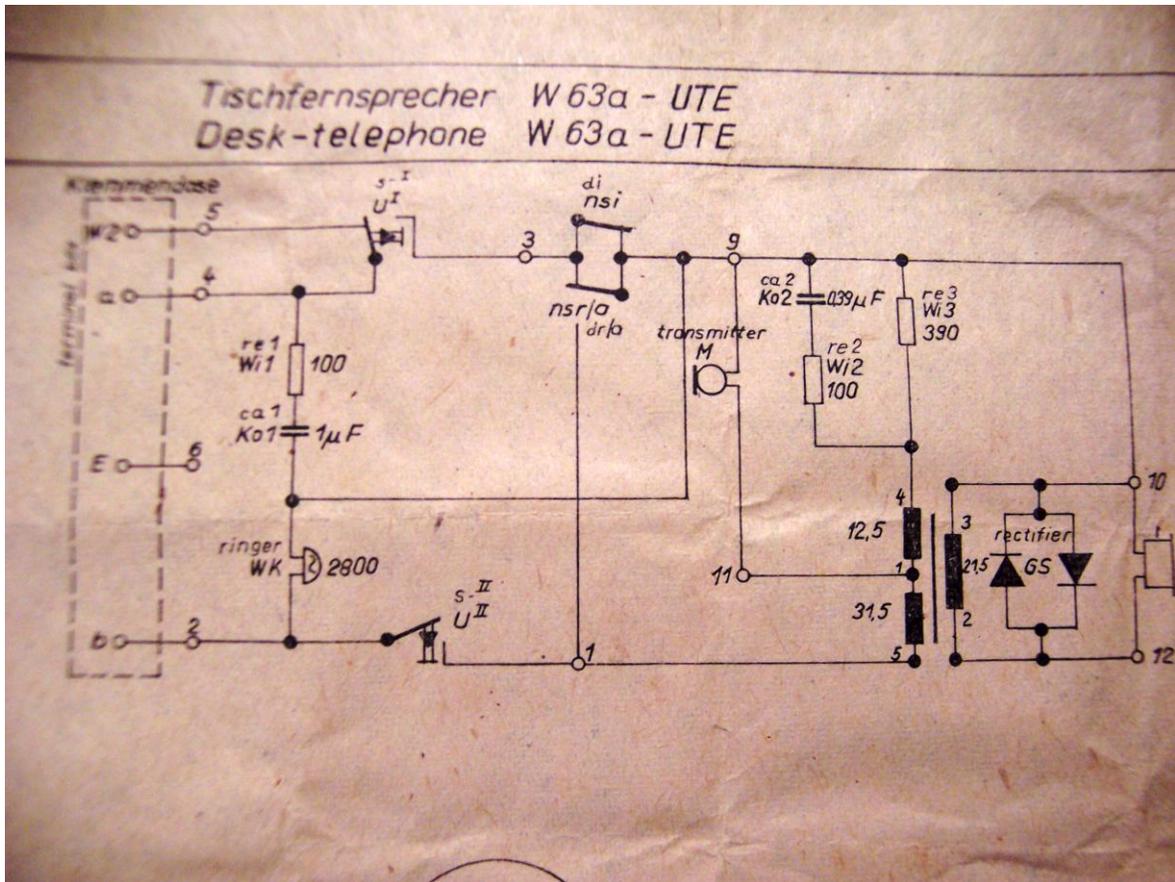


Un sistema mecánico, asociado a un disco giratorio, acciona un interruptor eléctrico en forma periódica. El mecanismo es tal que el la cantidad de veces que el interruptor es accionado es proporcional al ángulo al que se giró el disco (y por lo tanto, al número asociado).

La central o PBX distingue entre un fin de comunicación (teléfono colgado) o el discado de un dígito en base a la duración de la interrupción de la corriente de bucle. El discado se realiza a “diez pulsos por segundo”, siendo cada dígito representado por 60 ms de bucle abierto y 40 ms de bucle cerrado. Entre cada dígito deben transcurrir como mínimo 250 ms



El esquema eléctrico de un aparato telefónico de “disco” se muestra en la figura siguiente

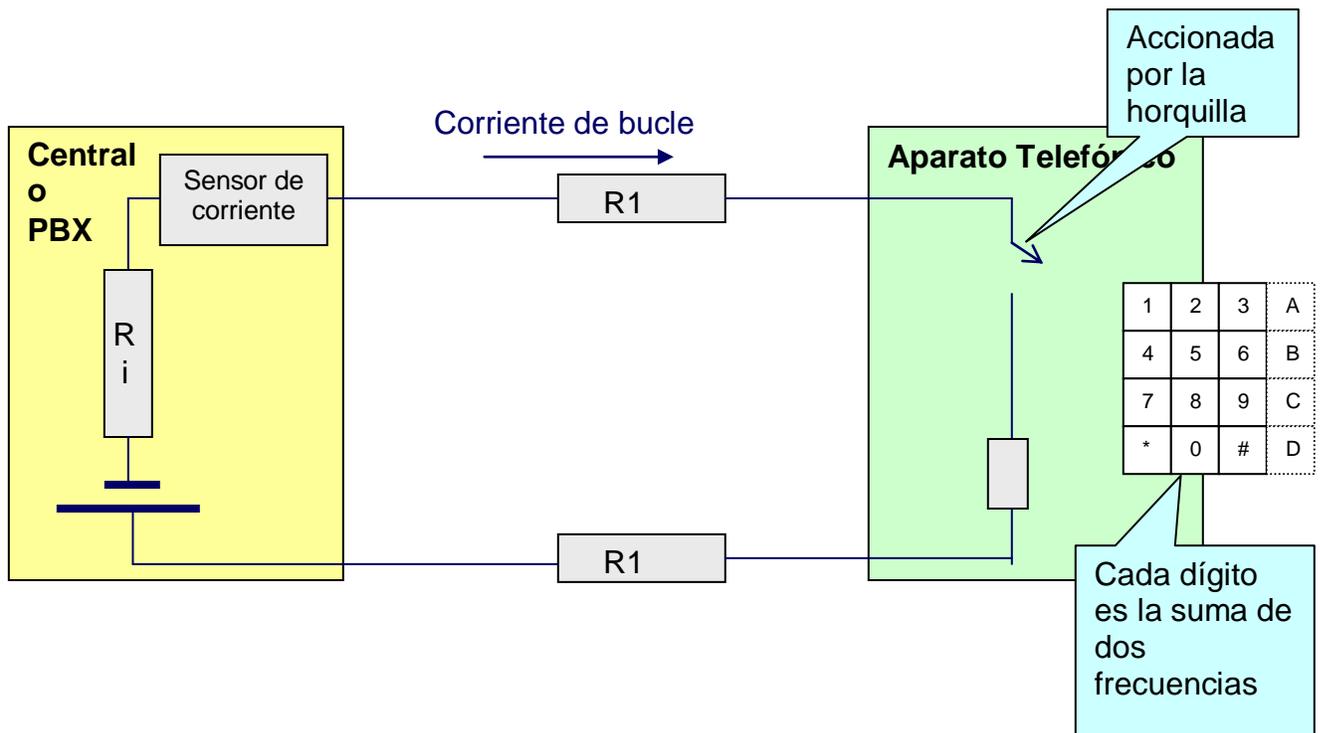


La parte posterior del disco se muestra en las siguientes figuras



Los teléfonos mecánicos, “de disco”, han sido sustituidos casi en su totalidad por teléfonos electrónicos “de tonos”, o “multifrecuentes”. En 1963 la “Western

Electric” lanza al mercado el primer teléfono de tonos, el modelo 1500. Este teléfono tenía 10 botones (0 al 9). El \* (asterisco) y el # (numeral) fueron introducidos en 1967, en el modelo 2500. Los teléfonos de tonos utilizan una matriz de 4 filas por 4 columnas. Cada fila y cada columna corresponden a una frecuencia determinada. Al pulsar un dígito, el teléfono genera una señal de audio compuesta por la suma de dos frecuencias (la correspondiente a la fila + la correspondiente a la columna del dígito), que pueden ser luego fácilmente detectadas en la central pública, por medio de filtros adecuados. La elección de este sistema de señalización se basa en el trabajo de L. Schenker, de 1960, en el que se estudian varias posibles sistemas de señalización y se concluye que el de tonos multifrecuentes es el mejor [4].



Las frecuencias utilizadas se han estandarizado, y permiten un total de 16 “dígitos”. Comúnmente se utilizan solamente 12 de estas 16 combinaciones posibles, comprendiendo los dígitos del 0 al 9 y los símbolos “\*” y “#”. La figura muestra las frecuencias propuestas en el artículo de L. Schenker

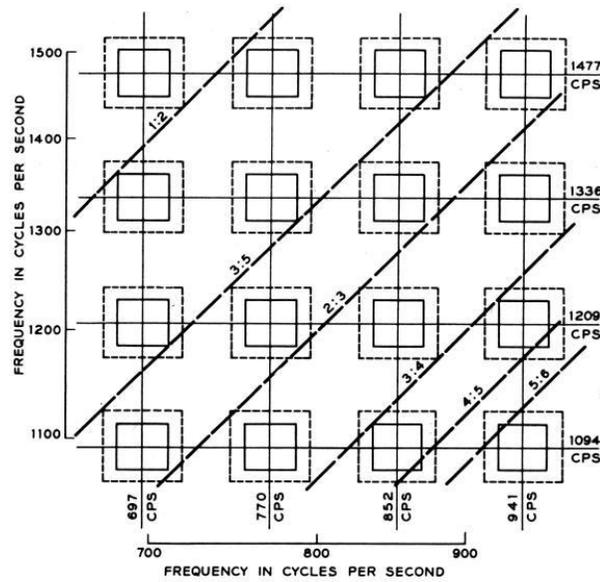


Fig. 5 — "Window" diagram for four-by-four code signal frequencies.

Las primeras implementaciones de estos teléfonos utilizaban transistores discretos (recientemente inventados al momento de su diseño) y osciladores basados en bobinas y condensadores para generar las frecuencias adecuadas. La figura muestra el diseño de un teléfono de tonos propuesta en el artículo de L. Schenker

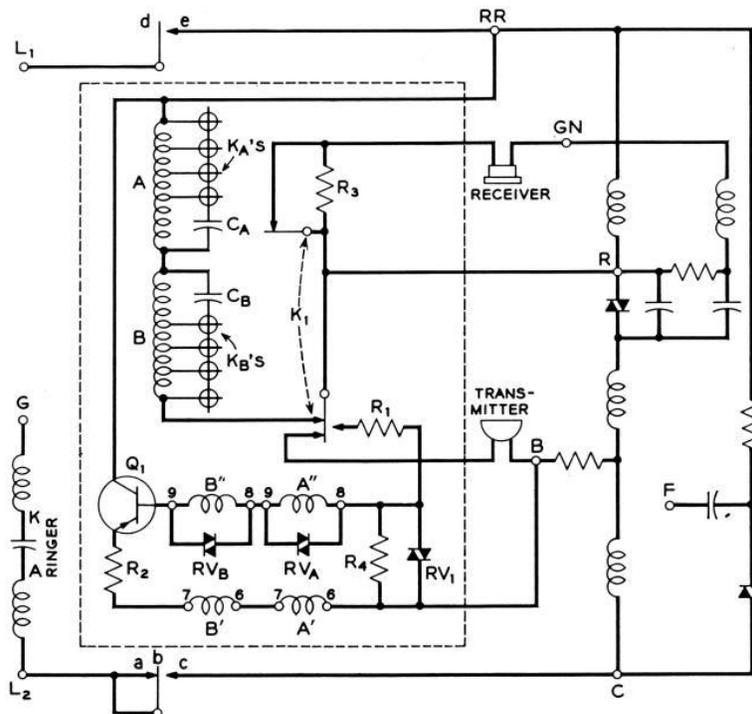


Fig. 7 — Pushbutton caller circuit integrated with 500-type set.

