

# ARQUITECTURA DE REDES SISTEMAS Y SERVICIOS.

2º Ing. Telecomunicación. Curso 2010/11

## LA RED TELEFÓNICA CONMUTADA

<b><u>1. LA RED ANALÓGICA</u></b> .....	<b>3</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	3
1.2 DE LA CONMUTACIÓN MANUAL A LA AUTOMÁTICA .....	5
1.3 COMPARTIENDO ENLACES ENTRE CENTRALES: MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIA (FDM) .....	9
1.4 EL TELÉFONO ANALÓGICO.....	10
<b><u>2. DIGITALIZACIÓN DE LA TRANSMISIÓN</u></b> .....	<b>13</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	13
2.2 CONCEPTO DE SINCRONISMO.....	14
2.2.1 TRANSMISIÓN ASÍNCRONA V.S. SÍNCRONA.....	14
2.2.2 PROBLEMAS DE SINCRONISMO .....	16
2.2.3 DESLIZAMIENTO DE TRAMA .....	18
2.2.4 MODOS DE OPERACIÓN.....	20
2.3 JERARQUÍA DIGITAL PLESÍOCRONA (PDH) .....	20
2.3.1 INTRODUCCIÓN.....	20
2.3.2 EL PRIMER NIVEL EN LA PDH EUROPEA: EL MULTIPLEX MIC .....	22
2.3.3 ALINEACIÓN DE TRAMA .....	23
2.3.4 LAS JERARQUÍAS EUROPEA, AMERICANA Y JAPONESA.....	25
2.3.5 NIVELES SUPERIORES EN PDH: TÉCNICAS DE JUSTIFICACIÓN.....	26
2.4 SDH.....	30
<b><u>3. EVOLUCIÓN DE LA SEÑALIZACIÓN</u></b> .....	<b>32</b>
3.1 INTRODUCCIÓN: ¿QUÉ ES LA INFORMACIÓN DE SEÑALIZACIÓN? .....	32
3.2 SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN .....	33
3.2.1 SEÑALIZACIÓN EN LÍNEA.....	34
3.2.2 SEÑALIZACIÓN FUERA DE LÍNEA .....	35
3.3 SEÑALIZACIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LLAMADA .....	37
3.4 EJEMPLO DE SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN POR CANAL COMÚN: SS7 O CCS 7 .....	39
<b><u>4. LA RED DIGITAL INTEGRADA (RDI)</u></b> .....	<b>43</b>
4.1 DIGITALIZACIÓN DE LA CONMUTACIÓN (SPC).....	43
4.2 ESTRUCTURA DE LA RED DIGITAL INTEGRADA .....	47

4.2.1	LA RED DE ACCESO: EL BUCLE DE ABONADO .....	47
<b>1.1</b>	<b>SPC .....</b>	<b>48</b>
4.2.2	EL NÚCLEO DE LA RED DIGITAL INTEGRADA.....	49
4.2.3	ESTRUCTURACIÓN EN VARIOS NIVELES: REDES SUPERPUESTAS .....	49
<b>5.</b>	<b><u>DIGITALIZACIÓN DEL BUCLE DE ABONADO .....</u></b>	<b>51</b>
<b>5.1</b>	<b>LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS.....</b>	<b>51</b>
5.1.1	ESTRUCTURA DE TRANSMISIÓN.....	51
5.1.2	ARQUITECTURA Y PLAN DE NUMERACIÓN DE RDSI. ....	52
5.1.3	SERVICIOS OFRECIDOS POR RDSI .....	54
<b>5.2</b>	<b>ADSL .....</b>	<b>55</b>
5.2.1	TECNOLOGÍAS DE BUCLE DE ABONADO DIGITAL.....	55
5.2.2	MODULACIÓN EN ADSL .....	56
<b>6.</b>	<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b>57</b>

## 1. LA RED ANALÓGICA

### 1.1 Introducción

La Red Telefónica Conmutada (RTC) es un conjunto ordenado de medios de transmisión, señalización y conmutación que facilitan, fundamentalmente, el intercambio de voz entre dos abonados mediante el empleo de aparatos telefónicos. El objetivo fundamental de la RTC es conseguir la conexión entre todos los usuarios de la red, a nivel geográfico local, nacional e internacional.

La estructura de la red es jerárquica y, como muestra la figura 1, los nodos normalizados que forman parte de ella se conocen como; centrales locales, primarias, secundarias, terciarias y de tránsito internacional, aunque la estructura actual es más simple.

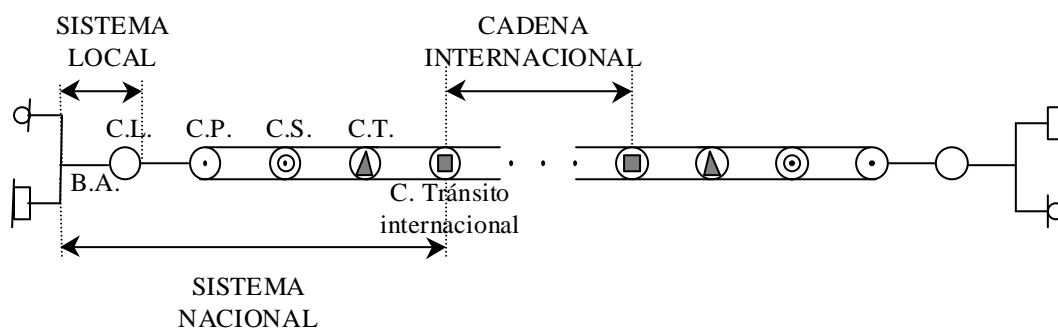


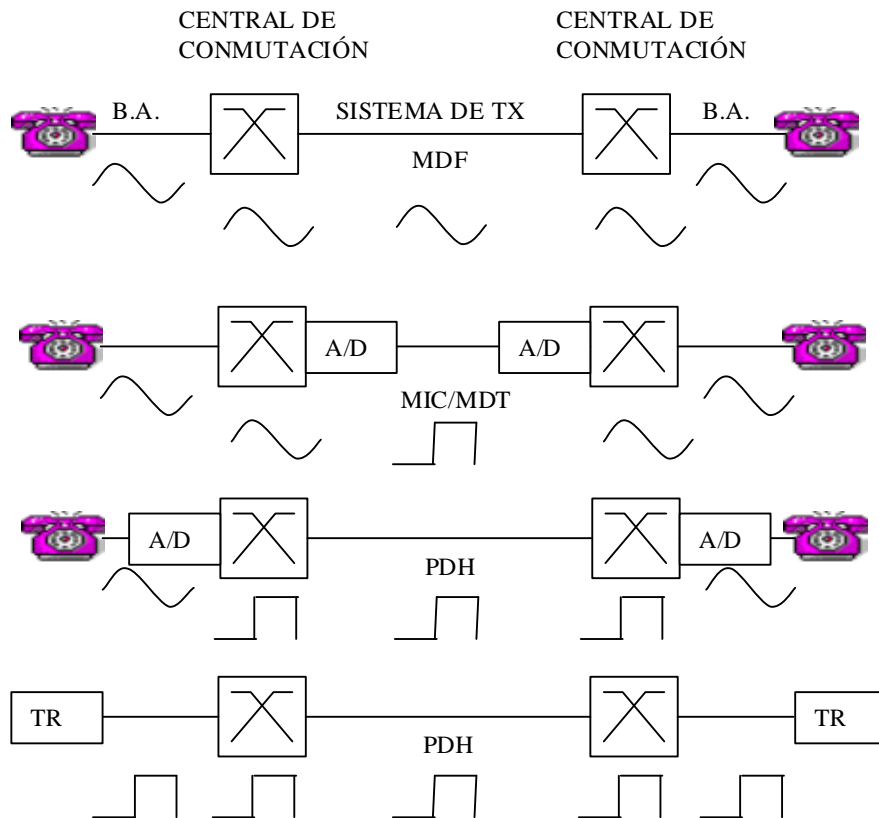
Figura 1. Modelo de la UIT\_T para comunicaciones telefónicas internacionales

La primera gran evolución de la RTC fue el cambio de conmutación manual a automática en las centrales, permitiendo a estas realizar las tareas de conmutación mediante autómatas electromecánicos y eliminando la necesidad de operadores humanos.

La conmutación automática, hace necesaria la aparición de un método que permita a usuarios y conmutadores ponerse de acuerdo para establecer y liberar las comunicaciones, ya que la interfaz humana de las operadoras es suprimida, lo que imposibilita el uso del lenguaje oral. Nace la señalización, que consta inicialmente de señales eléctricas sencillas basadas en corriente continua, que permiten al usuario saber si el abonado destino está libre, cuándo debe marcar, etc y a los conmutadores conocer el abonado destino mediante una sucesión de pulsos que equivalen a dígitos.

Todo ello facilitó el incremento de capacidad en la red, en cuanto a número de abonados, de forma rápida y ordenada. Con el crecimiento del número de usuarios en la red, los enlaces entre centrales se hacían necesarios cada vez en mayor número, lo que propició la aparición de técnicas de multiplexión que permiten compartir un mismo medio de transmisión entre varias comunicaciones, disminuyendo de esta forma el coste de despliegue de la red.

En esta etapa queda también fijada la estructura del teléfono analógico tal y como lo conocemos hoy en día.



**Figura 2. Digitalización de la RTC**

La RTC, completamente analógica en sus orígenes, ha ido digitalizándose y ofreciendo un mayor número de servicios. Pero esta transición no ha sido brusca, sino que se ha ido realizando poco a poco, como se puede observar en la figura 2.

- En un principio todos los elementos de red eran analógicos. Los sistemas de transmisión eran explotados a baja frecuencia y usando técnicas de multiplexado por división de frecuencia. La conmutación era siempre espacial, usando matrices de conexiones para dar continuidad eléctrica a la señal hacia el enlace apropiado.
- Comienza digitalizándose los sistemas de transmisión. Se introducen convertidores analógico/digital a la salida de los conmutadores y se empiezan a utilizar técnicas de multiplexado por división de tiempo.
- A continuación se digitaliza también la conmutación. Ahora se realiza la conversión analógico/digital antes de entrar en el conmutador. Así es más fácil dotar a los nodos de funciones de conmutación temporal. Esta red en la que todo, salvo el bucle de abonado, es digital se conoce como la Red Digital Integrada (RDI).
- Lo último en digitalizarse es el bucle de abonado.

## 1.2 De la conmutación manual a la automática

La idea básica de las centrales automáticas es sustituir las operadoras por un mecanismo automático que realice las conexiones.

La primera instalación comercial data de 1892-5, y pertenece a Strowger. Consiste en un conmutador de 100 líneas conocido como Paso a Paso (Step by Step o SxS), y es el primer sistema de conmutación automática usado de forma masiva.

La idea básica de un conmutador de Strowger se basa en los siguientes elementos:

**Selector Único:** Un brazo metálico se mueve a través de un conjunto fijo de contactos (banco de contactos) dispuestos circularmente, donde cada contacto se conecta a un canal de salida, como se muestra en la figura 3. Podemos agrupar varios selectores únicos para que múltiples circuitos de entrada puedan ser conectados a múltiples circuitos de salida.

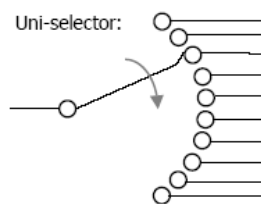


Figura 3. Selector único

**Selectores con dos grados de movimiento (vertical y circular):** Los distintos circuitos de entrada se agrupan en un arco, que a su vez forma parte de una pila, por lo que tendremos diferentes niveles o alturas, como se muestra en la figura 4.

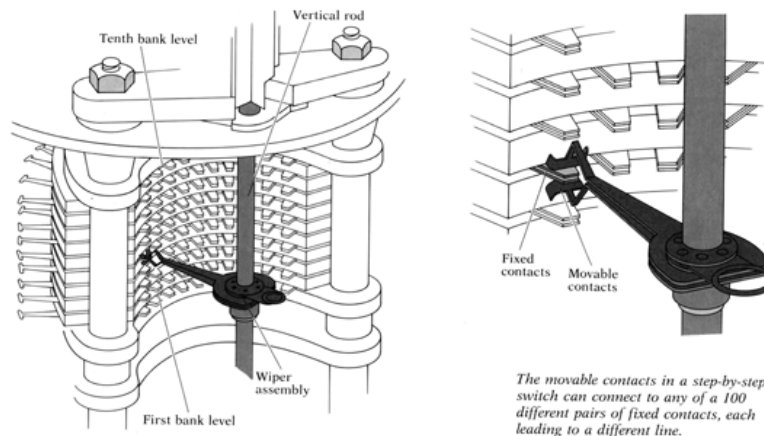


Figura 4. Selectores con dos grados de movimiento.

El conmutador es el resultado de la agrupación en serie de ciertos grupos básicos:

- **Buscador de Línea (L.F.):** Se encarga de encontrar una línea de usuario que esté activa (teléfono descolgado) y conectarla con una de las líneas internas de llamada que se encuentre libre. A dicha línea interna estarán conectados también los distintos Selectores Primarios de Grupo. El Buscador de Línea actúa como una etapa de

concentración a la entrada limitando el número de abonados que pueden hablar a la vez.

- **Selectores Primarios de Grupo (G.S. 1):** Utiliza selectores con dos grados de movimiento que proporcionan el tono de invitación a marcar. Cuando reciben el primer dígito suben tantos niveles en altura como pulsos, pasando a continuación a seleccionar en esa altura el primer enlace libre que una con un Selector Secundario de Grupo.
- **Selectores Secundarios de Grupo (G.S. 2):** Al igual que los primarios elevan el brazo al piso correspondiente en función de los pulsos recibidos en el segundo dígito y una vez allí seleccionan el primer enlace libre que una con el siguiente selector. Este proceso continúa hasta alcanzar los Selectores Finales.
- **Selectores Finales (F.S.):** Reciben los dos últimos dígitos, en función de los cuales seleccionan al abonado final. El primer dígito fija la altura a la que debe colocarse el abonado y el segundo la posición dentro de dicha altura. Constituye por tanto una etapa de expansión, ya que todos los usuarios deben ser capaces de acceder a las líneas internas.

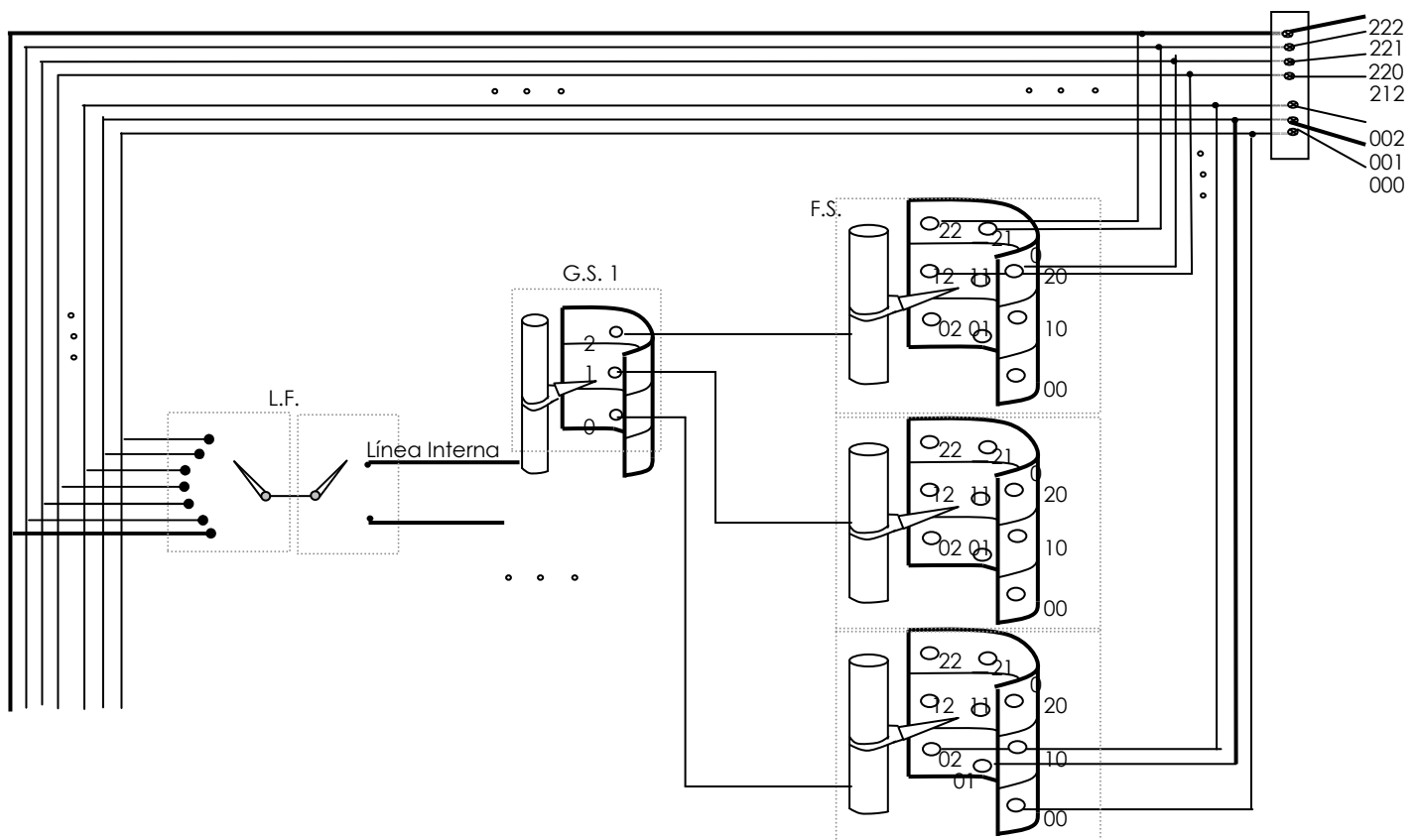


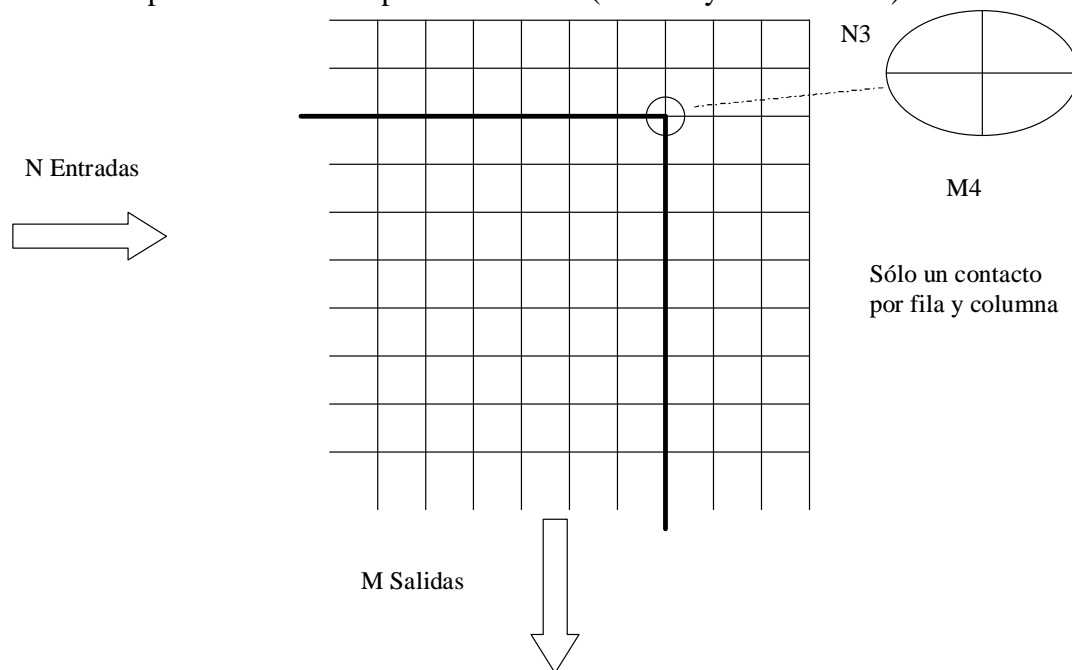
Figura 5. Esquema de conmutador con una sola línea interna

La figura 5 presenta el esquema simplificado para un caso hipotético de una sola línea interna, donde tan sólo existen 3 dígitos (0,1,y 2) y cada usuario se identifica con 3 cifras.

El funcionamiento de la central es gobernado directamente por el usuario mediante la marcación del número destino, lo que provoca el control sobre los selectores de las sucesivas etapas (de ahí su nombre de centrales paso a paso).

Sobre 1930 aparece una nueva tecnología de conmutación automática conocida como barras cruzadas (*crossbar*), que consiste en una matriz rectangular de contactos dispuestos en filas y columnas, operados por barras horizontales y verticales, como muestra la figura 6. Dichas barras eran movidas mediante la activación de electroimanes que hacían que las barras horizontales y verticales pivotaran para unir dos contactos en un punto de cruce, activando así un camino entre una entrada y una salida, como muestra la figura 7.

Una matriz típica contenía 200 puntos de cruce (10 filas y 20 columnas).



**Figura 6. Matriz de barras cruzadas.**

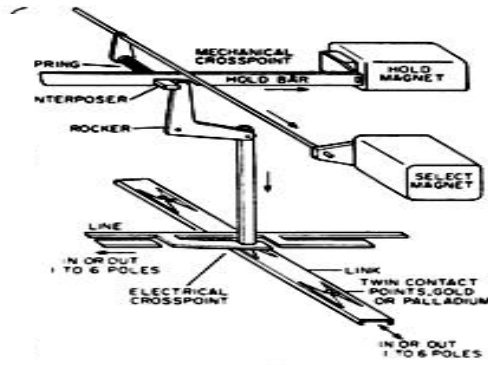


Figura 7. Mecanismo de barra cruzada

La figura 8 muestra un esquema del funcionamiento del conmutador completo.

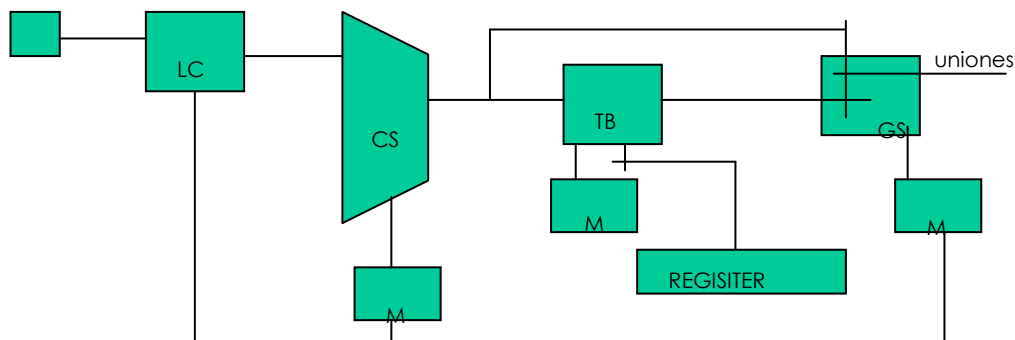


Figura 8. Esquema del conmutador

Las líneas de circuito de usuario (LC) detectan la intención de llamar y se lo comunican al marcador, que se encarga de conectar la línea entrante en la etapa de concentración con un puente de transmisión (TB) libre que le permita acceder al registrador. El registrador (REGISTER) se encarga de recibir los números marcados por el llamante, transformándolos en señales que producen la selección de ruta apropiada. Existe un banco común de registradores que son asignados al ser requeridos por las llamadas entrantes. El número de registradores necesarios es mucho menor que el de conexiones, ya que éstos se utilizan sólo durante el establecimiento de conexión.

