

Sistemas de Telecomunicación

3º Ingeniería de Telecomunicaciones — UPV/EHU
"Under-promise and over-deliver."

Javier de Martín – 2016

Unidades Logarítmicas

dB es una unidad que describe una **relación** entre magnitudes.

$$\begin{aligned} L(dB) &= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \\ &= 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \end{aligned}$$

Unidades Derivadas del dB

- **dBm**: Potencia de la señal en un punto cualquiera de un circuito referida a una potencia de $1mW$.

$$L(dBm) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P(mW)}{1mW} \right)$$

- **dBW**: Potencia de la señal referida a una potencia de $1W$.

$$L(dBW) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P(W)}{1W} \right)$$

- **dBmV**: Nivel de un voltaje comparado con $1mV$ sobre una carga de 75Ω .

$$L(dbmV) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V(mV)}{1mV} \right)$$

- **dBV**: Nivel de un voltaje comparado con $0,0775V$ (tensión eficaz) sobre una carga de 600Ω .

$$L(dBm) = dBV + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{600}{R} \right)$$

Estas medidas están relacionadas por:

$$L(dBm) = L(dBV) + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{600}{R} \right)$$

Niveles

- **dB_r**: Expresa el nivel relativo en un punto con respecto a otro punto; es una medida en **dB** sin sufijo, *r* se incluye para denotar que se trata de un valor relativo a un cierto punto de referencia.

$$L(dBr) = 10 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}}$$

- **dBm0**: Indica la potencia en **dBm** presente en el punto de nivel relativo cero.

$$L(dBm0) = L_A(dBm) - L_A(dBr)$$

Si se emite un tono de prueba ($0dBm$) $\rightarrow L_A(dBm) = L_A(dBr)$.

Perturbaciones y Medios de TX

Distorsión Lineal

- de amplitud: $k \neq cte$, $k = k(f)$
- de fase: $t_o \neq cte$, $t_o = t_o(f)$

Distorsión No Lineal o Armónica

$$y(t) = f(x(t)) \underbrace{=}_{\text{Serie de Taylor}} \underbrace{a_0}_{\text{C.C}} + \underbrace{a_1 x(t)}_{\text{Término Lineal}} + \underbrace{a_2 x^2(t)}_{\text{Término Cuadrático}} + \underbrace{a_3 x^3(t)}_{\text{Término Cúbico}} + \dots + a_n x^n(t)$$

El grado del polinomio a la salida del sistema no lineal indica cuántas frecuencias nuevas van a ser generadas por dicho sistema.

- **Coefficiente de Distorsión del Armónico n-ésimo** d_n :

$$d_n = \frac{V_{d_n}}{V_1} \quad n = 2, 3, \dots, k$$

$$D_n = 20 \cdot \log_{10} \frac{V_{d_n}}{V_1}$$

- **Atenuación del Armónico n-ésimo** A_n :

$$A_n = 20 \cdot \log_{10} 0 \frac{V_1}{V_{d_n}} = -D_n$$

- **Coefficiente de Distorsión Total** d :

$$d = \sqrt{\sum_{n>1} d_n^2}$$

- **Total Harmonic Distortion(THD)**:

$$THD(\%) = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n>1} V_{d_n}^2} \cdot 100\%$$

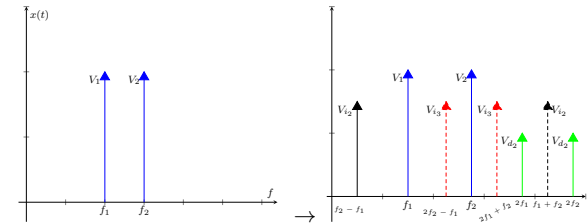
Si V_1 aumenta $\Delta(dB) \rightarrow V_{d_n}$ aumenta $n \cdot \Delta(dB)$.

