

ANEXO 3

Sistemas de Redes Digitales

El análisis y la comprensión de las nuevas técnicas digitales, hacen necesario recorrer su desarrollo y discurrir las bases del tratamiento digital. Las señales digitales utilizadas en computación están constituidas por pequeños pulsos de corriente eléctrica, idéntica a las utilizadas en transmisiones de telecomunicaciones y similar a los pulsos de luz empleados en las transmisiones por fibras ópticas. Esta razón ha sido el factor cardinal del porque "todo digital".

Para poder transmitirlos de un elemento electrónico a otro, por equipos, sistemas, por red física o radiada en la atmósfera o en el vacío y que aparezca libre de errores, se deberá efectuar distintos procesos. Símiles al tratamiento analógico, tales procesos podrán ser: la modulación para adaptarla al medio de transporte y la multiplexación para el mejor aprovechamiento del medio, además se tendrá el proceso de codificación, para facilitar su transmisión y mantener la privacidad de la información.

Se verán algunos de los métodos básicos de multiplexación, modulación y codificación digital, comúnmente utilizados en la práctica. Asimismo, para el análisis de los métodos de transmisión digital es conveniente principiar efectuando una somera revisión de la teoría de la información.

A. 3. 1. Información digital

El discernimiento de la teoría de la información comenzó en su análisis matemático. En la práctica de las telecomunicaciones, se ha hecho importante estudiar la incidencia de sus factores para obtener la máxima capacidad de información en los dispositivos y su velocidad de transferencia por la red.

El concepto información podría ser definido como la falta de incertidumbre, indeterminación, ignorancia o desconocimiento de un suceso o estado. La transmisión de un nuevo mensaje, concerniente a la probabilidad de que ocurra un suceso, cambia la probabilidad en el receptor en sentido positivo, acercándola a la certeza que se producirá tal suceso.

La certeza matemática de un acontecimiento dado, es por definición de probabilidad igual a 1. A la inversa, si existe la seguridad total que el suceso no ocurrirá se dice que su probabilidad es igual a 0. Luego por inducción podremos aseverar que cuando no se puede fijar el grado de probabilidad se estará entre el valor 0 y el valor 1.

Al transmitir información, disminuimos el valor de indeterminación o ignorancia en el receptor. Supongamos que se trate de enviar mensajes meteorológicos sobre el estado del tiempo. El tipo de información a cubrir será completado con pocos estados, que podrán ser de tan solo ocho tipos diferentes de mensajes, los que lo definirán: soleado, poco nublado, nublado, mayormente nublado, llovizna, lluvia, tormenta, tempestad.

Consideremos ahora otras clases de información, por ejemplo comercial, familiar o diplomática. Cada uno de los mensajes podrá llevar cientos de tipos diferentes de mensajes. Si ahora la información a transmitir fuese de carácter general, podrá haber 10 000 ó mas tipos diferentes de mensajes. En el primer caso visto, la información a transmitir es menor, porque la indeterminación es menor.

La información en sí, es una elección de un conjunto de posibilidades o alternativas. Si la elección es solo entre sí ó no, tendremos la unidad de información. La decisión podrá ser entre la elección de un 1 o un 0. En electrónica las condiciones 1 y 0, corresponden a dos mensajes con igual posibilidad de decisión, un si o un no, lo que podrá significar: encendido o apagado, compuerta abierta o cerrada, estado de carga o ausencia de carga en memoria, etc.

Como estas dos condiciones posibles, dígito 1 y dígito 0, corresponden al sistema de numeración binario, se asignó como unidad binaria al valor de la condición de la señal en un estado dado de presencia o ausencia, o a un cambio de estado. A este estado se lo designó y denominó bit, apocope de dígito binario, binary digit.

Si consideramos la elección de un estado entre cuatro, se necesitan emplear dos bit (Fig. 1-a), mientras que en la selección de un mensaje entre ocho se requieren tres bit. Por ejemplo, para definir el estado 3 entre cuatro estados (Fig. 1-b) se deberá enviar primero 0, luego 1, es decir la codificación 01, mientras que si se trata del estado 3 entre ocho estados (Fig. 1-c), se deberá enviar 1, luego 0, luego 1, es decir la codificación 101.