La activación de los electroimanes apropiados en la etapa de concentración (CS) y selector de grupo (GS) es llevada a cabo por el marcador (M), que sirve en exclusiva a un conjunto de matrices de conmutación. Una vez establecida la conexión los registradores y marcadores son liberados para atender a una nueva conexión, correspondiendo al puente de transmisión la supervisión durante la duración de la llamada.

Los mecanismos utilizados por estos conmutadores son de mayor simplicidad y fiabilidad que los primitivos conmutadores de Strowger. El uso de registradores representa un control central, frente al control distribuido de los conmutadores SxS, ya que un circuito de control (marcadores o registradores) deberá ser compartido por varias matrices de conmutación.



### 1.3 Compartiendo enlaces entre centrales: Multiplexión por División en Frecuencia (FDM)

Hasta ahora cada conversación utilizaba un circuito físico diferente, por lo que podemos hablar de multiplexión espacial. Sin embargo, los enlaces que unen las distintas centrales tienen un elevado coste en parte por las grandes distancias que deben cubrir y en parte por que las bajas pérdidas necesarias obligan a utilizar cables de gran sección. Para mejorar el rendimiento de la transmisión sobre éstos cables se desarrollaron técnicas de multiplexión por división en frecuencia (FDM). Que habíamos estudiado en el tema anterior.

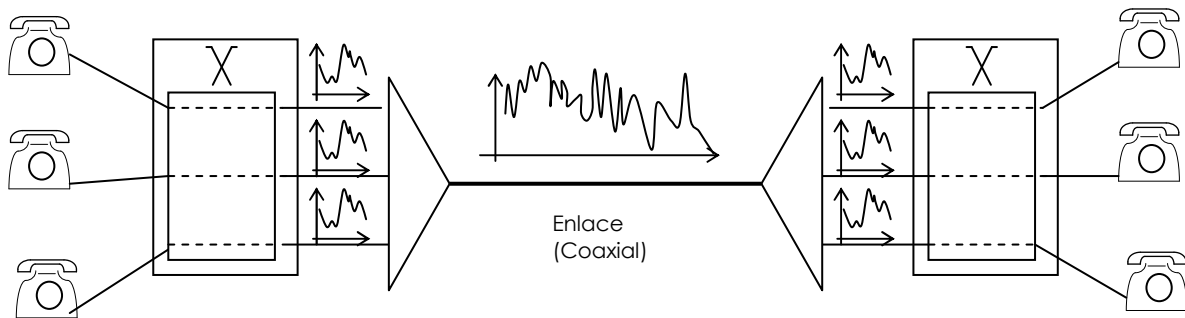


Figura 9. Multiplexión por división de frecuencia

El esquema de FDM se muestra en la figura 9. La multiplexión por división en frecuencia permite enviar varias señales a la vez por un mismo medio de transmisión. Cada señal se sitúa en una frecuencia diferente, de tal forma que el destino las señales serán filtradas y separadas en función de la frecuencia en la que se encuentran. La multiplexión por división en frecuencia se utiliza por primera vez en 1937, fecha en la que se instala el primer cable coaxial entre dos centrales.

En el multiplexor se utiliza modulación analógica en amplitud (AM), que consiste, como muestra la figura 10 en multiplicar un canal telefónico por una portadora senoidal de frecuencia  $f_i$ , lo que provoca el desplazamiento de la señal original a la frecuencia portadora.

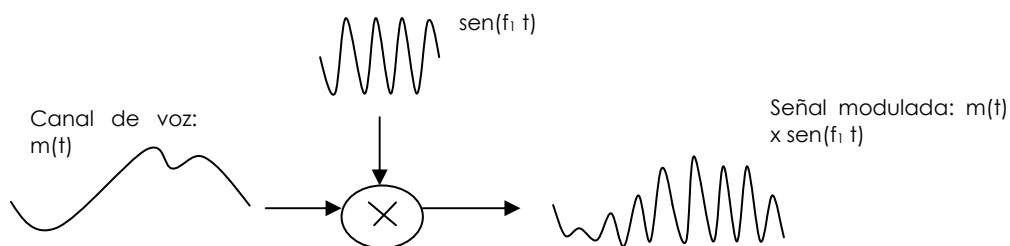
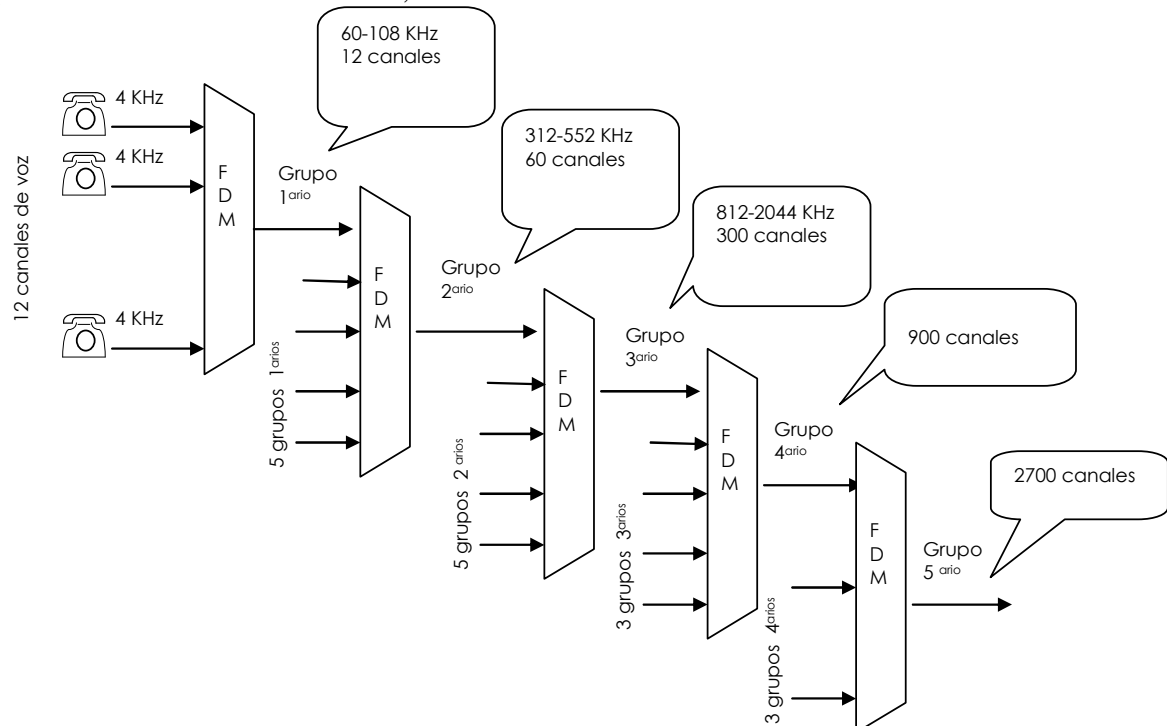


Figura 10. Modulación analógica en amplitud (AM)

El multiplexor filtra la señal de entrada para limitar su espectro en frecuencia (normalmente a 4 kHz). Cada canal de entrada es modulado con una portadora distinta de los demás canales de entrada. Las frecuencias portadoras deben estar lo suficientemente separadas para que las señales de entrada no se solapen. Tras ello podemos sumarlas directamente, enviando la señal resultante a través del enlace.



**Figura 11. Esquema normalizado de multiplexión en frecuencia de la UIT-T**

En la etapa de demultiplexión se comienza filtrando las señales en función de las frecuencias portadoras, lo que permite recuperar cada canal por separado. Estos canales sufrirán un proceso posterior de demodulación que permitirá recuperar la señal original.

Para facilitar la multiplexión de señales telefónicas, la ITU-T normalizó los valores de las frecuencias portadoras, así como diferentes etapas de multiplexión, como se muestra en la figura 11. Los distintos canales de voz se van agrupando en etapas sucesivas denominadas niveles de multiplexión. En cada nivel se incluyen uno a más señales piloto, que son tonos de amplitud constante y frecuencia conocida utilizados para el control automático de la banda ocupada a efectos de igualación en nivel. Esta estructura de multiplexión se puede encontrar más detallada en el tema 2.

#### 1.4 El teléfono analógico

Sobre principios del siglo XX(1905), el aparato telefónico incorpora discos de marcación que permiten emitir un número de pulsos en función del dígito marcado. Así mismo se mejoran los emisores y se elimina la batería local de alimentación, tomando la energía eléctrica directamente desde la central de conmutación local. El esquema del aparato telefónico, mostrado en la figura 12 ha permanecido prácticamente inalterado, en su esencia, desde 1925 hasta hoy en día.

Básicamente consta de las siguientes partes:

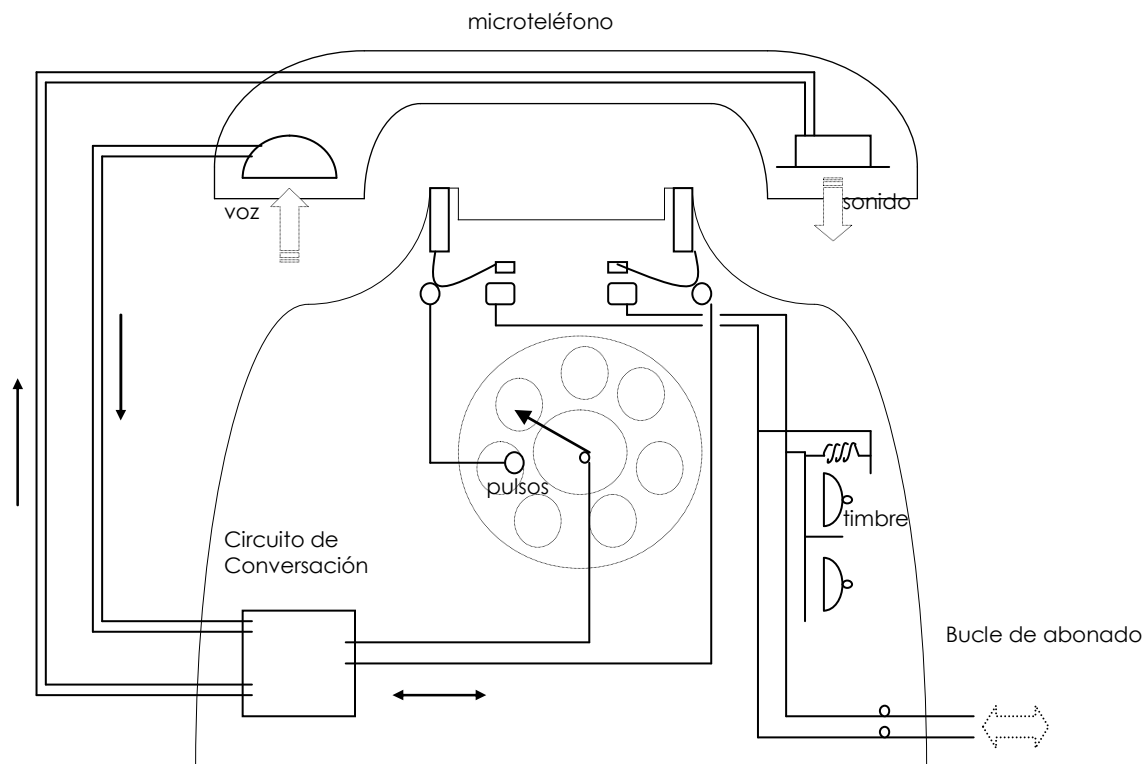
Arquitectura de Redes Sistemas y Servicios

Curso 2010/11

Isabel Román Martínez

Rafael Estepa Alonso

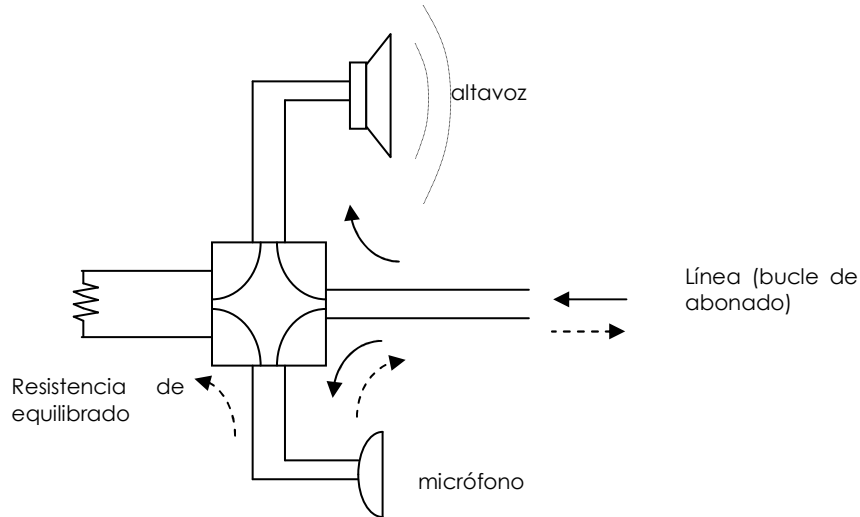
En primer lugar el **microteléfono**, cuyo emisor consiste en un micrófono de carbón que consta de un diafragma accionado por ondas sonoras que varían la presión ejercida sobre el granulado de carbón, cambiando así su resistencia. Como el teléfono está alimentado eléctricamente a 48 V, la intensidad que atraviesa el micrófono variará conforme las ondas de presión sonoras, logrando emitir señales a distancias de hasta 20 km. Hoy en día se utilizan micrófonos de mayor calidad (tipo condensador) aunque de menor alcance. El parámetro que caracteriza al micrófono es su curva de sensibilidad, que nos ofrece, para las distintas frecuencias de la onda sonora, el rendimiento de la conversión electroacústica; esto es, voltios generados en función de los Pascales recibidos en la onda de presión.



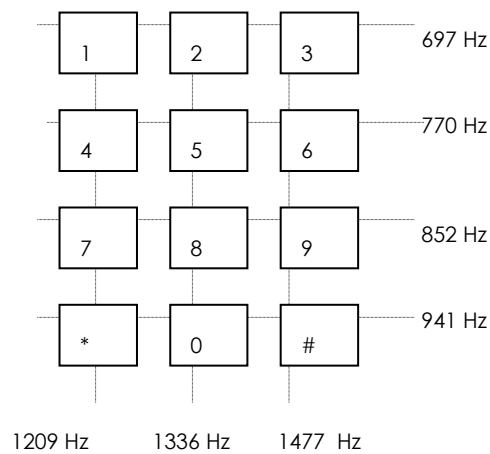
**Figura 12. El teléfono analógico**

En segundo lugar tenemos el **circuito de conversión**, que efectúa la conversión de dos a cuatro hilos, permitiendo el funcionamiento bidireccional y el acoplamiento de las impedancias del micrófono, auricular y línea. Se basa en una bobina híbrida, que no es más que un transformador especial que divide la potencia a partes iguales entre cualesquiera dos puertas adyacentes, impidiendo el paso de potencia a la puerta opuesta.

La figura 13 muestra el funcionamiento de la bobina híbrida. Debemos tener en cuenta el efecto local, que se da cuando el equilibrado no es perfecto. Dicho efecto es responsable de que parte de la potencia del micrófono pase al altavoz, actuando así como realimentación para el hablante, que al no escuchar su voz por el auricular, tendería a elevar el volumen.



**Figura 13. Bobina híbrida**



Por último el teléfono consta de una serie de **elementos de señalización y auxiliares**, como son el timbre, el gancho conmutador que desconecta la red de conversación y el disco marcador, que genera los pulsos a una velocidad de 10 por segundo con una interrupción de 1/16 segundos entre cada pulso. El teléfono ha evolucionado, gracias a los avances en electrónica, por ejemplo actualmente se permite la marcación por tonos (multifrecuencia o MF), donde cada número se representa por la suma de dos tonos, como se muestra en la figura 14.

2.

## 2. DIGITALIZACIÓN DE LA TRANSMISIÓN

### 2.1 Introducción

Tras el desarrollo de los primeros transistores la RTC comienza a digitalizarse. En primer lugar se digitaliza la transmisión en enlaces de larga distancia. Los primeros sistemas de transmisión digital para redes de telefonía aparecen en 1963, y permiten la multiplexión de varios circuitos de voz digitalizada con MIC (PCM) para su transmisión digital en enlaces de larga distancia. Estos sistemas de transmisión fueron sustituyendo de forma progresiva a los analógicos que utilizaban multiplexión por división en frecuencia, que continuaron en servicio hasta los años 80.

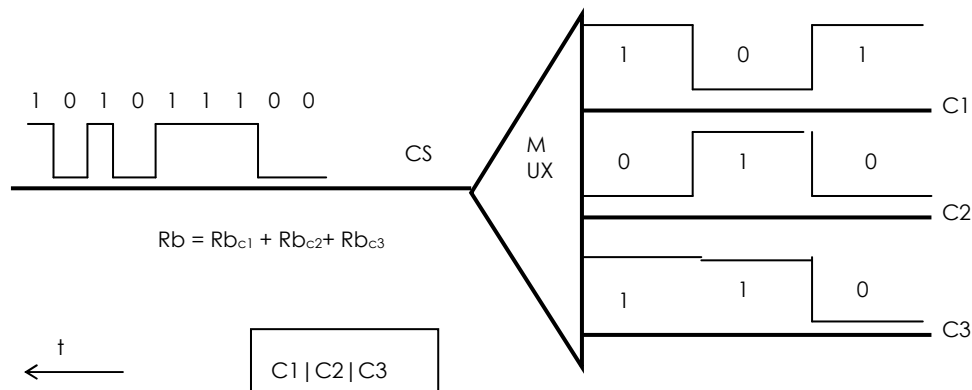


Figura 15. Multiplexión por división en el tiempo estática

La multiplexión por división en el tiempo (TDM), como ya vimos, divide el tiempo de transmisión en intervalos (time slot) que son asignados a los distintos canales de entrada. En la TDM determinista los intervalos de tiempo están asignados de forma estática, como se muestra en la figura 15, lo que permite recuperar los canales de entrada en el receptor simplemente leyendo de la línea en el instante adecuado. En este caso el régimen binario a la salida deberá ser igual a la suma del de los canales de entrada y estará formado por bits correspondientes a las entradas con una cierta estructura que se repite en el tiempo, denominada trama. La asignación de los slot a los canales de entrada puede ser ponderada de modo que algunos transmitan más información que otros. En función de cuántos bits se toman de cada canal de entrada podremos distinguir entrelazado de bit o de palabras, si se toma un bit de cada canal de entrada o un conjunto de bits (palabra). A los flujos de entrada a un multiplexor se les suele conocer como afluentes, tributarios o cargas del múltiplex de orden superior.

*Ejemplo: Tenemos tres canales de entrada digitales de velocidades 10,20 y 40 bit/s respectivamente. ¿Qué régimen binario necesitará a la salida?. ¿cual será el tiempo de bit a la salida del multiplexor?. Dibujar una posible trama de salida para este caso.*

*Ejemplo: En la salida de un multiplexor dispongo de un régimen binario de 60 Mbit/s. La trama está formada por 3,5,3,y 2 bits correspondientes a cuatro canales de datos y otro bit denominado A que en las tramas pares se fija a 1 y en las impares lleva un canal de alarmas. ¿Qué capacidad tendrá cada canal? 18/14, 18/14,30/14,12/14 \* 10<sup>7</sup> bit/s, el de alarma 60/28 \* 10<sup>6</sup> bit/s*

*Ejemplo: Queremos transmitir 4 canales. Dos provenientes de una señal vocal (frec. 4kHz) y uno de una señal de música de frecuencia máxima 8 kHz. Todos ellos se han digitalizado con PCM a 8 bit por muestra. El cuarto canal es de señalización digital y tiene un régimen binario de 64 kbit/s. ¿cuál será una posible trama usando entrelazado de bytes?. ¿Qué régimen binario tendré a la salida?. Sol.: M/V1/V2/M/S, 320 kbit/s. Calcule el tiempo de trama y el número de tramas por segundo.*

## 2.2 Concepto de sincronismo.

### 2.2.1 Transmisión asíncrona v.s. síncrona

En este tipo de multiplexión cada comunicación tiene asignado el instante en el que debe transmitirse información de la misma y el demultiplexor puede extraer esa comunicación al leer la información justo en el instante adecuado. Es por eso que se necesita una sincronización entre el que pone la información en el medio de transmisión y el que debe leerla.

Cuando el modo de transmisión entre dos equipos es asíncrono éstos no tienen un reloj común. Sin embargo es imprescindible que el receptor sepa en qué instante recibe un bit y cuál es la duración del mismo, ya que tiene que recogerlo del enlace para interpretar la información que le está llegando. Para conseguir esta imprescindible sincronización el emisor envía la información en bloques de palabras (o caracteres), cada vez que va a transmitir una palabra nueva envía un bit especial denominado bit de comienzo o arranque, que indicará al receptor que a partir de ese momento va a comenzar a recibir una palabra. Terminada la transmisión de la palabra el emisor envía uno (o varios bits) denominados de final o parada, que indican al receptor que la palabra ha terminado. Como la longitud de la palabra es fija (normalmente 8 bits) el receptor puede leer e interpretar esta información sin problemas y sin la necesidad de compartir un reloj con el emisor. La figura 16 muestra el caso de una transmisión asíncrona. El mayor problema de este mecanismo es la necesidad de insertar bits adicionales de parada y espera que disminuyen el rendimiento de las líneas de transmisión.

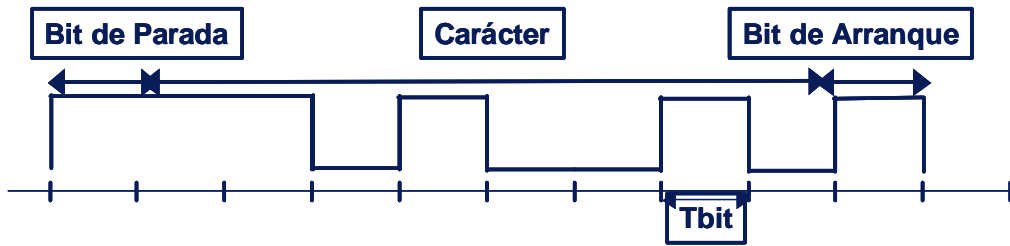


Figura 16. Transmisión asíncrona

Cuando el modo de transmisión es síncrono los datos se transmiten con un ritmo fijo, marcado por un reloj o base de tiempo *común* a los equipos transmisor y receptor. Se denomina sincronismo al establecimiento de este reloj con la finalidad de interpretar adecuadamente las señales recibidas. Cuando existe este sincronismo los equipos involucrados en una transmisión conocen el instante exacto en que debe aparecer determinada información, de este modo las tareas de inserción, recuperación o conmutación de los datos del canal resultan mucho más sencillas.