Intermodulación

$$x(t) \xrightarrow{h(t)} y(t) = a_0 + a_1 \cdot x(t) + \dots + a_n \cdot x^n(t)$$

A la salida del sistema aparecen nuevas frecuencias:

- Armónicos: $2 \cdot f_1, 2 \cdot f_2, 3 \cdot f_1, 3 \cdot f_2, \dots, n \cdot f_1, n \cdot f_2$
- Combinación lineal de las frecuencias de $x(t)$:
 - Segundo orden: $f_1 + f_2, f_1 - f_2, \dots$
 - Tercer orden: $2f_1 + f_2, f_1 - 2f_2, \dots$



Intermodulación orden $n >$ Armónico orden n

- **Coefficiente de Intermodulación enésimo** (i_n):

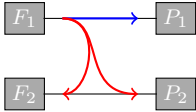
$$i_n = \frac{V_{d_1}}{V_1} = n \cdot d_n$$

$$I_n = 20 \cdot \log_{10} \frac{V_{i_n}}{V_1} = 20 \cdot \log_{10} n \cdot \frac{V_{d_1}}{V_1} = D_n + 20 \cdot \log_{10} n$$

Si $x(t)$ cambia y ahora tiene $\Delta(dB)$ menos:

$$D'_n = D_n + (n - 1) \cdot \Delta$$
$$I_N = D_n + 20 \cdot \log_{10} n$$
$$I'_n = D'_n + 20 \cdot \log_{10} n = D_n + (n - 1)\Delta + 20 \cdot \log_{10} n =$$
$$= I_n + (n - 1) \cdot \Delta$$

Diafonía



El circuito **perturbador** es el circuito en el que se genera la perturbación y el circuito **perturbado** es en el que se recibe la diafonía.

Clasificación de la diafonía:

- Según como sea percibida la señal perturbadora en el circuito perturbado:
 - Inteligible
 - Ininteligible
- Según el número de circuitos que atraviesa la señal perturbadora:
 - Directa: No se atraviesan circuitos intermedios
 - Indirecta: Se atraviesan uno o más circuitos intermedios
 - Transversal
 - Longitudinal
- Según el extremo que recibe la perturbación
 - Paradiafonía: Perturbación recibida en el mismo extremo que se genera la señal, conocida como *NEXT* (Near End Cross Talk).
 - Telediafonía: Recibida en el extremo opuesto. Conocida como *FEXT* (Far End Cross Talk).

Parámetros de medida de la diafonía:

- P_1 : Potencia de la señal en un punto del circuito perturbador.
- P_2 : Potencia de la señal perturbada medida en un punto equivalente del circuito perturbado.
- Relación de Diafonía (R_d):

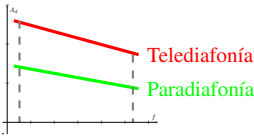
$$R_d = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

- Atenuación de Diafonía (A_d):

$$A_d = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -R_d$$

- Cross Talk Unit (CU):

$$CU = 20 \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \cdot 10^6 \right) = 120 - A_d$$



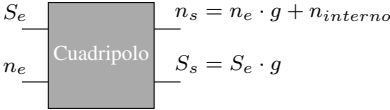
Ruido

Ruido Térmico

$$n = k \cdot t \cdot B$$
$$N = 10 \cdot \log_{10}(ktB)$$

- k : Constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} W/K/Hz$)
- t (Kelvin): Temperatura
- b (Hz): Ancho de banda

Ruido en un Cuadripolo



Parámetros de caracterización del ruido:

- Temperatura Equivalente de Ruido** (T_{eq}): Temperatura a la que tendría que estar la entrada del circuito para que a la salida se vea el mismo ruido que se produce suponiendo que el cuadripolo es ideal.

$$n_{int} = k \cdot t_{eq} \cdot b \cdot g$$

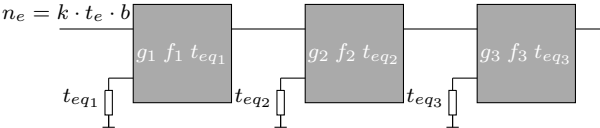
- Factor de Ruido en un Cuadripolo** (f): Cociente entre la potencia de ruido a la salida comparada con la potencia de ruido que habría a la salida si la entrada estuviera a temperatura estándar y el cuadripolo no añadiera ruido térmico.

$$f = \frac{n_s}{k \cdot t_o \cdot b \cdot g} = 1 + \frac{t_{eq}}{t_o} \quad f = \left(\frac{S}{N} \right)_e \bigg/ \left(\frac{S}{N} \right)_s$$
$$F = 10 \cdot \log_{10}(f) = \left(\frac{S}{N} \right)_e - \left(\frac{S}{N} \right)_s$$

Relación entre t_{eq} y f :

$$t_{eq} = t_o \cdot (f - 1) \quad f = 1 + \frac{t_{eq}}{t_o}$$

Asociación de Cuadripolos



$$n_s = k \cdot b \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot g_3 \left(t_o + t_{eq1} + \frac{t_{eq2}}{g_1} + \frac{t_{eq3}}{g_1 \cdot g_2} \right)$$

Fórmula de Friis:

$$f_T = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 \cdot g_2} + \dots + \frac{f_n - 1}{g_1 \cdot g_2 \cdot \dots \cdot g_{n-1}}$$

Tráfico

Tráfico Telefónico

El **tráfico** es una medida del conjunto de peticiones de uso y de ocupación de los recursos de un determinado sistema de telecomunicaciones.

