

# PDH

## Jerarquía Digital Plesiocrona



# INTRODUCCIÓN



- En los comienzos de la telefonía analógica, se utilizaba la **multiplexación por división en frecuencia.**

- FDM (Frequency Division Multiplexing) **permitía transportar** un largo número de **canales telefónicos** (de 4 KHz) sobre un **único cable coaxial.**

- La idea era modular cada canal en una **frecuencia portadora distinta** para desplazar las señales a rangos de frecuencia distintos.



- Con los circuitos semiconductores surgió un nuevo método denominado **MIC (Modulación de Impulsos Codificados) o PCM (Pulse Code Modulation).**
- Mediante este fue posible la **utilización múltiple de una única línea** por medio de la multiplexación por división en el tiempo o **TDM (Time Division Multiplexing).**
- Esta consiste en segregar muestras de cada señal en **ranuras temporales** que el receptor puede seleccionar mediante un reloj correctamente sincronizado con el transmisor.



Para ello, **la señal telefónica es digitalizada**, es decir:

- La señal analógica es **limitada en la banda** de 0,3 a 3,4 KHz (3,1kHzAB)
- **Muestreada** a una frecuencia de 8 KHz (una muestra cada 125 us)
- **Cuantificada**
- **Codificada**
- **Transmitida a una tasa binaria** de 64 Kbps.



El funcionamiento de la redes plesiócronicas está basado en los principios de:

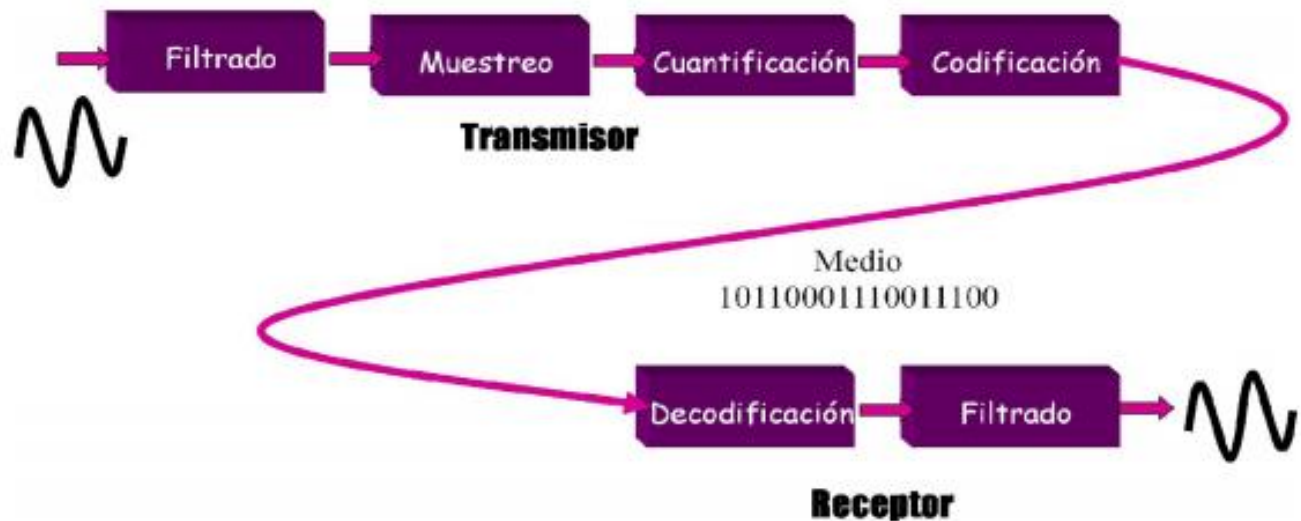
- ❖ modulación por codificación de pulsos PCM
- ❖ multiplexación por división de tiempo TDM.



- PCM permite **representar en forma binaria formas de onda analógicas**.
- Así, la **señal telefónica estándar de 4 Khz** se convierte en una **secuencia digital de bits** con una velocidad de 64 Kbps.
- TDM se utiliza para producir **sistemas de transmisión más eficientes**.
- Permite combinar canales PCM de 64 Kbps en una señal digital de más alta velocidad y transmitirla por el mismo par trenzado de cobre que se utilizo previamente para una sola señal analógica.



- Al hablar de la técnica PCM estamos agrupando **distintos procesos** que se realizan dentro de ella.
- En general, estos procesos son el **muestreo, la cuantificación y la codificación**.
- Dentro de cada uno de estos procesos existen diversas variantes o métodos para realizarlos.





- 1) El **MUESTREO** consiste en tomar muestras con cierta periodicidad de la señal analógica
  
- 2) La **CUANTIZACION** trata de averiguar el valor de la muestra
  
- 3) Para ser luego la **CODIFICACION** que forme una palabra digital de  $n$  bits.



- En primer lugar, se debe de **decidir el ancho de banda** que se desea transmitir.
- Se sabe que la gran mayoría de la información útil de la voz humana se concentra en una **banda de frecuencias de 300 a 3400 kHz**.
- De manera que con la transmisión de este ancho de banda se garantiza un efecto agradable al oído y suficiente para identificar a la persona que habla.



- Para la **transmisión y reproducción** en otro punto de una señal es suficiente con **tener muestras a intervalos regulares de tiempo**.
- Dichas muestras no son más que **valores instantáneos en un cierto momento**, denominado instante de muestreo.
- Basándonos en el **Teorema de Nyquist**:

Cualquier señal analógica limitada en banda puede ser representada por muestras, siempre y cuando las muestras sean tomadas a una frecuencia 2 veces la frecuencia máxima de la señal.



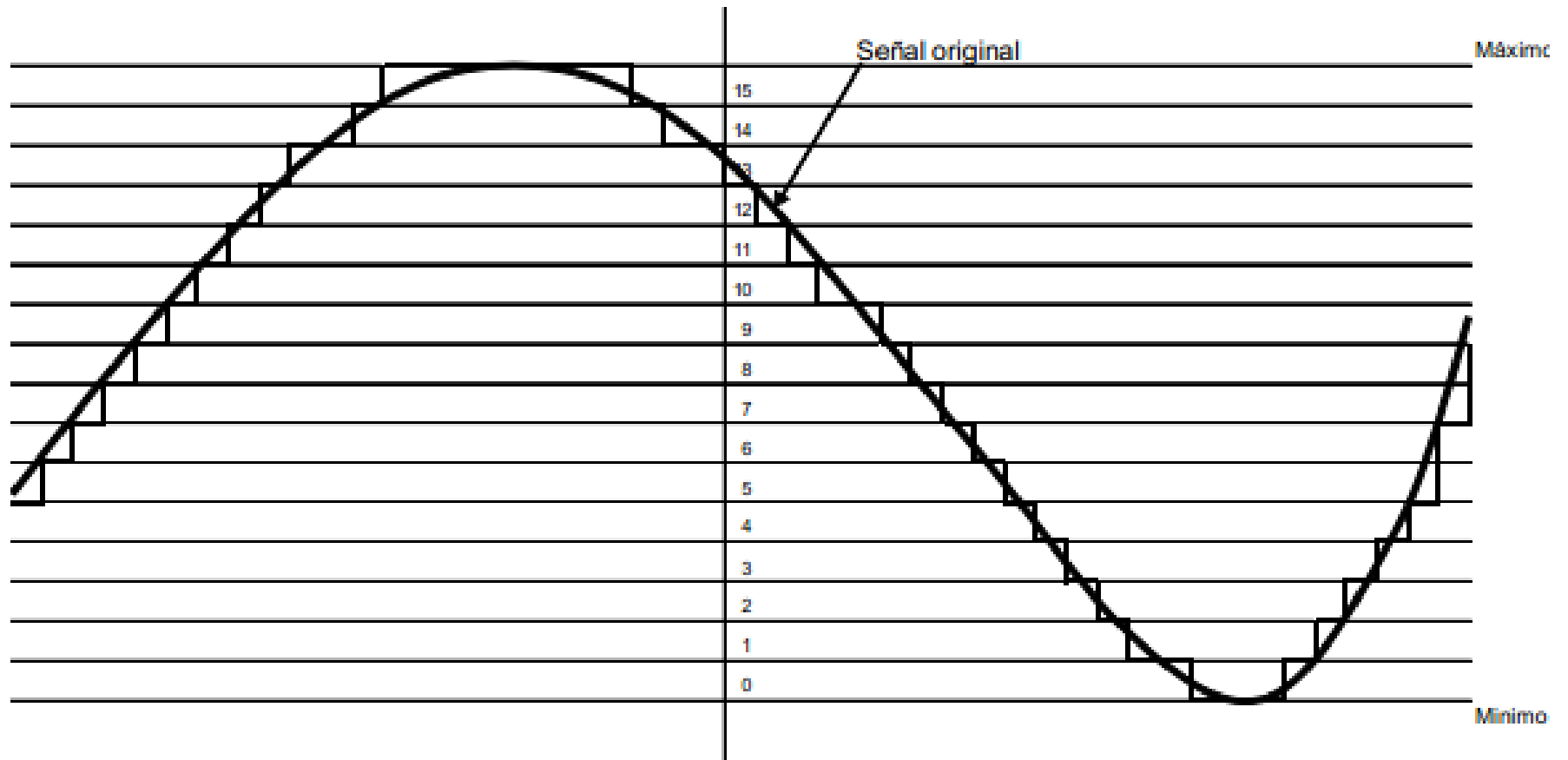
- Para el caso concreto de la **telefonía digital**, el límite en banda llega hasta los 3400Hz entonces, **la frecuencia de muestreo sería 6800Hz**.
- Sin embargo esto requeriría tener **filtros de corte ideal** y requerimientos muy estrictos en circuitería.
- Por esto se decide tomar una **frecuencia de muestreo de 8000Hz** valor estandarizado en la norma G.711 del ITU-T.
- Utilizando esta frecuencia de muestreo obtendremos **8000 muestras por segundo**.