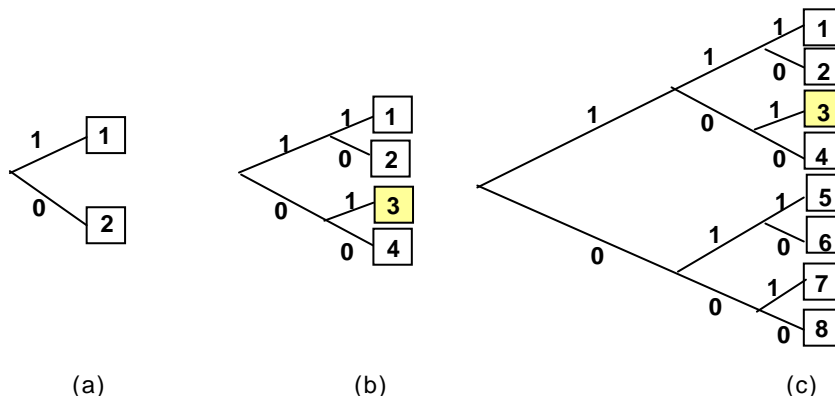


Fig. 1 - Selección de un estado entre ocho posibilidades

Se podrá continuar tal razonamiento, construyendo una tabla que indique la relación entre la cantidad de posibilidades y cantidad de bit requeridos.

CANTIDAD DE POSIBILIDADES Y CANTIDAD DE BIT REQUERIDOS

Nº posibles de estados N	Nº de bit a transmitir H	Relación estados a bits
2	1	$2 = 2^1$
4	2	$4 = 2^2$
8	3	$8 = 2^3$
16	4	$16 = 2^4$
32	5	$32 = 2^5$
64	6	$64 = 2^6$
128	7	$128 = 2^7$
256	8	$256 = 2^8$

Luego, podremos generalizar diciendo que

$$N = 2^H$$

Donde N es la cantidad posible de estados o mensajes y H representa la cantidad de bit necesarios transmitir. Como realmente lo que se requiere conocer es la cantidad de bit a transmitir H , despejamos ese valor, luego queda.

$$H = \log_2 N$$

Esta relación se cumple siempre que exista la probabilidad de ocurrencia siempre que un estado sea independiente del anterior.

A. 3. 1. 1. Pulso, celda, trama y multitrama

Una vez establecido el principio de la escritura digital, veamos su aplicación práctica en la transmisión digital. Visualicemos el concepto de pulso.

La presencia de una amplitud de tensión o luz, positiva o negativa puede representar un pulso de valor 1. Su ausencia indicará un pulso de valor 0. Tal pulso 1 ó 0, podrá tener una duración τ o $\tau / 2$ y constituye la unidad de información, a la que se le ha denominado bit. Los pulsos se representan idealmente con la forma de onda cuadrada con duración τ (Fig. 2).

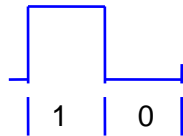


Fig. 2 - Bit de valor 1 y bit de valor 0

En la práctica los circuitos electrónicos y filtros generan un pulso más o menos deformado, su transmisión por la red será detectada en el receptor con un valor predeterminado según el caso.

Ya fuese una línea telefónica, una red de datos, radioemisión de TV digital, etc. si observamos señales digitales que circulan por tales vínculos, veremos que las mismas están formadas por estos pulsos. Los mismos son señales discontinuas es decir discretas, al contrario que una onda analógica que es continua.

Las señales digitales utilizadas en computación están constituidas por pequeños pulsos de corriente eléctrica, al igual que las utilizadas en las transmisiones de telecomunicaciones por las redes físicas y similares a los pulsos de luz empleados en las transmisiones por las redes de fibras ópticas.

Estos pulsos digitales presentan en general la misma forma, independientemente de la fuente que la ha originado. Las señales de los datos manejados por una red de computadoras, salvo velocidades particulares de su señalización, son similares a las presentadas en una transmisión mediante un sistema de modulación digital PCM o a las recibidas en un aparato de televisión digital. Por tal razón su estudio se podrá efectuar, sin especificar el servicio particular a operar.

La unidad de información digital podrá ser la representación codificada de la muestra de una señal analógica, una señal de voz o un carácter tipográfico.

Podrá estar compuesta por un sistema PCM de 8 bits, emitido en un intervalo de tiempo t , a la que se le ha denominado unidad N de información ó 1 Byte. La unidad de información es también denominada como intervalo de tiempo o "time slot".

El Byte ha sido definido por ASCII como compuesta por 7 bits de información y 1 bit de paridad para la detección de errores.