- **Ritmo de afluencia de las llamadas** (λ , $\frac{\text{Número de Llamadas}}{\text{Tiempo}}$)
- **Tiempo medio de duración** de las llamadas (T_m)
- **Volumen de Tráfico**: Tiempo de ocupación de los recursos, para N circuitos:

V(N) = \sum_i V_i

Se mide en:

- LLR: Llamadas reducidas - 120 segundos $\rightarrow 1(E) = 30 \frac{LLR}{H}$
- CCS: *Century Call Seconds* - 100 segundos $\rightarrow 1(E) = 30 \frac{LLR}{H}$
- **Intensidad de Tráfico (A)**: Volumen a lo largo de un periodo de observación, se mide en *Erlangs*.

A = \frac{t_{ocupación}}{t_{observación}} = \lambda \cdot t_{medio}

- **Tiempo de Observación para las medidas del tráfico (A)** El tráfico depende tanto de la duración como de la distribución de llegada de las llamadass

Bloqueo - Llamadas Perdidas - GoS - Disponibilidad

- **Tráfico Ofrecido** (A_O): Tráfico que soportaría la red si fuera capaz de servir todas las solicitudes de servicio.
- **Tráfico Bloqueado** (A_B): Tráfico rechazado por ocupación de todos los circuitos $B \cdot A_O$.
- **Tráfico Cursado** (A_C): Tráfico servido por la red $A_O(1 - B)$.
- En un sistema sin pérdidas: $A_O = A_C$.
- En un sistema con pérdidas: $A_O = A_C + A_B$.
- Con N circuitos o servidores, $\rho = \frac{A}{N}$ será el tráfico, ofrecido/cursado, por circuito o servidor.

Un **conmutador tiene disponibilidad total** cuando cada entrada tiene acceso a cada una de las salidas.

Distribuciones Estadísticas para Fuentes de Tráfico

- Duración de llamada constante: redes de conmutación de paquetes
- Duración de llamadas exponencial negativa: conversación telefónica

Modelo de Llamadas Perdidas Despejadas

Modelo LLC → Erlang-B

Distribución Erlang B para el cáclulo de la probabilidad de bloqueo

B(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}

B(N, A): Probabilidad de Bloqueo
N: Número de órganos
A: Tráfico ofrecido

Sistemas con Retardo - LCD

Las solicitudes de servicio que encuentran todos los servidores ocupados son puestas en una cola. Los servidores verán un ritmo constante de llegadas. Parámetros:

- Tiempo de Servicio o Tiempo de Ocupación (T_O).
- Tiempo de Espera (T_w).
- Tiempo total en el sistema ($T_s = T_m + T_w$).

Sistemas M/M/N (Erlang-C)

Llegadas aleatorias, tiempo de servicio exponencial y N servidores.

p(t_w > t) = C(N, A) \cdot e^{-\frac{(N-A)t}{T_m}}

T_w = \frac{C(N, A) \cdot T_m}{N - A}

Número medio de usuarios en cola:

u_w = \lambda \cdot T_w

Sistemas M/M/1

Llegadas aleatorias, tiempo de servicio exponencial y 1 servidor.

C(N, A) = A = \rho

p(t_w > t) = A \cdot e^{-\frac{(1-A)t}{T_m}}

T_w = \frac{\rho \cdot T_m}{1 - \rho}

Sistemas M/D/1

Llegadas aleatorias, tiempos de servicio fijos y 1 servidor.

T_w = \frac{\rho \cdot T_m}{2 \cdot (1 - \rho)}

p(t_w > 0) = A = \rho

Redes de Acceso

Introducción

Introducción

“El objetivo es asegurar la comunicacioón oral entre los usuarios del serviicio atendiendo a lso estándares de la ITU que fijan las normas para obtener un servicio mínimo de calidad”

Para proveer el servicio es necesario:

- Red o conjunto de medios que posibiliten el **acceso a los usuarios del servicio**: terminales de abonado, medios de transmisión (bucle local) y centrales de acceso y conmutación (centrales locales - remotas).
- Red o conjunto de medios que interconectan los medios de acceso de los usuarios para proveer conectividad total entre los usuarios: Redes de transporte y centros de conmutación.