**Cuestión 1.** Analice cómo la sincronización facilita la multiplexión por división en el tiempo.

Además no es necesario transmitir bits de arranque y parada para indicar el comienzo y el final de la transmisión, como ocurría con las transmisiones asíncronas. Esto conlleva un mejor aprovechamiento de la capacidad del enlace, ya que toda la información transmitida es útil. La figura 17 muestra el caso de una transmisión síncrona. Como se puede apreciar el receptor conoce dónde comienza y termina cada bit sin necesidad de que el emisor añada ninguna información adicional.

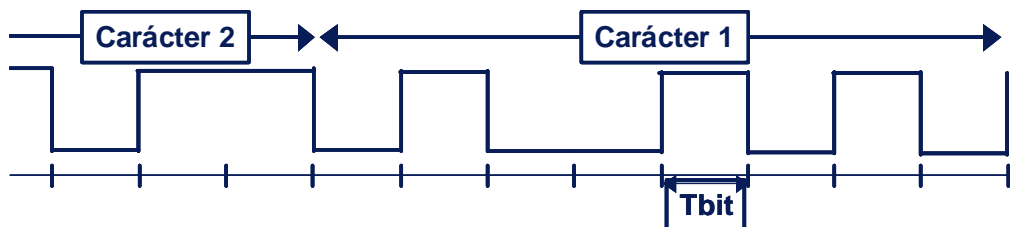


Figura 17. Transmisión síncrona

Todos los componentes de un sistema de transmisión digital necesitan una señal de reloj para su funcionamiento. Utilizando ésta señal se generarán las secuencias de unos y ceros, es decir la información digital, con un régimen binario determinado. La figura 18 muestra cómo la frecuencia de reloj determinará el tiempo de bit de la señal digital generada por el dispositivo. El comienzo de cada bit vendrá marcado por la fase del reloj. Dentro de un dispositivo, donde las distancias son pequeñas, existe un reloj que proporciona el sincronismo para todos los elementos que lo componen. Así en un computador, o en una central de conmutación, todos los componentes funcionan exactamente a la misma frecuencia. Si las distancias entre los componentes del sistema aumentan, como ocurre en un sistema de transmisión, conseguir un reloj común resulta más complejo y puede requerir de toda una red adicional de sincronización.

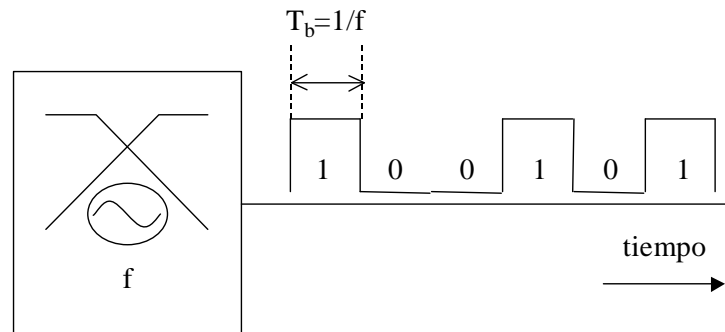


Figura 18. Generación de pulsos a partir de la frecuencia de reloj

### 2.2.2 Problemas de sincronismo

Para que la transmisión sea perfectamente síncrona el reloj utilizado para generar la señal transmitida al enlace debería ser exactamente igual, en frecuencia y fase, que el utilizado para leer los datos recibidos. Así el receptor leería los datos con el mismo régimen binario que fueron generados y recogería los datos del enlace justo en el momento apropiado. Sin embargo ciertos factores dificultan el sincronismo:

- **Relojes imperfectos**

Hay que comenzar distinguiendo dos conceptos fundamentales, la **frecuencia nominal** y la **frecuencia instantánea**. Los relojes de dos equipos que deben estar sincronizados se ajustan a la misma frecuencia, ésta es la denominada **frecuencia nominal**. Sin

$$\frac{|f_n - f_i|}{f_n}$$

embargo en un instante determinado la frecuencia real que genera el reloj de un dispositivo, la denominada **frecuencia instantánea**, es muy difícil que sea exactamente igual a la nominal, con lo que dos relojes ajustados a la misma frecuencia nominal es difícil que trabajen a la misma frecuencia instantánea exactamente. Este fenómeno se suele denominar **fluctuación o deriva de frecuencia** y es debido a las imperfecciones propias de los relojes de manera que depende en gran manera de la calidad de los mismos. Se podría cuantificar como:

La primera causa de deriva de frecuencia es la precisión con la que un reloj puede ser sintonizado. Si se puede sintonizar el reloj con una precisión de  $x$  Hz la frecuencia instantánea puede variar hasta  $x$  Hz por debajo o por encima de la nominal. De este modo la diferencia entre las frecuencias instantáneas de dos relojes ajustados a la misma frecuencia nominal puede llegar hasta los  $2x$  Hz desde el momento mismo de la sincronización. La segunda es la estabilidad del reloj, es decir el modo en que éste cambia su frecuencia en un periodo de tiempo como resultado del envejecimiento. Un reloj ajustado a una frecuencia nominal acaba desviándose de ésta y trabajando con una frecuencia instantánea distinta. De este modo la desintonización con cualquier otro reloj



que fuera ajustado a la misma frecuencia nominal y que funcione de forma aislada a éste es cada vez mayor.

De esta forma un equipo puede estar generando información usando un reloj de frecuencia  $f_a$  y, en el otro extremo del enlace, se está interpretando la información como si llegara a una frecuencia  $f_a \pm \Delta f$ . Esto es lo mismo que decir que un equipo transmite con un régimen binario de  $R_b$  bit/s y en el otro extremo se lee a  $R_b \pm \Delta R_b$  bit/s.

- **Fluctuación de fase**

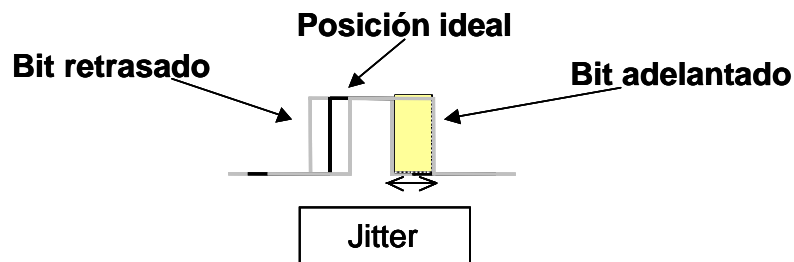


Figura 19. Concepto de Jitter

Se pueden producir fluctuaciones en la fase de la señal de reloj. Este fenómeno también es conocido como **Jitter**. El efecto es el desplazamiento del elemento de señal, los bits, con respecto a la posición ideal que deberían ocupar en el tiempo, como se representa en la figura 19. En todas las transmisiones digitales se da este fenómeno como resultado de la acumulación de pequeñas imprecisiones de temporización a lo largo de regeneradores y multiplexores. El mayor inconveniente de este fenómeno es que es acumulativo no pudiendo eliminarse y empeorando por tanto con la longitud de la línea de transmisión. Este fenómeno limita la longitud máxima de las líneas de transmisión digitales.

- **Variación del retardo de transmisión**

El tiempo de propagación de la señal en el sistema de transmisión puede cambiar. Esto provoca que la información se adelante o se atrase con respecto a la posición que debería ocupar, incluso aunque las frecuencias sean exactamente iguales. Por ejemplo, la velocidad de propagación de la señal en el medio depende de la temperatura, por lo que cambios de temperatura provocan variaciones significativas en el retardo de propagación en la línea. También hay ocasiones en las que la longitud del camino de propagación puede variar, como ocurre con los enlaces con satélites que no estén en la órbita geostacionaria. El retardo puede ser modificado también a causa de reencaminamientos en la red. Cuando surge algún problema en una ruta, como puede ser la rotura de un enlace, hay sistemas en los que el tráfico de la red se reencamina a través de una ruta alternativa. Si en la nueva ruta se tiene un tiempo de propagación diferente (distinta longitud, distintos medios de transmisión...) también se pueden provocar deslizamientos de la información. Si la red utiliza el reencaminamiento para proteger el servicio es imprescindible tener muy presente este problema para llevar a cabo las medidas oportunas.

### 2.2.3 Deslizamiento de trama

Una de las primeras medidas para soportar pequeñas desviaciones en la frecuencia instantánea entre dos equipos separados por un enlace es que el receptor no lea los datos que llegan directamente del enlace si no de un buffer o memoria donde se van almacenando los bits que llegan desde el otro extremo. Así la escritura puede efectuarse a un ritmo, el que marca la frecuencia instantánea del emisor, y la lectura a otro ligeramente distinto, el que marca la frecuencia instantánea del receptor, sin peligro de perder datos, como se muestra en la figura 20. Evidentemente cuanto mayor sea el tamaño de esta memoria mayor será la desviación de frecuencias que se podrá soportar. Normalmente esta variación entre las frecuencias instantáneas que el sistema es capaz de soportar se expresa en partes por millón. Si, por ejemplo, en una línea de 2,048 Mbit/s se permiten variaciones de  $\pm 50$ ppm las variaciones de hasta 200 bit/s, son soportadas sin que se pierdan ni dupliquen datos. La figura 20 muestra como un nodo que recibe datos con frecuencia  $f_a$  puede enviarlos a un enlace de salida con otra frecuencia  $f_b$ , utilizando también un buffer a la entrada.

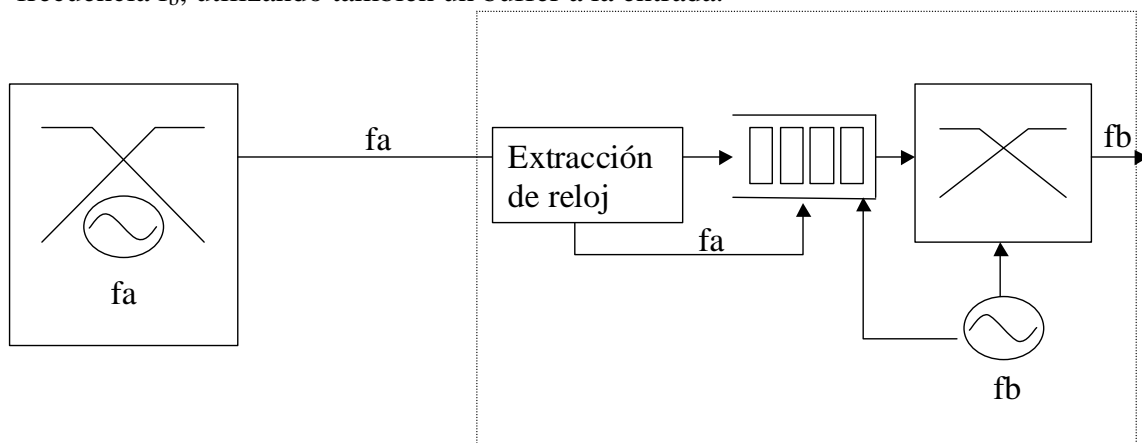
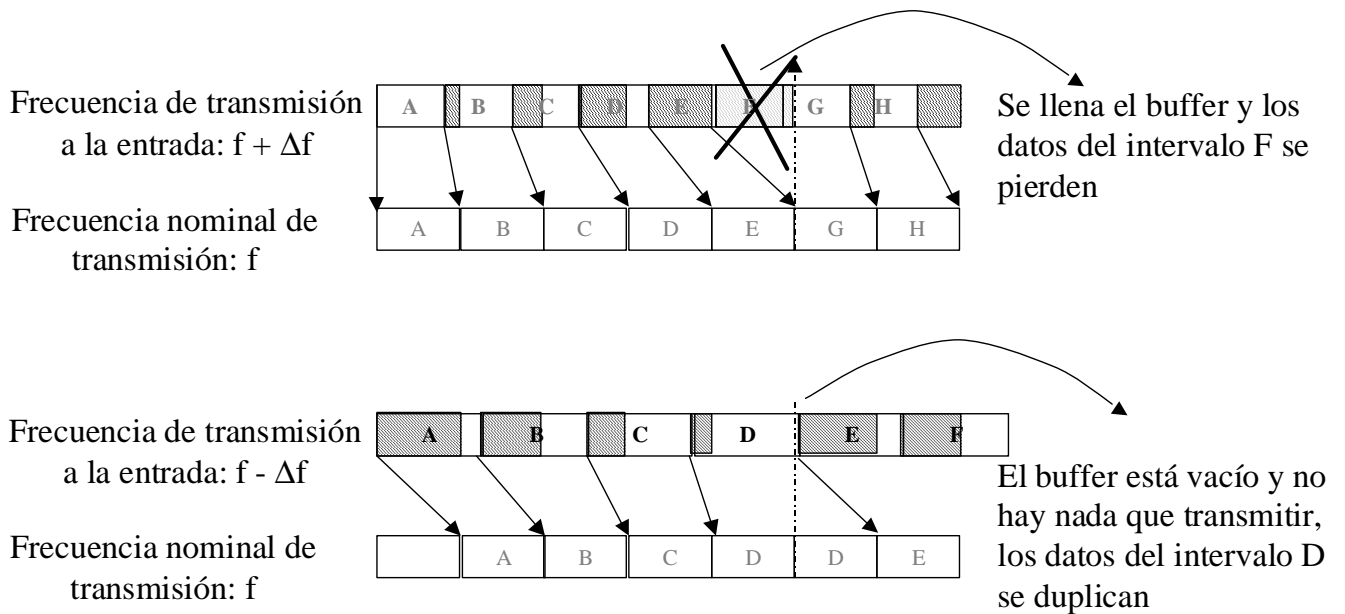


Figura 20. Lectura de datos desde memoria de entrada con el reloj propio

El fenómeno de “*Slip*” o **deslizamiento de trama** ocurre cada cierto tiempo en el sistema si existe una diferencia continuada, y en la misma dirección, entre las frecuencias de entrada y salida de la línea, es decir entre la frecuencia con que se escribe en el buffer y la frecuencia con que se lee de él.

Cada uno de estos deslizamientos implica un error dado que se pierde o inserta información en el siguiente enlace de forma inapropiada. La figura 21 representa lo que ocurre en un conmutador cuando el régimen binario de entrada al mismo es distinto al régimen binario con el que se leen los datos y se transmiten al siguiente enlace. Se considera la existencia de un buffer a la entrada del conmutador para soportar pequeñas fluctuaciones de frecuencia, sin embargo si la diferencia de frecuencias se mantiene cierto tiempo esta memoria no es capaz de soportar esa variación.



**Figura 21. Deslizamiento de trama**

El primer problema sería que el régimen binario a la entrada de la línea fuera mayor que el de lectura. En esta ocasión el buffer se empieza a llenar con datos que esperan a que les toque su turno para ser recogidos y transmitidos al siguiente enlace. Mientras el buffer no se ha llenado del todo no hay problema, cuando hay que leer algo se recoge de esta memoria. Pero si el buffer se llena los datos que lleguen a continuación se perderán, ya que no tienen donde guardarse hasta que les llegue su turno.

**Cuestión 2:** ¿Cree que habitualmente si un nodo no trabaja a su frecuencia nominal un buffer a la salida (de donde lee el receptor) soportaría bien las variaciones?

**Cuestión 3:** Si la diferencia no es continuada y en el mismo sentido ¿soporta la memoria de entrada las variaciones? ¿por qué?

**Cuestión 4:** Observe detenidamente la figura 21 para ver los problemas de deslizamiento de trama.

El otro problema sería tener un régimen binario en la línea de entrada menor que el que se utiliza para la lectura de los datos. El contenido del buffer irá disminuyendo de forma gradual, ya que se sacarán los datos más rápidamente de lo que se introducen, cuando se vacíe no habrá nada que transmitir al siguiente enlace. En este caso lo que suele hacer el equipo es volver a enviar la información anterior. Hay que considerar que mientras que las variaciones de velocidad no sean continuadas o no sean siempre iguales, es decir,

que unas veces la lectura sea más rápida que la escritura y otras al contrario, el buffer soporta estas variaciones y no ocurriría este fenómeno de deslizamiento de trama.

Además de la utilización de memorias de tamaño adecuado para controlar los deslizamientos existen otras técnicas como las de justificación, que veremos más adelante.

#### **2.2.4 Modos de operación**

Existen dos modos fundamentales de operación en la transmisión de la RTC

- **Plesiócrono**

Cada reloj del sistema opera de forma independiente. Es necesario entonces utilizar relojes de alta estabilidad y resintonizarlos periódicamente de forma manual con el fin de que operen dentro de unos límites muy cercanos a la frecuencia nominal de la red. De esta forma se intentará mantener los deslizamientos en un nivel aceptable. Se utilizan relojes muy caros y precisos. De todos modos siempre existe algún deslizamiento, por lo que se usan mecanismos como los de justificación vistos anteriormente. La jerarquía digital plesiócrona, que se verá más adelante en este mismo tema, sigue este modo de operación y se usa, sobre todo, en enlaces entre redes de distintos operadores o internacionales que conectan redes funcionando en modo síncrono.

**Cuestión 5.** ¿Por qué cree que se usa para conectar redes/operadores distintos?

- **Síncrono**

Todos los relojes están controlados por un mecanismo automático, de forma que todos operan en la misma frecuencia nominal. Existen uno o dos relojes de muy alta calidad y precio, por ejemplo relojes atómicos, que sirven de referencia y controlan las frecuencias de los demás que son más baratos y de menor calidad. Todos los relojes operan en la misma frecuencia, con lo que se evitan los desplazamientos en condiciones normales. La información de temporización se disemina desde el reloj primario de referencia (PRC) a todos los demás por una red superpuesta de control de sincronización. La jerarquía digital síncrona sigue este modelo y se suele utilizar en comunicaciones dentro de la red de un mismo operador.

**Cuestión 6.** <http://leapsecond.com/java/gpsclock.htm>. Revise esta web para obtener información interesante sobre los mecanismos de sincronización y los distintos métodos de medida de tiempo.

### **2.3 Jerarquía digital plesiócrona (PDH)**

#### **2.3.1 Introducción**

Cuando el modo de operación es plesiócrono no existe una red de sincronismo entre los nodos pero sí que se ajustan todos para trabajar con un reloj muy próximo a la

frecuencia nominal. Sin embargo, como se explicó anteriormente, la frecuencia instantánea puede tener ligeras variaciones respecto a esta frecuencia nominal. La jerarquía digital plesiócrona está basada en este modo de operación y se utiliza tradicionalmente en redes de telefonía para que varios canales telefónicos compartan un medio de transmisión utilizando técnicas de multiplexión por división en el tiempo. La estructura de las tramas de nivel físico que se forman para lograr esta multiplexión va a permitir una pequeña variación (siempre dentro determinados márgenes) de la frecuencia instantánea a la que trabaja cada nodo respecto a la nominal.

Al igual que en el caso analógico, la ITU-T estableció una jerarquía con diferentes grados de multiplexión, denominada jerarquía digital plesiócrona (o cuasisíncrona), donde los equipos multiplexores de cada nivel utilizaban relojes de alta precisión independientes. Esta jerarquía se conoce como PDH o Jerarquía Digital Plesiócrona (JDP), que permite multiplexar en un mismo medio de transmisión varios flujos de entrada asignando a cada uno de ellos intervalos de tiempo dentro de una trama de formato bien definido.

Existen tres jerarquías plesiócronas normalizadas: la europea, la americana y la japonesa. La figura 22 muestra la jerarquía europea. El primer eslabón de la jerarquía digital plesiócrona (o PDH) está formado por un grupo básico o grupo primario, definido en la recomendación G.732 para Europa. La velocidad de transmisión de este flujo de primer nivel es de 2048 kbit/s y se denomina E1. Aunque, como se verá en el siguiente punto el flujo E1 se obtiene con el entrelazado de octetos, a partir del E2 utilizaremos entrelazado de bit con cuatro entradas para formar los E2, E3, E4 y E5, que llevarán 120,480,1920 y 7680 canales de voz respectivamente. En los flujos E2,E3, ..., como puede comprobarse, la suma de las capacidades de los flujos de entrada en cada multiplexor no se corresponde con la capacidad del flujo de salida, esto es debido a que cada multiplexor introduce bits para la alineación de trama, la justificación, el control de justificación y otras tareas relacionadas con la transmisión.

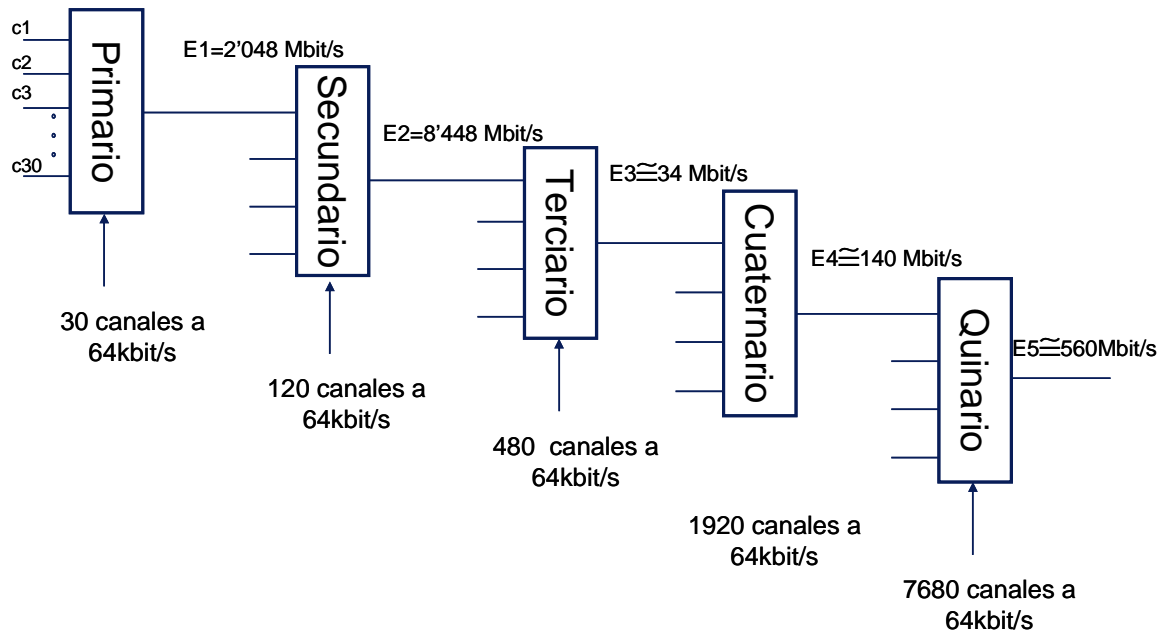


Figura 22. Jerarquía PDH europea

### 2.3.2 El primer nivel en la PDH europea: el multiplex MIC

La trama E1, la de primer nivel de la jerarquía PDH europea, se describe en la norma G.732 de la ITU-T. Se forma a partir de 30 canales analógicos vocales, típicamente en la central local donde se encuentra un equipo denominado multiplex MIC que realiza dos tareas: La modulación por impulsos codificados y la multiplexión de los 30 canales digitalizados, tal y como indica la figura 23.