La secuencia de N unidades de información, emitida en un tiempo T, se le denomina trama. Una trama podrá constituir un mensaje o paquetes de bit. Estos paquetes pueden tener una cantidad de bit fija o variable. Los paquetes deben ser tan grandes como sea posible para un sistema dado, pero no tan grandes que requiera su fragmentación durante la transmisión, lo que es contraproducente.

El sistema ATM, por el contrario dispone celdas de longitud fija de 53 Byte, en vez de emplear tramas de longitud variable.

Una secuencia de tramas, mas las señales correspondientes a señalización, sincronismo, alarmas, etc de n canales, emitido en un tiempo T_m , se denomina multitrama. Ahora bien, la señal transmitida por la línea contendrá conjuntos de bits, formando las llamadas tramas y multitramas (Fig.3).

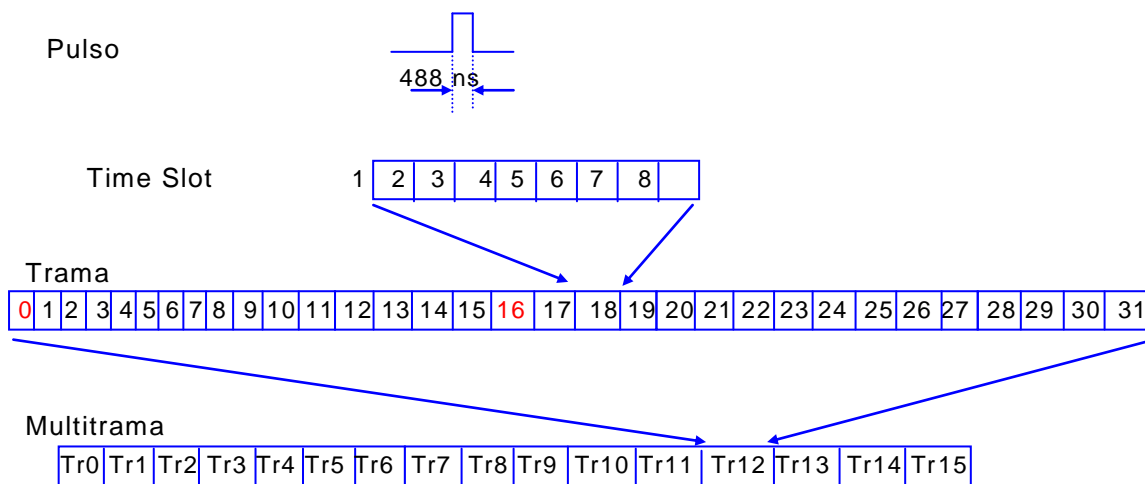


Fig. 3 - Pulso, trama y multitrama para el sistema europeo

En una trama el Time Slot 0, TS0, tiene las funciones de sincronismo, monitoreo y gestión, mientras que el TS16, se emplea para señalización. En los sistemas de jerarquía digital plesiócrona PDH (Pleisocronous Digital Hierarchy), una trama de 32 TS (de 0 a 31), contiene 256 bits (numerados de 1 a 256), y tiene una frecuencia de repetición de 8000 Hz.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS PCM

PARÁMETRO	USA	EUROPA
Cantidad de canales	24	32
Frecuencia de muestreo = f_m	8000 Hz	8000 Hz
Trama, en el tiempo T	$T=1/8000=125 \mu s$	$T=1/8000=125 \mu s$
Multitrama = T_m	$T_m=12 T=1.5 ms$	$T_m=16 T=2 ms$
Unidad de información = byte	$t=T/24=5.2 \mu s$	$t=T/32=3.9 \mu s$
Duración del pulso	$\tau=t/8=650 ns$	$\tau=t/8=488 ns$

A. 3. 1. 2. Velocidades de transmisión y eficiencia espectral

La velocidad de transmisión de la información, esta dada por la relación de pulsos transmitidos en el tiempo de un segundo (bit/s).

El Baud (por Émile Baudot), es la unidad de velocidad de la señal, que equivale a la inversa del tiempo de duración del pulso mas corto que compone un carácter. Es llamada también velocidad de señalización o de modulación.

En el caso particular que todos los pulsos tengan igual constitución, el Baud es equivalente a la velocidad de una señal digital expresada en bit/seg. Las primitivas máquinas telegráficas empleaban el código Baudot de 5 bit. En el entorno de computación, el sistema de código más utilizado es el estándar norteamericano ASCII (American Standard Code for Information Interchange), que asigna valores numéricos a las letras, números, signos de puntuación, etc, utilizando 7 bit por cada carácter.