En la actualidad, existen circuitos integrados que implementan la generación y detección de estos tonos, conocidos como DTMF (Dual – Tone Multi Frequency)

Esta señalización, que se mantiene ampliamente difundida en la actualidad, tiene varias ventajas frente a la señalización decádica o por pulsos:

- Es más rápida, ya que los tonos pueden ser decodificados en tiempos muy cortos (recordar que en la señalización decádica, el “0” requiere de 1 segundo para ser “discado”)
- Permite tener hasta 16 “caracteres” (aunque normalmente se utilizan 12)
- Es posible implementar señalizaciones “de punta a punta”. La señalización decádica es entre el aparato telefónico y la central o PBX. Nunca “llega” hasta el destino. En cambio, la señalización DTMF, que consiste en tonos audibles, pueden llegar, una vez establecida la conversación, hasta el teléfono destino (es decir, de “punta a punta”). Esto es especialmente útil en varias aplicaciones empresariales (como poder “dispar” sobre mensajes de atención automática, por ejemplo).
- No se requieren partes móviles en los aparatos telefónicos.

El discado DTMF está estandarizado en la recomendación Q.23 de la ITU-T [6]

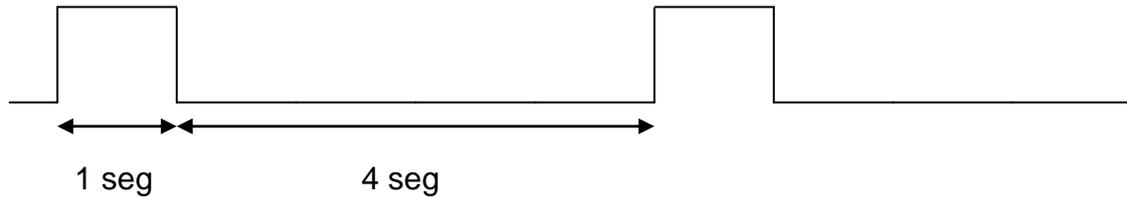
### 2.3.3 Indicación del progreso de la llamada

Una vez determinado el destino, el mismo puede estar disponible (“libre”), ocupado, o puede ser inaccesible por diversas causas. Los sistemas telefónicos indican el estado del destino a quien origina la llamada mediante diversos mecanismos. Los más comunes consisten en el envío de diversos tipos de tonos audibles, los que pueden ser fácilmente diferenciados e identificados por su cadencia y / o frecuencia. Por ejemplo, estamos acostumbrados a que un destino libre se indique con un tono de “constancia de llamada”, consistente en una cadencia en la que el tono es escuchado por aproximadamente un segundo seguido de un silencio de aproximadamente cuatro segundos. De manera similar, estamos acostumbrados a que un destino ocupado se indique con un “tono de ocupado”, con una cadencia más rápida, de aproximadamente un segundo de tono seguido de un segundo de silencio.

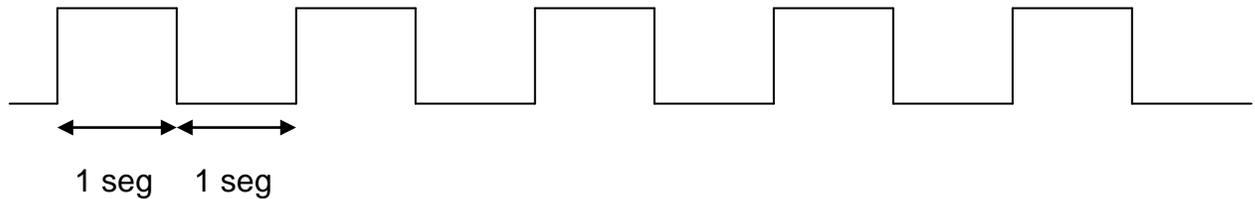
Otros tipos de estados del destino pueden ser señalizados con diversos tipos de tonos y cadencias o con mensajes pregrabados (por ejemplo “el número que ha seleccionado no es correcto....”).

Es de hacer notar que este tipo de señalización no está estandarizada, y puede diferir notoriamente entre distintos equipos, ya sean empresariales (PBX) o públicos.

Ejemplo de una señal de “libre”



Ejemplo de una señal de “ocupado”



Actualmente, algunas compañías telefónicas públicas, especialmente del área celular, ofrecen señalizar la “constancia de llamada” con música o mensajes personalizados.

Este tipo de señalización, ampliamente difundida, es suficiente si quien inicia la llamada es una persona, la que puede fácilmente interpretar los distintos tonos, cadencias o mensajes, aunque los mismos varíen notoriamente en distintos escenarios.

Sin embargo, esto presenta ciertas desventajas, o problemas, cuando quien debe interpretar el progreso de la llamada es una máquina. Esta señalización se basa en la interpretación del audio, algo muy sencillo para el cerebro humano, pero bastante complejo para una máquina.

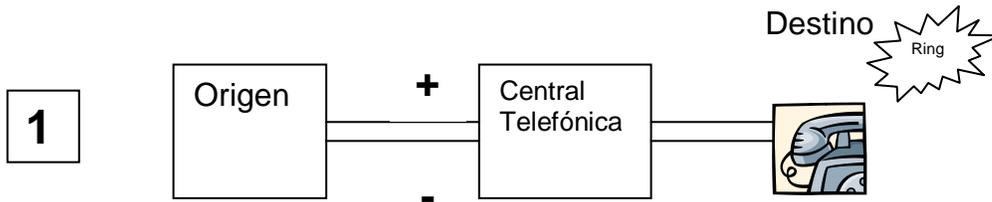
La señalización por “corriente de bucle” no prevé ningún tipo de señal eléctrica, sencilla de detectar con electrónica simple, para indicar el progreso de una llamada.

Si el destino está libre, eventualmente atenderá la llamada. Cabe preguntarse como se entera de esto quien origina la llamada. En la mayoría de los casos, en la señalización por “corriente de bucle” no existe ninguna señal hacia el originador para indicar que una llamada fue atendida, salvo la voz de quien contesta, con su clásico “¡Hola?”. Nuevamente esto puede significar un problema si quien debe “enterarse” de esta situación es una máquina (por ejemplo, una PBX).

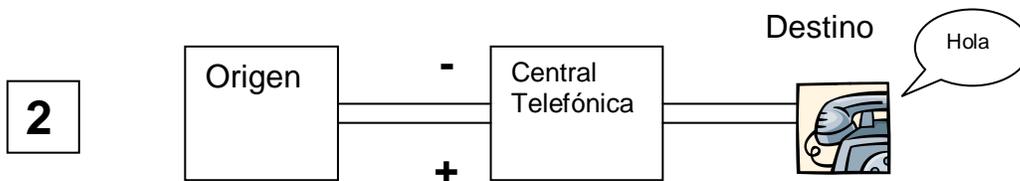
Para solucionar este problema, se ha implementado un mecanismo, en la señalización por “corriente de bucle”, llamado “*Inversión de Polaridad*”.

El mecanismo denominado “Inversión de Polaridad” (“Battery Reversal”) consiste en que la central telefónica (generalmente las centrales públicas) indiquen el momento en que una llamada es atendida por medio de la inversión de la polaridad del par telefónico del originador de la llamada.

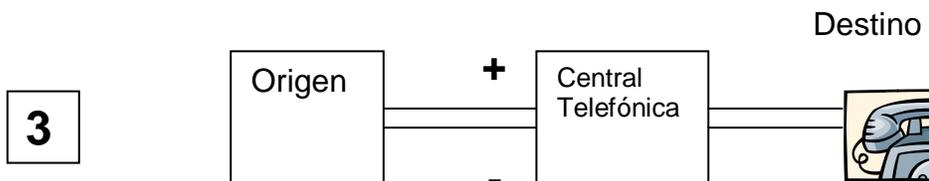
La situación se esquematiza en las siguientes figuras:



Desde una línea origen (que puede ser, por ejemplo, una línea urbana pública conectada a una PBX) se marca el número del destino deseado. El teléfono destino está libre, y timbra. La polaridad de la línea telefónica del origen es la indicada en la figura superior a éste párrafo (secuencia 1).



El destino atiende la llamada. En ese momento la central telefónica (si tiene activado el mecanismo de “inversión de polaridad”) invierte la polaridad de la línea telefónica del origen (secuencia 2). Esta “señal” hace que la corriente de bucle en el origen cambie de sentido, lo que puede ser detectado fácilmente mediante electrónica sencilla por el originador de la llamada. Esta señal puede ser utilizada, por ejemplo, para comenzar la temporización y / o tasación de la llamada.



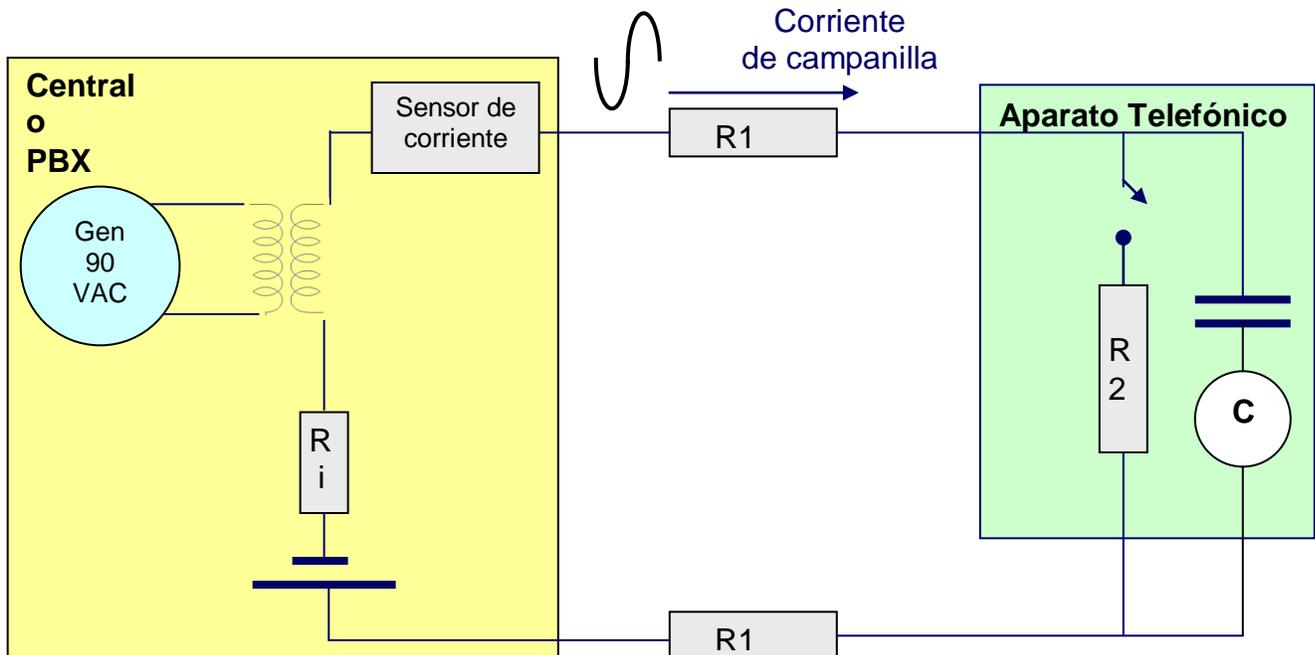
El origen corta la comunicación, liberando la línea telefónica. La central telefónica retorna la polaridad de la línea a su estado original (secuencia 3).