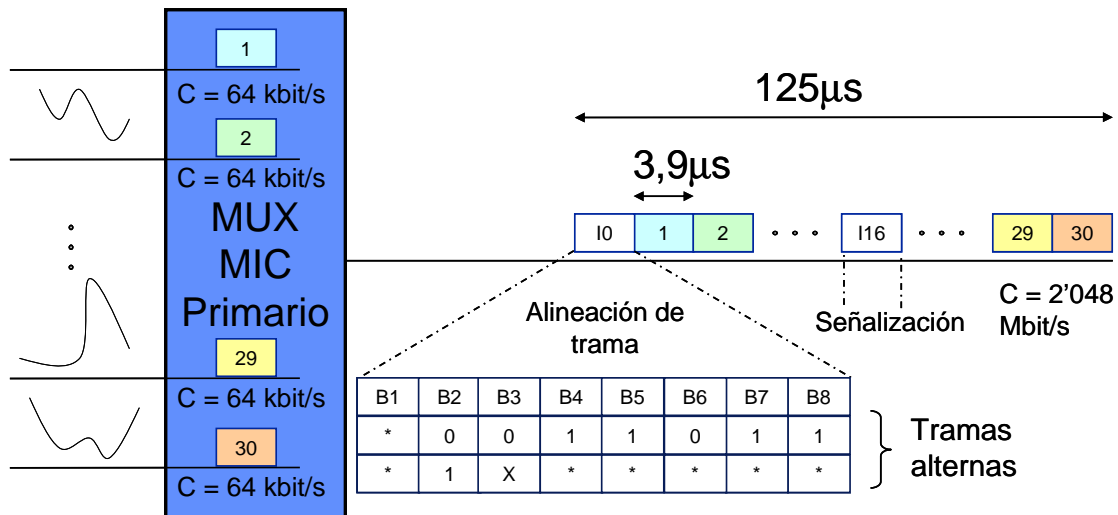


Figura 23. Formación de la trama de primer nivel, E1

Para la digitalización de cada canal se utiliza una frecuencia de muestreo de 8kHz, es decir un periodo de muestreo de 125μs. Cada muestra se codifica con 8 bits por lo que el régimen binario resultante para un canal vocal es de 64 kbit/s. Se utiliza una cuantización no uniforme basada en la ley de compresión A.

Para la multiplexión de los 30 canales digitales se monta una trama en la que se va a enviar una muestra de cada uno de los canales, la multiplexión se realiza octeto a octeto, como se aprecia en la figura 23. De modo que para mantener el régimen binario de 64kbit/s por canal la duración de la trama necesariamente será 125μs. Además de la información de los canales se añade información de control e información de señalización. El primer intervalo de tiempo de la trama se utiliza para tareas como la alineación de trama y control de alarmas, como se indica en la figura 24. El intervalo de tiempo 16 se utiliza para enviar la información de señalización. De manera que en total se necesitan 32 intervalos de tiempo de 8 bits, 30 para canales vocales, uno para tareas de control y otro para señalización, lo que da un régimen binario del flujo resultante tras la multiplexión 2048 kbit/s. Por eso los enlaces E1 se denominan comúnmente enlaces de 2 Megas, se transmite/recibe un flujo continuo de 2'048 Mbit/s.

### 2.3.3 Alineación de trama

Como se dijo anteriormente el intervalo de tiempo 1 de la E1 se utiliza para tareas de control y alineación. La figura 24 muestra el uso de los 8 bits de este intervalo de tiempo.

Número del bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Tramas alternadas								
Trama que contiene la señal de alineación de trama	$S_i$	0	0	1	1	0	1	1
	(Nota 1)	Señal de alineación de trama						
Trama que no contiene la señal de alineación de trama	$S_i$	1	A	$S_{a4}$	$S_{a5}$	$S_{a6}$	$S_{a7}$	$S_{a8}$
	(Nota 1)	(Nota 2)	(Nota 3)	(Nota 4)				
<b>NOTAS</b>								
<p>1 <math>S_i</math> son bits reservados para uso internacional. En 2.3.3 se describe un uso específico. En etapas posteriores se podrán definir otros usos posibles. Si ninguno de estos usos se realiza en la práctica, se deberán poner estos bits a 1 en los trayectos digitales que atraviesan una frontera internacional. No obstante, se pueden utilizar en el ámbito nacional si el trayecto digital no atraviesa una frontera.</p> <p>2 Este bit se pone a 1 para evitar simulaciones de la señal de alineación de trama.</p> <p>3 A <math>\square</math> indicación de alarma distante. En funcionamiento normal, puesto a 0, en condición de alarma, puesto a 1.</p> <p>4 <math>S_{a4}</math> a <math>S_{a8}</math> <math>\square</math> bits adicionales de reserva que pueden utilizarse como sigue:</p> <p>i) Los bits <math>S_{a4}</math> a <math>S_{a8}</math> pueden ser recomendados por el UIT-T para uso en aplicaciones punto a punto específicas (por ejemplo, equipos transcodificadores conformes a la Recomendación G.761).</p> <p>ii) El bit <math>S_{a4}</math> puede utilizarse como un enlace de datos basado en mensaje que ha de recomendar el UIT-T para operaciones, mantenimiento y monitorización de la calidad de funcionamiento. Si se accede al enlace de datos en puntos intermedios, con las alteraciones consiguientes del bit <math>S_{a4}</math>, los bits CRC-4 deben actualizarse para conservar las funciones correctas de terminación de trayecto de extremo a extremo asociadas con el procedimiento CRC-4 (véase 2.3.3.5.4). El protocolo y los mensajes del enlace de datos quedan en estudio.</p> <p>iii) Los bits <math>S_{a5}</math> a <math>S_{a7}</math> son para uso nacional cuando no se les necesita para aplicaciones punto a punto específicas [véase el inciso i) anterior].</p> <p>iv) Uno de los bit <math>S_{a4}</math> a <math>S_{a8}</math> puede utilizarse en una interfaz de sincronización para transportar mensajes de situación de sincronización de la jerarquía digital plesiócrona, que se describen en 2.3.4.</p> <p>Los bits <math>S_{a4}</math> a <math>S_{a8}</math> (cuando no se utilizan) deben ponerse a 1 en enlaces que atraviesan fronteras internacionales.</p>								

**Figura 24. Utilización del primer intervalo de tiempo de la trama E1. Cuadro 5A/G.704**

**Cuestión 7.** Calcule el régimen binario destinado a la señal de alineación de trama.

**Cuestión 8.** Calcula la capacidad del canal de indicación de alarma distante (A).

**Cuestión 9.** Calcule la capacidad del canal  $S_i$ .

Cuando se quiere recuperar uno de los canales multiplexados en el enlace será necesario identificar dónde está el principio de trama en el flujo que se está recibiendo para así saber dónde se encuentra cada canal de 64 kbit/s. De manera que es necesario mantener una alineación al principio de trama que se consigue gracias a la señal de alineación de trama que se transmite en una de cada dos tramas.



En el caso de que se pierda esta referencia en un momento determinado es necesario volver a encontrar esa señal de alineación.

### 2.3.4 Las jerarquías europea, americana y japonesa

En Estados Unidos y Japón se utilizan distintas jerarquías de multiplexión. Ambas jerarquías coinciden en el primer y el segundo nivel, pero a partir de aquí difieren, como se muestra en la figura 25 y la figura 26.

Nivel	Circuitos	Velocidad	Cargas de orden inferior
T1	24	1,544 Mbit/s	
T2	96	6,312 Mbit/s	4
T3	672	44,736 Mbit/s	7
T4	2016	139,264 Mbit/s	3

**Figura 25. PDH americana**

Nivel	Circuitos	Velocidad	Cargas de orden inferior
J1	24	1,544 Mbit/s	
J2	96	6,312 Mbit/s	4
J3	480	32,064 Mbit/s	5
J4	1440	97,728 Mbit/s	3

**Figura 26. PDH japonesa**

La trama T1, la de primer nivel de las jerarquías americana y japonesa, se describe en la norma G.733 de la ITU-T. Se forma a partir de 24 canales analógicos vocales. En este caso el multiplex MIC utiliza también una frecuencia de muestreo de 8kHz para cada canal, igual que en Europa. Sin embargo cada muestra es de 7 bits aunque se añade un bit más para señalización. La cuantificación es también no uniforme pero se utiliza la Ley  $\mu$  para la compresión. La trama tiene también una duración de 125 $\mu$ s y a parte de los 24 intervalos de tiempo de 8 bits (uno para cada canal vocal) se añade un bit más para tareas de alineación y control, de este modo el régimen binario resultante en la línea es de 1544 kbit/s. Si es necesario hacer una conexión entre redes que utilizan distinta trama básica la adaptación ha de ser de la G.733 a la G.732.

También se utiliza una estructura de multitrama formada por 24 tramas T1, esta estructura se muestra en la figura 27.

Número de trama en la multitrama	Bits F				Número(s) de bit en cada intervalo de tiempo de canal		Denominación del canal de señalización <sup>a)</sup>
	Número de bit en la multitrama	Asignaciones			Para la señal de carácter <sup>a)</sup>	Para la señalización <sup>a)</sup>	
		FAS	DL	CRC			
1	1	–	m	–	1 a 8	–	A
2	194	–	–	e <sub>1</sub>	1 a 8	–	
3	387	–	m	–	1 a 8	–	
4	580	0	–	–	1 a 8	–	
5	773	–	m	–	1 a 8	–	
6	966	–	–	e <sub>2</sub>	1 a 7	8	
7	1159	–	m	–	1 a 8	–	
8	1352	0	–	–	1 a 8	–	
9	1545	–	m	–	1 a 8	–	
10	1738	–	–	e <sub>3</sub>	1 a 8	–	
11	1931	–	m	–	1 a 8	–	
12	2124	1	–	–	1 a 7	8	B
13	2317	–	m	–	1 a 8	–	
14	2510	–	–	e <sub>4</sub>	1 a 8	–	
15	2703	–	m	–	1 a 8	–	
16	2896	0	–	–	1 a 8	–	
17	3089	–	m	–	1 a 8	–	
18	3282	–	–	e <sub>5</sub>	1 a 7	8	C
19	3475	–	m	–	1 a 8	–	
20	3668	1	–	–	1 a 8	–	
21	3861	–	m	–	1 a 8	–	
22	4054	–	–	e <sub>6</sub>	1 a 8	–	
23	4247	–	m	–	1 a 8	–	
24	4440	1	–	–	1 a 7	8	D

FAS Señal de alineación de trama (*frame alignment signal*) (. . . 001011 . . .).

DL Enlace de datos (*data link*) a 4 kbit/s (bits de mensaje m).

CRC Campo de verificación de bloques CRC-6 (bits de verificación e<sub>1</sub> a e<sub>6</sub>).

a) Sólo es aplicable en el caso de señalización asociada al canal (véase 3.1.3.2).

**Figura 27. Estructura de multitrama en un enlace T1. Cuadro 1/G.704**

**Cuestión 10.** Para las tramas E1 y T1 calcule el régimen binario que no es utilizado para canales de datos.

### 2.3.5 Niveles superiores en PDH: técnicas de justificación

Las tramas de primer orden se forman muestreando las señales analógicas de la entrada utilizando una señal de muestreo de 8kHz obtenida a partir del reloj del multiplex MIC, por tanto todas las señales se muestrean con el mismo reloj y no hay ningún problema

de desincronización entre ellas. Por tanto estas tramas de primer nivel no contienen ningún espacio de justificación, sin embargo para el resto de niveles sí se definen espacios en las tramas en los que puede haber información o no, los denominados bits de justificación. Estos mecanismos de justificación permitirán que los tributarios que se introducen en el múltiplex puedan tener un régimen binario distinto al nominal siempre y cuando se mantengan dentro de los márgenes establecidos.

- **Justificación positiva**

El mecanismo de justificación más sencillo es la justificación positiva. En este caso en el múltiplex, a la salida del multiplexor, se reserva para un afluente determinado más capacidad de la que éste necesitaría si tuviera el régimen binario nominal. De manera que el régimen binario del espacio de carga correspondiente dentro del múltiplex es superior al régimen binario nominal del afluente. En caso de que no se necesite el espacio adicional para meter los datos del afluente el multiplexor inserta información de relleno (justificación +). De algún modo habrá que indicar si lo que viaja en este espacio adicional son datos útiles o es información de relleno, para eso es necesario añadir también un campo de control de justificación. En la figura 28 se muestra un esquema con esta idea.

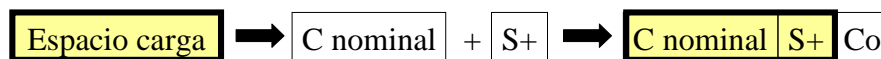


Figura 28. Justificación positiva

- **Justificación positiva/nula/negativa**

La justificación positiva/nula/negativa se basa en el mismo principio. En este caso el espacio de carga reservado a un afluente dentro del múltiplex es exactamente igual al que necesitaría si tuviera el régimen binario nominal. Fuera de este espacio de carga se añade otro espacio en el múltiplex para que si el régimen binario del flujo de entrada supera al nominal los datos sobrantes se metan en esta zona (justificación -). Dentro del espacio de carga del afluente hay un espacio para que en caso de que el régimen binario esté por debajo del nominal se pueda enviar relleno en esta zona (justificación +). Estos campos son, respectivamente S- y S+ mostrados en la figura 29.

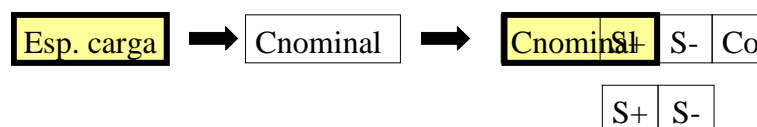


Figura 29. Justificación positiva/nula/negativa

De este modo en caso de que el régimen del tributario sea superior al nominal se realiza justificación negativa, que consiste en enviar *datos procedentes del afluente en el campo S-*. Sin embargo cuando el régimen del tributario sea inferior al nominal se realiza justificación positiva, que consiste en enviar *relleno en el campo S+*, por supuesto en el campo S- tampoco irían datos del afluente de entrada. En caso de que el régimen binario coincida con el nominal no se realiza ningún tipo de justificación de manera que en S+ se transmiten datos del afluente y en S- relleno. También será necesario un campo de control de justificación que indique al otro lado si se ha hecho justificación y de qué tipo.

- **E2 y Superiores**

A partir del segundo nivel de multiplexión los flujos de entrada se multiplexan bit a bit (no octeto a octeto como ocurría en la E1). Cada multiplex, a parte de los bits de justificación, añade bits para control de justificación, alineación de trama a ese nivel y otros bits de servicio. De manera que el régimen binario de salida del multiplexor es superior a la suma de los regímenes binarios de entrada.

El multiplexor no analiza en ningún momento los flujos de entrada, de manera que simplemente lee de los 4 buffers de entrada forma secuencial, un bit de cada uno, y los va poniendo en los bits asignados a cada afluente en el múltiplex de salida. Los únicos bits que a veces podrán llevar datos de los afluentes y otras veces no serán los de justificación.

Para extraer un flujo de nivel N a partir de un flujo de nivel N+1 primero habrá que alinearse al flujo N+1, encontrando el principio de trama, y después extraer los bits de información correspondientes al flujo que se pretende demultiplexar. De este modo para extraer un canal de 64 kbit/s de un flujo E5 será necesario extraer primero el flujo E4, después el E3, el E2 y el E1, para, finalmente, extraer el canal vocal. Por tanto se necesitan una serie de alineaciones sucesivas a cada nivel.

**Cuestión 11.** *Un multiplexor de orden superior ¿Necesitará saber si se hizo justificación en los flujos de entrada? ¿Por qué?*

Como ejemplo se muestra la estructura de multiplexión de la E2 cuando se utiliza justificación positiva.

En la figura 30 se muestra la tabla extraída directamente de la norma, mientras que en la figura 31 se muestra una representación gráfica de la misma.

**Cuestión 12.** *En una trama E2 ¿Puede identificar dónde están los bits de alineación de trama de uno de los flujos E1? ¿Por qué?*

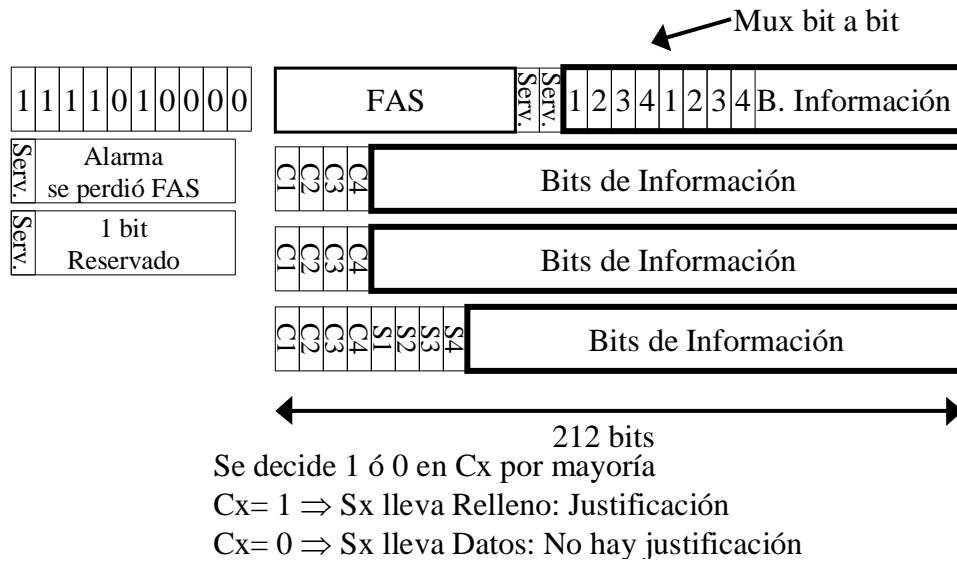
**Cuestión 13.** *Calcule la duración de la trama E2. Compárelo con la E1 ¿Podrá contener una trama E2 todos los bits de 4 tramas E1? ¿por qué?*

**Cuestión 14.** *¿Cómo se extraería el flujo E1 del E2?*

Velocidad binaria de los afluentes (kbit/s)	2048
Número de afluentes $\square$	4 $\square$
Estructura de trama $\square$	Plan de numeración de los bits $\square$
Señal de alineación de trama (1111010000)	<i>Grupo I</i> 1 a 10
Indicación de alarma destinada al equipo multiplex digital distante	11
Bit reservado para uso nacional	12
Bits procedentes de los afluentes	13 a 212
Bits $C_{j1}$ de control de justificación (véase la nota)	<i>Grupo II</i> 1 a 4
Bits procedentes de los afluentes	5 a 212
Bits $C_{j2}$ de control de justificación (véase la nota)	<i>Grupo III</i> 1 a 4
Bits procedentes de los afluentes	5 a 212
Bits $C_{j2}$ de control de justificación (véase la nota)	<i>Grupo IV</i> 1 a 4
Bits justificables, provenientes de los afluentes	5 a 8
Bits procedentes de los afluentes	9 a 212
Longitud de la trama	848 bits
Bits por afluente	206 bits
Velocidad máxima de justificación por afluente	10 kbit/s
Relación nominal de justificación $\square$	0,424 $\square$

*Nota* –  $C_{ji}$ , designa el bit número  $i$  de control de justificación del afluente número  $j$ .

**Figura 30.** Estructura de trama para la multiplexación a 8448 kbit/s. Cuadro 1/G.742



**Figura 31.** Trama E2 con justificación positiva

## 2.4 SDH

Las redes telefónicas de muchos países comenzaron a utilizar sistemas de transmisión digitales para sus enlaces de larga distancia en los años 70. Con el uso masivo de fibra óptica los regímenes binarios en la transmisión se incrementaron notablemente. Surgió una nueva jerarquía de multiplexión digital denominada SDH (Jerarquía Digital Síncrona).

La jerarquía digital síncrona viene descrita en la recomendación G.707 de la UIT-T. En esta jerarquía se utiliza la misma base de tiempo para todos los niveles de multiplexión. Además la deriva en frecuencia de los relojes del sistema está muy limitada, gracias a la utilización de redes de sincronismo superpuestas que transmiten información de sincronización. Esto facilita algunas tareas, como la extracción e inserción de afluentes en tramas de niveles altos. Todas las tramas tienen la misma duración, 125µs, al contrario que ocurría en la jerarquía plesiócrona. Existen varias normas que indican cómo transportar cargas de distinta naturaleza en enlaces SDH: flujos PDH (desde el nivel más bajo al más alto), flujos ATM, señales de TV... de manera que SDH es una técnica de transporte de información no limitada a flujos basados en canales vocales de 64 kbit/s, como ocurría en PDH.

La principal ventaja de esta nueva estructura de multiplexión es que se pueden recuperar los flujos elementales, es decir los de más bajo multiplexados en la STM-1, directamente desde un flujo de alto nivel, por ejemplo un STM-64, sin necesidad de demultiplexar nivel a nivel, como ocurría en PDH. Esto se consigue porque se conoce la posición en la que se encuentra cada flujo elemental, gracias a la utilización de punteros, y se puede acceder directamente a ellos.

Otra ventaja de la jerarquía síncrona frente a la plesiócrona es el hecho de que la capacidad adicional, o tara, dentro de las tramas permite transportar canales de servicio de gran capacidad. Estos canales se pueden usar para transportar cualquier tipo de información que pudiera ser útil a la red, por ejemplo para tareas de señalización o de mantenimiento y gestión de red.

La trama básica se denomina STM-1 y su capacidad es de 155,52 Mbit/s. Dentro del espacio de carga útil de este flujo se permite la incorporación de tributarios plesiócronicos (hasta E4 o T4), lo que facilita la convivencia de ambas jerarquías, pero también, como se expuso anteriormente, de flujos de otra naturaleza. A partir de este flujo elemental se pueden formar tramas de mayor nivel, multiplexando octeto a octeto N tramas básicas, sin incorporar ninguna información adicional, estas tramas se denominan STM-N. La capacidad se multiplica por 4 en cada etapa (STM-4, STM-16, STM-64, ...), sin embargo la duración la trama de cualquier nivel siempre es 125µs, por lo que el número de bits depende del nivel (N) y será  $270 \times 9 \times N$  octetos.