Sea una transmisión de 30 caracteres por segundo, en codificación ASCII le corresponderá la transmisión de 210 bit/s. Pero en un sistema asincrónico le corresponde adicionar 3 bit por carácter, luego resultará un total de 300 bit/s, igual a 300 Baud.

En un sistema Ethernet, con una velocidad de transmisión de 10 Megabit/s, con código Manchester, al haber una transición en medio de cada bit, la relación entre la velocidad de transmisión (b/s) y la de señalización (Baud) es el doble. Resultando una velocidad de señalización de 20 MegaBaud. Otro parámetro que relaciona la cantidad de bits por símbolo transmitido es la llamada eficiencia espectral, útil en los métodos de modulación digital (los que veremos más adelante).

También se aplica el término eficiencia espectral como la relación entre la velocidad de transmisión expresada en bit/s y el ancho de banda expresado en Hz de un sistema, o la relación de cantidad de canales de un sistema al ancho de banda que el mismo insume.

A. 3. 1. 3. Eficiencia de la modulación digital

En un sistema de modulación digital, para definir la eficiencia de utilización de la banda de frecuencias, se utiliza el parámetro denominado densidad de información δ .

El mismo es igual a la relación entre la tasa de señalización o velocidad de señalización R , expresado en bit/seg. Generalmente se lo asimila al ancho de banda B , expresado en Hz, de un sistema analógico. En consecuencia la densidad de información δ , se expresa en bit/seg./Hz.

$$\delta = \frac{R}{B}$$

Teniendo en cuenta que un canal telefónico de 4 KHz, presenta una tasa de señalización de 64 Kb/s, su eficiencia se deberá incrementar solo adoptando algoritmos de codificación convenientes. Esta tasa de 64 Kb/s / 4 KHz = 16 bit/seg./Hz, se podrá mejorar mediante codificación, por ejemplo llevándola a la relación 3.1 bit/seg./Hz.

Otro elemento a tener en cuenta en la afectación al ancho de banda, es el efecto denominado interferencia entre símbolos (ISI), debido a su posibilidad de introducir errores de señalización.

A. 3. 2. Múltiplex por distribución en el tiempo (TDM)

Con la finalidad de optimizar el rendimiento de los sistemas de transmisión, sus equipos y sus redes, es necesario multiplexar varios canales para ser transmisión todos por un mismo medio físico o inalámbrico.

El sistema de multiplexación por distribución en el tiempo (TDM) se asienta en el método de transportar señales digitales, o de origen analógico, correspondiente a varios mensajes a través de un mismo medio y al mismo tiempo. Este método se basa en la transmisión sobre ranuras de tiempo (time slots) de muestras digitales y operando en una secuencia regular.

Hemos visto las técnicas denominadas multiplexación por desplazamiento o división de frecuencias FDM. Su correspondencia con las técnicas digitales de multiplexación difieren básicamente en que, mientras la FDM funciona manteniendo un trozo de banda todo el tiempo, acá el TDM actúa manteniendo todo el ancho de banda durante un trozo de tiempo (Fig. 4).

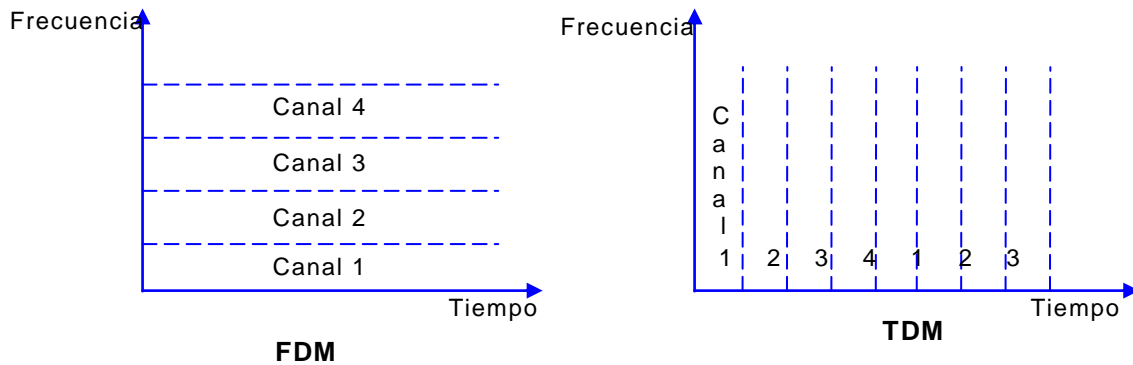


Fig. 4 - Multiplexación por división de frecuencia o de tiempo

En esta modulación digital, las diferentes ondas de entrada provenientes de distintos canales analógicos, pasan cada una por un filtro pasa bajo (FPB), para limitar la banda vocal en 4 KHz, luego por una conmutador electrónico que toma una muestra de esta onda. En el extremo receptor, una llave conmutadora electrónica similar a la transmisora y en sincronismo con ésta, reconstruirá las señales originales de cada canal (Figs. 5a y 5b).