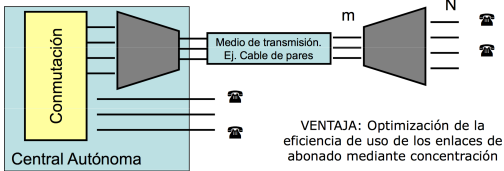
La red se define como un método de interconexión de centrales para poder proveer conectividad total. En telefonía hay tres métodos utilizados para interconectar centrales:

- Malla (todos con todos): Eficiente en zonas con usuarios concentrados cerca de los nodos y si el tráfico de usuarios es alto, el número de enlaces es alto $\frac{N(N-1)}{2}$ y la escalabilidad es compleja.
- Estrella (a través de un centro de y estrella doble (varias estrellas a través de un centro de tránsito de segundo orden): Menor número de conexiones (N), necesita nodos intermedios de conmutación, óptimo en lugares con poco tráfico, permite dar acceso a zonas aisladas y su escalabilidad es sencilla.

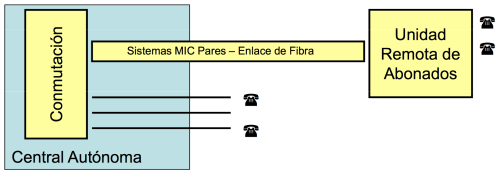
•

RDI: Red Digital Integrada

La **red de acceso** son centrales digitales remotas. Se componen de **concentradores**: son equipos de conmutación para dar accesos a abonados alejados de la central, las funciones de conmutación las realiza la central autónoma, el camino telefónico de una llamada local pasa por la central autónoma.



Unidades remotas de abonados: son equipos con más capacidad de accesos que el concentrador, están conectados a la central autónoma mediante sistemas MIC por cable o bien enlaces de fibra, su funcionamiento es más autónomo que en el caso de los concentradores y tienen capacidad de conmutación para los enlaces locales.



Terminal Telefónico

Transmisores y Receptores

El primer sistema basado en un transmisor, un receptor y una batería dispuestos en serie funcionaba por le principio de resistencia variable. El problema era la potencia del transmisor ya que no existían amplificadores. En la actualizad el transmisor es un micrófono de carbón (no lineal y muy sensible).

El bucle de Abonado

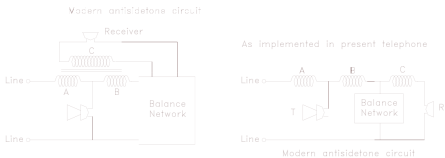
El **bucle de abonado** es una conexión física con la central telefónica, inicialmente era un único hilo (aprovechando la tierra) y actualmente son dos hilos (cable de pares). Inicialmente nació como líneas dedicadas entre dos usuarios, posteriormente fueron líneas de conmutación manual (centralitas) y finalmente son centrales de conmutación (strowger).

La Bobina de Inducción

Inicialmente eran un transmisor y un receptor en serie. Tenían **problemas** como la impedancia del altavoz, difícil adaptación de impedancias y la corriente continua que circulaba a través del receptor reducía su eficiencia. Como **solución** se utiliza la bobina de inducción, se aíslan los TX y RX facilitando la adaptación y evitando que circule corriente continua por el altavoz.

El Efecto Local (Sidetone)

Sigue habiendo un **problema**, las señales del micrófono se escuchan en el auricular. Hay un tercer camino de alta ganancia entre el altavoz y auricular que hace que el usuario se escuche a sí mismo demasiado alto y tienda a hablar más bajo.



La adaptación no es perfecta (Z_L variable), pero un cierto nivel de sidetone es beneficioso.

Alimentación y llamada

La alimentación se realiza desde la central local con 48V. El consumo de corriente del terminal permite identificar y dar servicio a los usuarios (estados: on-hook y off-hook) **Insertar Imagen aquí**. El timbre está conectado en paralelo y es de alta impedancia, la señal que se envía a la central es de $75V_{rms}$ y $50Hz$.