	PDH	SDH
<b>Entramado</b>	Octeto a octeto en el nivel básico. Bit a bit en los posteriores.	Octeto a octeto en todos los niveles.
<b>Duración de la trama</b>	Distinta en cada nivel.	125µs en todos los niveles.
<b>Recuperación de carga</b>	Alineándose a la trama de cada nivel y deshaciendo la multiplexión hasta llegar a la carga.	Identificando la posición de la carga, gracias a los punteros. Inserción y extracción rápida de tributarios.
<b>Canales de servicio</b>	Baja capacidad. Se forman multitramas para utilizar los bits de reserva.	Canales de servicio de gran capacidad. Útiles para labores de mantenimiento y gestión de red.
<b>Interfaces normalizados</b>	Sólo los eléctricos.	Se definen interfaces ópticos para altas velocidades.
<b>Capacidad de transporte de carga</b>	Limitada.	Muy variada, manejo muy flexible de capacidades diversas: PDH, ATM, TV.
<b>Usado preferentemente en enlaces</b>	Internacionales.	Nacionales.

**Figura 32. Comparativa PDH vs SDH**

A continuación se explica, muy brevemente, la formación de la trama básica en SDH. Dentro de la STM-1 existe un espacio de carga, siempre del mismo tamaño (261x9 octetos), reservado para transportar los afluentes que viajan en la trama, que como ya se ha comentado, pueden ser de muy diversa naturaleza. La formación de la STM-1 variará en función de las cargas que se pretende transmitir. Cada flujo se acomoda dentro de un contenedor virtual, cuyo tamaño dependerá del tipo de carga. Así, para cargas PDH de tipo E4 o T3 los contenedores virtuales se denominan VC-4 y VC-3 respectivamente, éstos son los contenedores virtuales de orden alto. Los demás contenedores se denominan de orden bajo y acomodan flujos más lentos, como E1, en el VC-12. A partir de los contenedores de orden bajo se forman unidades tributarias (TU), simplemente añadiendo un puntero que identifica en qué posición se encuentra el contenedor virtual.

Multiplexando, octeto a octeto, distintas TU y sin añadir ninguna información adicional, se obtienen los grupos de unidades tributarias (TUG). Estas TUG se acomodan dentro de contenedores virtuales de orden alto. Si a los contenedores de orden alto se les añade un puntero, que identifica dónde comienza el contenedor virtual dentro del espacio de carga, se forma la denominada unidad administrativa. Multiplexando diversas unidades administrativas se forma un grupo de unidades administrativas, añadiendo las cabeceras necesarias se obtiene el STM-1. La siguiente figura está extraída de la norma y refleja el proceso explicado.

La figura 32 presenta un resumen, a modo de comparación, de las características de ambas jerarquías.

**Cuestión 15.** *¿Por qué cree que se suele limitar a la red de un operador el uso de SDH?*

### 3. EVOLUCIÓN DE LA SEÑALIZACIÓN

#### 3.1 Introducción: ¿Qué es la información de señalización?

La información que viaja por la red no se trata exclusivamente de datos entre equipos terminales; también se intercambia información de control o señalización entre nodos de la red. Se puede definir la señalización como el intercambio de información relacionada con el establecimiento y control de conexiones y con la gestión de una red de telecomunicación. Este intercambio facilita la transmisión de información codificada a través del medio de comunicación, permitiendo procesar las instrucciones y los parámetros necesarios para lograr una correcta comunicación entre los corresponsales de la red.

Así, por ejemplo, cuando se utiliza una comunicación orientada a conexión los equipos conectados deben establecer, mantener y luego liberar un canal de comunicación, por el cual se transferirá la información que puede ser de cualquier naturaleza: voz, datos, textos, imágenes, etc... Con el fin de encaminar los datos hasta su destino y completar la comunicación se deberán intercambiar instrucciones e información de señalización, tanto entre el equipo terminal y la red como entre los distintos nodos de ésta. Estas instrucciones no están relacionadas con la información a intercambiar entre los equipos terminales, sino que resultan necesarias para que el canal funcione adecuadamente. La señalización permite, mediante estas tareas imprescindibles, que la comunicación sea factible.

En la red telefónica conmutada la señalización está orientada, en principio, a facilitar y orientar al usuario final respecto de las actividades que debe ejecutar personalmente para establecer, mantener y finalmente liberar la comunicación. También es utilizada para intercambiar información entre sus nodos.

Cuando la red se digitaliza la señalización permite además cubrir una amplia gama de servicios de gestión de la red, relacionados directamente con la inteligencia que estas redes de nueva generación poseen. Los nodos de red permiten intercambiar información digital de señalización, procesarla y actuar en consecuencia.



Algunas de las funciones más importantes que cumplen los sistemas de señalización son:

- Establecimiento y liberación del canal de comunicación.
- Proporcionar información acerca del usuario final o destinatario de la llamada, que será utilizada para el correcto encaminamiento de los datos.
- Informar sobre el progreso de una llamada.
- Generar señales de alerta, tales como aviso de llamada en espera, descolgado... y proporcionar información sobre el estado de una línea de abonado o de un circuito troncal.
- Envío de señales de congestión y ocupado, que alertarán a los nodos para que no utilicen rutas que podrían resultar problemáticas.
- Asegurar la fiabilidad de las comunicaciones.
- Permitir la ejecución de funciones administrativas y de mantenimiento.

### 3.2 Sistemas de señalización

La información de señalización podría transmitirse mediante señales analógicas o digitales. Como la mayoría de las redes son digitales o están evolucionando rápidamente a técnicas digitales, la señalización también suele ser digital.

**Señalización analógica:** la información se representa mediante una transmisión continua de estados de la señal útil. Interesa mantener la forma de onda con el fin de obtener una replica lo más fiel posible de la señal de entrada en el receptor. Se usa en las redes telefónicas analógicas y se vale de alguno de los siguientes procedimientos para cumplir sus funciones:

- Duración de los pulsos (Sistemas de marcación por pulsos).
- Combinación de diferentes tipos de pulsos.
- Frecuencia de la señal.
- Presencia o ausencia de la señal.

**Señalización digital:** la información se transmite en cambios de estados discretos de la señal útil. En este caso la forma de onda en sí misma no desempeña un papel primordial. La información en forma digital permite ser procesada e interpretada por los distintos equipos que están presentes en una red y forman parte del canal de comunicación que se pretende establecer, mantener y liberar.

Los sistemas de señalización se pueden clasificar según la figura 33.

### 3.2.1 Señalización en línea

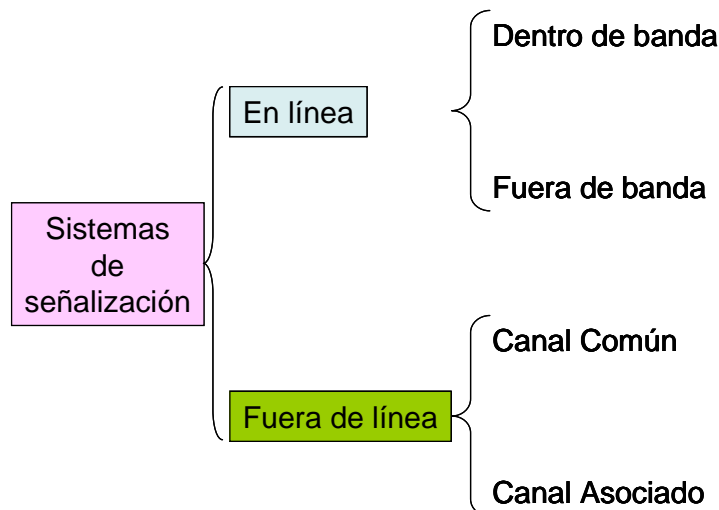


Figura 33. Sistemas de señalización

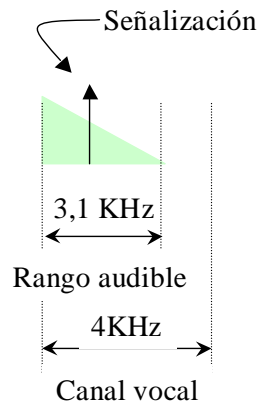
En estos sistemas la señalización y la información utilizan el mismo canal, o bien la señalización se transmite en una señal asociada directamente al canal de datos. Son tecnológicamente los más antiguos y se utilizan básicamente en redes analógicas. Los mayores inconvenientes que presentan son:

- La transmisión de señalización se realiza a baja velocidad.
- La capacidad de información que se puede transmitir está muy limitada.
- Necesita mucho equipamiento adicional, lo que implica elevados costes de despliegue y mantenimiento.
- Están muy orientados a señalización exclusiva para establecimiento y liberación de conexiones. Al ser los pioneros las redes aún eran muy básicas y no existían tareas de inteligencia y gestión de red como en la actualidad. Todos estos mecanismos, que enriquecen las redes de telecomunicación, necesitan intercambios de información de señalización que antes no existían.

En la señalización en línea pueden distinguirse dos modalidades: dentro de banda o fuera de banda.

- **Dentro de banda**

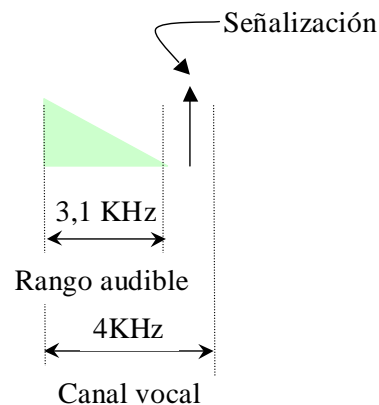
Cuando se transmite la señalización por el mismo canal o circuito de transmisión que la comunicación de usuario, y en la misma banda de frecuencias prevista para éstos, como se muestra en la figura 14. Por lo tanto ocupan regiones del espectro en el rango audible y una vez establecida la comunicación no puede usarse para enviar indicaciones, pues sería molesto para los usuarios. Un ejemplo serían los pulsos o tonos de marcado e indicación de progreso de llamada, son señales que el usuario escucha y que incluso van dirigidas a él.



*Fig. 14: Señalización dentro de banda*

- **Fuera de banda**

También se transmite la información de señalización por el mismo canal o circuito de transmisión de la comunicación de usuario, pero utilizando una banda de frecuencias distinta de la prevista para éstos, como se muestra en la figura 15. En el caso de canales telefónicos se utilizan frecuencias superiores a los 3800Hz, así no será oídas por los abonados y por tanto pueden usarse durante la comunicación.



*Fig. 15: Señalización fuera de banda*

### 3.2.2 Señalización fuera de línea

Con estos sistemas la señalización no utiliza los mismos canales que la información de usuario, sino que se reservan canales destinados exclusivamente a transmitir información de señalización. Se adaptan perfectamente al uso de tecnología digital y son más eficientes y completos que los anteriores.

Algunas características y ventajas de estos sistema son:

- Como los canales utilizados son distintos para datos y señalización, el diseño y generación de nuevas funciones para señalización puede evolucionar de forma independiente a las técnicas de transmisión de información.
- Se consiguen mayores velocidades de transmisión para la información de señalización al tener reservada capacidad en los enlaces para estas tareas.

- Con un único canal de señalización es posible manejar varios canales de información de forma simultánea.
- Hay mayor flexibilidad para introducir cambios o mejoras en el servicio.
- Existe normalización internacional referente a estos sistemas de señalización, lo que facilita la interconexión de distintos países.
- Existe correlación entre el modelo de capas OSI, que se estudiará detenidamente en temas posteriores, y el funcionamiento de este tipo de señalización, lo que facilita el que la mayoría de los sistemas de comunicación pueden utilizarla. Es fácil integrarlo en ATM, GSM y la gran mayoría de los sistemas digitales actuales.

Al igual que con la señalización en línea se distinguen dos modalidades.

- **Por canal común**

La información de señalización de numerosos canales se transmite por el mismo canal de comunicación. Se permite así que la señalización entre dos equipos se lleve a cabo sobre canales compartidos, llamados enlaces de señalización, que pueden formar parte de una red dedicada en exclusiva a la señalización. Las principales ventajas son: unión rápida entre los procesadores de señalización de las centrales, repertorio más amplio de señales y aplicación a transporte de datos no telefónicos (video, gestión de red, consulta a bases de datos...). Además, pueden enviarse señales aunque los canales no estén activos. Por último cabe resaltar que utilizan la capacidad de señalización de forma más eficiente y que ésta puede ir aumentándose según las necesidades.

Dos entidades de señalización se intercambiarán mensajes de señalización, en los que se debe identificar a qué canal de datos se refiere cada mensaje. Esta identificación permite que los mensajes se puedan enviar sobre canales de señalización compartidos, de modo que mensajes referentes a distintos canales de datos utilizan el mismo canal de señalización sin ningún problema. También se permite que el canal de señalización pueda utilizar enlaces físicos distintos a los que utilizan los canales de datos correspondientes.

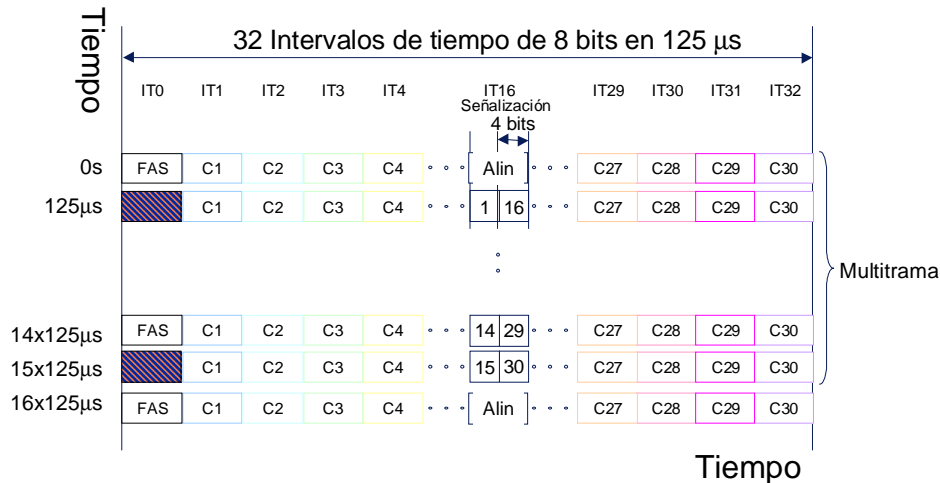
Uno de los sistemas de señalización más utilizado en la actualidad pertenece a esta modalidad. Es el conocido como *Sistema de señalización por canal común N° 7 (CCS7)*.

- **Por canal asociado o asociada al canal**

En esta ocasión cada canal de información tiene su propio canal de señalización. Tiene el inconveniente de que al estar reservado el canal de señalización para un canal de datos en concreto, puede que se esté infrautilizando cuando no hay que transmitir señalización, mientras que otro canal de datos puede estar necesitándolo. Sin embargo tiene la ventaja de que no se necesita identificar dentro de la información de señalización a quién pertenece esa información, ya que al estar asociado el canal de señalización al canal de datos se sabe a qué canal corresponde.

Si se utiliza PDH, en el primer nivel, E1, el intervalo de tiempo 16 está reservado para información de señalización. Cuando la señalización que se va a utilizar es por canal asociado se necesita una canal de señalización para cada canal de vocal. Es necesario por tanto dividir el canal 16, el destinado a señalización en la trama, en 30 subcanales de señalización. Para lograr ese reparto se utiliza una estructura de multitrama, formada por

16 tramas consecutivas, que se puede observar en la figura 34. Estas multitramas están formadas por 16 tramas. 4 bits dentro de la multitrama se dedican a cada canal de datos, lo que supone una capacidad de 2000 bit/s de señalización para cada canal de datos. La figura 34 representa la estructura de multitrama cuando se utilice señalización por canal asociado en PDH.



**Figura 34. Multitrama para señalización por canal asociado en enlaces E1**

De manera que para conocer a qué canal de datos se refiere la información de señalización que se recibe en determinada trama es necesario conocer en qué trama dentro de la estructura de multitrama nos encontramos. Para eso se utiliza la señal de alineación de multitrama que se transmite en el intervalo de tiempo 16 de la primera trama de cada multitrama.

**Cuestión 16:** Calcule la capacidad del canal de señalización asociado a un canal de datos.

### 3.3 Señalización para el establecimiento de llamada

Con el fin de entender el sistema de señalización se va a analizar, de forma poco profunda, un caso conocido como es el telefónico. Veremos algunas de las señales intercambiadas en el establecimiento de una conexión telefónica.

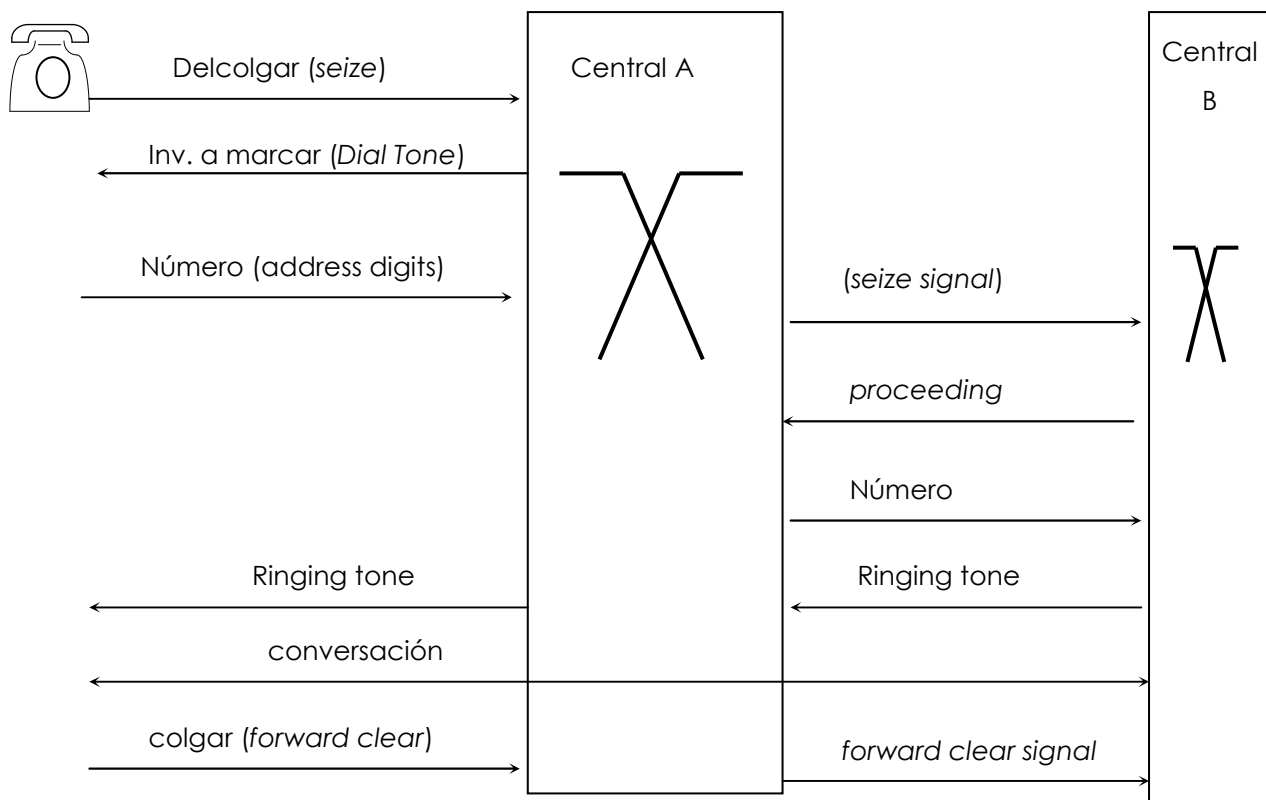
Se puede diferenciar claramente entre la señalización usuario-red y la señalización red-red, como se muestra en la figura 35.

Para llevar a cabo la señalización de abonado (intercambiada entre el abonado y la red) todos los aparatos telefónicos deben incorporar elementos de señalización, por lo que esta señalización debe ser simple para disminuir el coste del terminal. De esta forma las señales *colgar*, *descolgar*, o *pulsos de dígitos* consisten en la apertura o cierre de un circuito de corriente continua (algunos utilizan selección Multifrecuencia -MF- para los dígitos, como se mostró en la figura 14).

Cuando la RTC aún no está digitalizada la señalización entre centrales, es decir la señalización red-red, era en línea. Se utilizaban señales basadas en corriente alterna (tonos) dentro del rango de 4kHz. Las señales que se sitúan dentro del rango 300-

3400Hz se denominan señales en banda vocal (o simplemente **en banda**). O bien tonos entre 3400 y 4000Hz, que conforman la señalización **fuera de banda**. Por ejemplo en la señalización de línea R2 especificada por el CCITT se usaba el tono de 3825Hz en todos los circuitos ociosos, y se retiraba cuando el circuito estaba activo.

Al digitalizar la red comenzó a usarse señalización fuera de línea y actualmente conviven sistemas con señalización por canal asociado, en los que se utiliza la estructura multitrama mostrada en la figura 34, y sistemas basados en señalización por canal común, para los que se utiliza, preferentemente SS7, que se introducirá más adelante.



**Figura 35. Intercambio de información de señalización para el establecimiento y liberación de llamada**

Cuando el usuario descuelga el teléfono se cierra el circuito de alimentación, por lo que la central detecta este hecho y comienza el proceso de reserva de recursos comunes (el registrador en el caso de centrales electromecánicas o una zona de memoria en el caso de las SPC), tras la cual se envía el tono de invitación a marcar. El abonado introduce los dígitos (tonos o pulsos), que son analizados por la central para determinar la ruta hacia el destino y establecer un camino hasta él a través de otras centrales. Al establecer este camino debe, en primer lugar, reservar un enlace entre ambas centrales (*seize signal*) y luego enviar los dígitos del destino para que la siguiente central pueda establecer la ruta completa. Tras establecer dicha ruta, la central del abonado destino enviará el tono de llamada en progreso (*proceeding*) hacia el abonado origen y el de llamada entrante al destino (*ring*). Cuando el destino descuelga ambos equipos comienzan la fase de comunicación, en la que las centrales detectarían la señal de colgar

(*clear*), que harán progresar hasta el otro extremo liberando de esta forma los recursos reservados anteriormente.

Podemos distinguir dos grandes categorías de señales: de línea y de selección. La primera se produce entre equipos que monitorizan continuamente parte o todo el tráfico del circuito, como las señales *seize* y *clear*. Las señales de selección llevan información relativa al encaminamiento de la llamada, como el número o el tipo de llamada.

Una vez establecida la conexión se procede a transmitir la información. Durante esta fase, como se explicó anteriormente, todos los recursos a lo largo del recorrido están reservados, ya que en la RTC se utiliza la conmutación de circuitos. Como acción complementaria, los sistemas de señalización deben registrar la llamada para proceder a su facturación de acuerdo con una normativa dada. Existen además otros avisos entre centrales y otras indicaciones que no se describen aquí. La última parte de la comunicación consistiría en liberar todos los recursos reservados.