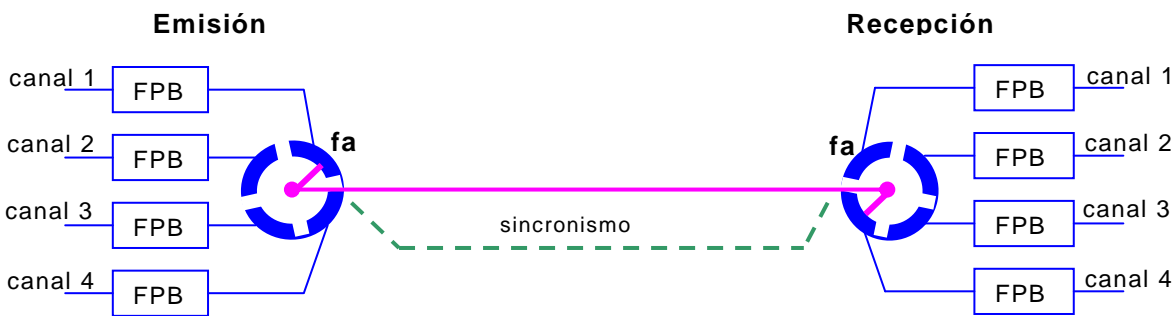


Fig. 5a - Transmisión múltiplex digital TDM

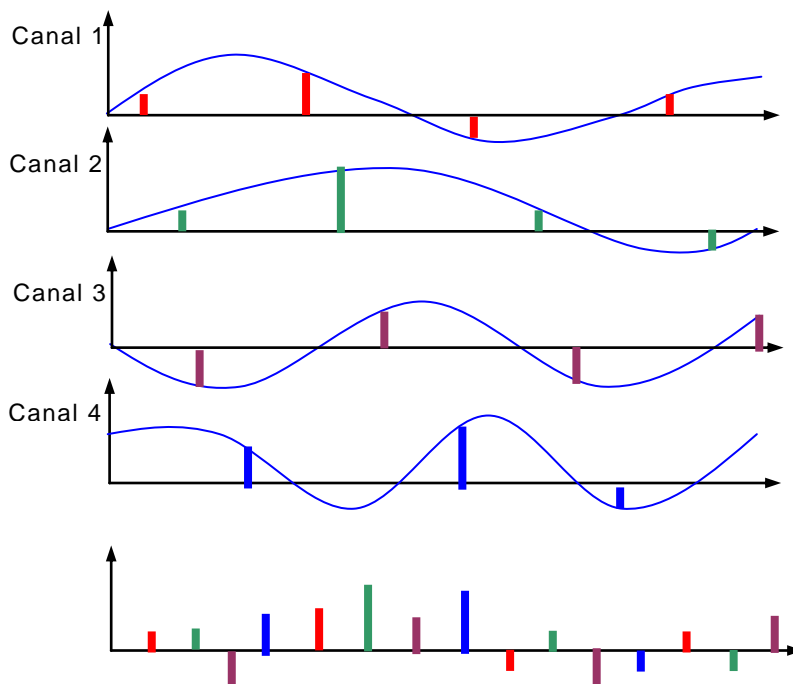


Fig. 5b - Proceso de multiplexado digital TDM

A. 3. 2. 1. Modulación en amplitud (PAM)

Según el teorema del muestreo enunciada por Harry Nyquist en 1924, es posible reconstruir completamente una señal analógica si se conoce un número suficiente de muestras. Para ello, es necesario que la frecuencia de muestreo sea igual o mayor a la frecuencia máxima $2 f_{max}$ de la onda a transmitir. Si esto se cumple, la señal original se podrá recuperar con fidelidad por completo, mediante filtros. La separación entre dos muestras consecutivas de cada onda, es decir el periodo de muestreo esta definido por esa frecuencia de muestreo.