### 2.3.4 Indicación de recepción de una nueva llamada

Desde hace más de un siglo, los teléfonos notifican la recepción de una nueva llamada mediante un timbre o campanilla. El sistema de “campanilla” fue ideado y

patentado por Thomas A. Watson (el asistente de Graham Bell) en 1878, dos años después de presentada la primer patente de Bell, y ya con la primer central telefónica funcionando en New Haven, Connecticut, con 21 abonados.

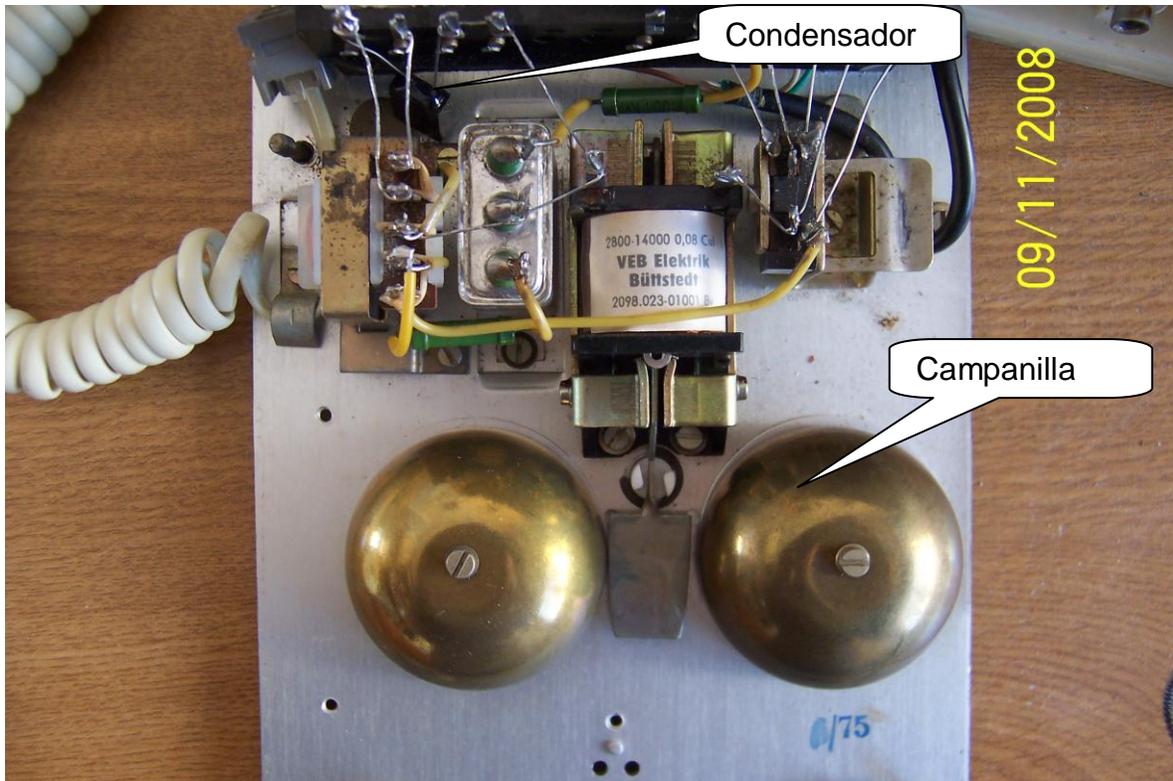
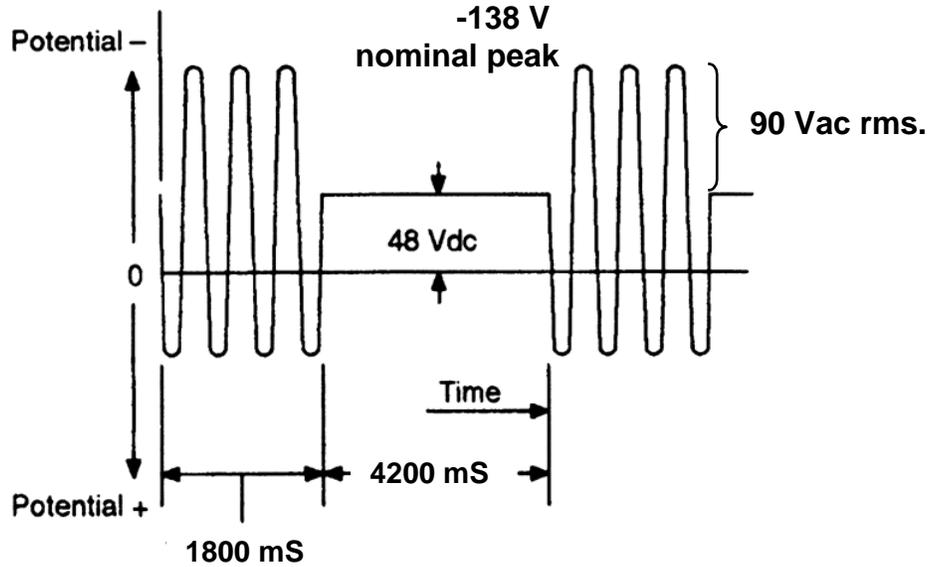
Los primeros teléfonos disponían de una campanilla, accionada por un electroimán que era a su vez accionado por una corriente alterna. Esta corriente alterna, generada en la central telefónica, es transmitida por el par de cobre hasta el aparato telefónico.



La generación de la corriente de timbrado se puede lograr mediante una fuente de tensión alterna, la que se suma a la fuente de continua. Esta corriente alterna, o "corriente de campanilla", llega hasta el aparato telefónico que se encuentra "colgado", es decir, con el relé de la horquilla abierto. Un circuito consistente en un condensador y una campanilla en serie entre sí, y puestos en paralelo con el par telefónico, permiten el pasaje de la corriente alterna y bloquean el pasaje de la corriente continua. Esto permite que la campanilla reciba la corriente alterna necesaria para accionarla, mientras el aparato telefónico permanece "colgado"

Esta sencilla señalización se mantiene hasta el momento en la "señalización por corriente de bucle". Los teléfonos modernos disponen, en lugar de una campanilla, un circuito electrónico que detecta la señal de timbrado, y genera una señal de audio hacia un parlante. De la misma manera, las PBX que reciben líneas urbanas de las centrales públicas, pueden detectar mediante circuitos electrónicos esta "corriente de campanilla".

La señal de campanilla es de aproximadamente 90 V AC, y 20 o 25 Hz. La siguiente figura muestra una gráfica típica de la tensión en función del tiempo en bornes del terminal telefónico cuando está recibiendo señal de “campanilla”.



## 2.4 Conexión de teléfonos analógicos a las centrales telefónicas

Los teléfonos analógicos se conectan a las centrales telefónicas públicas, o a las centrales telefónicas privadas (PBX) a través de un par de cobre. Este par de cobre es conectado en la central telefónica, en interfaces apropiadas. Estas interfaces disponen de las funciones conocidas generalmente como "BORSCHT":

**Battery:** Alimentación de continua (típicamente -48 VDC)

**Overvoltage Protection:** Protección de sobrevoltaje

**Ringing:** Generación de "corriente de campanilla"

**Supervision:** Supervisión de la corriente de bucle

**Codec:** Codificador / Decodificador (convertor analógico/digital y digital/analógico)

**Hybrid:** Circuito "híbrido" (convertor de 2 a 4 hilos)

**Test:** Relé o punto de Verificación (Test)

## 2.5 Tecnologías de terminales telefónicos

Las tecnologías de los terminales telefónicos han evolucionado desde el comienzo de la telefonía. Durante muchas décadas, los teléfonos eran únicamente analógicos, tal como fueron descritos en las secciones anteriores. En el ámbito corporativo se desarrollaron los primeros teléfonos digitales. Los primeros teléfonos de este tipo incorporaron un canal de señalización digital entre el teléfono y la central telefónica (la PBX), manteniendo el canal de audio analógico, utilizando dos pares de cobre para su funcionamiento (uno para los datos, digitales, y otro para el audio, analógico). Estos teléfonos, conocidos como "híbridos", eran "propietarios" o "cautivos" de cada fabricante y modelo de PBX, ya que el protocolo de señalización utilizado no estaba estandarizado. Los teléfonos "híbridos" fueron sustituidos por teléfonos completamente "digitales", en los que el audio es digitalizado en el propio teléfono, y multiplexado con la señalización, es enviado hacia la central telefónica por un único par de cobre.

En el ámbito de la telefonía pública, se desarrollaron teléfonos digitales sobre la base del protocolo ISDN. En su momento, sobre fines de la década de 1980, se esperaba que este tipo de tecnologías reemplazaran rápidamente a los teléfonos analógicos, ya tenían más funciones y servicios para los usuarios, incluyendo la presentación del número que llama ("captor" o "caller ID"), servicios de datos, etc. Sin embargo, la tecnología ISDN no tuvo la expansión esperada para el reemplazo de los terminales analógicos, y hoy en día conviven ambas tecnologías de terminales fijos.

La rápida evolución de la telefonía móvil trajo aparejada la masificación de los teléfonos celulares. En 2003 la cantidad de líneas celulares alcanzaron a la cantidad de líneas fijas en América, y a partir de ese año la cantidad de teléfonos móviles ha superado ampliamente a la cantidad de terminales fijos. Las tecnologías móviles también tuvieron una evolución analógica a digital.

Actualmente la tecnología digital, tanto de la señalización como del audio, está ampliamente difundida para los terminales móviles.

Finalmente, recientemente han comenzado a difundirse los teléfonos IP, tanto de hardware como de software. En este tipo de terminales se realiza la digitalización de la voz en el propio teléfono se lo convierte al protocolo de red IP. La señalización también se envía por la red IP, en protocolos estandarizados (como H.323, SIP, Megaco) o propietarios.