### 3.4 Ejemplo de sistema de señalización por canal común: SS7 o CCS 7

El primer sistema de señalización por canal común utilizado tanto en redes nacionales como internacionales es el sistema **CCS 7**, desarrollado por el CCITT a mediados de los 80 y que permite un amplio rango de servicios y gestión de red. Comprende las Recomendaciones Q.700 a Q.787. El sistema de señalización por canal común n° 7 proporciona un sistema normalizado internacionalmente para ser operado en redes de telecomunicación digitales. Este sistema de señalización satisface las exigencias de la señalización de control de las llamadas para servicios de telecomunicaciones tales como telefonía y transmisión de datos con conmutación de circuitos. Puede utilizarse también como un sistema fiable para la transferencia de otros tipos de información entre centrales y centros especializados en redes de telecomunicaciones (por ejemplo, para fines de gestión y mantenimiento).

Los requisitos impuestos al sistema son:

- Que debe estar optimizado para el funcionamiento en redes de telecomunicación digitales con centrales con control por programa almacenado;
- Que pueda satisfacer exigencias presentes y futuras de transferencia de información para el diálogo entre procesadores dentro de las redes de telecomunicación para el control de las llamadas, de control a distancia y de señalización de gestión y mantenimiento;
- Que ofrezca un medio seguro de transferencia de información en la secuencia correcta y sin pérdidas ni duplicaciones.

El sistema de señalización está optimizado para funcionar en canales digitales de 64 kbit/s. También es adecuado para el funcionamiento a regímenes binarios más bajos y en canales analógicos. Es adecuado para enlaces punto a punto, tanto terrenales como por satélite. Si bien no tiene las propiedades especiales requeridas por el funcionamiento punto a multipunto, puede ampliarse en caso necesario para atender tal aplicación.

Este tipo de señalización usa un único canal como vía de transmisión, e incorpora información de señalización relativa a diversos circuitos de conexiones conmutadas. **Así la señalización entre centrales se asocia en un mismo circuito digital distinto e independiente del canal de conversación.**

Al utilizar la red un sistema de señalización por canal común deberá disponer de un conjunto de nodos de conmutación y de procesamiento de la señalización, interconectados mediante enlaces de transmisión, que constituye una red de señalización independiente de la red de voz o datos.

Puede usarse como un sistema de transmisión de información entre centrales y centros especializados, tales como centros de gestión, mantenimiento o de inteligencia de red, o bien para otra clase de servicios suplementarios de la red.

Son ejemplos de nodos, en una red de señalización, que constituyen puntos de señalización:

- centrales (centros de conmutación);
- bases de datos de redes inteligentes;
- puntos de transferencia de señalización;
- centros de explotación, gestión y mantenimiento.

Una de las ventajas introducidas es permitir una transmisión libre de errores por fallos de red, ya que dispone de procedimientos de corrección y detección de errores en todos los enlaces. Incluye señalización redundante y permite el reencaminamiento automático del tráfico de señalización ante posibles fallos de los enlaces, o para evitar desbordamientos producidos por un excesivo número de llamadas.

La filosofía de este sistema de señalización se basa en el entendimiento por software entre dos puntos de señalización (p.e. centrales de conmutación) y permite incorporar al mensaje de señalización información diversa. Como ya se ha comentado la información vocal de la conversación se puede mantener por enlaces distintos a los de señalización.

Los enlaces de señalización llevan los mensajes entre puntos de señalización, cuya identificación es única en la red. Todos los puntos de señalización en una red del SS N.º 7 se identifican mediante un código único conocido como código de punto, como indica la Recomendación Q.704. Estos puntos de señalización pueden ser de diversos tipos:

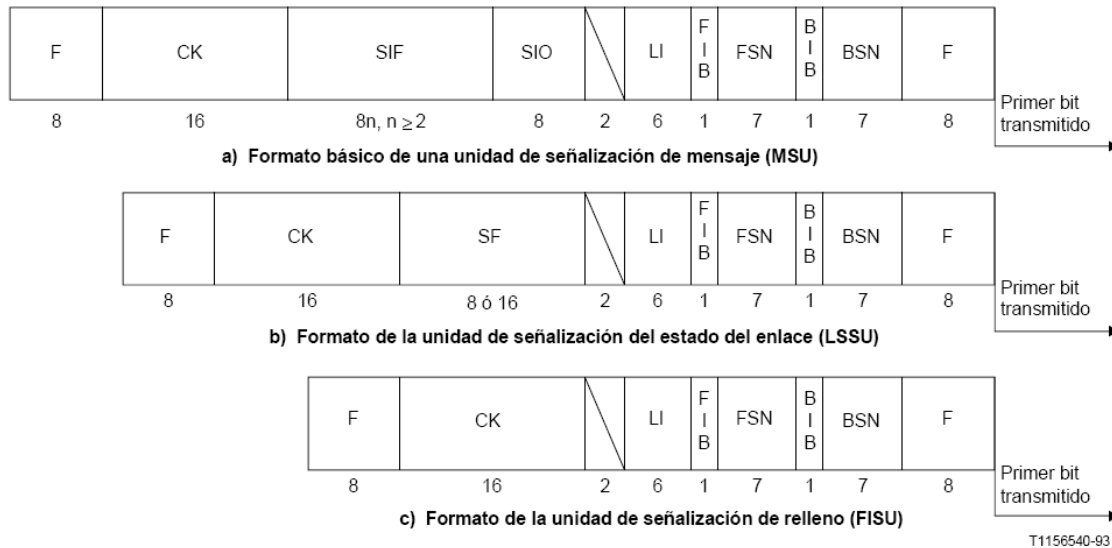
- **SSP (Punto de Servicio de Conmutación):** Conmutadores que originan, terminan o son un paso intermedio en las llamadas. Envían mensajes de señalización a otros SSP para establecer o liberar conexiones o realizan consultas a una base de datos (SCP) para determinar cómo encaminar una llamada (nº 900's)
- **STP (Punto de Transferencia de Señalización):** Pueden encaminar la señalización entre dos SSP, asociando un enlace de entrada para señalización a uno de salida, lo que elimina la necesidad de enlaces directos entre dos SSP.

SS7 divide las tareas implicadas en la comunicación en niveles según las capas del modelo OSI, que veremos en próximos temas. Los tres primeros niveles se denominan MTP (Message Transfer Part) y permiten enviar los mensajes con la señalización entre dos SSP cualesquiera de forma fiable y segura (control y recuperación de errores). Para establecer y liberar circuitos entre terminales se utilizará la capa ISUP (ISDN User Part) que usará los servicios de la capa MTP a la hora de enviar los mensajes. Dicha capa (ISUP) será utilizada tanto para usuarios RDSI como para usuarios de la red telefónica convencional.



En la Q.703 se especifica el formato de los mensajes de señalización en el nivel MTP (que se corresponde con los tres primeros niveles de OSI y por tanto incluye las tareas de nivel de enlace que veremos en próximos temas). Se identifican tres tipos de mensajes, representado en la figura 36:

- Los que contienen información de señalización (tipo a)
- Los que contienen información de Estado del enlace (tipo b).
- Los que únicamente contienen acuse de recibo y notificación de errores (tipo c).



- BIB Bit indicador inverso (*backward indicator bit*)
- BSN Número secuencial inverso (hacia atrás) (*backward sequence number*)
- CK Bits de control de errores (*check bits*)
- F Bandera (*flag*)
- FIB Bit indicador directo (*forward indicator bit*)
- FSN Número secuencial directo (hacia adelante) (*forward sequence number*)
- LI Indicador de longitud (*length indicator*)
- n Número de octetos en el SIF
- SF Campo de estado (*status field*)
- SIF Campo de información de señalización (*signalling information field*)
- SIO Octeto de información de servicio (*service information octet*)

Figura 36. Formatos de unidades de señalización especificados en la Q.703

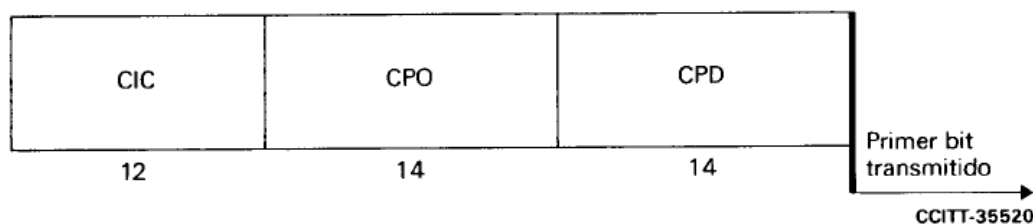


Figura 37. Estructura de la etiqueta telefónica normalizada según la Q.723

En el caso de mensajes con información de señalización (tipo a), los primeros 40 bits del campo de información de señalización contienen la etiqueta normalizada, según se muestra en la figura 37. El código del punto de destino (CPD) indica el punto de señalización al cual está destinado el mensaje, mientras que el código del punto de origen (CPO) indica el punto de señalización que es la fuente del mensaje. El código de

identificación de circuito (CIC) indica un circuito de conversación entre aquellos que interconectan directamente los puntos de destino y de origen.

La figura 38 muestra el caso de una llamada RDSI, donde TEA/B representa al equipo terminal de abonado y RedA/B corresponde con dos centrales de conmutación en la red que utilizan SS7. Entre abonados y central se utilizan las señales de Q.931, y entre ambas centrales, que a su vez son SSP, la señalización SS7.

Cuando se efectúa una llamada el SSP origen transmite un mensaje **IAM** (Initial Address Message) para reservar un enlace libre entre el conmutador origen y el destino. Este mensaje incluye, entre otros datos, los identificadores de los puntos origen y destino de señalización, los números de teléfono origen y destino y el tipo de llamada. El conmutador destino comprueba si el abonado destino está libre, y en tal caso envía de vuelta un mensaje **ACM** (Address complete message) al conmutador origen para indicar que el enlace ha sido reservado. Cuando el llamado descuelga el teléfono el conmutador desactiva el timbre y transmite un mensaje **ANM** (Answer message) para indicar que se ha descolgado. El conmutador origen verifica que el llamante sigue a la espera y comienza la comunicación (y la tarificación). Cuando el llamante cuelga, su conmutador envía un mensaje **REL** (Release Message) al conmutador del abonado destino, que será asentido por este mediante un mensaje **RLC** (Release Complete Message).

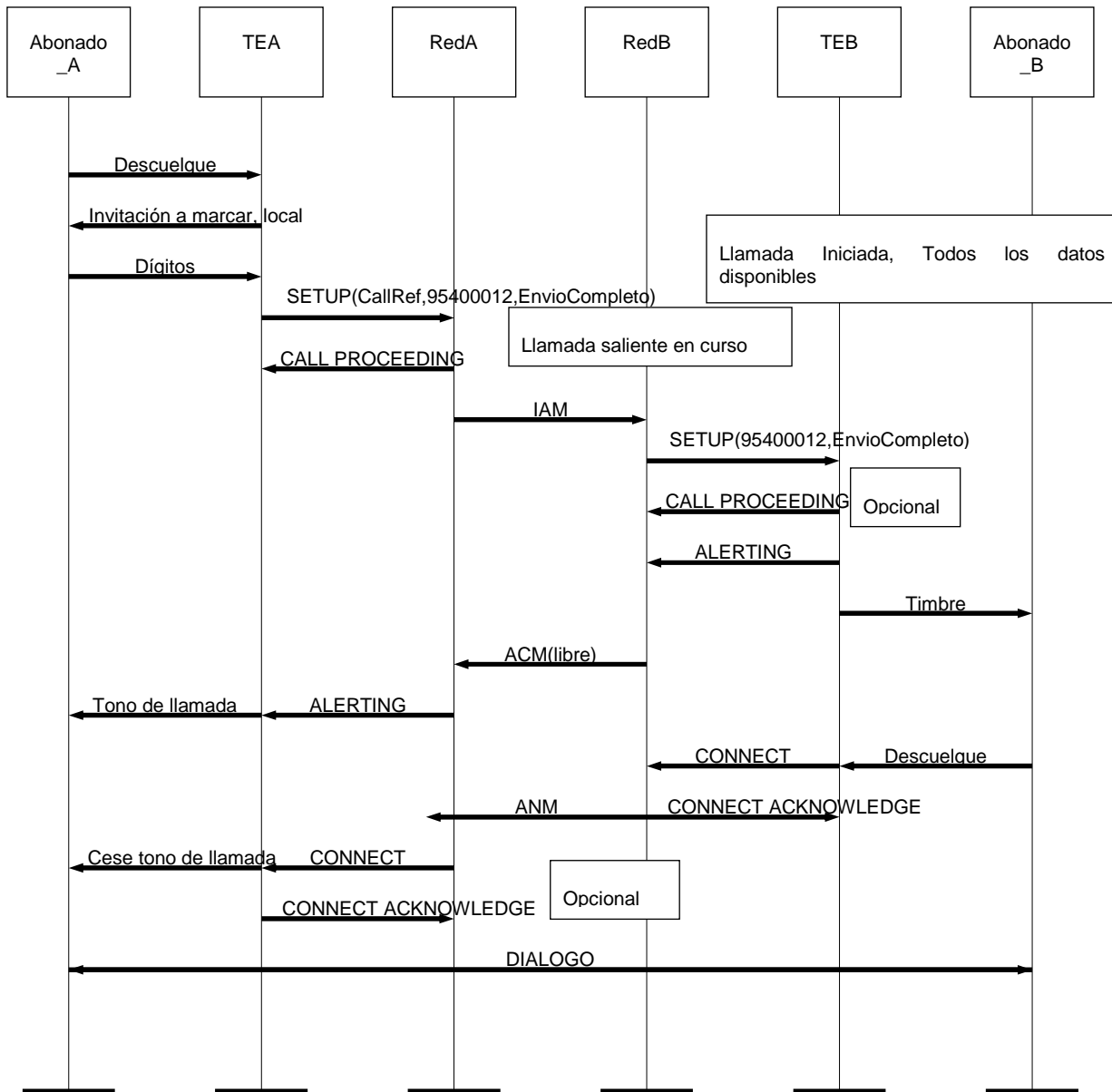


Figura 38. Ejemplo de uso de SS7

## 4. LA RED DIGITAL INTEGRADA (RDI)

### 4.1 Digitalización de la conmutación (SPC)

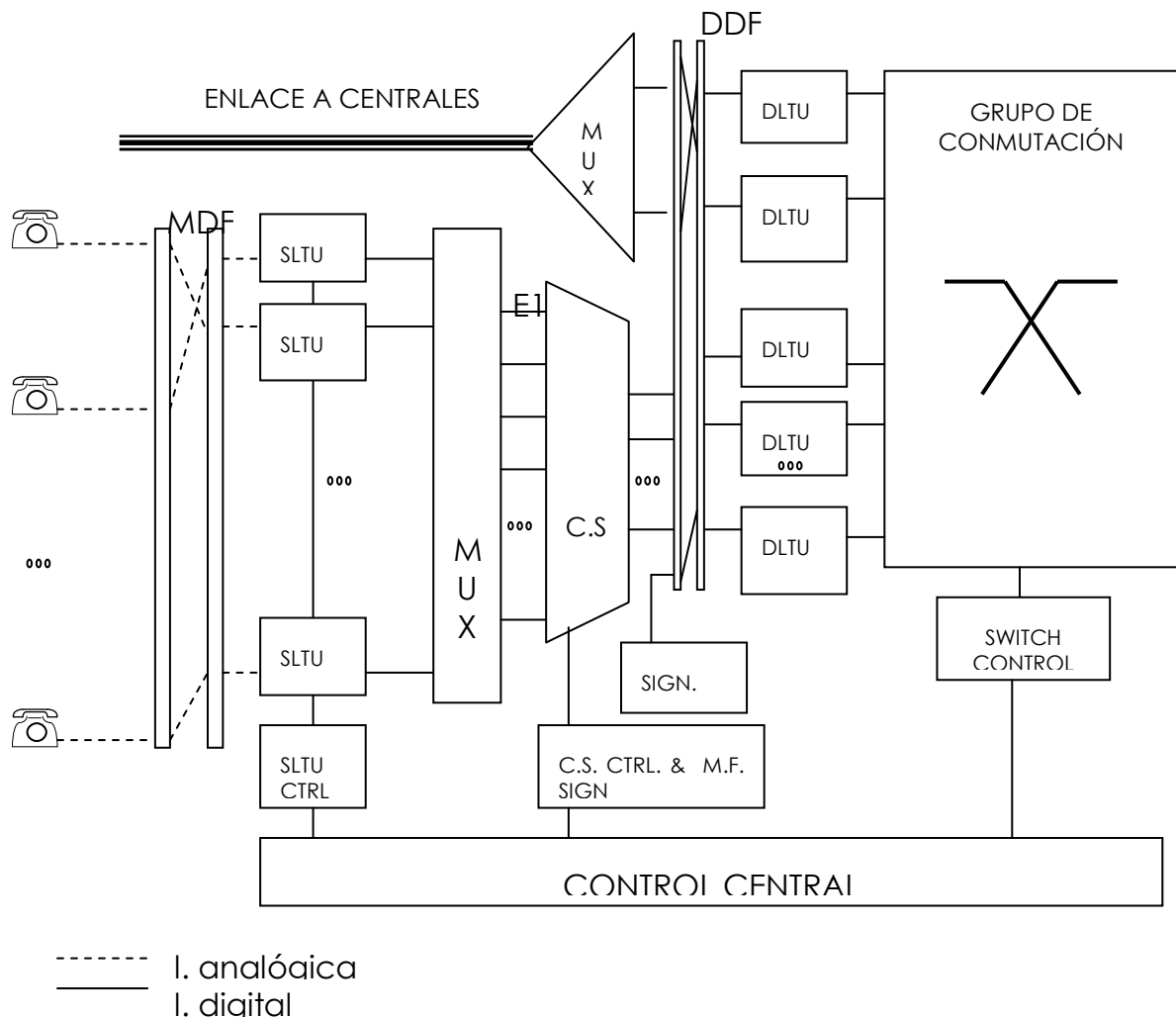
En 1965 apareció la primera central de conmutación digital, la N° 1 ESS (Electronic Switching System), que culmina un proyecto de 10 años de duración surgido a raíz del descubrimiento del transistor a principio de los años 50. Costó 500 M\$, y utilizaba 160.000 diodos y 55.000 transistores. Aunque no era un verdadero conmutador digital, si utilizaba la estructura SPC (Store Program Control), donde un programa dirigía el

funcionamiento del conmutador, permitiendo algunas características como marcado rápido o reenvío de llamada que exigían el uso de memoria. No fue hasta principios de los 70 cuando se desarrollaron las primeras grandes centrales totalmente digitales, orientadas a llamadas de tránsito, y que eliminaban la necesidad de conversión analógico/digital para la transmisión. Las centrales digitales no se popularizaron como centrales locales de abonado, con un coste económico razonable, hasta principio de los 80, con equipos como AXE10, o E10, utilizados hoy en día.

Las principales ventajas de las centrales SPC son:

- Flexibilidad (pues el programa de control puede ser actualizado)
- Facilidades para el abonado. Como transferencia de llamada o rellamada automática
- Simplicidad de administración, mantenimiento y gestión de red
- Uso potencial para otros servicios como transmisión de datos

El esquema de una central SPC está representado en la figura 39.



**Figura 39. Esquema de una central SPC**

Los abonados acceden a través de canalizaciones subterráneas (ductos) al repartidor principal (MDF), que permite la conexión física del bucle de abonado con las unidades de terminación de líneas de abonado (Subscriber loop terminal unit, SLTU) de la central.

Las SLTU realizan las funciones de terminación de línea de abonado analógico, como son: alimentación eléctrica del terminal, protección contra picos de tensión, detector de actividad en la línea, extracción de señalización de línea y conversión analógico/digital.

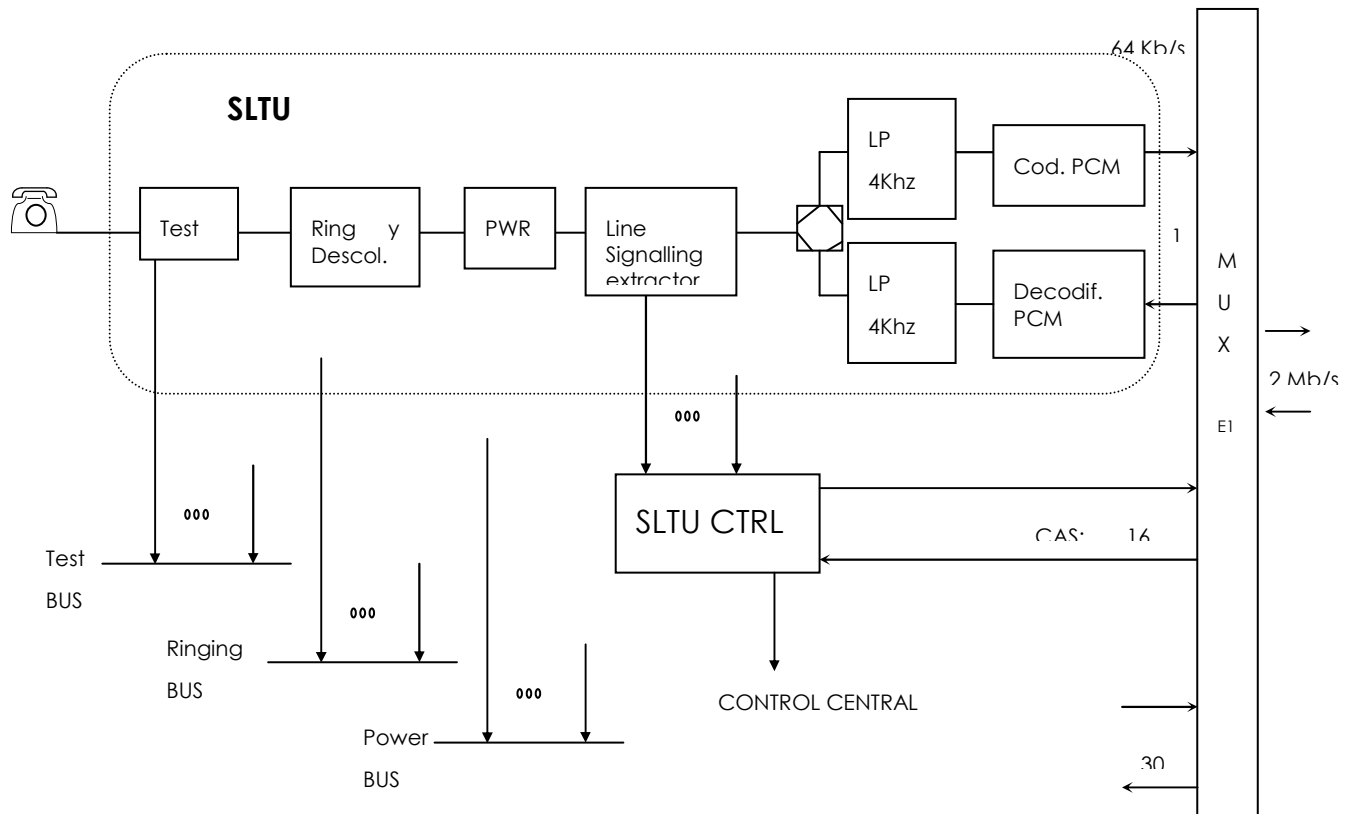


Figura 40. Esquema de la SLTU

Las líneas digitales de las SLTU se agrupan en señales E1 de 2Mbit/s (o T1 de 1.5 Mbit/s) mediante la etapa de multiplexión (MUX). La señalización para cada una de las líneas se envía a la unidad de control de las SLTU (SLTU CTRL), que se encuentra conectado con la unidad central de control. Los canales agrupados en E1 pasa a una etapa de concentración (C.S.), a cuya salida se montan nuevas tramas E1 con los canales activos. Los equipos que controlan la señalización multifrecuencia se aplican en esta etapa de concentración, lo que evita tener que proveer con tantos sistemas de señalización multifrecuencia (utilizada en la marcación) como abonados tenga la central. Las salidas de la etapa de concentración son llevadas de nuevo a un repartidor (D.D.F) antes de pasarlas al grupo de conmutación principal, lo que permite una mayor flexibilidad (modificaciones en la matriz de conmutación, enlaces punto a punto con otras centrales,...). A este repartidor están conectados los enlaces provenientes de los usuarios internos de la central, los posibles usuarios remotos y enlaces de entrada y salida a otras centrales. Como los distintos tipos de señales digitales pueden tener

códigos de línea y valores de potencia diferentes, antes de ingresar en la matriz de conmutación se homogeneizan las entradas mediante la unidad de terminación de línea digital (Digital line terminal unit, DLTU), que ofrece una interfaz estándar común para todas las terminaciones digitales. Las principales funciones que realiza son: conversión de código de línea a binario, alineación de trama, inserción y terminación de la transmisión (características eléctricas de la señal).