Si deseamos modular un canal de voz, como la banda vocal es de 300 Hz a 3400 Hz, le corresponderá una frecuencia de 8 MHz (es decir el doble de 4 KHz, considerando los márgenes debidos a los filtrados). La inversa de esta frecuencia $1/8$ MHz, nos determina los intervalos de muestreo, que serán de $125 \mu s$ (Fig.6).

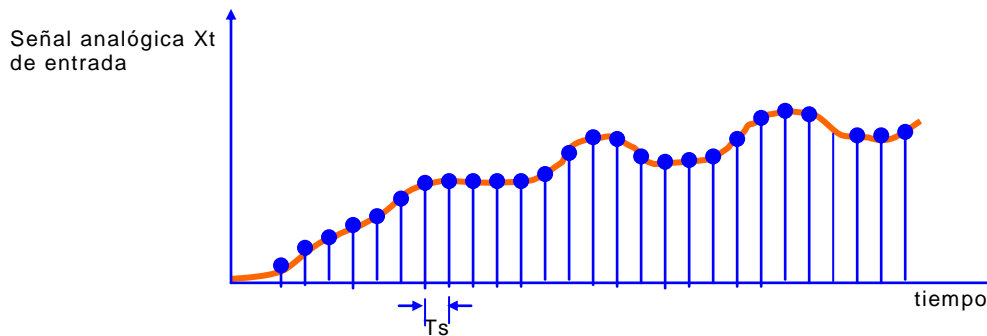


Fig. 6 - Muestreo de una señal analógica

Con cada una de las muestras extraídas se compone una nueva señal, la que será transmitida al medio. Esta señal se denomina señal modulada en amplitud y al sistema, modulación por amplitud de pulso PAM (Pulse Amplitude Modulation). La señal de la PAM esta constituida por pulsos unipolares cuyas amplitudes son proporcionales a los valores instantáneos de las muestras de los mensajes originales (Fig. 7).

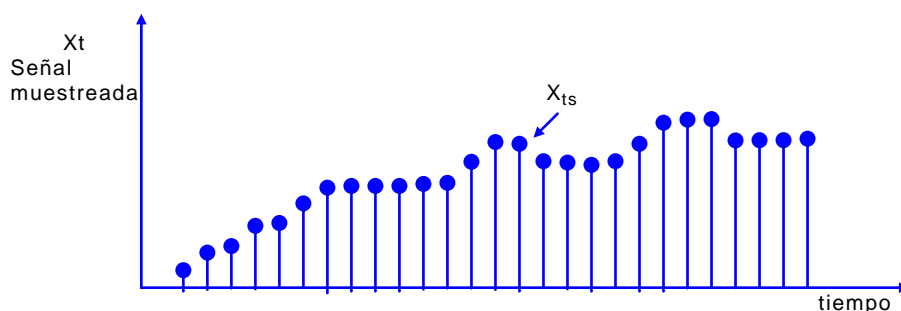


Fig. 7 - Señal muestreada PAM

Para realizar estudios integrales, deberíamos emplear una relación más real, como la formulada por Claude Shannon en 1948, haciendo intervenir la relación entre una señal y el ruido aleatorio interferente, S/N (Señal /Noise).

La ley de Shannon, nos indica que la tasa máxima de datos en bits /seg, o sea la velocidad de transmisión, C (b/s), de un canal ruidoso cuyo ancho de banda es BW (bandwidth), expresado en Hz, y cuya relación señal al ruido es S/N , está dada por la expresión:

$$C \text{ (b/s)} = BW \log_2 (1+S/N)$$

A. 3. 2. 2. Transmisión múltiplex de pulsos PAM

Empleamos el sistema de multiplexación en el tiempo TDM, con la finalidad de optimizar el rendimiento de un sistema de transmisión, multiplexando varios canales para ser transmitidos por un mismo medio.

Vimos que en esta modulación digital, las diferentes ondas de entrada provenientes de distintos canales analógicos, pasan cada una por un filtro pasa bajo, para limitar la banda vocal en sus 4 KHz, luego por un conmutador electrónico que toma una muestra de esta onda. En el extremo receptor, una llave conmutadora electrónica en sincronismo con la llave transmisora, reconstruye las señales originales de cada canal.

Cada una de estas señales entrelazadas resultantes, significan estar moduladas en el sistema tipo PAM, por estar constituida por distintas amplitudes representando la señal analógica original.