Marcación

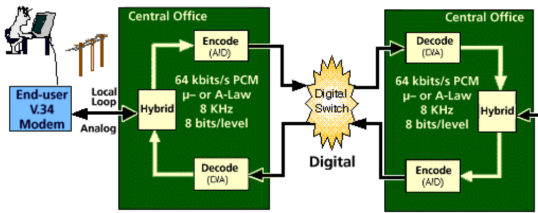
- **Por Pulsos/Decamétrica**:
- **DTMF** (*Dual Tone MultiFrequency*):

Otros tipos de terminales

La ITU define dos tipos de módems:

- **Modems Digitales**: Envía señales G.711 y recibe señales V.34 codificadas con el estándar V.34. Se conecta a una red con conmutación digital con un interfaz digital.
- **Modems Analógicos**: Generan señales V.34 y reciben señales G.711 que han sido decodificadas en una central local de abonado telefónico y preparadas para su envío a través de un bucle de abonado.

G.711 - Pulse Code Modulation (PCM) of voice frequencies
V.34 - A modem operating (up to 33.600 bit/s) for use in 2-wire analog PSTN

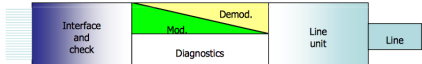


Los módems tienen distintas especificaciones que varían según las redes.

- V.26 - 2400 bps para uso en líneas alquiladas a 4 hilos
- V.27 - 4800 bps para uso en líneas alquiladas
- V.27ter - 4800/2400 bps para uso genérico en la red telefónica conmutada
- V.29 - 9600 bps para uso en líneas alquiladas punto a punto a 4 hilos
- V.34 - 33600 bps para uso genérico en la red telefónica conmutada
- V.90 - 56000 bps en el enlace descendente y hasta 33600 bps para el ascendente. Uso genérico en la red telefónica conmutada

Funciones de un modem:

1. **Circuitos para compatibilizar la señalización RDI**: Descolgado, marcado y detección de tono marcado.
2. **Circuitos de envío de la señal de datos** en la banda de frecuencias vocal
3. **Transmisión a cuatro hilos equivalentes**: Diferentes portadoras en cada sentido e inclusión de filtros para minimizar interferencias.

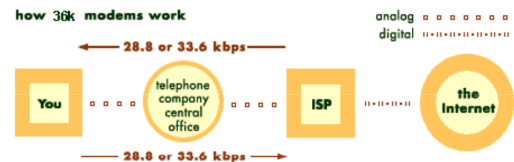


Operación de un Modem

El módem receptor espera en answer mode, en el otro extremo espera en call mode y se simula el off-hook escuchando el tono de invitación a marcar y se envían pulsos o tonos para marcar. El modem en modo answer detecta las señales de llamada, simula el off-hook y envía una portadora. El modem en modo llamada envía una portadora y se intercambian los datos ambos.

Módem V.34

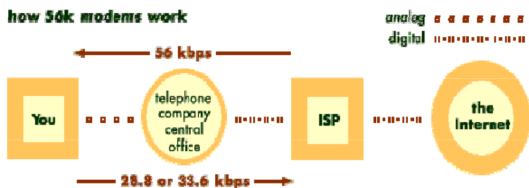
Permite mayor número de bits por símbolo y permite modulación QAM transmitiendo información en la amplitud y en la fase, incluye códigos de corrección y permite compresión. Estos módems se diseñaron para optimizar la situación en la que ambos lados de la comunicación eran analógicos.



Este tipo de módems está limitado por el ruido de cuantificación. El estándar V34 no tiene en cuenta la arquitectura real de la conexión entre la red telefónica y el proveedor de acceso a internet, siendo el bucle local la única parte analógica de la transmisión, el ruido de cuantificación sólo está presente en la parte del enlace ascendente.

Módem V90

Estándar doméstico desde 1998, el principio de funcionamiento se basa en que el ISP tiene una conexión digital con la central local. Por lo tanto se asume que solo existe una conversión analógico-digital en el camino hasta el ISP.



Comunicaciones de Facsímil a través de la RTB

Los terminales de facsímil siguen estándares de la ITU-T. Los faxes se dividen en varios grupos según si el escaneado es digital y su velocidad de transmisión.

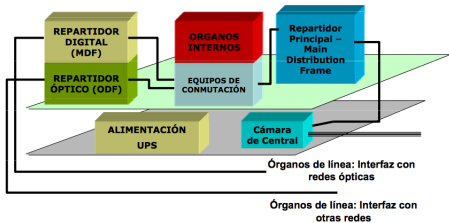
Bucle de Abonado

Introducción

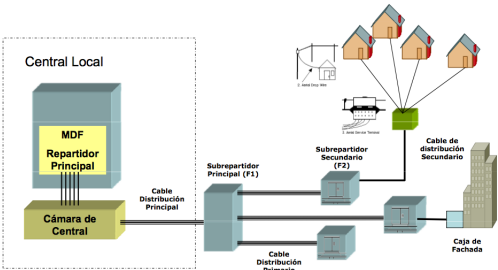
Medio físico que une la red telefónica con el terminal de abonado. En la RDI este acceso es analógico y basado en cable de pares, representa gran parte del coste de una red.