- La señal resultante se le denomina señal PAM ((Pulse Amplitude-Modulation).
- **Esta señal PAM que sigue siendo analógica**
- La digitalización se da cuando al valor de la muestra se le asigna un valor en 1's y 0's.
- En las señales analógicas **existe una cantidad infinita de valores, imposibles de manipular en forma digital.**
- Por lo anterior se define que las muestras tendrán que **ajustarse a una tabla predeterminada de valores.**



# Redes de Banda Ancha



- En la figura anterior se apreciaba que:
  - Las **muestras pueden tener cualquier valor dentro de los rangos Mín y Máx**
  - Pero **los valores predeterminados están limitados**.
- Por esto, las muestras tendrán que ajustarse al valor más cercano, de donde obtenemos un nuevo concepto: **Error de Cuantización**.
- Si los valores predeterminados tienen **separaciones constantes** llegamos a que el **error de cuantización no es lineal** por lo que **afecta en mayor grado a los valores pequeños que a los grandes**.



- Por lo anterior, se ve que **una separación lineal** entre los valores predeterminados, **no es la más conveniente**.
- Por consiguiente se propone una **distribución no lineal**, dando **mayor cantidad de valores o pasos de cuantización en niveles bajos de señal**.
- Esta distribución ya está normalizada y existen dos versiones llamadas:
  - ✓ Ley A utilizada en los sistemas Europeos
  - ✓ Ley u utilizada en los Estados Unidos y Japón.



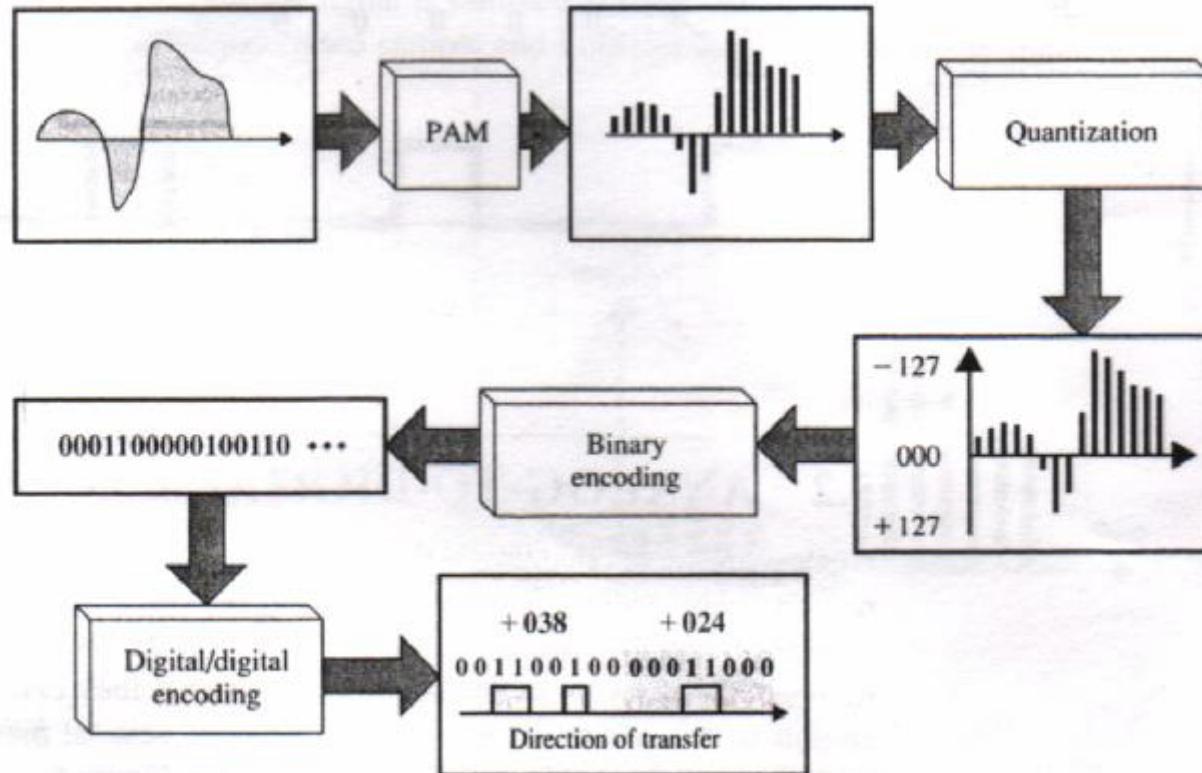


- La **codificación** es el proceso que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de **pulsos binarios de amplitud constante**.
- En esta última etapa a **cada valor anteriormente determinado** se le hace corresponder un conjunto de bits, **impulsos de amplitud fija (unos) o ausencia de impulsos (ceros)**.
- En los sistemas PCM se utilizan 8 bits para codificar cada muestra.



Velocidad del Canal =

$$8000 \text{ muestra/seg} \times 8 \text{ Bits/muestra} = 64,000 \text{ Bits/seg.}$$



- TDM (Time Division Multiplexing) es la **intercalación en el tiempo de muestras de diferentes fuentes**.
- Esto, de tal forma que la información de **todas sea transmitida en serie** sobre un mismo canal de comunicación.
- Este método permite combinar diversas señales muestreadas en una secuencia definida, **luego de haber transcurrido exactamente 125 us** entre cada muestra.



- Cabe ahora la pregunta **¿Cuántas señales se van a multiplexar?**
- En primer lugar está la velocidad de los circuitos que efectuarán todo el proceso.
- Entre más señales, los bits tienen que ser más angostos; es decir, el reloj que los gobierna tiene que ser más rápido.
- Esto trae también como consecuencia que el ancho de banda de la señal digital se incremente.
- Cuando esto se desarrolló el medio de transmisión era el cable de cobre, suponiendo que esto tuvo un papel importante en la decisión.



- Los **Americanos** impusieron su norma primero de **24 señales analógicas**.
- Los **Europeos** impusieron **30 señales analógicas** (G.704 del ITU-T).
- Además de los 30 canales, se tienen **2 canales** más, también de 8 bits, para funciones de señalización, control y sincronía.
- Sabemos que la velocidad de cada canal es de 64000 bits/seg, por lo que si tenemos 32 canales, la velocidad total es  $64000 \times 32 = 2.048$  Mbits/seg.
- Este valor de velocidad es conocido como un E1.



- La tasa binaria de **2.048 Kbps (2 Mbps ó E1)** es el resultado de **multiplexar 30 canales** en la misma trama con la necesaria información de señalización.
- Esta es la denominada tasa primaria y es utilizada en casi todo el mundo.
- Sólo en **Estados Unidos, Canadá y Japón**, se utiliza una tasa primaria de **1.544 Kbps (1,5 Mbps ó T1)**, que resulta de la combinación de 24 canales en vez de 30.



La red de PDH es **plesiócrona (casi síncrona)**, es decir:

“No todas las señales multiplexadas proceden de equipos que transmiten a la misma velocidad debido a variaciones en los tiempos de propagación, falta de sincronización entre las fuentes, etc”



- Esto obligo a implantar complicadas y caras técnicas de relleno.
- Estas consistían en la reserva de una capacidad de transmisión superior a la requerida, para eliminar la falta de sincronismo.
- Para ello, se utilizan **bits de justificación**, de modo que añadiendo o quitando estos bits, se pueden igualar las velocidades de las fuentes.





- La operación de **inserción y extracción de “tramas”**, se realiza al multiplexar y demultiplexar **en cada uno de los niveles de la jerarquía.**

- Esto supone que para extraer una señal de 64 Kbps dentro de una trama de nivel superior, se deban **demultiplexar todos los niveles uno a uno, identificando los bits de relleno, hasta el nivel inferior.**



- De la misma forma, para insertar una señal nueva de 64 Kbps se debe demultiplexar toda la trama nivel a nivel, añadir la nueva señal, y multiplexar de nuevo todos los niveles, añadiendo o quitando los bits de justificación.

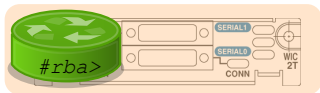


La baja eficiencia de este proceso suponía:

- el uso de un elevado número de equipos
- una baja flexibilidad en la asignación del ancho de banda
- una mayor lentitud en el procesamiento de las señales por parte de los equipos.



# PDH



- El primer estándar de transmisión digital fue **PDH (Plesicronus Digital Hierarchy ) o JDP (Jerarquía Digital Plesiócrona)**.
- Esta es una tecnología que permite enviar **varios canales sobre un mismo medio** (ya sea cable coaxial, radio o microondas).
- También puede enviarse sobre fibra óptica, aunque no está diseñado para ello y a veces se suele usar en este caso SDH (Synchronous Digital Hierarchy).



- Los sistemas digitales deben **mantener el sincronismo de sus relojes.**
- Esto a objeto de establecer con precisión **el tiempo en que es enviado un bit, y el instante preciso en que debe detectarse ese bit enviado.**



- En los **sistemas síncronos**, ambos extremos deben contar con la misma información de reloj, por lo que requieren, a parte del flujo de datos, **una conexión adicional de información de reloj** entre ambos.
- En los **sistemas asíncronos**, se utilizan palabras especiales de alineación y sincronismo antes de enviar las tramas, para que el equipo correspondiente obtenga la precisión de reloj y ajuste su sincronismo.



- El término plesiócrono se deriva del **griego plesio, cercano y chronos, tiempo**.
- Se refiere al hecho de que:

**Las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están casi , pero no completamente sincronizadas.**

- 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 límites cercanos a la frecuencia nominal de la red.





- De esta forma se intentara mantener **los deslizamientos en un nivel aceptable.**
- La tecnología PDH, por ello, **permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente,** están funcionando a la misma velocidad (bit rate).
- Pero, **permite una cierta variación alrededor de la velocidad nominal** gracias a la forma en la que se construyen las tramas.



En PDH, la multiplexación se hace **bits a bits**, es decir:

**secuencialmente se alterna un bit de cada tributario,  
conformando un flujo de agregado, lo cual se repite en las  
jerarquías superiores.**

Al multiplexar las fuentes de datos bit a bit, en cada flujo resultante se genera una trama con información que solo puede ser descifrada, si y solo si, se realiza el proceso inverso de demultiplexión.