Como la señal una vez modulada en el método PAM y transmitida multiplexada directamente por la línea, debido a que la inteligibilidad de la señal está representada por las alturas de los pulsos, cualquier señal de ruido que se introduce en la misma, podrá afectar fácilmente esta información digital.

Por ello y para evitar este efecto perjudicial, se emplea en el proceso una nueva modulación. Varios son los métodos que se emplean y con diferentes técnicas. Como ser la:

- Modulación por amplitud del pulso PAM (Pulse Amplitude Modulation),
- Modulación por duración de pulso PDM (Pulse Duration Modulation),
- Modulación por posición de pulso PPM (Pulse Position Modulation),
- Modulación por impulso codificado MIC o PCM (Pulse Code Modulation),
- Modulación por impulso codificado diferencial DPCM (Differential PCM),
- Modulación Delta.

En la figura 8, se efectúa la comparación de los métodos de modulación nombrados.

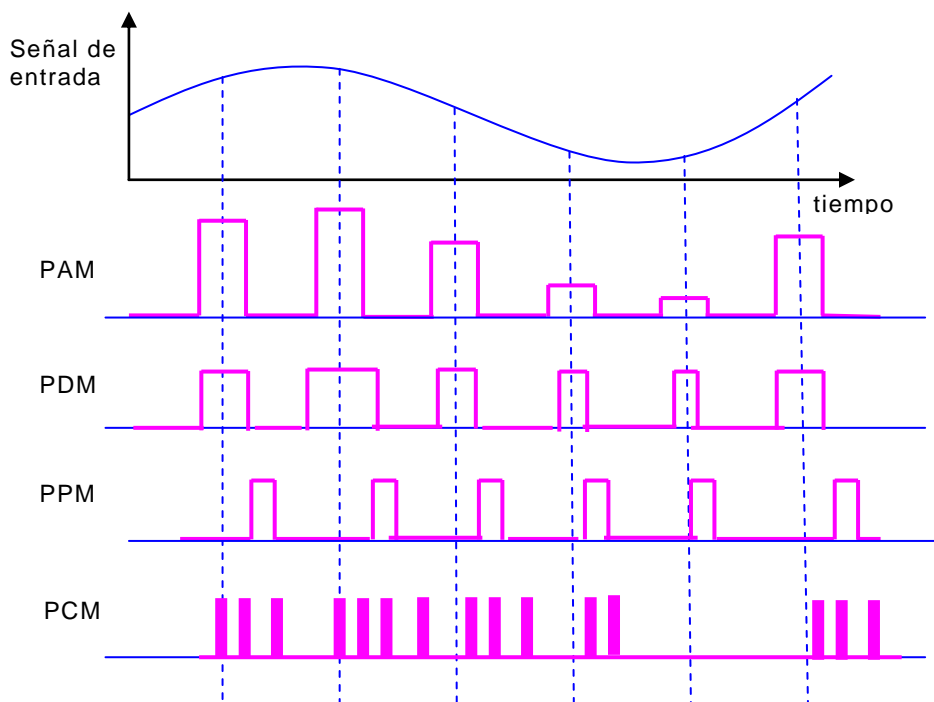


Fig. 8 - Cotejo de diferentes modulaciones TDM

A. 3. 2. 3. Modulación PDM y PPM

En la modulación por duración de pulso PDM (Pulse Duration Modulation), el valor instantáneo de la amplitud de la señal PAM, es representado por la duración o el ancho del pulso. La onda modulante PAM podrá variar el frente anterior, posterior o ambos frentes del pulso PDM.

En la modulación por posición de pulso PPM (Pulse Position Modulation), todos los pulsos tienen el mismo ancho y altura. El valor instantáneo de la amplitud de señal moduladora PAM, desfasa el pulso de su posición original, en una fracción proporcional a ésta, conformando la modulación PPM.

El método de Modulación por Impulso Codificado MIC, más conocido por sus siglas de idioma inglés PCM (Pulse Code Modulation), ha sido el más utilizado en las redes telefónicas. Es también el que lleva un más complejo proceso por lo que requiere un análisis específico el que trataremos seguidamente.

A. 3. 2. 4. Modulación por codificación de pulso (PCM).

Tanto el método PAM, como el PDM o el PPM, los pulsos están regidos por las variaciones analógicas de las señales, es decir que parten de sus variaciones continuas. En el método PCM, la señal para su transmisión en línea debe ser previamente codificada digitalmente, es decir que es un método de transmisión totalmente digital.