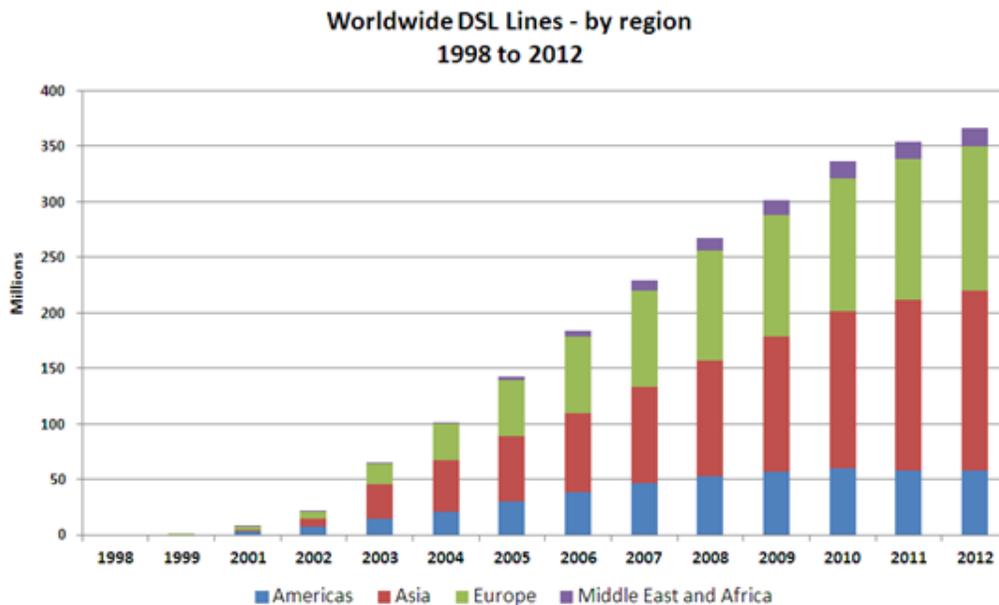
### 3 Redes de Acceso

El acceso juega un rol de gran importancia en las redes de telecomunicaciones [7]. La evolución de las tecnologías de acceso han ido facilitando el despliegue de nuevas redes y servicios, permitiendo mayores anchos de banda y movilidad.

En la presente sección se realizará únicamente un breve resumen de las tecnologías de redes de acceso.

La tecnología de acceso con más años en las redes de telecomunicaciones es la basada en cables de cobre. Los operadores telefónicos con varios años en el mercado tienen, por lo general, una extensa red de acceso tendida, basada en cables conductores de cobre, que llegan desde los abonados hasta las centrales telefónicas. Esta red de acceso, que ha significado una inversión importante, ha sido la base para la conexión de los terminales telefónicos analógicos y digitales (ISDN). Las redes de acceso de cobre presentan una arquitectura en estrella, partiendo de cables multipares desde las centrales telefónicas, hasta puntos de distribución primarios, secundarios y/o terciarios. Finalmente un par de cobre llega hasta la conexión del terminal, dentro de las residencias o empresas. Este tipo de redes de acceso, originalmente diseñadas para servicios telefónicos analógicos, está siendo utilizada actualmente para brindar servicios de datos de alta velocidad, a través de las tecnologías que se conocen como “Digital Subscriber Loop” o bucle digital de abonado. Entre estas tecnologías se encuentran ADSL, HDSL, VDSL y otras [8]. En forma genérica, todas ellas se engloban dentro de las tecnologías conocidas como xDSL.

La siguiente figura ilustra el crecimiento en la cantidad de suscriptores a nivel mundial [9].



Todas las tecnologías xDSL permiten comunicación de datos en forma bidireccional. Sin embargo, algunas son “asimétricas” y otras “simétricas”, en lo que respecta a las velocidades de transmisión de datos en cada sentido.

La gran demanda de servicios y de ancho de banda ha llevado a la necesidad de utilizar redes de acceso de mayor capacidad. Para ello se están utilizando tecnologías de fibra óptica y/o de cables coaxiales. Estos últimos, los cables coaxiales, han sido utilizados históricamente por los prestadores de servicios de TV cable, originalmente en arquitecturas unidireccionales de gran ancho de banda. Actualmente estos cables están siendo utilizados en forma bidireccional, para brindar también sobre ellos servicios de datos y de telefonía.

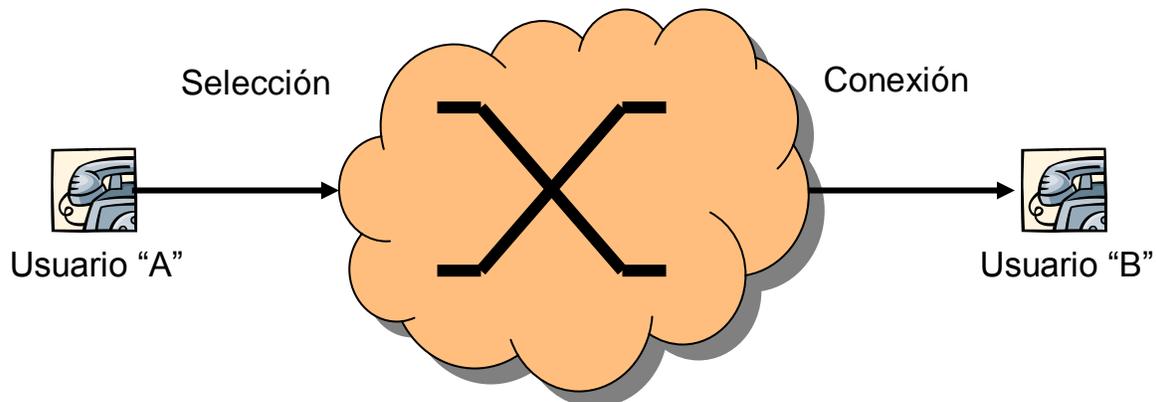
Las redes de acceso de fibra óptica funcionan, muchas veces, junto con la red de acceso de cobre. Como ejemplos se puede citar:

- FTTC: Fiber To The Curb, o “fibra hasta la acera”. Esta arquitectura lleva tendidos de fibra óptica hasta puntos cercanos a los usuarios finales (por ejemplo, un tendido de fibra por “manzana”), y desde allí, por medio de equipos apropiados, se cambia a tecnología de cobre.
- FTTB: Fiber To The Building, o “fibra hasta el edificio”. Es similar al anterior, llevando un tendido de fibra hasta un edificio, donde internamente luego se termina la distribución con cobre.
- FTTH: Fiber To The Home, o “fibra hasta el hogar”, donde se lleva el tendido de fibra hasta la residencia del usuario final.

Cuando se requiere movilidad, o cuando no es posible llegar hasta el terminal en forma cableada, es necesario utilizar tecnologías inalámbricas. Existen por tanto redes de acceso inalámbricas para servicios fijos y para servicios móviles, con características diferentes. Un ejemplo de tecnologías de acceso para servicios fijos es el WLL (Wireless Local Loop). Un ejemplo de tecnologías de acceso para servicios móviles es el GSM.

## 4 Conmutación

Los procesos de conmutación son los encargados de establecer las conexiones entre los diferentes nodos o terminales de la red. Se puede definir como el proceso para establecer una conexión individual desde un punto de entrada (Usuario "A"), hacia un punto de salida (Usuario "B"), como se esquematiza en la siguiente figura.



El usuario "A", mediante un proceso de selección, determina con que usuario "B" desea conectarse. Esta conexión se realiza mediante el proceso de conmutación,

En forma general se pueden diferenciar dos tipos de arquitecturas de conmutación:

- Conmutación de circuitos: En esta modalidad se establece un camino "confiable y seguro" de punta a punta, el que se mantiene durante toda la comunicación.
- Conmutación de paquetes: Cada mensaje es enviado sin establecer previamente una conexión entre origen y destino.

### 4.1 Reseña histórica

La conmutación de circuitos ha sido la históricamente utilizada en los sistemas telefónicos. Por otra parte, la conmutación de paquetes ha sido diseñada y desarrollada más recientemente para la transmisión de datos.

En telefonía, el proceso de conmutación ha evolucionado. Inicialmente consistía en un proceso manual, utilizando "operadoras" para establecer y liberar las conexiones. Sobre fines de la década de 1880 se diseñaron las primeras centrales telefónicas con conmutación automática. Para operar el primer sistema automático se requerían teléfonos con botones, que debían ser presionados tantas veces como el dígito que se deseaba discar. Los sistemas de "disco" fueron introducidos

recién en 1896, y requería de los teléfonos de “dos hilos”, y un cable de tierra adicional. El sistema de disco conocido hasta hace pocos años, con teléfonos de 2 hilos sin necesidad de cable de tierra, fue originalmente diseñado en 1908.

Con la digitalización y la posibilidad de utilización de componentes semiconductores, la conmutación automática analógica dio lugar a la conmutación digital, utilizando técnicas del tipo TDM (Time Division Multiplexing). Estas tecnologías fueron implementadas inicialmente en PBXs, en el área corporativa a principios de la década de 1970, y pocos años después en el área pública.

La tecnología TDM está dejando su lugar a la VoIP (Voz sobre IP), y cambiando el proceso de conmutación telefónico de circuitos, al de paquetes, típicamente utilizada para datos.

## **4.2 Centrales de conmutación públicas**

Las centrales de conmutación públicas atienden típicamente a más de 10.000 usuarios o abonados. La tecnología clásica utilizada es la TDM, o conmutación de circuitos. Las siguientes fotos ilustran el aspecto típico de las centrales de este tipo.

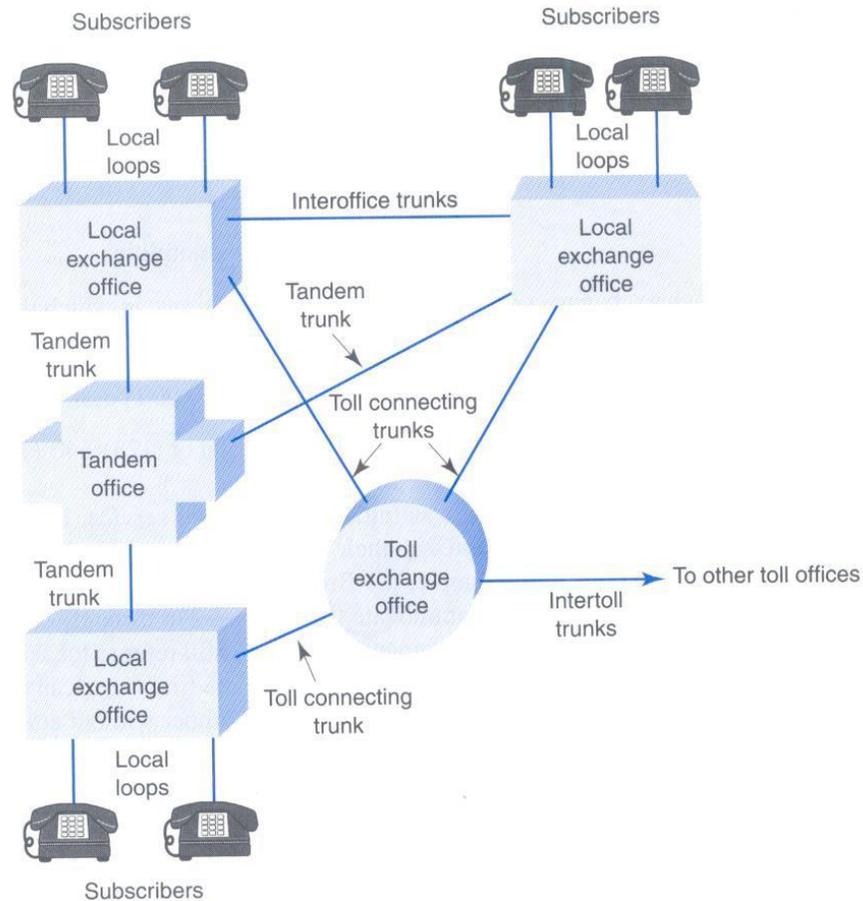




En forma muy general, este tipo de centrales se puede clasificar en

- Centrales de conmutación local: Este tipo de centrales atiende a abonados finales, y posee conexión con la red de acceso fija. La conexión entre dos abonados conectados a la misma central se realiza en forma local. La conexión entre un abonado de una central local y otro abonado de otra central local se realiza por medio de la red de transmisión y transporte.
- Centrales de tránsito: Son centrales telefónicas que interconectan otras centrales locales, o internacionales, pero que no tienen abonados finales directamente conectados.
- Centrales Internacionales: Son las centrales de tránsito que conectan enlaces internacionales
- Centrales celulares: Son las que prestan servicios de conmutación a abonados celulares.