- Además, cada flujo agregado opera con un **reloj independiente**, sincronizados par-a-par por etapas de la misma jerarquía, el cual aunque tiene la misma frecuencia, no tiene igual fase.
- Es esta la razón por la cual, a la jerarquía PDH no es sincronizada, sino **“casi” o plesiócrons**.
- Debido al “ple-sincronismo”, es necesario un **mecanismo de compensación**



- En fase de transmisión entonces el **multiplexor inserta los slot necesarios para compensar la anticipación o el retraso de los bits** respecto a la frecuencia nominal de la multiplexación
- Estos slot se llaman **bit de justificación (justification)** o de llenado (**stuffing**).
- En la compensación, el multiplexor asume que los cuatro flujos están trabajando a la máxima velocidad permitida.



- A menos que realmente esté sucediendo esto, **en algún momento el multiplexor buscará el próximo bit**, pero este no llegará, por ser la velocidad del flujo inferior a la máxima.
- En este caso **el multiplexor señalará (mediante los bits de justificación) al demultiplexor que falta un bit**.
- Esto permite al demultiplexor reconstruir correctamente los flujos originales a sus velocidades plesiócronas correctas.



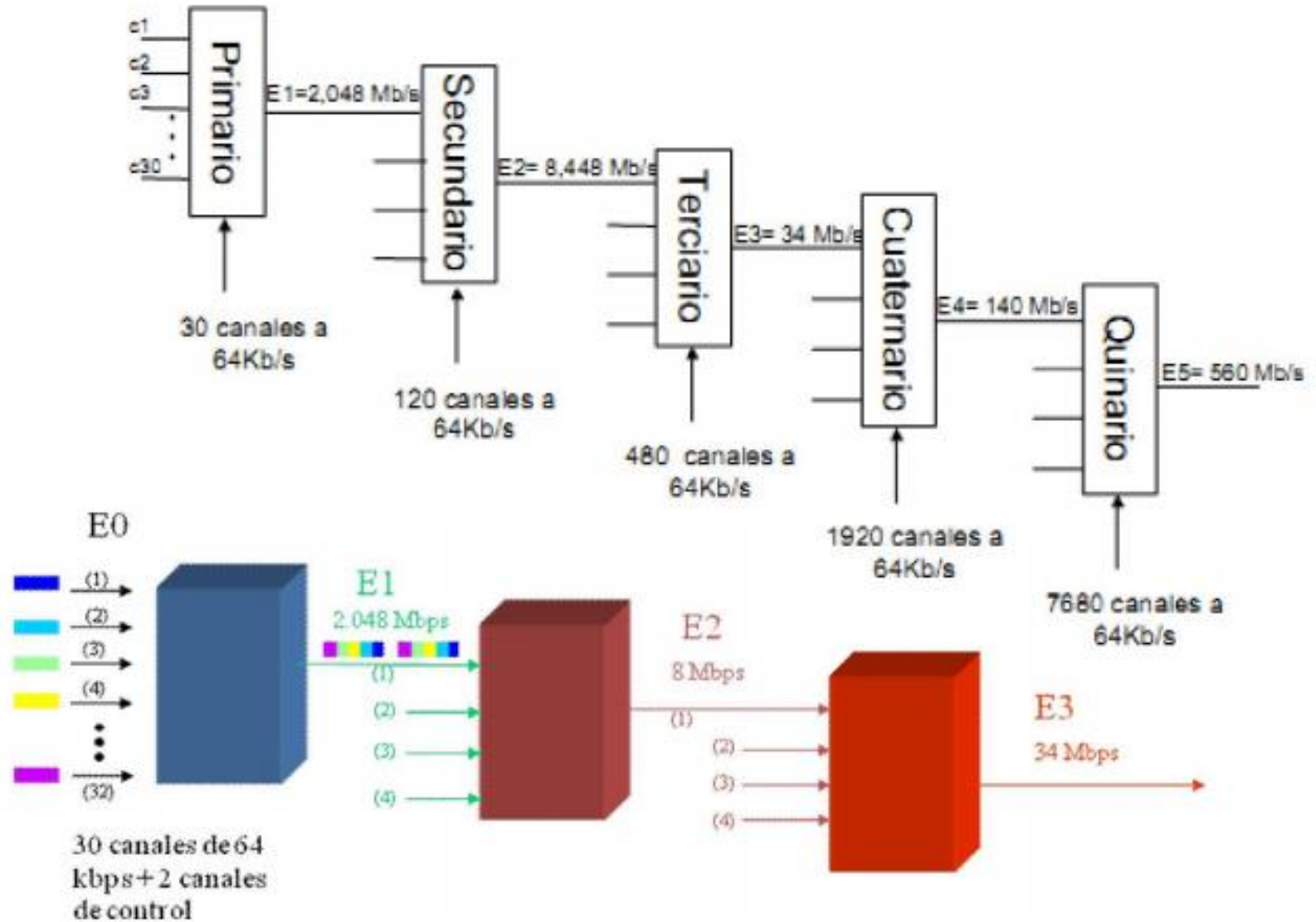
- Al fin de poder transportar múltiples flujos de 2 megas de un lugar a otro, estos son multiplexados en grupos de cuatro flujos.
- La velocidad del flujo resultante del proceso antes descrito es de 8,448 Mbps (8 megas) que corresponde al segundo nivel jerárquico.
- Las velocidades de cada orden es levemente superior al producto de la velocidad de tributario por el número de entradas, debido al agregado de información adicional.



- Por procedimientos similares se llega a los niveles tercero, constituido por 4 flujos de 8 megas y una velocidad de 34,368 Mbps (34 megas) y cuarto, formado por 4 flujos de 34 megas y una velocidad de 139,264 Mbps (140 megas).
- Es importante notar que, 31 son canales activos simultáneos para voz o datos en SS7 (Sistema de Señalización Número 7), mientras que en R2 el canal 16 se usa para señalización por lo que están disponibles 30 canales para voz o datos.



# Redes de Banda Ancha



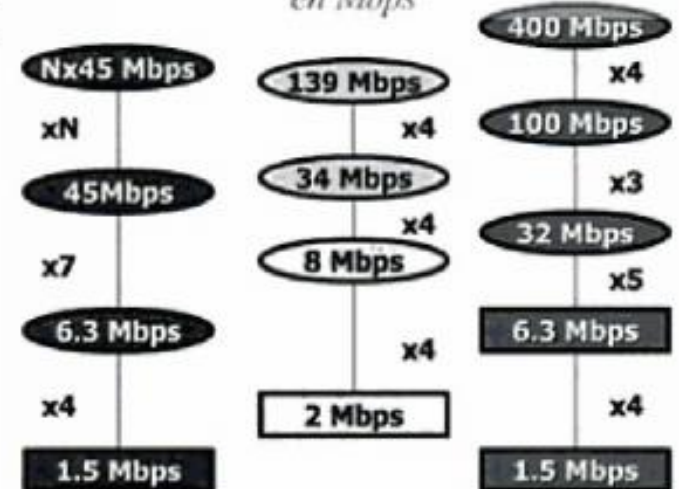


# Redes de Banda Ancha

Nivel	Europa			EEUU y Canadá			Japón		
	Circuitos	Kbps	Enlace	Circuitos	Kbps	Enlace	Circuitos	Kbps	Enlace
1	30	2,048	E1	24	1,544	T1	24	1,544	J1
2	120	8,448	E2	96	6,312	T2	96	6,312	J2
3	480	34,368	E3	672	44,736	T3	480	32,064	J3
4	1920	139,26	E4	2016	274,176	T4	1440	97,728	J4

Nivel	Norte América	Europa	Japón
0	0,064	0,064	0,064
1	1,544	2,048	1,544
2	6,312	8,448	6,312
3	44,736	34,368	32,064
4	139,264	139,264	97,728