El grupo de conmutación está formado por bloques que contienen matrices S, que realizan conmutación espacial y matrices T de conmutación temporal.

- **Conmutación espacial:** permite conectar enlace de entrada con un enlace de salida. Consiste en un conjunto de puntos de cruce que se pueden seleccionar, estableciendo un camino físico entre la entrada y la salida, como se muestra en la figura 41 y la figura 42.

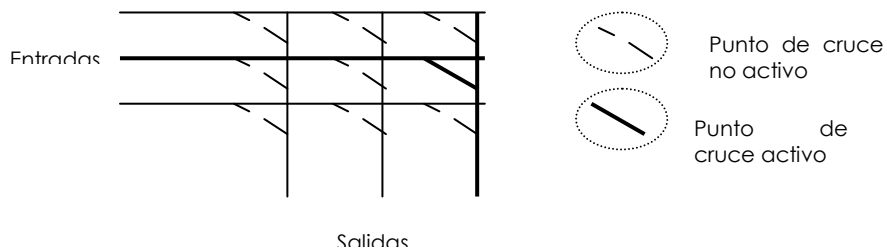


Figura 41. Conmutación espacial

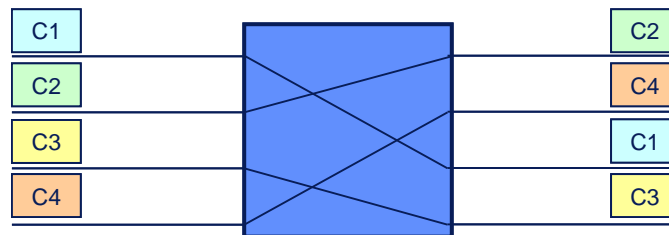


Figura 42. Conmutación espacial

- **Conmutación temporal:** permite intercambiar intervalos de tiempo, reordenándolos en el enlace de salida respecto al de entrada, como se muestra en la figura 43.

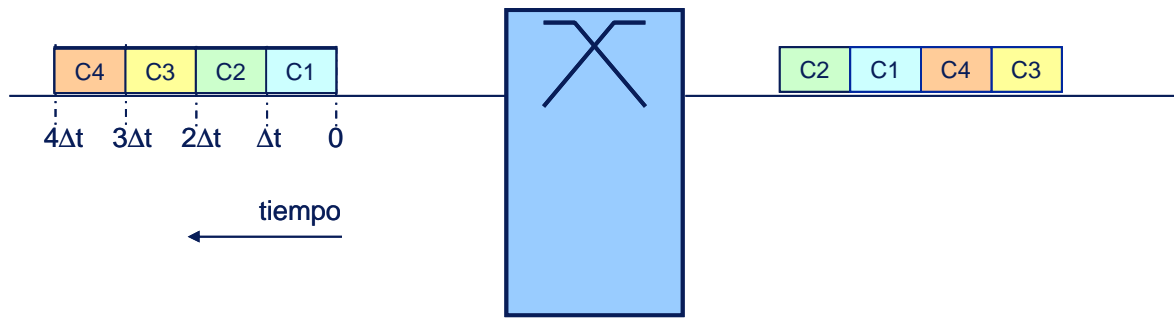


Figura 43. Conmutación temporal

Las operaciones necesarias para la instalación, modificación y reconfiguración de los componentes de una SPC se engloban en un área denominada O&M (Operations and Maintenance). Las funciones de mantenimiento son necesarias para asegurar la disponibilidad del servicio telefónico, y comprenden operaciones como supervisión, detección y recuperación de fallos o mensajes de error y alarmas programadas, aunque existen muchas otras operaciones que englobamos dentro de O&M como provisión de circuitos, tarificación, altas y bajas de abonados, etc.

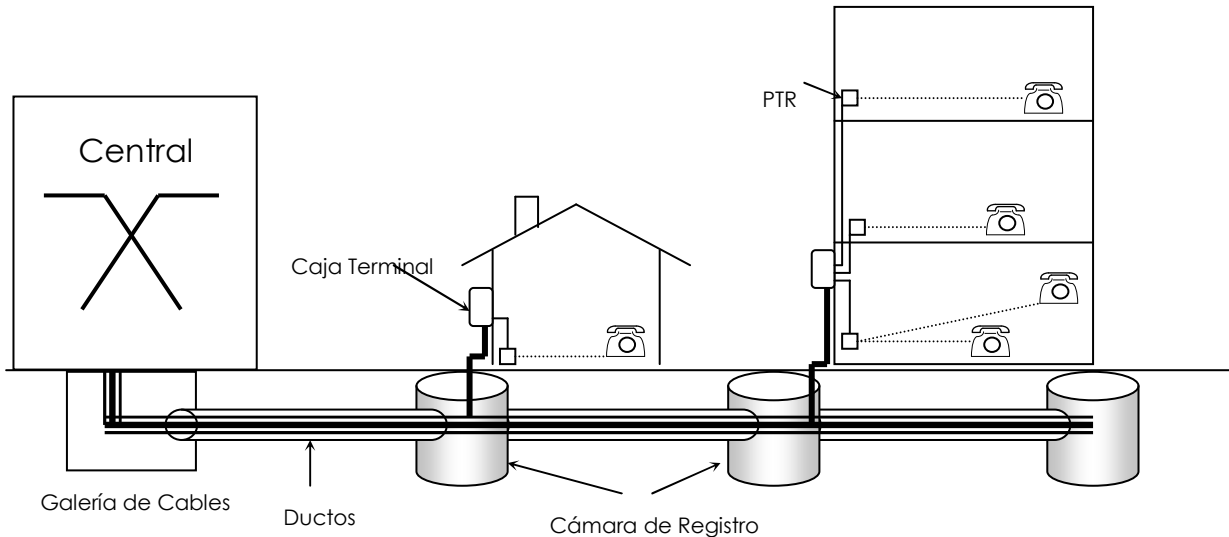
Todas estas funciones se colocan en un centro de mantenimiento y un centro de operaciones, que necesitan enviar y recibir datos de cada uno de los equipos que componen la red, dando lugar a la existencia de una red de gestión.

## 4.2 Estructura de la Red Digital Integrada

La Red Digital Integrada (RDI) es una red de conmutación telefónica con todos los sistemas de transmisión y conmutación digitalizados, a excepción del tramo final que conecta al abonado. A continuación se detalla la estructura de las diferentes partes que componen la RDI.

### 4.2.1 La red de acceso: el bucle de abonado

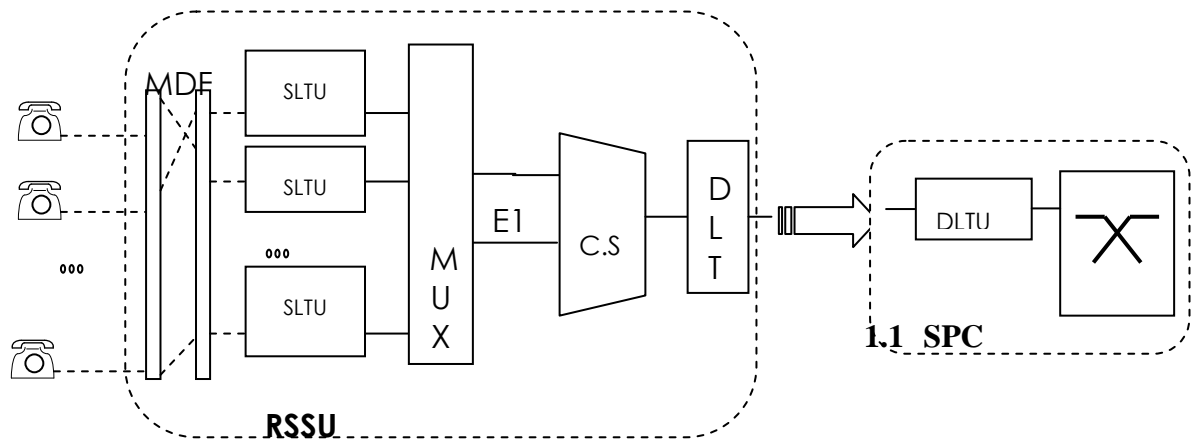
Permite llevar la señal analógica desde el último nodo de la red hasta un punto denominado PTR (Punto de Terminación de Red), que se sitúa dentro de la vivienda del abonado, como se muestra en la figura 44. Desde la galería de cables de la central, situada a nivel de subsuelo, salen líneas de usuarios agrupadas en cables multipares a través de canalizaciones subterráneas llamadas ductos. Estas canalizaciones intercalan, cada 150 m aproximadamente, distintas cámaras de registro que permiten el acceso al cableado y se encuentran protegidas contra la humedad y el agua. Desde estas cámaras de registro se realiza la segregación de pares para los diferentes abonados, que salen en cables de menor capacidad finalizados en las cajas terminales (antiguamente instalados en las fachadas de los edificios). La continuidad entre la caja terminal y el domicilio del abonado se garantiza mediante un cable con dos hilos de cobre de  $\frac{1}{2}$  mm de grosor, que finaliza en el PTR. A partir de este punto la instalación depende del abonado, pudiendo conectar un teléfono principal y varios supletorios.



**Figura 44. Conexión desde el PTR a la central local**

En la central local se encuentran los equipos dónde terminan los pares que llegan a los abonados, permitiendo la conexión de éstos con el resto de la red. Se pueden distinguir dos tipos de equipos:

- **Centrales Locales digitales (SPC):** Describas en el apartado anterior. Conectan a los abonados con el resto de la red telefónica ofreciendo también su servicio a otros usuarios que acceden a ellas mediante concentradores remotos.
- **Concentradores Remotos (RSSU, Remote Subscriber Switching Units).** Permiten la conexión de usuarios alejados de la central local digital (SPC) mediante líneas digitales de baja capacidad (normalmente de E1 ó E2). Las RSSU dependen de las SPC en cuanto a señalización y conmutación. Suelen tener un número relativamente pequeño de abonados (entre 400 y 1500) y constan de un distribuidor principal, MDF, que conecta a los abonados con las



**Figura 45. Conexión de la RSSU a la SPC**

SLTU. Tras estas, se montan tramas E1 que son transmitidas hacia la central digital (SPC), tras una etapa de concentración opcional, usando la interfaz V.5.2



(si no existe etapa de concentración se utiliza la interfaz V.5.1). En la SPC, dichos enlaces digitales se conectan directamente a la DLTU antes de ingresar en la matriz de conmutación. Esta estructura es la mostrada en la figura 45

Normalmente estos concentradores remotos disponen de una unidad de control remota gobernada por la central SPC, que es quién proporciona conmutación y señalización a la RSSU. Además, en ocasiones pueden disponer de una pequeña matriz de conmutación que en caso de aislamiento de la RSSU facilita el tránsito de llamadas entre usuarios conectados a la misma RSSU.

Desde las centrales locales digitales se accede al núcleo de la red digital integrada mediante interfaces digitales normalizadas. La digitalización de la red de acceso permite disminuir el número de centrales locales necesarias (en relación de una digital por cada 15 analógicas), ya que parte de los usuarios se conectará a las RSSU, permitiendo así una simplificación de la estructura de red de acceso respecto a su equivalente analógico. Las centrales locales digitales de un mismo municipio permanecen unidas bajo un mallado parcial, lo que permite disponer de redundancia en los enlaces, así como balancear la carga entre distintas rutas en caso de saturación.

#### ***4.2.2 El núcleo de la red digital integrada***

Antes de la digitalización de las centrales, los abonados siempre se conectaban a centrales locales, que a su vez se conectaban entre sí utilizando centrales primarias, de un orden jerárquico superior, que podían disponer abonados propios. El tráfico de las centrales primarias se interconecta entre sí mediante centrales secundarias, cuya misión es cursar llamadas de tránsito. El último eslabón en la red jerárquica de conmutación lo constituían las centrales terciarias, unas seis en el territorio nacional, que permitían cursar las llamadas de tránsito entre dos centrales secundarias, así como servir de acceso a las redes internacionales. La normalización de esta estructura está reflejada en la figura 1.

Actualmente el núcleo de la red digital integrada está formado por centrales nodales, constituidas por dos centrales en tandem, que se encuentran interconectadas entre sí mediante una malla de enlaces digitales. Estas centrales nodales sustituyen a las centrales secundarias y terciarias en la red analógica, y en España existen unas 25. El tráfico internacional se cursará a través de dichas centrales, estando conectadas cada una a dos centrales internacionales. Las SPC de acceso, que junto con las RSSU sustituyen a las centrales locales y primarias) se encuentran siempre conectadas a dos centrales nodales, lo que incrementa la fiabilidad de la red.

#### ***4.2.3 Estructuración en varios niveles: redes superpuestas***

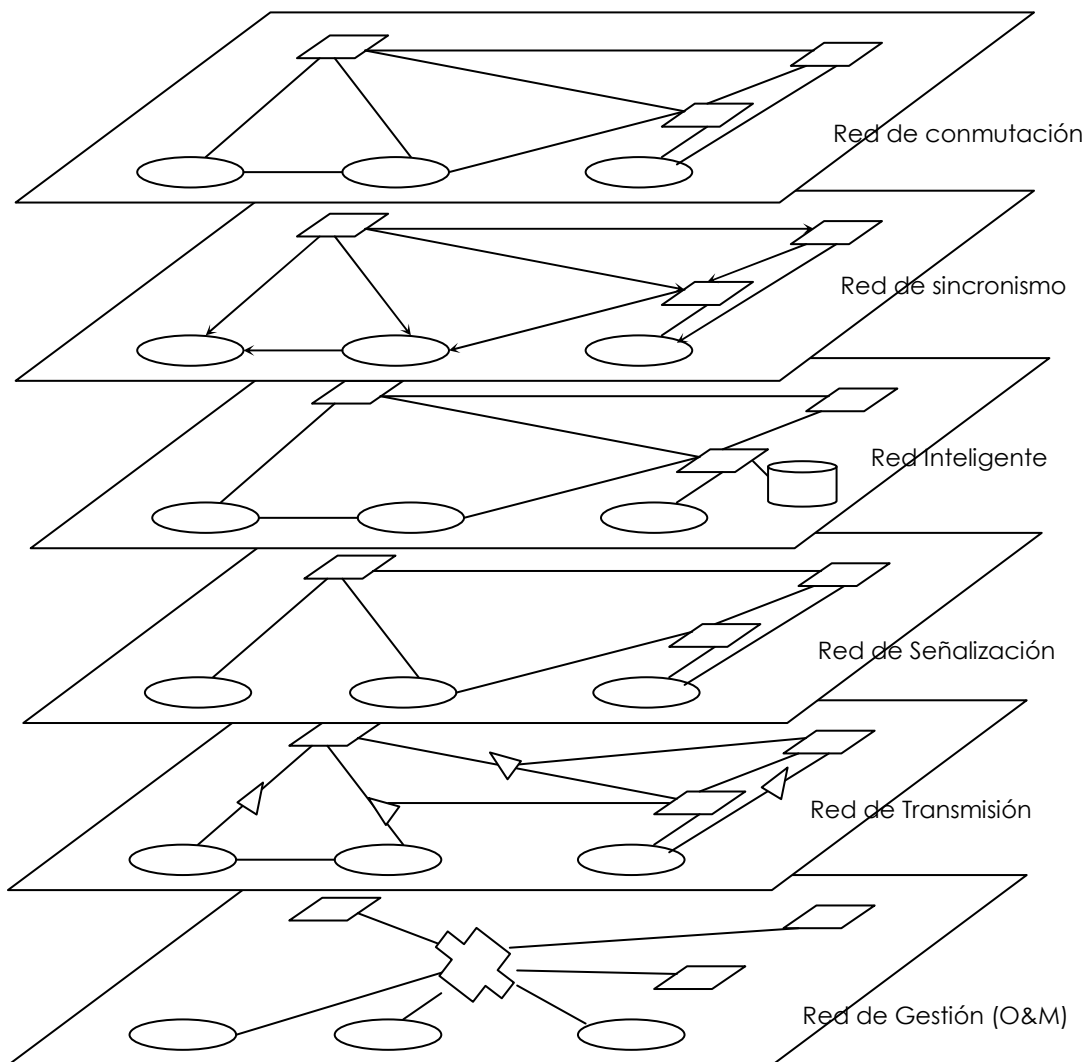
Con los sistemas de transmisión digitales era preciso realizar un proceso de conversión A/D en cada etapa de transmisión. Además el mantenimiento y ampliación de las centrales electromecánicas era costoso, lo que, junto al desarrollo de los transistores y circuitos integrados, propició la aparición de las primeras centrales de conmutación digitales, conocidas como SPC. Dichas centrales permitían un gran número de servicios que necesitan de una señalización compleja, que, necesariamente debía ser digital...

Así se evoluciona hasta la red digital integrada (R.D.I.), donde el único tramo analógico abarca el bucle de abonado y el aparato telefónico. La nueva estructura de red en

realidad puede entenderse como varias redes superpuestas; cada una de ellas con una finalidad distinta, como se muestra en la figura 46.

- **Red de transmisión:** digital en toda la red a excepción del bucle de abonado. Utiliza multiplexión por división en el tiempo, con un grupo básico formado por 30 canales de voz (E1), aunque existe una jerarquía que permite incrementar el grado de agregación (PDH) hasta 7680 canales (E5). Los enlaces PDH en ocasiones se llevan dentro de tramas STM-n de la jerarquía SDH que permite incrementar notablemente la capacidad de transmisión en los enlaces troncales.
- **Red de conmutación:** estructurada en dos niveles: **acceso**, que es la de mayor coste debido a su gran capilaridad, y **tránsito**, formada por las centrales SPC nodales, carentes de abonados y con gran nivel de redundancia (fiabilidad: parada de 2 horas en 40 años). Para la comunicación entre centrales se utiliza la red de transmisión.
- **Red de Sincronismo:** permite a los relojes de las centrales ajustarse a una fuente de referencia (reloj primario de referencia), repartiendo la señal de reloj mediante una red jerárquica a todos los nodos.
- **Red de Señalización:** utiliza los enlaces de la red de transmisión para el intercambio de información entre puntos de señalización. En la red digital integrada se utiliza la señalización por canal común SS7 entre los distintos nodos de señalización.
- **Red de Gestión:** Permite planificar, organizar, supervisar y controlar los elementos de comunicaciones a fin de garantizar un nivel de servicio. Se puede aplicar a diversos ámbitos: gestión de fallos, configuración, prestaciones, contabilidad y seguridad. En telefonía se emplea el modelo de Gestión de Red conocido como TMN, que se apoya en una red de comunicación de datos de gestión que utiliza a su vez los enlaces proporcionados por la red de transmisión.
- **Red Inteligente:** Diseñada para el despliegue rápido de nuevos servicios en la red telefónica (ejemplo, nº 900), permite encaminamientos flexibles según origen y hora, así como distribución de llamadas. Tiene como requisito fundamental no modificar la base instalada y puede utilizar enlaces de señalización SS7 para la comunicación entre sus elementos.

En realidad todas estas redes utilizan los mismos canales físicos de transmisión digital de la red, conformando así distintos niveles sobre la red de transmisión digital.



**Figura 46. La RDI como superposición de redes especializadas**

## 5. DIGITALIZACIÓN DEL BUCLE DE ABONADO

### 5.1 La Red Digital de Servicios Integrados

La Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), pretende ofrecer a los usuarios una amplia cantidad de servicios portadores (capacidad de transmisión y conmutación digital) y servicios finales, utilizando para ello un punto de acceso a la red común. La digitalización del bucle de abonado comenzó en 1985 y continúa aún en nuestros días.

#### 5.1.1 Estructura de transmisión

La estructura de transmisión define la vía digital existente entre el usuario y la red, y en ella distinguimos tres conceptos:

- a) Canalización: forma en que se canaliza o reparte la capacidad ofrecida mediante multiplexión por división en el tiempo. En RDSI se distinguen tres tipos de canales full duplex para la comunicación usuario red:

1. Canales B (Bearer, Portador): de 64 kbit/s de capacidad para el envío de voz digitalizada o de datos.
  2. Canal D (Data), que puede ser de 16 o 64 kbit/s, utilizado fundamentalmente para el envío de señalización y adicionalmente, con menor prioridad, para el envío de paquetes a baja velocidad.
  3. Canal H: permite ofrecer al usuario velocidades de transporte por encima de 64 kbit/s. Hay tres tipos:  $H_0$  de 384 kbit/s,  $H_{11}$  de 1536 kbit/s y  $H_{12}$  de 1920 kbit/s, que equivalen a 6,24 y 30 canales B respectivamente.
- b) Agrupación: el acceso a RDSI se ofrece al usuario como una agrupación normalizada de los canales B, H y D. De modo que los accesos que podrán ser contratados se ofrecen a los usuarios como un conjunto de agregados. Actualmente hay dos definidos:
1. Acceso básico (BRI, Basic Rate Interface), que consta de 2 canales B y 1 canal D de 16 kbit/s (total 144 kbit/s). Se ofrece sobre el mismo bucle de abonado de la red telefónica conmutada.
  2. Acceso primario (PRI, Primary Rate Interface). Se ha equiparado al primer nivel de la jerarquía PDH, lo que supone en definitiva un régimen binario en la línea de 2'048 Mbit/s (E1) para Europa, y 1'544 Mbit/s (T1) para EEUU, Canadá y Japón. En Europa consta de canales 30 canales B (o combinaciones de canales B y H con capacidad equivalente, es decir 1920 kbit/s) y un canal D de 64 kbit/s. Los 64 kbit/s que faltan hasta los 2'048 Mbit/s se corresponden a canales de alineación, control... Está orientado a oficinas y centralitas. Normalmente necesita fibra óptica o cable coaxial hasta el abonado.
- c) régimen binario existente entre el usuario y la red: que puede ser de dos tipos: 192 kbit/s full duplex para el acceso básico y algo más de 2Mbit/s (E1) full duplex para el primario. Este régimen binario no puede ser utilizado entero por del usuario, ya que parte está destinado para tareas como alineamiento de trama, sincronismo, control de errores de transmisión, y otras sobrecargas.