Un ejemplo de una red de conmutación se muestra en la siguiente figura.



Las centrales de conmutación públicas basadas en tecnologías TDM están dejando su lugar a una nueva generación de centrales, conocidas como “soft switches”, basadas en tecnología IP. En estos sistemas, los abonados analógicos o digitales TDM (por ejemplo, ISDN), se conectan a la red a través de gateways (pasarelas), que convierten tanto el audio como la señalización en protocolos de red IP. La conmutación en este caso se realiza por medio de switches de datos, de alta capacidad. El procesamiento generalmente se realiza en servidores comerciales, no propietarios. La siguiente foto muestra un soft switch, ubicado dentro de Racks o cabinas estándar de 19”. Su diseño es por lo general más compacto (desde el punto de espacio físico) que las clásicas centrales TDM.



### 4.3 Centrales de conmutación privadas

La comunicación de voz en las empresas ha sido una necesidad permanente, desde los inicios de la telefonía. Las soluciones de comunicaciones brindadas a las empresas han evolucionado, desde la instalación de un único teléfono para toda una empresa a finales del siglo XIX, hasta los actuales sofisticados sistemas de comunicaciones.

Los primeros sistemas telefónicos empresariales automáticos fueron conocidos con el nombre de “Key Systems”, o “Sistemas de Teclas”. Estos sistemas electromecánicos, que comenzaron a difundirse en la década de 1920, consistían en conectar varias líneas urbanas a distintos botones o teclas de un mismo aparato telefónico. Cada aparato telefónico era conectado con varios cables. Típicamente por cada línea telefónica se utilizaban 3 pares: Uno para la línea telefónica, otro para señalización y otro para controlar una luz asociada a la tecla de la línea telefónica. En una caja central, conocida como “KSU” (Key Service Unit), se realizaban todas las conexiones y empalmes necesarios. En 1958, las Compañías Bell lanzaron al mercado el “Call Director”, un sistema “key system” ¡que requería 150 pares para cada uno de sus aparatos telefónicos! [10]



Generalmente cada tecla asociada a una línea disponía de una indicación luminosa, que indicaba si la línea estaba libre u ocupada. Cuando se deseaba realizar una llamada, se oprimía un botón de línea urbana libre. Las llamadas podían ser “transferidas” entre “teléfonos” indicando a otra persona que oprima el botón correspondiente a la línea en cuestión.

Viendo un aparato telefónico de uno de estos sistemas, queda claro el nombre de “sistema de teclas” (o “key system”). Este tipo de arquitectura, muy simple desde el punto de vista conceptual, comenzó a tener sus dificultades. A medida que las empresas crecían, necesitaban más líneas urbanas, lo que implicaba disponer de más teclas en los “teléfonos”. Cada nueva línea debía ser cableada hasta cada teléfono. Las teclas de los teléfonos eran mecánicas, y el desgaste continuo inducía a fallas y falsos contactos frecuentemente. Con más de 10 o 12 líneas, los “Key Systems” se convertían en sistemas muy poco manejables.

Los “Key Systems” dejaron su lugar a las PBX (Private Branch Exchange), o “Centralitas Telefónicas”. Las PBX clásicas, también conocidas como PABX (Private Access Branch Exchange) centralizan en una “caja” las líneas urbanas y los “internos”, o teléfonos. Cada teléfono se conecta con uno o dos pares a la PBX. Las funciones de conmutación (conectar líneas a teléfonos, o teléfonos entre sí) se realiza en forma centralizada, en la PBX. Las primeras PBX consistían en sistemas electromecánicos. En la siguiente generación de sistemas PBX se utilizó tecnología de conmutación digital TDM. La primer PBX con conmutación digital fue diseñada en 1972, por Northern Telecom (luego Nortel, actualmente Avaya) [11]. La siguiente foto muestra en sala de PBX TDM típica.



Las PBX con conmutación digital están dejando su lugar a sistemas con tecnología de VoIP (Voz sobre IP). Sobre el año 2000 fueron comercializadas las primeras PBX que combinaban tecnología de conmutación digital y VoIP, conocidas como sistemas "híbridos". Poco después comenzaron a tener difusión los sistemas basados únicamente en telefonía IP ("Full IP"). La PBX, en cualquiera de las posibles tecnologías, es en estos momentos el sistema de comunicación de voz más popular en las empresas a nivel mundial

## 5 Transmisión y Transporte

La transmisión es el proceso de transportar información entre dos puntos de una red. En las redes de telecomunicaciones, los sistemas de transmisión interconectan puntos distantes, por ejemplo, centrales telefónicas públicas o privadas. Entre ellas es necesario enviar un gran número de canales de conversación (aunque no tantos como la cantidad de terminales o abonados conectadas a cada central, ya que estadísticamente es muy improbable que todos estén hablando a la vez a terminales o abonados de otras centrales). En todo caso, la cantidad de enlaces de conversación entre centrales puede ser de centenas o millares. Es por ello necesario utilizar técnicas de multiplexación, que permitan transmitir sobre un mismo enlace una cantidad importante de canales independientes.

La transmisión se puede realizar por diferentes medios físicos, entre los que se mencionan, a modo de ejemplo:

- Pares de cobre
- Cables coaxiales
- Fibras ópticas
- Comunicaciones por Satélites
- Radio enlaces

### 5.1 Reseña histórica

Las primeras tecnologías de transmisión y transporte estaban basadas en tendidos de cables de cobre, generalmente utilizando cables multipares (es decir, varios pares de cobre en compartiendo un mismo envoltorio. Sobre estos pares se transmitía el audio analógico, y también la señalización. Dada la distancia existente (típicamente decenas de kilómetros), muchas veces eran utilizados pares diferentes para transmisión y recepción, de manera de poder incluir amplificadores unidireccionales en cada sentido. Otro(s) par(es) eran utilizados para la señalización de cada canal, utilizando históricamente señalización E&M, R1 o R2.

La transición por radio enlaces de microondas también eran (y son) utilizados. Los satélites fueron históricamente utilizados para las transmisiones internacionales. El primer satélite de comunicaciones fue puesto en órbita por la empresa AT&T, en 1962.

Sobre la década de 1980 se extendieron los tendidos de fibras ópticas, diseñadas originalmente en la década de 1970. El primer cable de fibra óptica transatlántico, el TAT-8, fue tendido en 1988, con 6.600 km de longitud, uniendo Estados Unidos y Francia. Tenía una capacidad de 40.000 conversaciones telefónicas simultáneas

(10 veces más que el TAT-7, existente en la época, y 1.000 veces más que el TAT-1, instalado en 1956 con tecnologías de cables coaxiales).

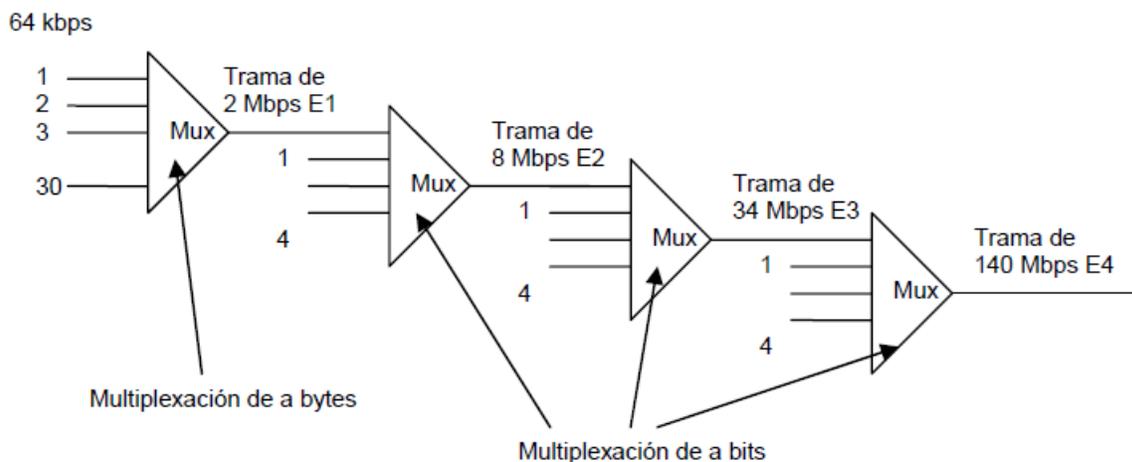
El prácticamente ilimitado ancho de banda de las fibras ópticas la ha convertido en el medio de transporte mayormente utilizado actualmente para los sistemas de transmisión de telecomunicaciones. Estas redes soportan prácticamente la totalidad de las comunicaciones tanto locales, nacionales como internacionales, dejando a los radio-enlaces y sistemas de satélites para respaldo y conexiones donde los tendidos de cable son extremadamente dificultosos.

## 5.2 Transmisión digital TDM

La tecnología digital TDM permitió la multiplexación de varios canales de voz en “tramas digitales”, las que conforman “jerarquías digitales”. La primera de estas jerarquías es la conocida como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, o Jerarquía Digital Plesiócrona). Este modo de funcionamiento permite formar tramas aún cuando no existe sincronismo entre el reloj de cada uno de los componentes que son multiplexados. Esto hace necesario un proceso de “justificación”, necesario para soportar las posibles variaciones de frecuencia en cada uno de las tramas originales.

El primer nivel en la jerarquía PDH es el conocido como T1 en Estados Unidos y Japón y E1 en Europa y América Latina. Una trama T1 multiplexa 24 canales de 64 kbits/segundo en una trama de 1.544 Mb/s. Una trama E1 multiplexa 30 canales de 64 kbits/segundo en una trama de 2.048 Mb/s. Ambas tramas incluyen, además de lo canales de información, información de sincronismo y señalización.