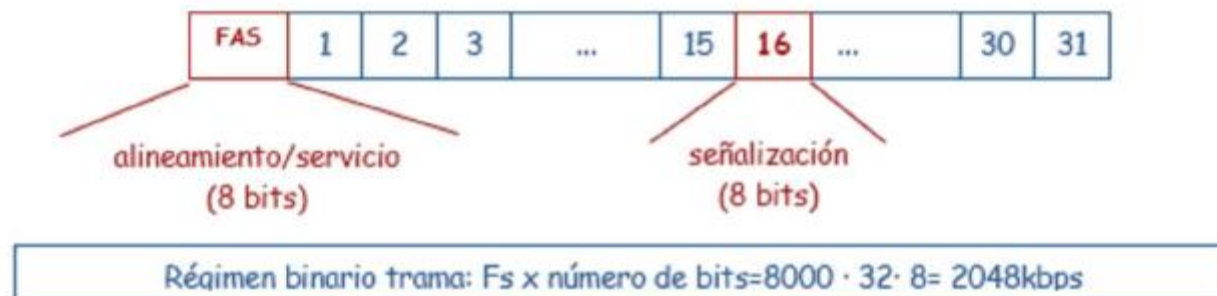
*en Mbps*



# LA TRAMA BÁSICA PDH



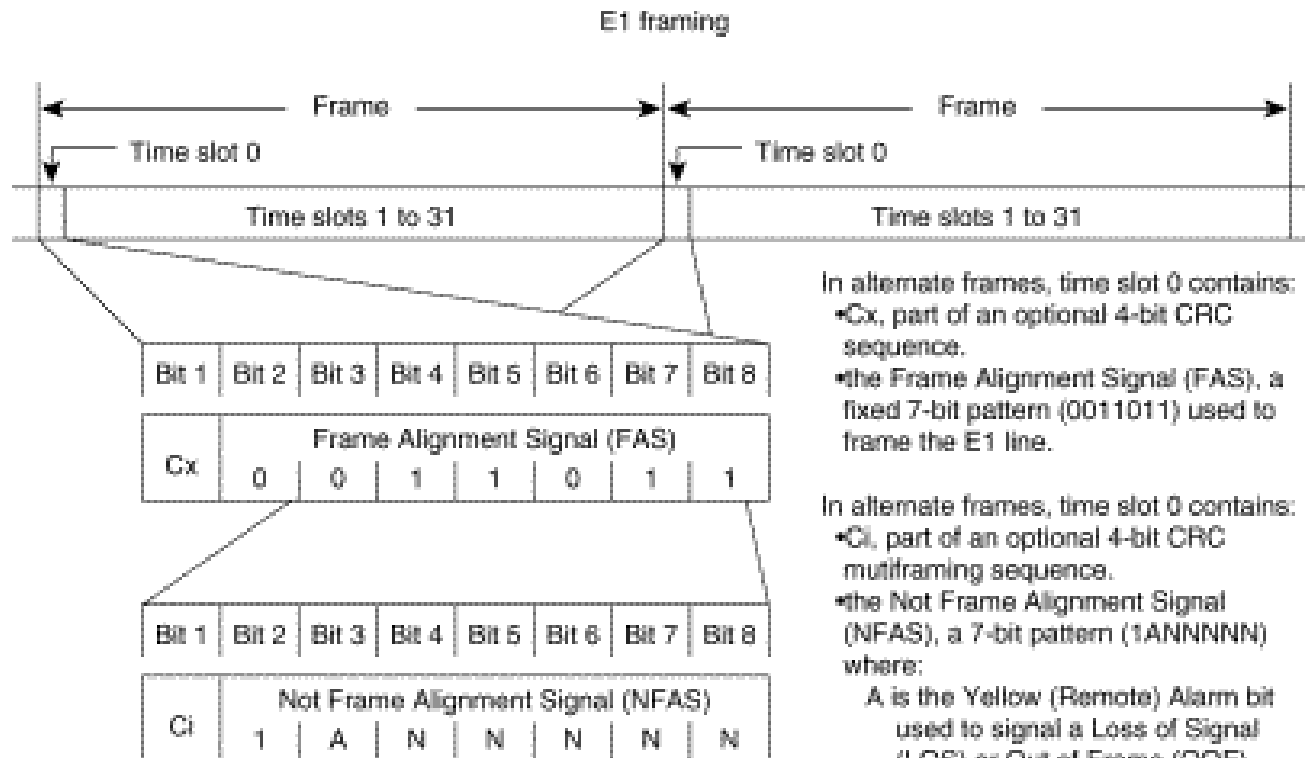
- **La trama básica utilizada en Argentina es la trama de 2 Mbps, también denominada E1.**
- En la Recomendación G.704 queda definida su estructura básica, como la agrupación de 30 canales de voz más 2 canales adicionales: alineamiento y señalización con 8 bits cada uno.



- El **intervalo de tiempo 0** es utilizado para transportar la señal de **alineamiento de trama** (FAS, Frame Alignment Signal), siendo transmitida cada dos tramas.
- Esta se alterna con una **palabra de alarmas**, denominada **NFAS** (Not Frame Alignment Signal).
- El **intervalo de tiempo 16** se utiliza para transportar **la señalización** asociada de los canales útiles.



## time slot 0



In alternate frames, time slot 0 contains:

- Cx, part of an optional 4-bit CRC sequence.
- the Frame Alignment Signal (FAS), a fixed 7-bit pattern (0011011) used to frame the E1 line.

In alternate frames, time slot 0 contains:

- Ci, part of an optional 4-bit CRC multiframing sequence.
- the Not Frame Alignment Signal (NFAS), a 7-bit pattern (1ANNNNN) where:

A is the Yellow (Remote) Alarm bit used to signal a Loss of Signal (LOS) or Out of Frame (OOF) condition to the far end.

N are the National bits, reserved for future use.

80000000



### TRAMAS FAS : FRAME ALIGNMENT SIGNAL

- ✓ La palabra de alineamiento de trama (FAS) se transmite en las **tramas pares y contiene la secuencia binaria Sj 0 0 1 1 0 1 1.**
- ✓ El primer **bit Sj está reservado** para uso internacional.
- ✓ Suele tener el valor 1 o se utiliza para albergar un código CRC-4.



## TRAMAS NFAS: NOT FRAME ALIGNMENT SIGNAL

- ✓ En las tramas impares se utiliza el canal 0 para transmitir **información de servicio o alarmas** con la secuencia Sj 1 A A X X X X.
- ✓ El primer **bit Sj está reservado** para uso nacional o para albergar información de alineamiento.
- ✓ El segundo **bit se fija a 1 para evitar la confusión** con una palabra de alineamiento de trama.



## TRAMAS NFAS: NOT FRAME ALIGNMENT SIGNAL

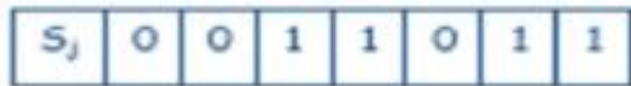
- ✓ El siguiente bit, **primer bit A** (más significativo) se utiliza para enviar información de alarmas urgentes.
- ✓ El siguiente también es un bit de alarma pero no urgentes.
- ✓ Los bits X se reservan para uso nacional.



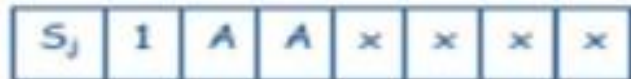


# Redes de Banda Ancha

- Alineamiento: tramas pares
- Supervisión: tramas impares



Señal de alineamiento en las tramas pares: 0, 2, 4, ...  
(FAS: Frame Alignment Signal)



Señal de supervisión en las tramas impares: 1, 3, 5, ...  
(NFAS: Not Frame Alignment Signal)

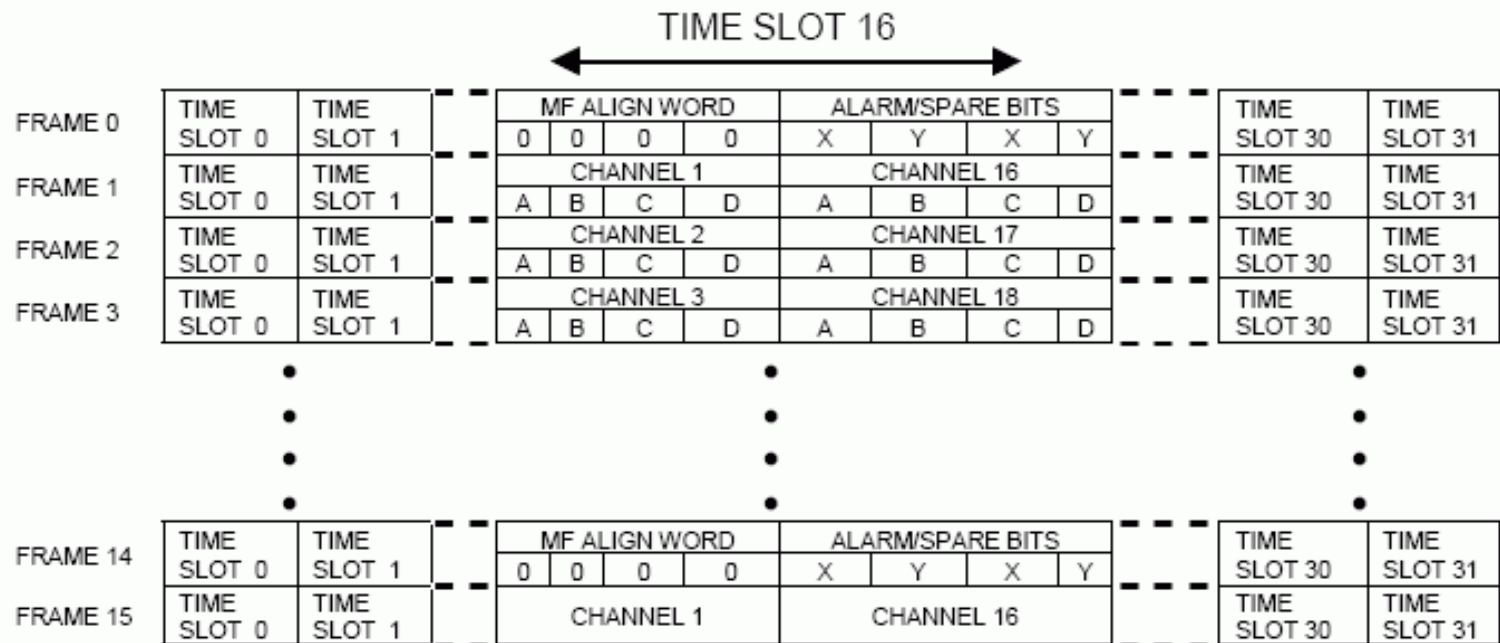
0	1
1	0

Sin alarma

Alarma



## time slot 16



Los tipos de señalización utilizados son:

### **Señal de canal común (CCS):**

- Utiliza los 64 Kbps del canal 16 para transmitir un mensaje de señalización para el establecimiento, control y fin de conexión.
- Con la introducción de la señalización por canal común (SS7), el intervalo de tiempo 16 pasa a utilizarse para transporte de un canal útil adicional de datos o voz.



- La esencia de este tipo de señalización es utilizar **un solo canal de señalización de 64 kbits/s** para transmitir por esa única vía, la información de señalización relativa a todos los canales activos.
- La idea es que el canal activo que desea enviar la **señalización “capture” el canal de señalización, lo utilice y lo libere.**
- Este esquema se basa en que la información de señalización de los canales no cambia tan rápido.