Distribución entre la central y el abonado

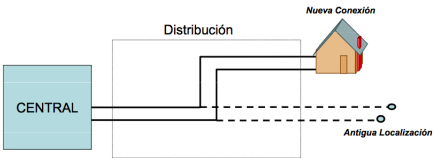
El interfaz con la red telefónica: La central local



Esquema de distribución de cable de pares



Bridged - Taps



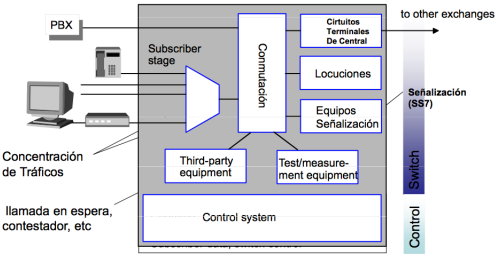
Extensión en circuito abierto conectado en paralelo a un bucle de abonado, puede originarse en un cambio de conexión (nueva localización). Permite dar flexibilidad en las instalaciones telefónicas. Produce desadaptación de impedancias, reflexiones (problema en los equipos de línea de la central y el abonado). Es dañino en altas frecuencias (ADSL).

Elementos básicos de la instalación

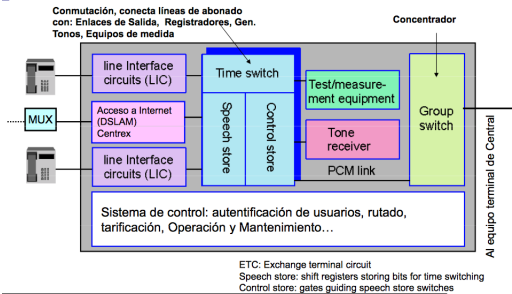
Características típicas del bucle de abonado

Los cables se clasifican según su galga (diámetro), según su categoría permiten se establece su velocidad de transmisión y su aplicación varía. La distancia máxima del bucle del abonado está limitada por **limitación óhmica** y **limitación por pérdidas (atenuación)**.

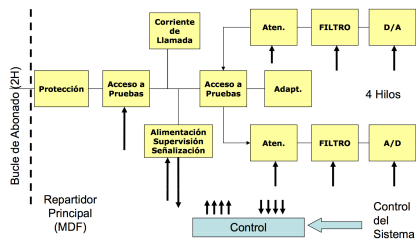
Centrales locales: Interfaz con el bucle de abonado



La central local tiene como **funciones: funciones de mantenimiento** en la que supervisa las líneas de abonado y los enlaces y **funciones de operación** en las que maneja datos administrativos y datos estadísticos.

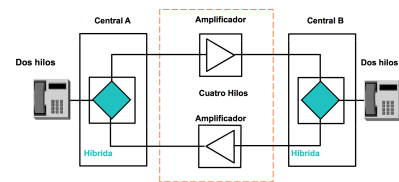


El interfaz con la red telefónica



Perturbaciones en el bucle de abonado

La **bobina híbrida** permite separar los canales de ida y vuelta. Las conexiones entre abonados son a dos hilos y las conexiones entre centrales son a cuatro hilos. Al ser elementos ideales, en las redes telefónicas se ocasionan los problemas de ECO y CANTO.



Pérdidas de retorno:

$$A_R = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{\rho}\right) = 20 \cdot \log\left|\frac{Z_L + Z_E}{Z_E - Z_L}\right|$$

Atenuación Transhíbrida:

$$A_{TH} = 2\alpha + A_R$$

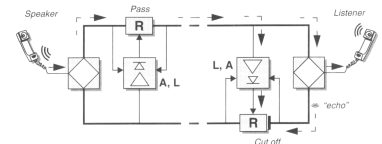
- **Estudio de la Inestabilidad:**

Pérdida entre extremos a 2 hilos: $T = 2\alpha + L - G$
 Margen de estabilidad $S = \frac{M}{2}$. El bucle a cuatro hilos será estable si no tiene ganancia, es decir, si $M = 0$. Habitualmente $S = 3dB$.