### 5.1.2 Arquitectura y plan de numeración de RDSI.

En la normalización de la RDSI se contemplaron diferentes tareas a realizar, que se asignan a diversos grupos funcionales, estableciéndose a su vez distintos puntos de referencia como frontera o interfaz entre ellos, como se muestra en la figura 47.

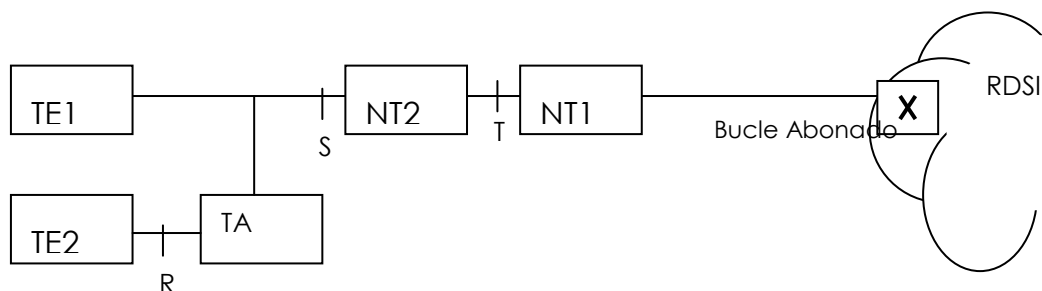


Figura 47. Grupos funcionales y puntos de referencia de la RDSI

Los grupos funcionales son:

Arquitectura de Redes Sistemas y Servicios

Curso 2010/11

Isabel Román Martínez

Rafael Estepa Alonso

- a) **Terminación de Red tipo 1 (NT1)**: Realiza funciones asociadas a la interfaz física (mecánica y eléctrica) del bucle de abonado en la RDSI, estableciendo la frontera entre éste y la instalación propietaria del abonado. Permite la conexión de varios equipos a la vez (topología en bus), por lo que incorpora mecanismos de control de acceso al canal común de señalización D.
- b) **Terminación de Red tipo 2 (NT2)**: Dispositivo inteligente que realiza las funciones de concentración y conmutación locales a la instalación del abonado. Ejemplo: centralitas o encaminadores en las redes de área local.
- c) **Equipo Terminal tipo 1 (TE1)**: Dispositivo digital que soporta la interfaz estándar RDSI. Ejemplo: teléfono RDSI o computadora con tarjeta RDSI.
- d) **Equipo Terminal tipo 2 (TE2)**: Dispositivo que no soporta la interfaz estándar RDSI
- e) **Adaptador de Terminal (TA)**: Transforma los equipos TE2 en TE1

Los puntos de referencia R,S, y T representan la frontera entre los diferentes grupos funcionales y pueden estar ausentes en una instalación.

Respecto a la arquitectura de protocolos utilizados por RDSI entre el usuario y la red, distinguiremos tres planos:

- **Plano de control**, utilizado para establecer y liberar conexiones. Se basa en el uso de señalización
- **Plano de usuario**, utilizado para la transferencia de información entre dos usuarios conectados a RDSI
- **Plano de Gestión**, que permite la operación y el control de parámetros del sistema.

A nivel físico se realizan tareas relacionadas con la transmisión de señales (parámetros físicos y eléctricos), multiplexión de canales, codificación de línea, acceso por contienda al canal D, e identificación de los terminales. Todo ello viene descrito en la recomendación I.430 para el acceso básico e I.431 para el acceso primario. La I.410 establece un conector RJ-45 con 4 hilos activos como mínimo, así como código de línea HDB3. Se fijan también aquí las posibles configuraciones de cableado (punto a punto, bus pasivo corto/largo, etc )

Sobre ese nivel físico el usuario podrá enviar directamente sus datos (por ejemplo voz codificada en canales B) cuando esté utilizando conmutación de circuitos, y una vez establecido éste. Las señales del plano de control necesarias para el establecimiento y liberación de circuitos entre el usuario y la red se definen en la recomendación Q.931 (SET UP, CONNECT, ALERTING, ...), y son enviadas a la red dentro de tramas LAPD (definido en la Q.921) que utilizan físicamente los bits del canal D.

Con el plan de numeración podemos distinguir a cada equipo de usuario del resto, permitiendo a la red su localización y facilitando su tarificación. El plan de numeración RDSI establece números RDSI de forma independiente de la naturaleza del servicio (voz, datos, ...), y como extensión del plan de numeración de la red telefónica tradicional (E.164), tal y como se muestra en la figura 48.

Un número RDSI está formado por el nº internacional y la subdirección RDSI (max. 55 dígitos). Podemos asignar subdirecciones a los TE del usuario conectados en el BUS o bien asignarles distintos números de abonado facilitando así la marcación directa.

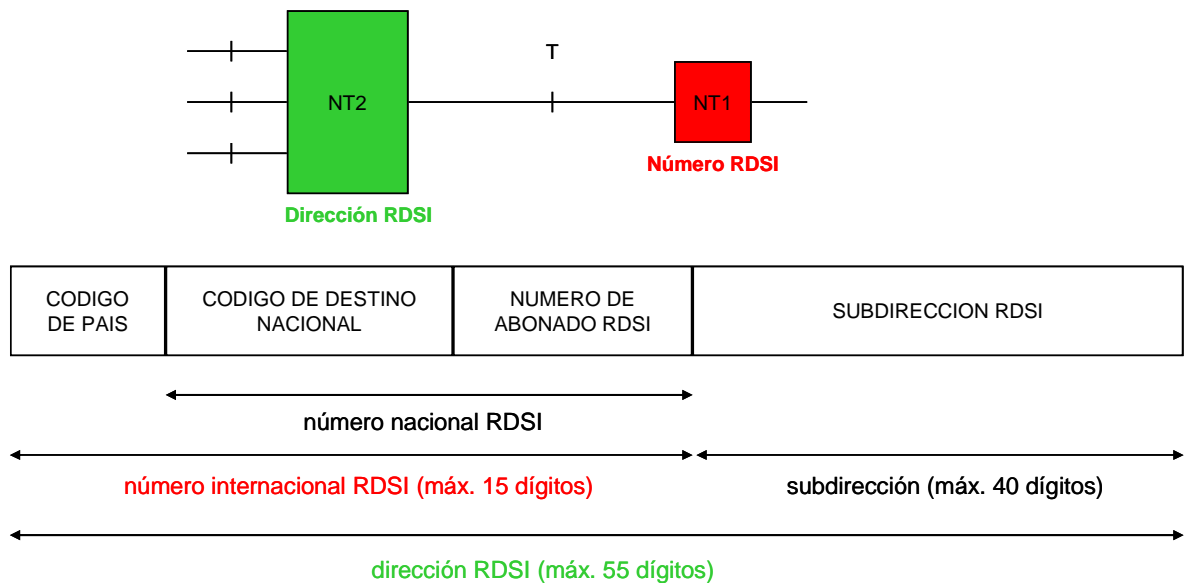


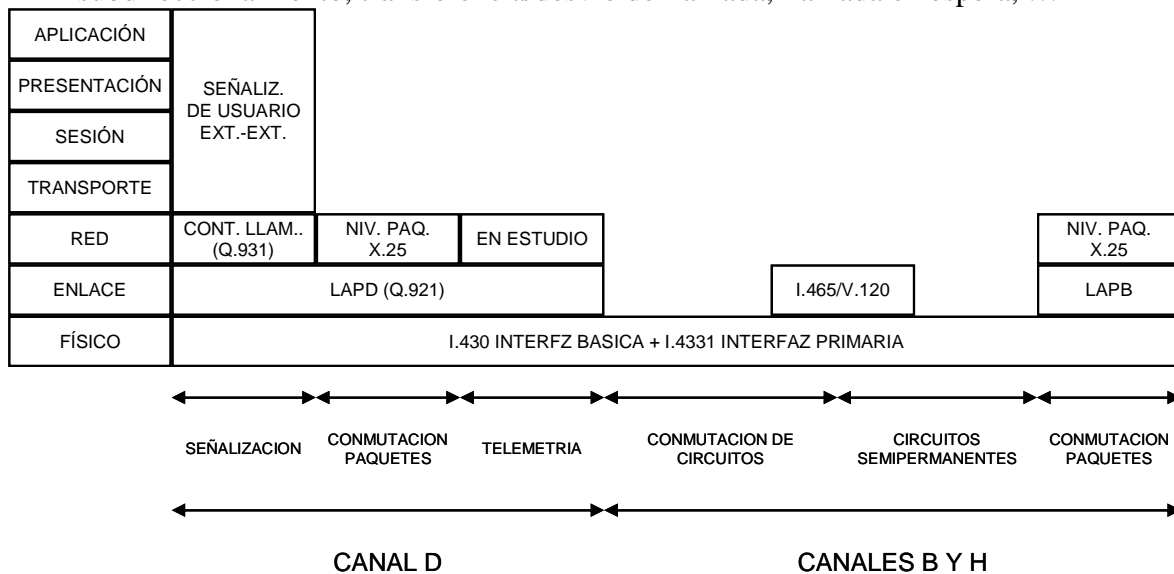
Figura 48. Numeración y direccionamiento RDSI (basado en E.164)

### 5.1.3 Servicios ofrecidos por RDSI

Como ya se vio en el primer tema se entiende por servicio un conjunto de facilidades o prestaciones proporcionadas por un proveedor a los usuarios. La forma en la que la ITU-T clasifica los servicios de telecomunicación fue descrita en el tema 1, a continuación se presenta cómo se ofrecen esos servicios en la RDSI.

- a) **Servicios Portadores:** Ofrecen al usuario, mediante una interfaz normalizada de acceso a la red, la capacidad de transportar información con independencia de su contenido. Hay dos tipos básicos de servicios portadores:
- **Modo circuito:** La información de los usuarios se transporta por conmutación de circuitos sobre canales B o H. En función del modo en que se establezca el circuito distinguiremos circuitos bajo demanda, que utilizan el canal D para la señalización, o circuitos semipermanentes, en cuyo caso se encuentran siempre disponibles y no es necesario establecer las conexiones mediante señalización. Esta forma de transporte/conmutación es la utilizada tradicionalmente en la RTC, y la única que hemos estudiado hasta ahora.
  - **Modo paquete:** La información del usuario se transmite hacia el equipo destino mediante conmutación de paquetes. Este servicio puede ofrecerse mediante una red externa o mediante los propios nodos de RDSI. La conmutación de paquetes no asegura el retardo que éstos pueden sufrir al atravesar la red, por lo que sólo es válida para el transporte de datos sin requisitos de tiempo real. El siguiente tema definirá con más precisión los fundamentos básicos de la conmutación de paquetes. La información a transmitir por el usuario se trocea en paquetes que deben cumplir con la recomendación X.25 y se envían en tramas de tipo LAPB sobre el canal físico (canales B o H, aunque este servicio también se puede ofrecer a través del canal D). Otro servicio de conmutación de paquetes ofrecido por la RDSI es la conmutación de tramas (Frame Relay) que permite el envío de paquetes denominados tramas mediante conexiones semipermanentes entre dos puntos fijos, a una velocidad de hasta 2 Mbit/s.

- b) **Teleservicios** : Utilizan un servicio portador y proporcionan una comunicación completa entre usuarios (incluyendo los equipos terminales). En RDSI hay definido un gran conjunto de servicios, como el de telefonía, que permite conversaciones bidireccionales en tiempo real para señales analógicas con un ancho de banda de 3,1 kHz, telefax del grupo 4 (permite transferir de forma fiable texto, imágenes, ...), videotex, ...
- c) **Servicios Suplementarios**: Son servicios que modifican o complementan a los anteriores (portadores y teleservicios). No pueden contratarse de forma aislada, sino asociados a otro servicio. Ejemplo: Identificación de llamada entrante, subdireccionamiento, transferencia/desvío de llamada, llamada en espera, ...



**Figura 49. Servicios y protocolos RDSI**

La figura 49 muestra la torre de protocolos RDSI, aunque los conceptos necesarios para entender la misma se introducirán en el próximo tema.

Existe además un método que permite especificar nuevos servicios en base a sus atributos, como la capacidad de transferencia de información (régimen binario, tipo de conmutación, modo de establecimiento de la conexión, ...), características de acceso (velocidad, canales y protocolos de acceso), y otras características generales como nivel de calidad, interfuncionamiento con otros servicios, ... De esta forma, especificando las características del servicio, es posible ofrecer con RDSI nuevos servicios que aparezcan en un futuro.

## 5.2 ADSL

### 5.2.1 Tecnologías de bucle de abonado digital

La idea de las tecnologías de bucle de abonado digital, DSL (Digital Subscriber Line), es explotar el bucle de abonado ya existente, el tradicional cable de pares, aprovechando al máximo el ancho de banda del mismo (de aproximadamente 1MHz o incluso más) para proporcionar servicios que necesiten una mayor capacidad. Por supuesto se utilizará tecnología digital y no analógica como hasta ahora se había hecho en la RDI.

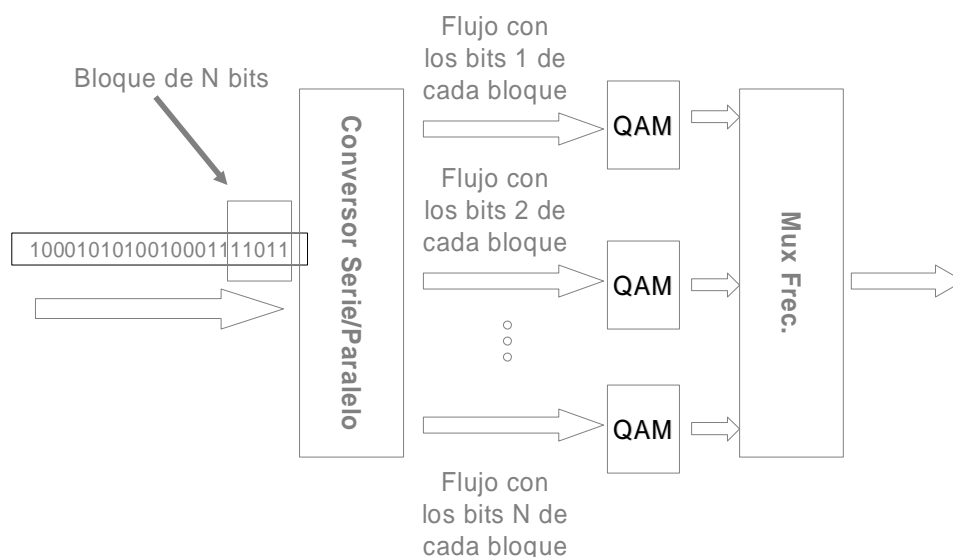
Dentro de este conjunto de tecnologías se encuentran: ADSL, RADSL, HDSL, VDSL y SDSL. Vamos a ver sólo la primera por ser la más extendida.

**ADSL** o línea de abonado digital asimétrica (Asymmetric Digital Subscriber Line): Se denomina asimétrica porque se proporcionan tasas de bits mayores en la dirección descendente (desde la central a la casa del abonado) que en la dirección ascendente. Esta idea es interesante porque uno de los servicios más utilizados por los abonados es la consulta y descarga de información desde sitios Web. Esto implica grandes volúmenes de datos en el enlace descendente mientras que la información que se envía en sentido contrario suele ser pequeña; petición de páginas, mensajes de correo electrónico, etc.

### 5.2.2 Modulación en ADSL

Con ADSL el ancho de banda de un cable de pares (aproximadamente 1MHz) se divide en tres bandas. Entre 0 y 24kHz se utiliza para el servicio telefónico tradicional. Aunque este servicio sólo utiliza 4KkHz el resto se utiliza como banda de guarda para separar el canal vocal de los canales de datos. La banda entre 25 y 200 kHz se utiliza para la información en sentido ascendente, hacia la central telefónica. La banda entre 250kHz y 1MHz se utiliza para la información descendente, hacia el terminal.

La ANSI normalizó una técnica de modulación conocida como multitono discreta (DMT, Discrete Multi-Tone). Que se representa en la figura 50. Con esta técnica se combinan la modulación QAM y la multiplexión FDM. El ancho de banda disponible en cada dirección se divide en canales de 4kHz, cada uno de los cuales tiene su propia frecuencia portadora. Los bits a transmitir se pasan por una serie de convertidores serie-paralelo, donde un bloque de N bits se divide en N flujos paralelos. Cada flujo se modula con QAM. Las N señales moduladas se multiplexan en frecuencia y se envían a la línea.



**Figura 50. Esquema DMT**

La norma dada por la ANSI define una tasa de 60 kbit/s para cada canal de 4kHz, lo que significa que la modulación QAM tiene que ser de 15 bits por símbolo. El esquema de un modem ADSL se presenta en la figura 51.



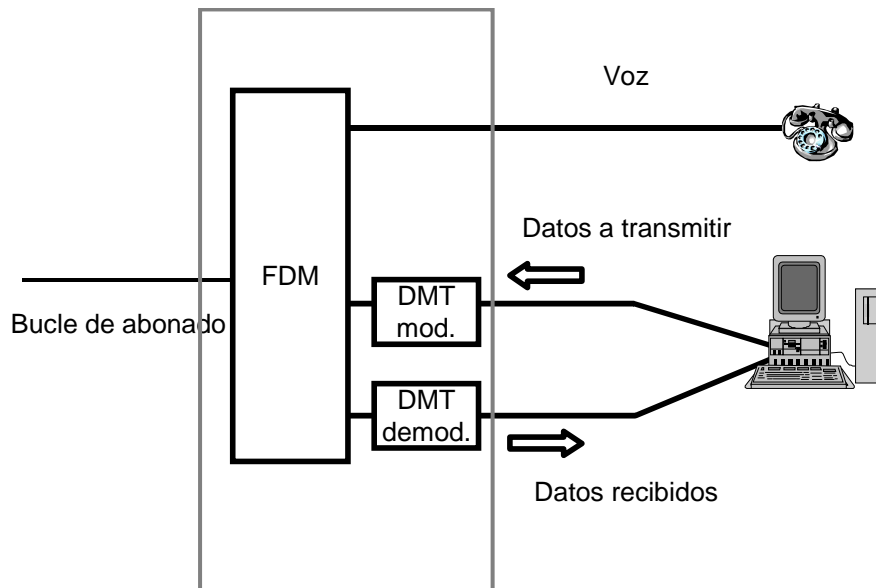


Figura 51. Esquema de un MODEM ADSL

**Cuestión 17.** ¿Cuántos símbolos tiene esta modulación? Justifique matemáticamente esta conclusión.

**Cuestión 18.** Calcule la tasa de bits máxima en el enlace descendente y en el ascendente.

## 6. CONCLUSIONES

En este tema hemos estudiado la evolución de la RTC analizando los cambios tecnológicos en distintos aspectos de la misma: transmisión, multiplexión, conmutación, señalización, etc. Al terminar de estudiar este tema el alumno debe entender todos estos conceptos y ser capaz de identificar los elementos más relevantes de la RTC y de extrapolar los conceptos aprendidos a otras redes de telecomunicación.

### Ejercicios

1. Calcule el régimen binario teórico máximo en el enlace descendente en ADSL sabiendo que la banda descendente está entre 250KHz y 1MHz.
2. La recomendación V.110 define, entre otras cosas, un mecanismo para adaptar distintos regímenes binarios de un usuario (terminal) al régimen binario de un canal RDSI de tipo B. En la figura se presenta un ejemplo de adaptación, los bits representados son los correspondientes a un canal B. Sabiendo que los bits D1 a D24 representan los bits de datos de usuario y los bits S y X se pueden utilizar para transportar información de control en el estado transferencia de datos.

Número de octeto	Número de bit							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	D1	D2	D3	D4	D5	D6	S1
2	0	D7	D8	D9	D10	D11	D12	X
3	1	D13	D14	D15	D16	D17	D18	S3
4	1	D19	D20	D21	D22	D23	D24	S4

- a) Para el caso representado en la figura calcule el régimen binario de datos de usuario.
  - b) Para el caso representado en la figura calcule la capacidad del canal X.
3. Calcule la capacidad disponible para la señalización asociada a un canal de datos en enlaces T1 cuando se utiliza señalización por canal asociado (Ver figura 27).
  4. Calcule la capacidad del canal FAS en enlaces T1 (Ver figura 27)

Número de trama en la multitrama	Bits F			Número(s) de bit en cada intervalo de tiempo de canal		Denominación del canal de señalización <sup>a)</sup>	
	Número de bit en la multitrama	Asignaciones			Para la señal de carácter <sup>a)</sup>		Para la señalización <sup>a)</sup>
		FAS	DL	CRC			
1	1	-	m	-	1 a 8	-	A
2	194	-	-	e1	1 a 8	-	
3	387	-	m	-	1 a 8	-	
4	580	0	-	-	1 a 8	-	
5	773	-	m	-	1 a 8	-	
6	966	-	-	e2	1 a 7	8	
7	1159	-	m	-	1 a 8	-	
8	1352	0	-	-	1 a 8	-	
9	1545	-	m	-	1 a 8	-	
10	1738	-	-	e3	1 a 8	-	
11	1931	-	m	-	1 a 8	-	B
12	2124	1	-	-	1 a 7	8	
13	2317	-	m	-	1 a 8	-	
14	2510	-	-	e4	1 a 8	-	
15	2703	-	m	-	1 a 8	-	C
16	2896	0	-	-	1 a 8	-	
17	3089	-	m	-	1 a 8	-	
18	3282	-	-	e5	1 a 7	8	
19	3475	-	m	-	1 a 8	-	
20	3668	1	-	-	1 a 8	-	
21	3861	-	m	-	1 a 8	-	
22	4054	-	-	e6	1 a 8	-	
23	4247	-	m	-	1 a 8	-	D
24	4440	1	-	-	1 a 7	8	

FAS Señal de alineación de trama (*frame alignment signal*) (... 001011 ...).

DL Enlace de datos (*data link*) a 4 kbit/s (bits de mensaje m).

CRC Campo de verificación de bloques CRC-6 (bits de verificación e1 a e6).

a) Sólo es aplicable en el caso de señalización asociada al canal (véase 3.1.3.2).

**Figura 27. Estructura de multitrama en un enlace T1. Cuadro 1/G.704**