### Señal asociada al canal (CAS):

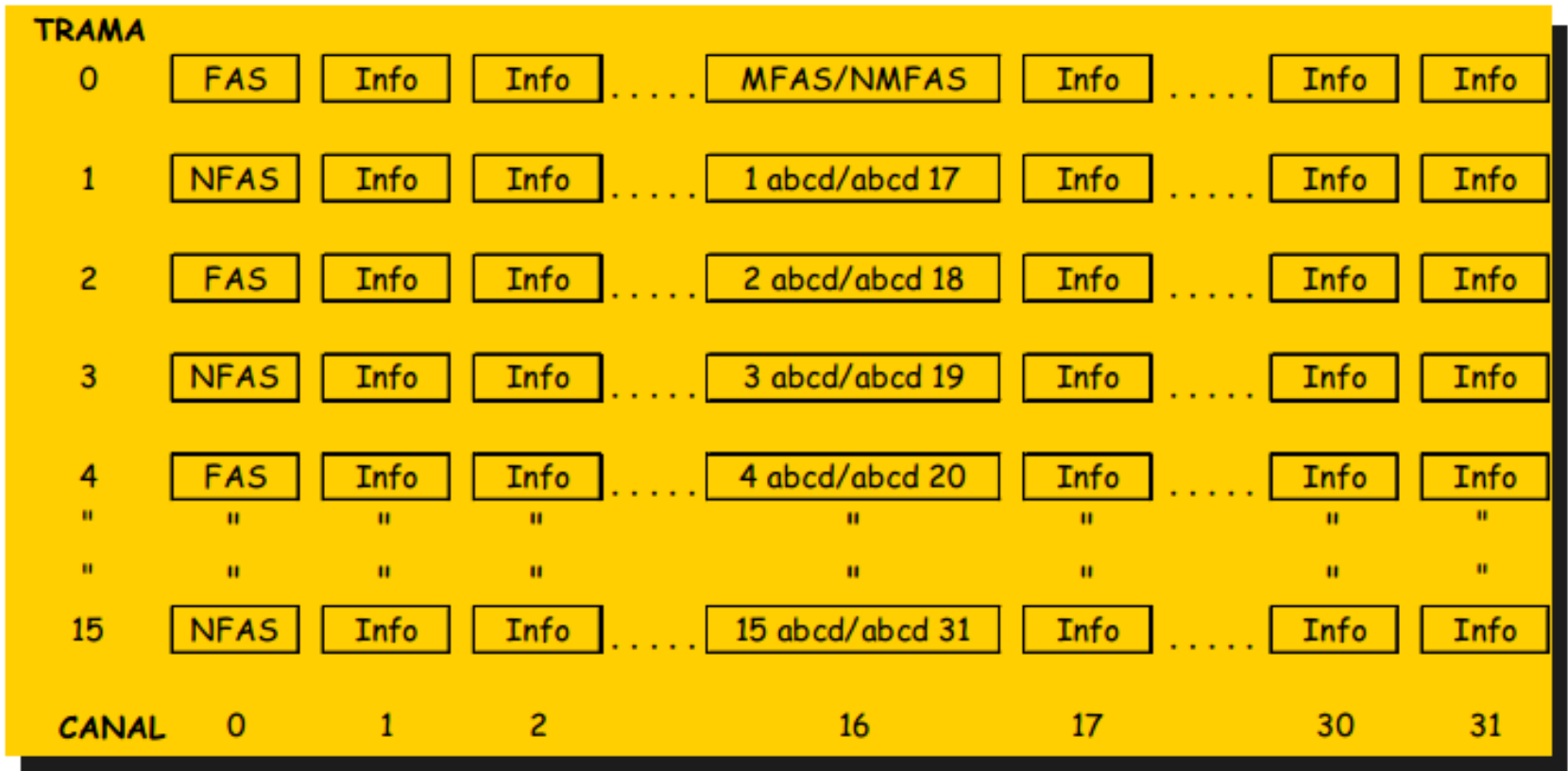
- El canal se divide en **2 grupos de cuatro bits cada uno**.
- Estos grupos son encargados de realizar la señalización en el establecimiento de conexión y fin de conexión respectivamente.
- Para enviar la señalización correspondiente **a un canal se utilizan 4 bits**.
- **Los otros 4 bits** del intervalo de tiempo 16 se utilizan **para enviar la señalización de otro canal**.



- Esto quiere decir que por trama se señalizan 2 canales.
- Para señalar los 30 canales es necesario enviar 15 tramas.
- Debido a esto se crea la multitrama de señalización.
- La manera de señalar será en la trama  $i$ , se señalarán los canales  $i$  y canal  $i+16$ .
- Adicionalmente, esta debe contener información de alineamiento de multitrama.
- Esta información se envía en el intervalo de tiempo 16 de la trama 0, y en las 15 tramas siguientes la información de señalización.



# Redes de Banda Ancha



### **Intervalo de tiempo 0 de las tramas pares:**

- Aquí se tiene la palabra de alineamiento de trama (FAS: Frame Alignment Signal).
- Esta tiene el formato: 0001101C.
- La función de la FAS consiste en indicar al extremo receptor el inicio de cada trama, de esta forma y contando los bits, se pueden separar los bits que corresponden a las muestras de cada canal.





### **Intervalo de tiempo 0 para las tramas impares**

- Contiene la palabra de no alineamiento de trama (NFAS Not Frame Alignment Signal).
- Esta tiene el formato: C 1 A S4 S5 S6 S7 S8.
- Bit C, se emplea también para el CRC.
- Bit 2, tiene el valor de 1 para distinguir de una trama FAS.
- Bit A, este bit es la alarma remota, su estado natural es 0 y en 1 indica al extremo distante algún problema con la señal que se está recibiendo.
- Bit 4 al 8, estos bits no tienen aplicación.



### El intervalo de tiempo 16 de la trama 0

- Transporta la MFAS (Palabra de alineamiento de multitrama) con formato 0000.
- Esta palabra ocupa los primeros 4 bits de este intervalo, y su función es indicarle al receptor donde empieza la multitrama .
- En los siguientes 4 bits se envía la NMFAS (Palabra de no alineamiento de multitrama) con el siguiente formato 1A11.
- El bit A tiene el valor de 0 pero cuando se pone en 1 indica al extremo que existe algún problema con el alineamiento de multitrama.



### Intervalo 16 de las demás tramas

- En éste viaja la señalización correspondiente a cada uno de los canales.
- Los 8 bits se parten en 2 grupos y cada uno de ellos indica la señalización de un canal de información en particular.
- Cuando la señalización es por canal común simplemente se tendrá un canal de 64Kbps sobre el que se enviarán mensajes de señalización.
- Para identificar a qué canal de datos se refiere el mensaje de señalización éste llevará una referencia de a quién pertenece.