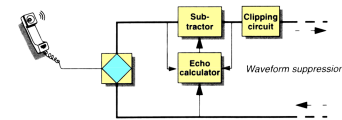
En la bobina híbrida aparecen dos tipos de **eco**:

- **Eco del hablante:** el hablante escucha un eco de su propia voz
- **Eco del oyente:** el oyente escucha un eco de la señal que escucha

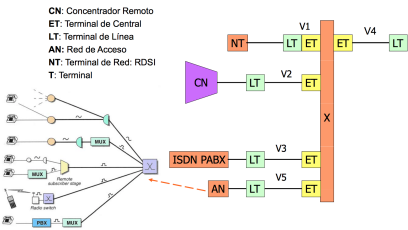
Para solucionar estos problemas se utilizan dos componentes. **NES (Network Echo Supressor)** anula la línea de transmisión cuando se detecta la señal recibida. Es equivalente a una comunicación semi-dúplex.



El **NEC (Network Echo Canceller)** elimina en la rama de transmisión la señal de eco calculada a partir de la rama de recepción



Interfaces PSTN e ISDN en una central local. ISDN es Inegrated Service Data Network y PSTN Public Switched Telephone Network.



Interfaz V1 acceso básico para la RDSI, sus funciones básicas son: $2B + D$ ($2 \times 64kbps + 16kbps$ canalización), temporización y sincronismo de trama, activación y desactivación del terminal de línea, operación y mantenimiento, alimentación... **V2 Interfaz para la conexión con concentradores:** 2048 kbit/s, $30B + D$. **V3 similar a V2 pero pensado para interfaz con centralitas (PABX):** $30B + D$ a 2048 kbit/s y también $23B + D$ a 1544 kbit/s.

DLC (Digital Loop Carriers)

xDSL

HFC y redes de fibra

Acceso Vía Radio

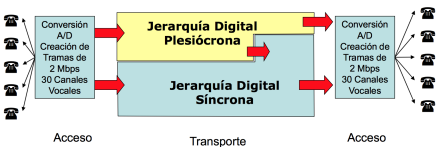
Sistemas PCM

Redes Troncales y de Transporte

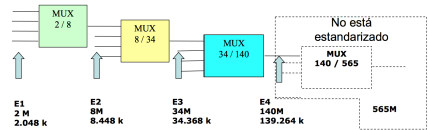
PDH

Introducción

La tecnología PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) permite multiplexar en tramas de orden superior afluentes MIC 30+2. Optimiza los recursos en los enlaces transmitiendo el mayor número de canales vocales posibles con el mínimo de recursos. Al ser sistemas digitales, la multiplexación es TDM. PDH consiste en una red en la que los relojes con "casi" síncronos, tendrán la misma velocidad pero estarán sujetos a una tolerancia. Existen varios estándares. Es coherente con la diferencia en el proceso de creación de la trama básica MIC. Las jerarquías digitales son la herramienta de transporte de las redes telefónicas digitales.

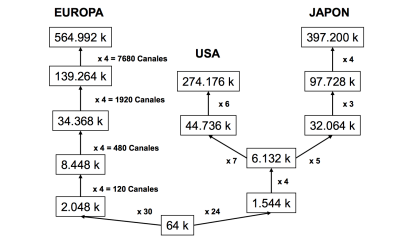


La UIT especifica los niveles de multiplexación posible y la estructura de las tramas multiplexadas.



Las señales de entrada a un multiplexor son **tributarias** o **afluentes**. La multiplexación se realiza a nivel del bit.

Velocidades PDH

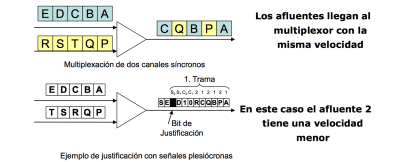


CARACTERÍSTICAS PDH				
Nivel	Velocidad (1)(kbps)	Código de Línea (2)	Tensión de línea	Perdidas máximas (3)
1	2048±50 ppm	HDB3	2.37 o 3.00 V (4)	6 dB
2	8448±30 ppm	HDB3	2.37 V	6 dB
3	34368±20 ppm	HDB3	1.00 V	12 dB
4	139264±15 ppm	CM1	1.00 V	12 dB

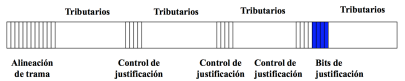
Notas:
(1)ppm: partes por millón
(2)Códigos de línea utilizados en sistemas MIC.
(3)La atenuación del cable se mide en la mitad de la frecuencia de señalización.
Por ejemplo, en el primer nivel de la jerarquía serán 1024 KHz.
(4)En el primer nivel se puede utilizar coaxial o cable de pares. En caso de usar coaxial se deben utilizar 2.37 V. Mientras que para el cable de pares 3.00 V.