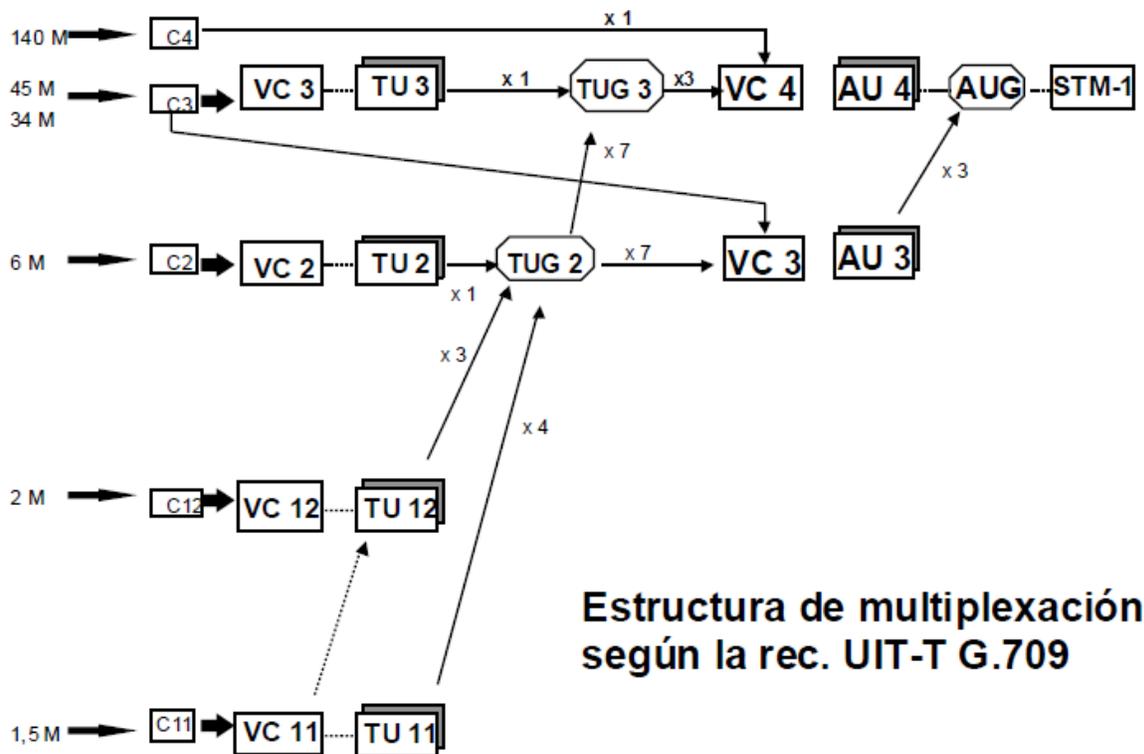
Un esquema de multiplexación de la jerarquía PDH se muestra en la siguiente figura



Cuando existe un esquema de sincronismo centralizado, y todos los componentes de la red toman el reloj de una misma referencia, se puede establecer una jerarquía de multiplexación digital sincrónica, conocida como SDH (Synchronous

Digital Hierarchy, o Jerarquía Digital Sincrónica). Esto fue posible sobre la década de 1990.

SDH es un estándar que define redes de transmisión con una estructura de trama totalmente especificada en todos los niveles, independiente del fabricante, y que posee un conjunto de características muy útiles, respecto a PDH. El primer nivel en la jerarquía SDH es el STM-1, a una velocidad de 155 Mb/s. Una trama STM-1 puede multiplexar diversos tipos de canales, tramas o información, incluyendo tramas PDH, cada una de ellas apropiadamente encapsulada en “contenedores”. Un esquema conceptual de la forma como se arman las tramas SDH se muestra en la siguiente figura:



### 5.3 Transmisión en redes de paquetes

Actualmente las redes de paquetes se usan para transportar servicios telefónicos, voz, video y otros medios multimedia tanto a demanda como en tiempo real.

Dentro de las tecnologías de transporte de paquetes se destaca **MPLS** (Multi Label Protocol Switching), el que tiene una posición dominante frente a los demás. Está detallado en la recomendación de IETF RFC 3031.

MPLS permitió el desarrollo de “routers en hardware” con mayor capacidad que los clásicos routers IP.

## 6 Sincronismo

Las redes de telecomunicaciones actuales distribuyen y transmiten grandes volúmenes de información a altas velocidades entre puntos distantes. Para que esta transmisión sea efectiva es necesario tener un sistema que permita sincronizar apropiadamente los distintos elementos y equipos de la red. Si no existe sincronismo entre elementos de la red, las transmisiones se hacen ineficientes. Por ejemplo, existen “corrimientos de bits”. Es decir, un equipo inserta bits en un enlace a cierta tasa (o frecuencia) y otro lo recibe a una tasa (o frecuencia) diferente. Aunque esta diferencia sea leve, llegará un momento en el que el mismo bit es leído dos veces, o en el que un bit no es leído. En ambos casos, se produce un “corrimiento de bits”. Esto produce que la información recibida sea finalmente incorrecta, generando diversos errores. Por ejemplo, diferentes operadores no son capaces de interconectarse correctamente o no se realiza correctamente el “handover” entre celdas en una red móvil.

Cuando existen problemas de sincronismo en una red de telecomunicaciones, se puede manifestar de diversas formas, entre las que se incluyen:

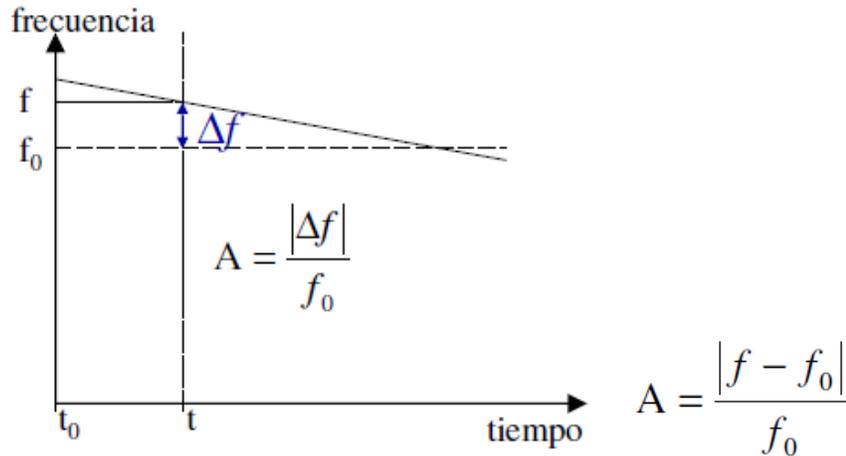
- Llamadas perdidas o cortadas
- Clics audibles en las llamadas
- Distorsiones, manchas, o problemas de conectividad en la transmisión de faxes
- Corrupción, Pérdidas, altas tasa de retransmisiones en comunicaciones de datos
- Distorsiones visibles y tramas congeladas en transmisiones de video

Debido a estos efectos, todas las redes de telecomunicaciones establecen estrategias y sistemas de sincronismo, las que básicamente establecen la forma de distribuir información de tiempo y frecuencia dentro de la red.

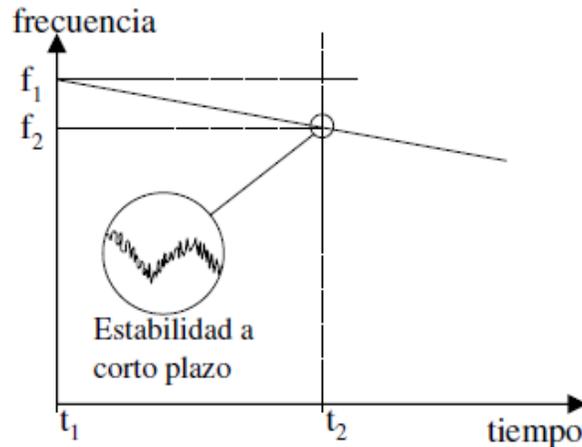
### 6.1 Relojes

Los relojes utilizados en las redes de telecomunicaciones se caracterizan por los siguientes parámetros de funcionamiento:

- *Precisión*: Dada por la diferencia fraccional de frecuencia en un momento dado.



- **Estabilidad:** Expresa la variación de la frecuencia en función del tiempo.

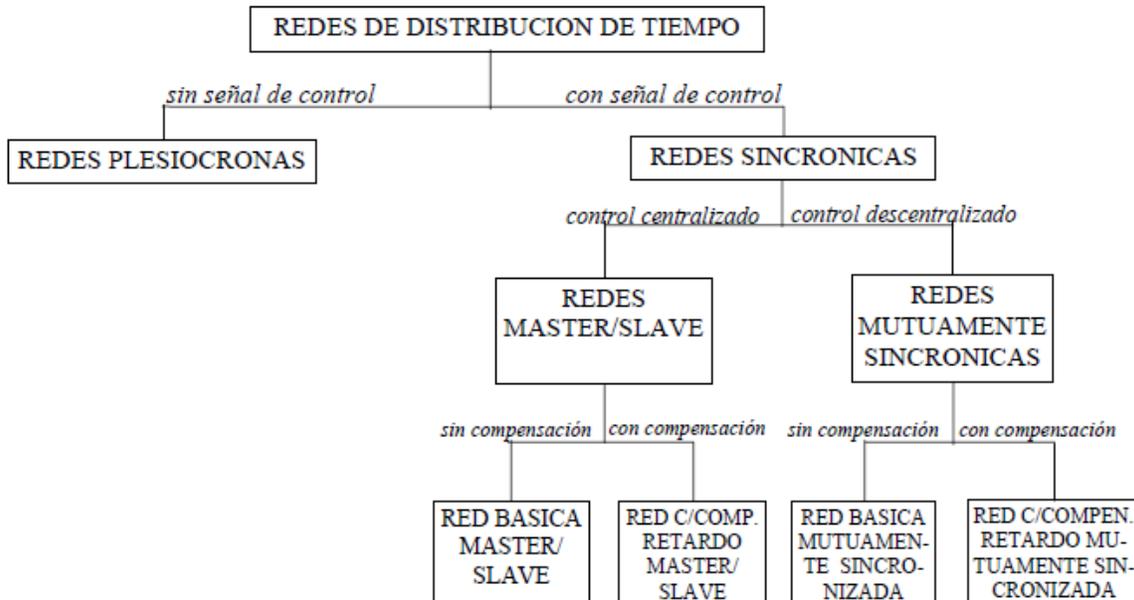


Los relojes se clasifican en “estratos”, según su precisión:

Estrato	Precisión	Holdover	Tipo de Reloj
1+	$1 \times 10^{-15}$	N/A	Masa de Hidrógeno
1	$1 \times 10^{-11}$	N/A	Patrón de Cesio o GPS (PRC)
2	$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-10}$ /día	Osciladores de Rubidio (PRC)
3	$1 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{-7}$ /día	Osciladores de Cristal Cuarzo (Esclavo)
4	$1 \times 10^{-5}$	N/A	Osciladores implementados con circuitos

## 6.2 Distribución de sincronismo en redes digitales TDM

La siguiente figura muestra esquemáticamente las diferentes técnicas de sincronismo utilizadas en redes TDM.