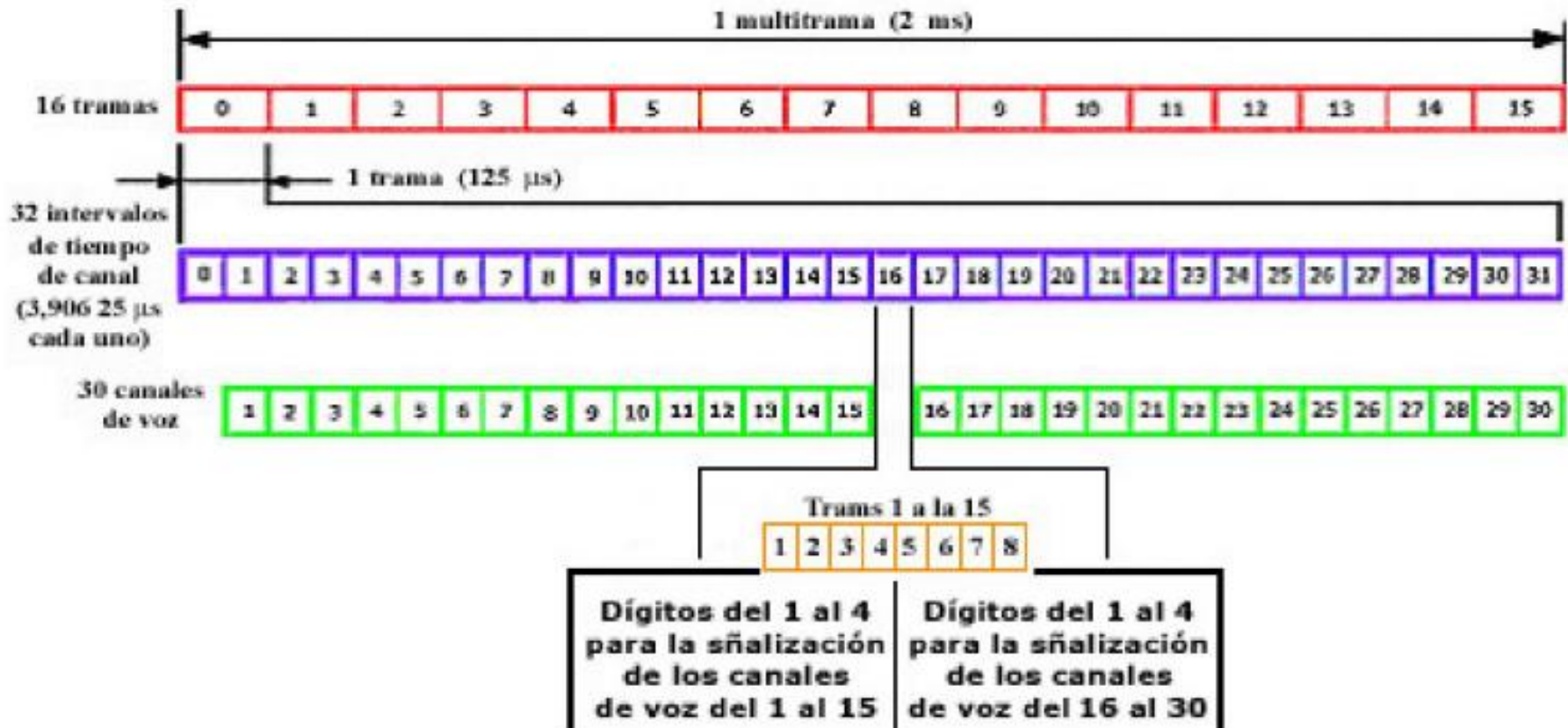


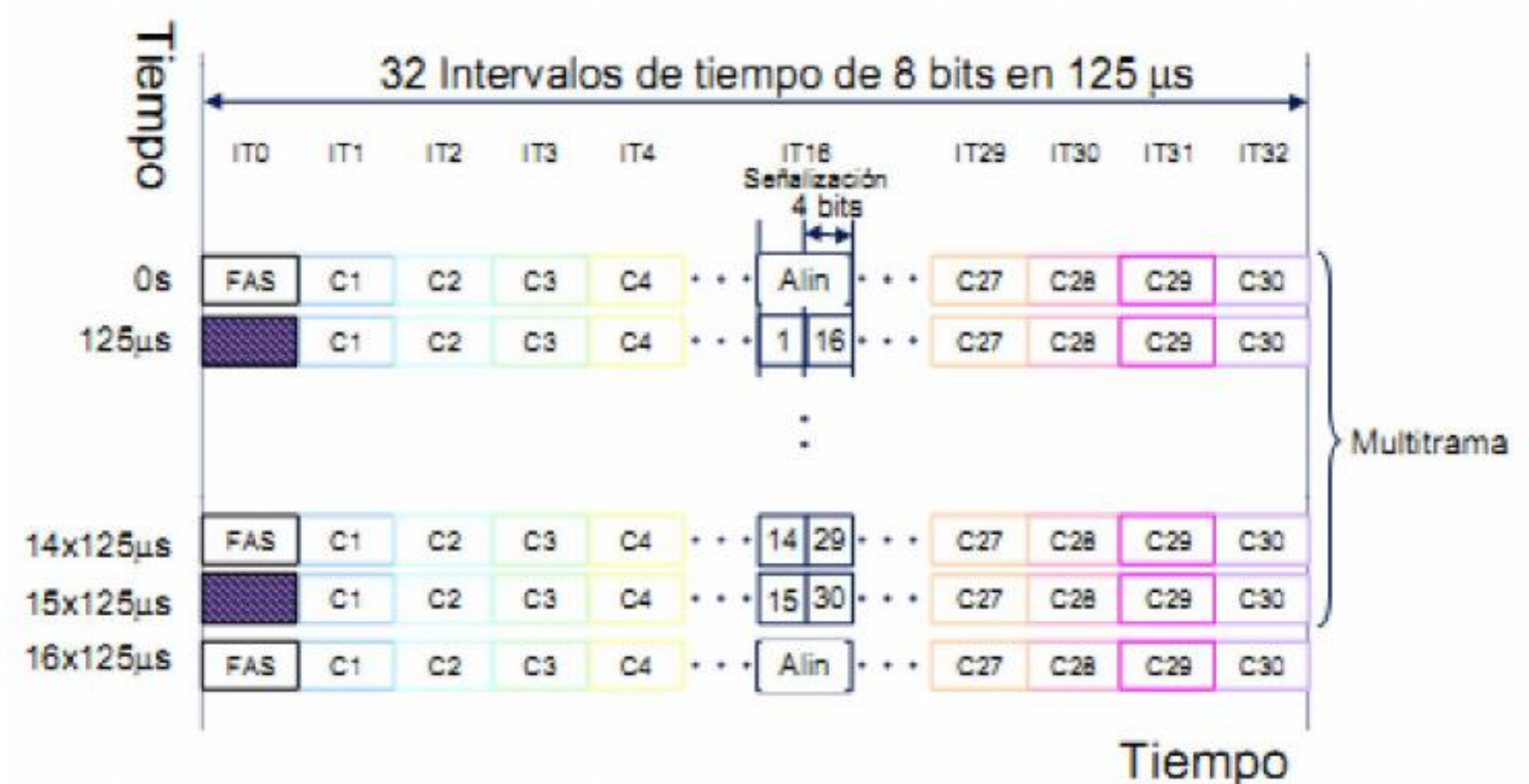
### **Intervalo 16 de las demás tramas**

- Cuando la señalización que se va a utilizar es por canal asociado se necesita un canal de señalización para cada canal de datos de 64Kbps.
- 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.

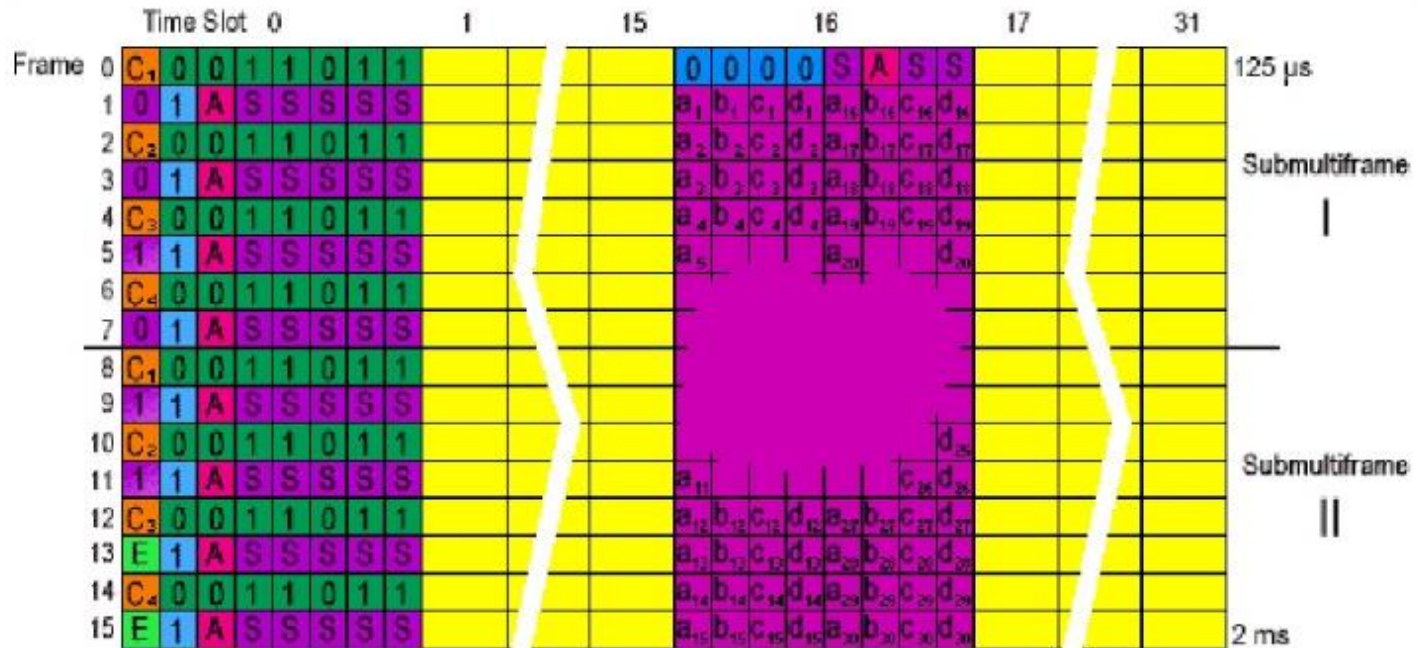


- Los timeslots del multiframe están configurados de la siguiente forma:





## The 2048Mbit/s basic frame



- Multiframe composed by 16 frames, each one has 32 bytes
- The first time slot is for the control, the 16 channel is for signalling
- The frame period is  $125 \mu s$  then  $1 \text{ byte is a } 8 \text{ bit} / 125 \mu s = 64 \text{ kbit/s}$  channel
- The transmission rate is  $(32 \text{ channel} \times 8 \text{ bit/channel}) / 125 \mu s = 2,048 \text{ Mbit/s}$





# SINCRONISMO EN PDH





- Los sistemas digitales deben mantener el **sincronismo de sus relojes**, a objeto de establecer con precisión el **tiempo en que es enviado un bits**, y el instante preciso en que debe **detectarse ese bits enviado**.
- En PDH, la multiplexación de cualquier Orden superior se **hace bits a bits**.
- Es decir: secuencialmente se alterna **un bits de cada tributario**, conformando un flujo, lo cual se repite en las jerarquías superiores.



- El flujo de datos a multiplexar **se almacena en una memoria** con una velocidad de escritura proporcionada por la misma señal fuente.
- Esto es, para soportar las imperfecciones de reloj de la fuente (y del mismo mux), así como también facultar al sistema para adicionar bits suplementarios para controles.
- Pero esta, es leída de la memoria con una velocidad de lectura superior.



- Así para evitar que la memoria se vacíe completamente, se añade al flujo saliente bits de control y de relleno.
- Estos últimos sirven para acelerar o disminuir la velocidad de transmisión de los datos y así soportar fluctuaciones de reloj de la fuente.
- A este proceso se le denomina **justificación positiva**.



- **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 esto, las 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 multiplex **puedan tener un régimen binario distinto al nominal siempre y cuando se mantengan dentro de los márgenes establecidos**.



- Existen un bit en la estructura de las tramas superiores para **portar información de relleno o de datos (bits de justificación)**, por cada afluente tributario.
- También, una tríada de bits (3) denominados “*control de justificación*” que indican si ese bit de justificación corresponde a relleno o a información.
- Esta tríada de bit, **se resuelve por mayoría**, es decir: si se reciben a lo sumo 2 de los bits de “*control de justificación*” señalizados, se interpreta como indicación de justificación.



- Para llevar a cabo la justificación, la **tríada de *bits de control de justificación*** debe estar en “111”, por lo cual se inserta en el *bit de justificación* un “1” como relleno.
- En caso de la no-justificación, los **bits de *control de justificación*** deben estar en “000”, por lo cual el *bit de justificación* porta un bit de información, del tributario correspondiente.