Justificación o Relleno

Los equipos de la red PDH no están sincronizados, utilizan distintos relojes con la misma velocidad pero con tolerancias sobre la velocidad nominal. Esto supone un problema para la multiplexación.

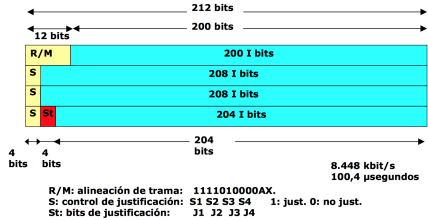


Las tramas contemplan espacios para bits de relleno que se pueden utilizar como bits de información si es necesario → Justificación positiva

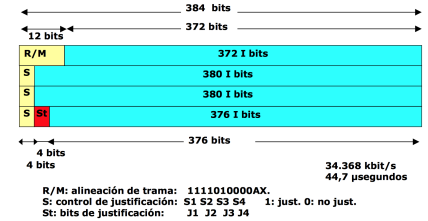


La técnica de justificación tiene tres variantes: positiva, negativa (supresión de impulsos sobre los afluentes), positiva-nula-negativa (usada en la SDH). Si se ha utilizado justificación en la trama es necesario indicarlo, hay bits de control de justificación sobre qué afluente se ha realizado.

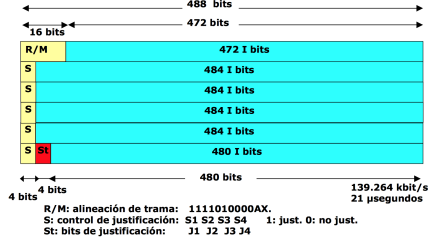
Estructura de la trama G.742 - 8 Mbps



Estructura de las tramas G.751 - 34 Mbps



Estructura de las tramas G.751 - 140 Mbps



Velocidades de trama de señales PDH

Tasa Nominal de Justificación: $\theta = \frac{F_J}{F_A}$
 F_A : Velocidad de justificación cuando el afluente llega a velocidad nominal
 F_J : Frecuencia Nominal de Justificación

Frecuencia de Redundancia

Frecuencia a la que se insertan los bits de control
Tasa de redundancia R

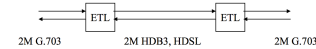
Relación Nominal de Justificación: Relación entre la velocidad nominal de justificación y la velocidad máxima de justificación posible. $g = \frac{F_J}{F_{MAX}}$

Frecuencia del Múltiplex: $F_M = N \cdot F_A \cdot (1 + \theta)(1 + R)$

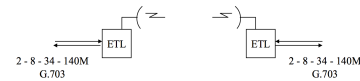
Tipos de Equipos en redes PDH

Terminales de línea

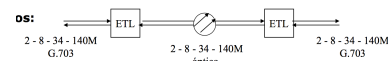
Multiplexores



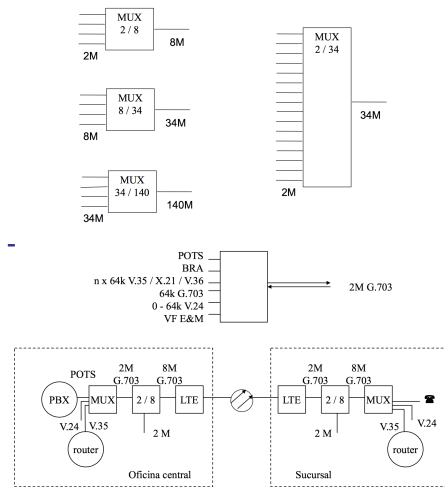
Radio



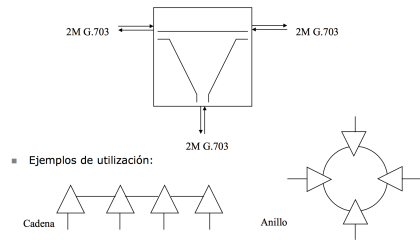
Optico



Multiplexores de acceso: canales de usuario / 2M



Multiplexores de Inserción y Extracción



Tipos de conexiones:

■ Punto a punto



■ Punto a Multipunto



■ Punto a Multipunto



■ Protección de circuitos: sistemas propietarios

Cross connect