### 6.2.1 Redes digitales plesiócronicas

En estas redes cada nodo tiene un reloj independiente. No hay señal de control que coordine la operación entre estos relojes. Una calibración inicial es requerida ya sea antes de la instalación o luego de la instalación con un reloj patrón portable. En esta red, el sistema de transmisión debe ser apropiado, previendo la existencia habitual de “corrimientos de bits”. Es el caso del sistema PDH, mencionado en la sección anterior.

Ventajas: Fácil despliegue y no afectación por falla de un nodo de la red.

Desventajas: Alto costo y mantenimiento requerido.

### 6.2.2 Redes digitales sincrónicas

En estas redes, todos los relojes están sincronizados, en frecuencia y fase. Es el caso del sistema SDH, mencionado en la sección anterior. Existen varias estrategias para que esto sea posible:

#### Redes sincrónicas centralizadas

Se compone de un reloj central Maestro (“Master”) y varios relojes remotos esclavos (“Slaves”). Los relojes esclavos están directamente subordinados al maestro. Es decir, el oscilador del esclavo se sincroniza en frecuencia y fase respecto de la señal de referencia proveniente del maestro.

### **Redes sincrónicas descentralizadas**

Se basan en un principio de sincronización mutua. Todos los relojes de la red contribuyen a la determinación de tiempo y frecuencia, formando una malla entre sí.

En este caso, es también necesario establecer algún tipo de jerarquía, y “ancla”, para evitar que toda la red diverja hacia una frecuencia diferente de la deseada, generando problemas de interoperabilidad con otras redes.

### **6.3 Distribución de Sincronismo en redes de paquetes**

Las redes ethernet/ip desplazan a las tecnologías de transporte tradicionales de redes TDM (PDH, SDH). En este tipo de redes, el transporte de sincronismo se debe hacer sobre redes de paquetes y no sobre tecnologías de conmutación de circuitos. Para ello existen varias tecnologías:

- SyncE (Synchronous Ethernet)  
Transmisión de información de reloj para recuperar frecuencia.
- NTP (Network Time Protocol)  
Transmisión de estampas de tiempo, recuperación de tiempo y frecuencia.
- PTP (Precision Time Protocol)  
Transmisión de estampas de tiempo, recuperación de frecuencia, tiempo y fase.

## 7 Señalización

Para establecer una comunicación telefónica entre dos dispositivos, es necesario implementar protocolos de señalización, que permitan indicar el número discado, la atención de una llamada, etc. Esta necesidad de señalización ha estado presente desde los orígenes de la telefonía, y ha evolucionado, con el crecimiento de las redes y la evolución de las tecnologías. La señalización existe a todos los niveles en las redes de telecomunicaciones y de telefonía.

### 7.1 Señalización entre centrales y teléfonos

#### 7.1.1 Señalización analógica por “corriente de bucle”

La señalización analógica por “corriente de bucle” es seguramente la señalización más conocida y a su vez más antigua. Ha sido introducida en la sección 2.3, como parte de la descripción del terminal telefónico.

#### 7.1.2 Señalización digital

Con el avance de la electrónica y la comunicación de datos, es natural pensar que la señalización telefónica, basada en corrientes y voltajes, evolucione hacia una señalización digital, más rica en funciones.

En 1976 la tecnología de la digitalización de la voz estaba madura, y es instalada la primera central telefónica pública que realizaba digitalización de la voz y conmutación digital. Sin embargo, la digitalización se producía dentro de la central telefónica. Los aparatos telefónicos continuaban siendo analógicos, con señalización por corriente de bucle.

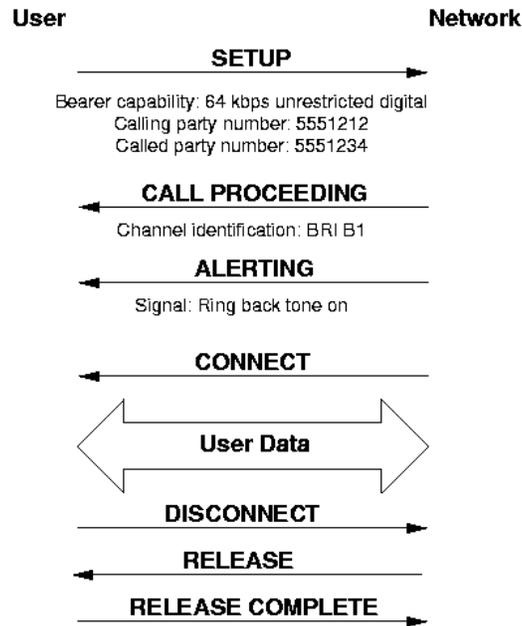
A comienzos de la década de 1980 se comenzaron a sentar las bases conceptuales para una nueva red telefónica, con tecnología digital hasta los terminales de abonado. Esto dio origen a la primera versión de la recomendación I.120 de la CCITT (actualmente ITU-T), que describe lineamientos generales para implementar un nuevo concepto en telefonía: ISDN (“Integrated Services Digital Networks”) o RDSI (“Red Digital de Servicios Integrados”). Con ISDN se proponía llegar digitalmente hasta los abonados, y brindar servicios de valor agregado de telefonía y datos.

Para poder llegar en forma digital hasta los aparatos telefónicos, es necesario definir también un protocolo de señalización digital, entre el aparato y la central telefónica. El protocolo diseñado en ISDN consiste en el establecimiento de un canal de datos (llamado en la terminología ISDN “canal D”), sobre el cual, el aparato y la central telefónica puedan intercambiar mensajes. Esta estructura de mensajes fue estandarizada en las recomendaciones ISDN.

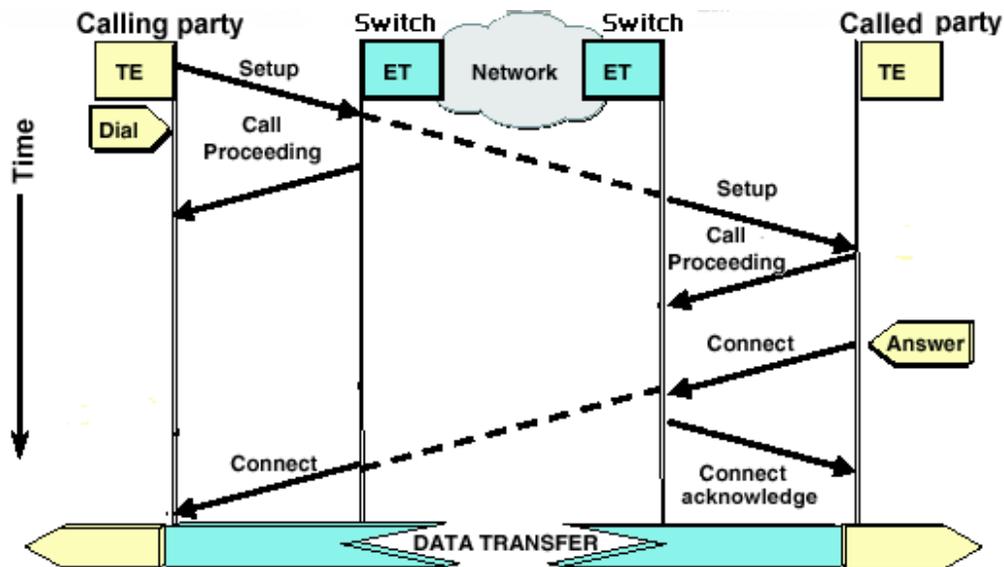
La siguiente tabla resume los mensajes utilizados en la señalización ISDN

<i>Call establishment messages:</i> ALERTING CALL PROCEEDING CONNECT CONNECT ACKNOWLEDGE PROGRESS SETUP SETUP ACKNOWLEDGE
<i>Call information phase messages:</i> RESUME RESUME ACKNOWLEDGE RESUME REJECT SUSPEND SUSPEND ACKNOWLEDGE SUSPEND REJECT
<i>Call clearing messages:</i> DISCONNECT RELEASE RELEASE COMPLETE
<i>Miscellaneous messages:</i> INFORMATION NOTIFY SEGMENT STATUS STATUS ENQUIRY

El establecimiento y liberación de una llamada se realiza mediante el intercambio de mensajes entre el dispositivo (teléfono) y la central telefónica. Un ejemplo del intercambio de mensajes durante una llamada básica se muestra en la siguiente figura



El intercambio se da entre el terminal (teléfono) y la central telefónica, no entre ambos extremos. Esto se esquematiza en el siguiente diagrama, donde se incluye únicamente el establecimiento de la llamada.



La arquitectura de ISDN se basa en el modelo OSI, de capas. La capa 1 o capa física establece como son los formatos de las “tramas” ISDN. Estas tramas tienen 48 bits de largo, de los cuales 36 contienen datos y 12 se utilizan para control y sincronismo. La capa 2 o capa de enlace, realiza el control de errores y el control de flujo. Esta capa es llamada LAPD (Link Access Protocol on the D Channel). La capa 3, o capa de red, es la que permite el intercambio de información entre

origen y destino, mediante la implementación de la mensajería descrita anteriormente.

### **7.1.3 Señalización IP**

Las nuevas tecnologías de VoIP implementan, sobre éste protocolo, la señalización telefónica requerida. Son relevantes varios estándares, entre los que destacan H.323 y SIP. El primero (H.323) básicamente, traslada a las redes IP la señalización ISDN. El segundo (SIP), propone un nuevo estándar de señalización, utilizando los conceptos de HTTP. También existen protocolos propietarios sobre IP. Megaco es utilizado

## **7.2 Señalización entre centrales públicas y centrales privadas**

### **7.2.1 Señalización analógica por “corriente de bucle”**

Dado que la señalización por corriente de bucles es la más difundida, la gran mayoría (por no decir todas) de las centrales privadas (PBX o Key Systems), soportan esta señalización.

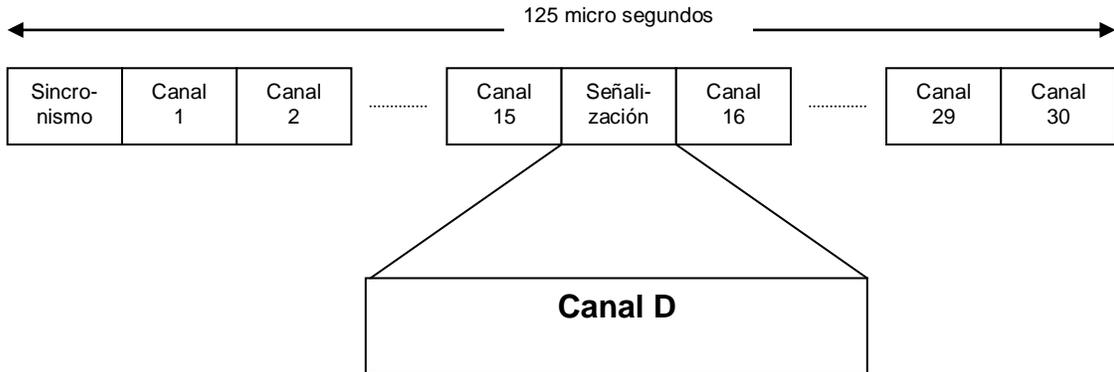
Mediante circuitos adecuados, las centrales privadas emulan el comportamiento de los teléfonos analógicos, detectando corriente de campanilla, cerrando el bucle para iniciar una llamada, discando por pulsos o tonos, etc.