# JERARQUÍAS DE ORDEN SUPERIOR



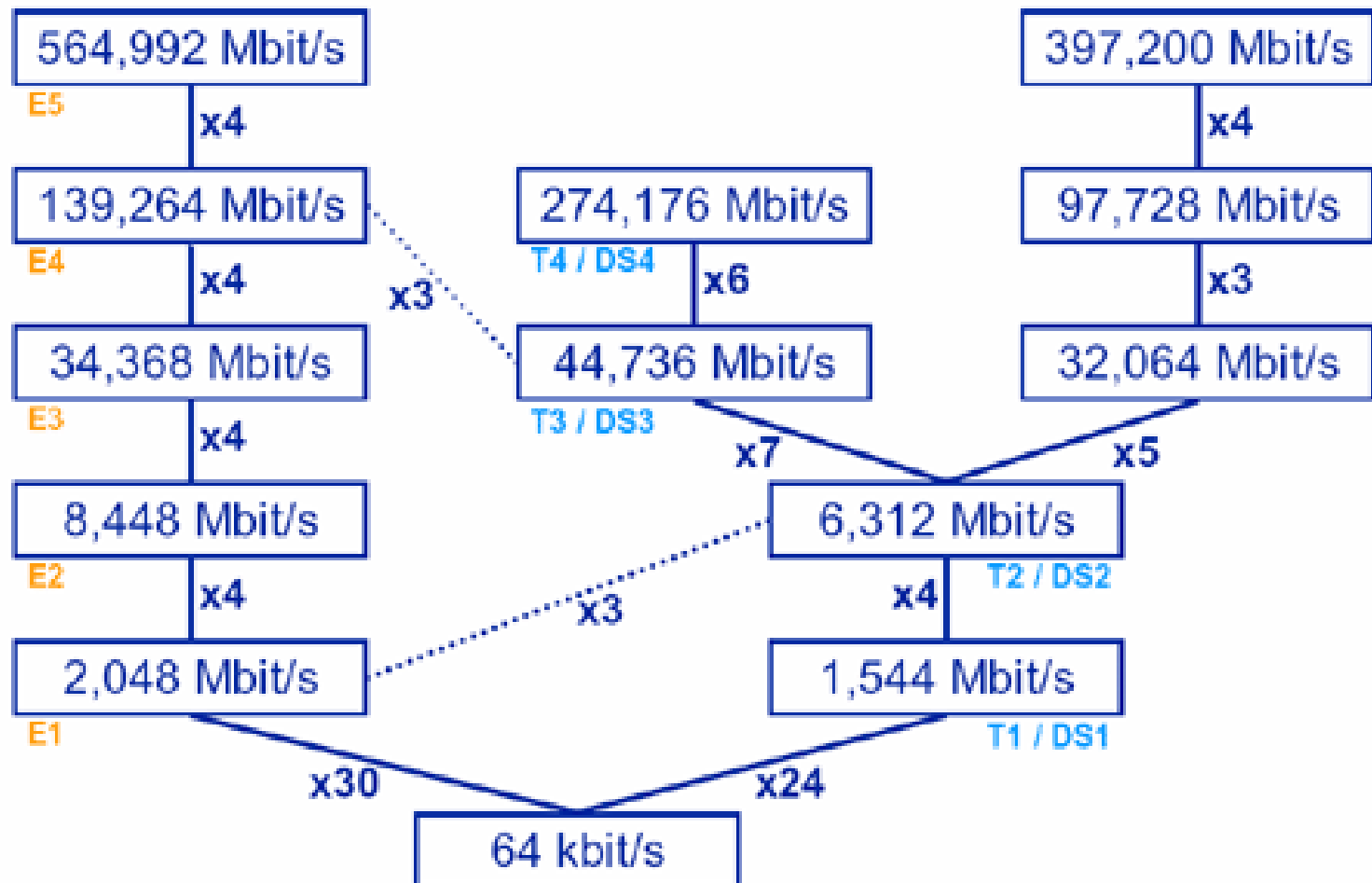


- La trama de 2 Mbps (E1) se puede combinar para dar lugar a niveles superiores: 8Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps.
- La trama **E1** se forma a partir de la **multiplexación a nivel de bytes**.
- Las tramas **E2, E3 y E4** se forman a partir de la **multiplexación a nivel de bits**.
- Esto supone un **problema a la hora de extraer la información de un canal**, ya que se debe demultiplexar todos los niveles.



- La trama de 2 Mbps se obtiene como resultado de **multiplexar 30 canales** más 2 de 64kbps.
- El siguiente orden de multiplexación se formaría a partir **de multiplexar 4 tramas** de 2 Mbps dando como resultado la trama de 8 Mbps o E2.
- El siguiente orden se obtiene al **multiplexar 4 tramas E2**, dando lugar a la trama E3 o trama de 34 Mbps.
- La trama de 140 Mbps o trama E4 se obtiene como resultado de **multiplexar 4 tramas** de 34 Mbps o tramas E3.





## ENTRAMADO E2 – 8.448 KBPS

El funcionamiento de un multiplexor de segundo orden (o de E2) es:

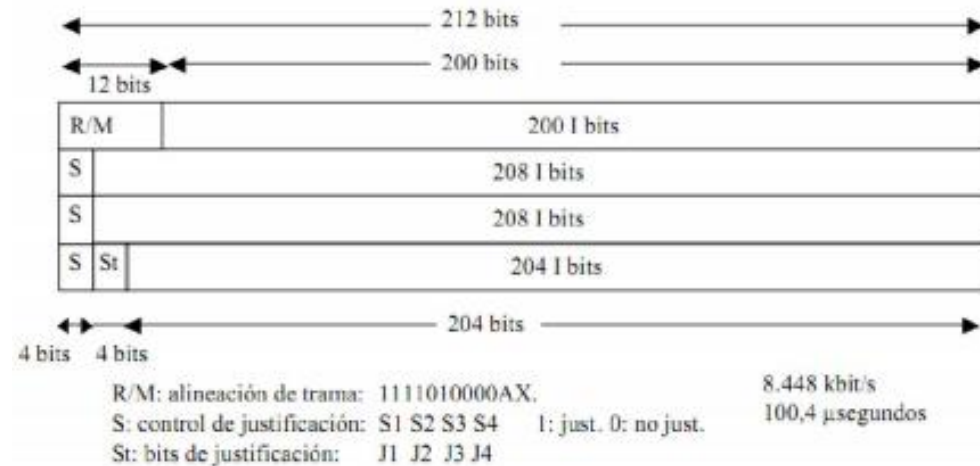
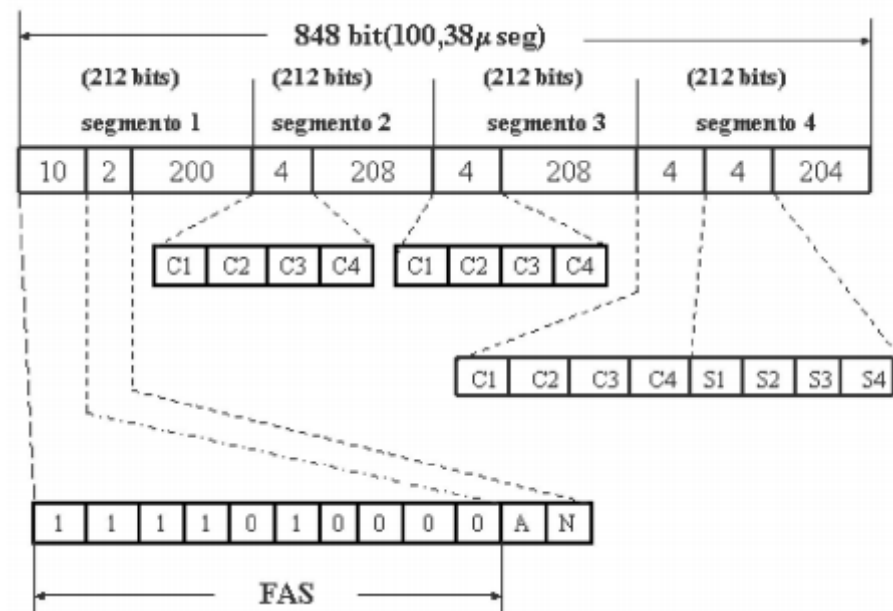
- alimentarse con cuatro flujos tributarios E1
- generar un flujo de agregado a una tasa de 8.448 kbps.

A cada flujo E1 les son adicionados bits:

- alineación de trama
- alarmas
- control de justificación y bits justificación.



- La trama E2, tiene una longitud de 848 bits/trama y una velocidad de transmisión de 8.448 kbits/seg.
- Adicionalmente dentro de la trama E2, se distinguen 4 sub-tramas de 212 bits cada una.



- Cada sub-trama E2 de 212 bits, está subdividida en **53 cuartetos** de bits, en donde se multiplexan bit a bits: uno de cada tributario E1.
- **Los primeros 3 cuartetos** de la primera sub-trama E2, corresponden a los bits de entramado (FAS), que se utiliza para sincronizar la trama E2 con su demultiplexor par correspondiente.
- **Los dos bits restantes** son de Servicio (en la posición 13 y 14), distinguidos como A (alarma remota, normal="0" y alarma="1") y N (bit reservado para uso Nacional).
- **Los restantes 50 cuartetos** llevan 50 bits de información de cada tributario afluente de E1, alternadamente, bit a bits por cada cuarteto.



- **En las restantes tres sub-tramas E2**, el primer cuarteto, porta los bits de control de justificación: un bit de cada tributario E1 por cuarteto.
- **La segunda y tercera sub-tramas E2**, portan 52 bits de información de cada tributario afluente E1.
- **En la cuarta sub-trama E2**, es donde viajan los bits de justificación (indicados como bits S).
- Un bit por cada afluente tributario E1 conjuntamente con 51 bits de información de cada afluente tributario.



- Puede apreciarse que la única forma de extraer la información de cualquier tributario E1, de un agregado E2, es haciendo el proceso de demux, para poder interpretar los bits de control y relleno de la trama E2.
- La misma, no transporta 4 tramas E1, sino 205 o 206 bits (dependiendo de la justificación) de cada tributario E1.