### **7.2.2 Señalización digital ISDN**

Como se mencionó anteriormente, la señalización ISDN consiste en un protocolo de mensajes que se implementan sobre un canal digital. Este canal digital puede contener la señalización de uno o varios canales telefónicos de voz.

El servicio conocido como “Servicio Básico” o BRI (Basic Rate Interface) es brindado por la mayoría de las centrales públicas, y soportado por gran cantidad de centrales telefónicas privadas.

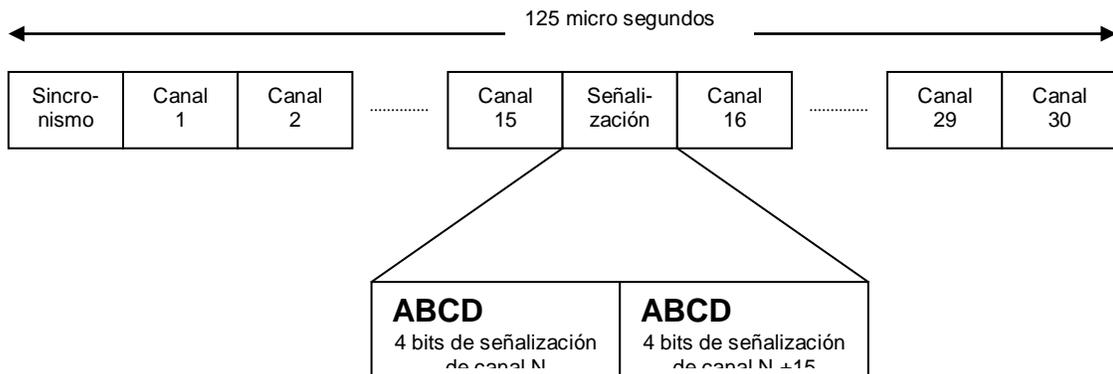
Otro servicio estandarizado de ISDN es el denominado “Servicio Primario” (“PRI – Primary Rate Interface). El servicio PRI brinda 30 canales de voz, en una trama E1 (ver sección 5). La señalización se envía en el canal 16, como se esquematiza en la siguiente figura



### 7.2.3 Señalización digital R2

La señalización R2 digital utiliza también una trama digital E1 de 2.048 kb/s, similar a la ISDN PRI. Se diferencia de ésta última en el uso del canal de señalización.

Al igual que en ISDN PRI, cada canal de voz tiene asociado un “time slot” de 64 kb/s. 30 canales de voz son multiplexados en el tiempo, junto con un canal de señalización y otro canal de sincronismo (ambos de 64 kb/s), dando lugar a una “trama” digital de 2 Mb/s con 32 canales:



Cada canal tiene asociado 4 bits (conocidos como bits ABCD) que se utilizan para la señalización de línea (básicamente emulan la señal de campanilla y la corriente de bucle del canal). Cada trama incluye la señalización correspondiente a 2 canales. Cada canal, por tanto, refresca su señalización cada 16 tramas ( $125 \mu s \times 16 = 2 \text{ ms}$ )

Cada trama es unidireccional, por lo que un enlace E1 cuenta con 2 tramas, una de “ida” y otra de “vuelta”.

Los bits ABCD de señalización se utilizan para indicar el estado de la línea. Por ejemplo, cuando el canal N se encuentra libre, los bits ABCD asociados al canal N toman los valores 1011, tanto en la trama de “ida” como en la de “vuelta”. Cuando la PBX quiere iniciar una llamada por el canal N, cambia el valor de sus bits ABCD correspondientes al canal N al valor 0011 (“Seizure”) en la trama de “ida”. La central pública reconoce la toma de línea con los valores 0011 (“Seizure Acknowledge”) en la trama de “vuelta”.

Una vez “tomado” un canal, la PBX debe discar el número deseado. Esto es realizado mediante la señalización de “registro” R2 (MFC-R2). Esta señalización consiste en el intercambio de tonos, a través del canal de audio, entre la PBX y la central pública.

Mayores detalles sobre el protocolo R2 puede encontrarse en el capítulo 12 de [12], y en el documento “Señalización R2 Digital” [13]

#### **7.2.4 Señalización IP**

El protocolo SIP está comenzando a ser utilizado por los operadores de telefonía pública para brindar servicios de acceso a la red por VoIP. En los lugares donde se presta este tipo de servicio, se entrega una conexión IP, típicamente Ethernet, sobre la que se brinda el servicio de toncales IP.

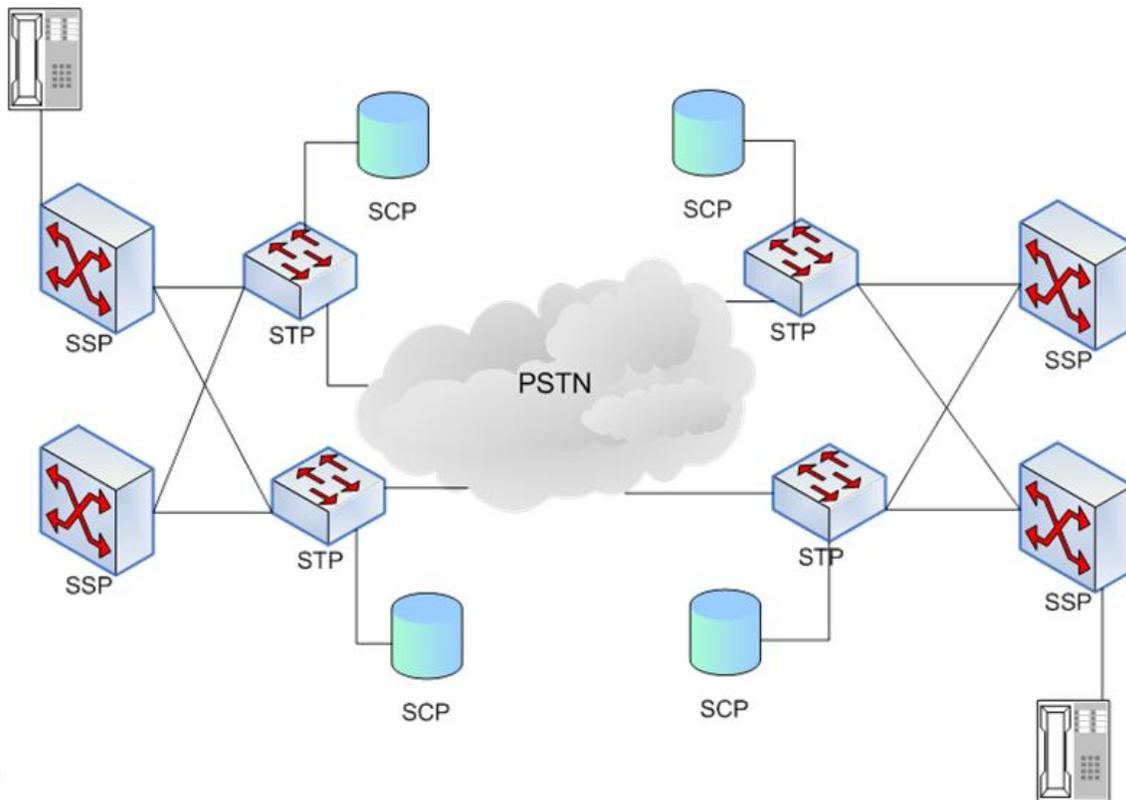
### **7.3 Señalización entre centrales públicas**

Los sistemas de transmisión y transporte que interconectan las centrales públicas están acompañados de un sistema de señalización, necesario para el establecimiento y liberación de canales, envío de información de contexto, etc. Históricamente, la señalización utilizada estaba asociada a cada canal de audio, y era enviada en forma conjunta con este. Este tipo de señalización (por ejemplo E&M analógica, R2 analógica o R2 digital) fue reemplazada por un sistema o red de señalización independiente y paralela a la red que transporte el audio o el contenido de las conexiones. Esta red de señalización, está basada en los conceptos de ISDN, introducidos sobre la década de 1980.

La red de señalización entre centrales públicas más difundida es la conocida como SS7 (Signaling System Number 7). Es típicamente el sistema de señalización actualmente utilizado internamente en las redes ISDN, celulares y IN (“Intelligent Networks” o “Redes Inteligentes”).

En la siguiente figura se esquematiza una red de señalización SS7 típica. Esta red incluye los siguientes componentes:

- SSP (Service Switching Point): Son los nodos encargados de conectar los terminales de la red
- STP (Signaling Transfer Point): Son ruteadores de señalización SS7. Deciden la ruta a tomar para cada mensaje de señalización SS7
- SCP (Signaling Control Point): Brindan servicios de almacenamiento y procesamiento de datos, como por ejemplo la facturación ("Billing"), traducción de números (por ejemplo 0800, 0900), etc.



La señalización entre centrales públicas puede también ser enviada sobre redes IP. SIGTRAN (proveniente de "SIGnaling TRANsport" es un nuevo protocolo de señalización, que básicamente paquetiza la señalización SS7 y la envía sobre redes de paquetes basadas en IP. Utiliza el protocolo SCTP (Stream Control Transmission Protocol) definido en el RFC 4960.

## Referencias

---

- [1] <http://www.sciencemuseum.org.uk>
- [2] <http://www.collection.poehlchen.de>
- [3] Diario El Día, Edición en Huecograbado  
Montevideo, Febrero 26 de 1933, Año 2, número 22
- [4] Pushbutton Calling with a Two-Group Voice Frequency Code  
THE BELL SYSTEM Technical Journal, Volume XXXIX, January 1960  
L. Schenker
- [5] Lindsborg News-Record, July 6, 1923
- [6] Recomendación Q.23: “Technical features of push-button telephone sets”  
ITU-T
- [7] “Las telecomunicaciones de nueva generación”
- [8] xDSL Tutorial  
Brandon Provolt, Engineering Intern Marketing and Product Development  
Group, Schott Corporation  
Version 0.53 (beta), August 2000
- [9] Point Topic, abril 16, 2013  
<http://point-topic.com/press-and-events/2013/the-dsl-king-is-dead-long-live-the-vdsl-king/>
- [10] Breve Historia de las Telecomunicaciones  
José Joskowicz  
Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Marzo 2009
- [11] Northern Electric – A Brief History  
David Massey  
Bell System Memorial
- [12] “PC Telephony” 4th edition  
Bob Edgar (1997)
- [13] Señalización R2 Digital  
Especificación UY.EG.CC.002.rev 2, 3/12/1996  
ANTEL Sistema de Telecomunicaciones