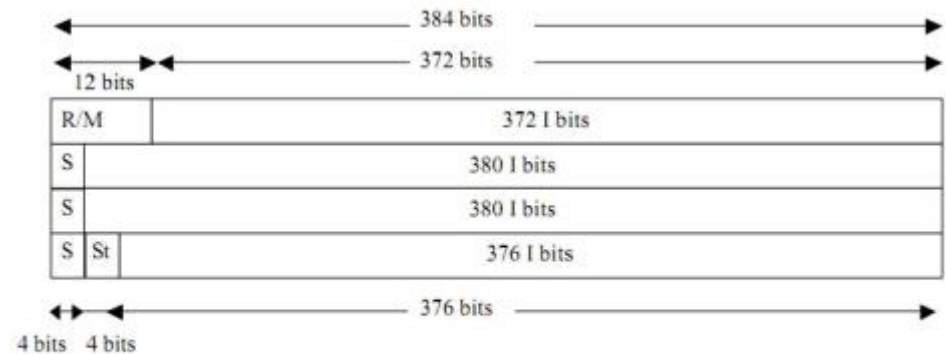
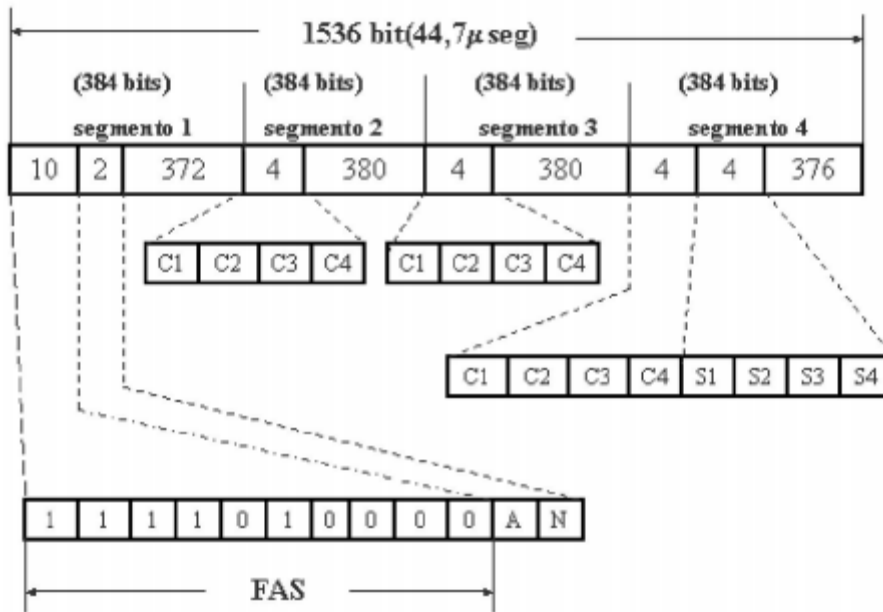


### ENTRAMADO E3 – 34.368 KBPS

- El entramado E3, es similar al caso ya estudiado del E2, solo que varía en el tamaño de la trama E3 y de las sub-tramas.
- La trama E3 contiene 1.536 bits, sub dividida en 4 sub-tramas de 384 bits c/u.
- La trama E3 también se divide en cuartetos, pero en un número de 96, por lo que transporta  $377 + 1$  bits (el de justificación) de cada afluente E2 ( $93+95+95+94+1=378$ ).



# Redes de Banda Ancha



R/M: alineación de trama: 1111010000AX.

S: control de justificación: S1 S2 S3 S4 1: just. 0: no just.

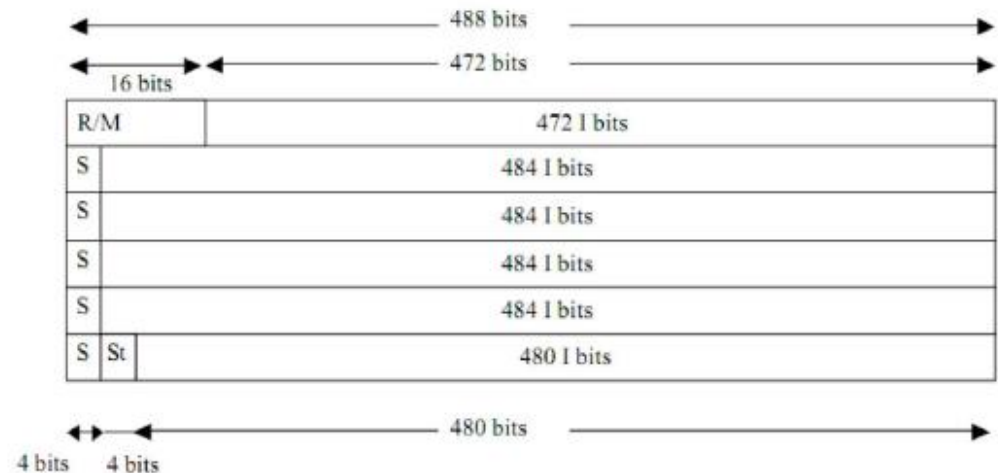
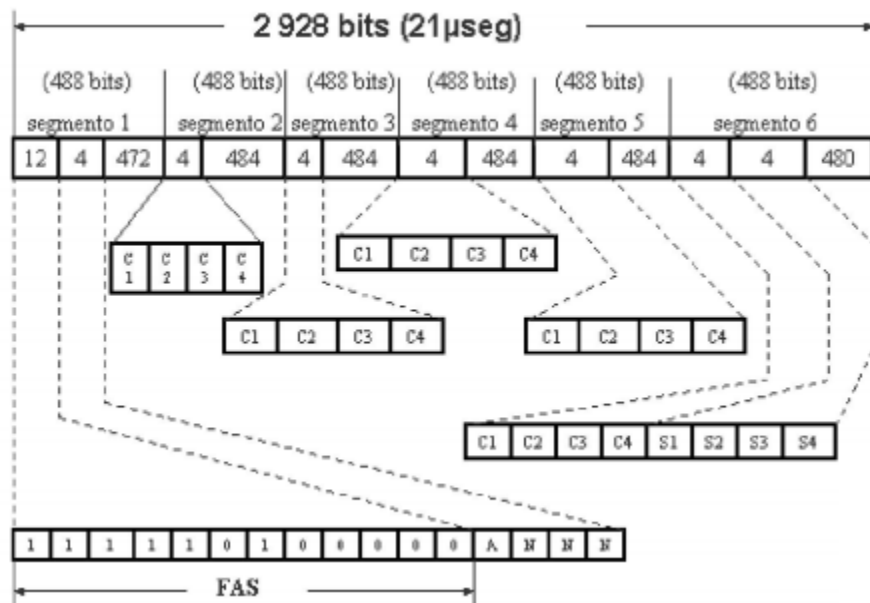
St: bits de justificación: J1 J2 J3 J4

34,368 kbit/s

44,7  $\mu$ segundos



## ENTRAMADO E4 – 140 Mbps



R/M: alineación de trama: 111110100000AXXX.

S: control de justificación: S1 S2 S3 S4 1: just. 0: no just.

St: bits de justificación: J1 J2 J3 J4

139.264 kbit/s  
21 μsegundos

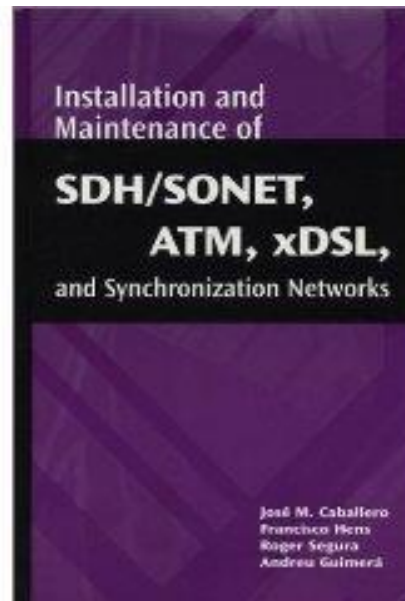
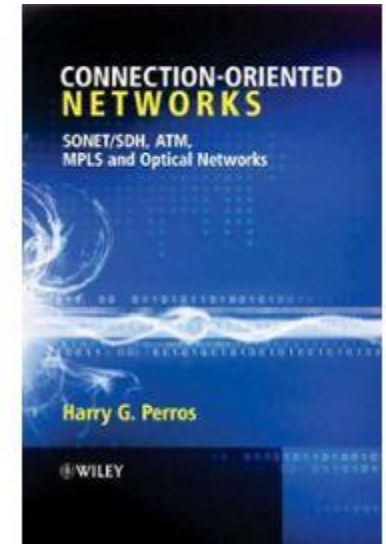
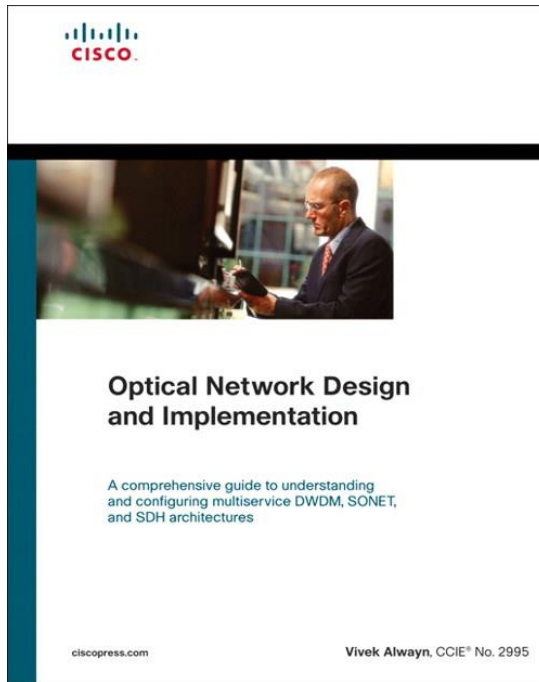


# Redes de Banda Ancha

Nivel jerárquico	2°	3°	4°
Velocidad binaria de línea (kbit/s)	8 448	34 368	139 264
Tolerancia de la velocidad (ppm)	30	20	15
Longitud de la trama (bit/trama)	848	1 536	2 928
Bits de la FAS, alarmas y reservados por trama	12	12	16
Cantidad de bits C por trama	12	12	20
Cantidad de bits S por trama	4	4	4
Bits de información por trama	820 + 4S	1 508+4S	2 882+4S
Bits de información por trama por afluente	205 a 206	377 a 378	722 a 723
Duración de la trama (µseg)	100,378..	44,6927	21,0248
Código de transmisión empleado	HDB3	HDB3	CMI



# Redes de Banda Ancha



Ing. Luis Mozzoni