Al resultar un proceso totalmente digital, se podrá emplear en este método la detección del ruido introducido aleatoriamente, para poder ser luego eliminado. Asimismo, los repetidores regenerativos digitales podrán detectar los pulsos distorsionados y reconstituirlos, presentando a la salida, un pulso idéntico al transmitido originalmente (Fig. 9).

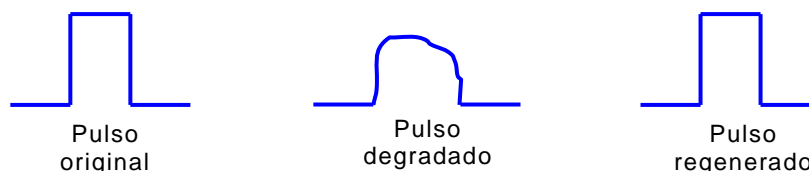


Fig. 9 Regeneración de los pulsos

En la generación de una señal PCM se aplican diferentes procesos, como vimos el filtrado y muestreo para formar la señal PAM, luego se efectúan otros tres procesos de la señal, procedimientos de cuantificación, compresión y codificación (Fig. 10).

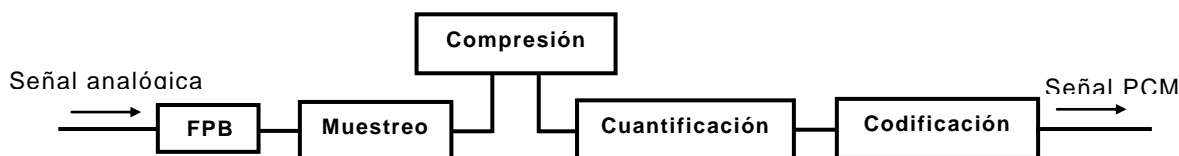


Fig. 10 - Procesos de generación de una señal PCM

En la práctica, las operaciones de compresión y de cuantificación se realizan en conjunto con el proceso de codificación.

Cuantificación digital en el sistema PCM

En el sistema PCM una vez obtenida la señal PAM, corresponde a la cuantificación el primer proceso para poder efectuar la transformación a señal digital.

Debido a que en la modulación PAM las amplitudes varían en un rango continuo, para trabajar con un número finito de amplitudes, se disponemos de un número determinado de niveles preestablecidos de cuantificación. Tal proceso consistirá en la comparación y asignación de cada una de las amplitudes de la señal PAM al nivel de cuantificación más próximo (Fig. 11).

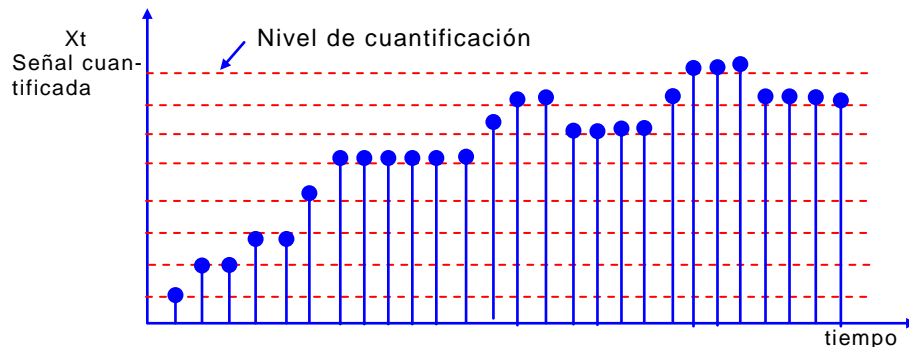


Fig. 11 - Cuantificación de la señal muestreada PAM

Esta aproximación al nivel discreto más próximo, en la cuantificación del sistema PAM, introduce un cierto ruido denominado ruido de cuantificación. Tal efecto semejante al ruido blanco de fondo en una transmisión, será tanto menor cuanto mayor sea el número de niveles discretos a implementar.

Los sistemas PCM emplean 256 niveles de cuantificación (8 bit por unidad de información). Con menor cantidad de niveles, la aproximación al nivel discreto más próximo, incrementaría en demasía el ruido de cuantificación.

Compresión digital del sistema PCM

Con una cuantificación lineal, es decir niveles igualmente espaciados, resultará que será menor el valor de la relación señal/ ruido para pulsos de pequeña amplitud que para los de mayor amplitud.

Esto significa que las señales de pequeña amplitud sufren mayor interferencia debido al ruido de cuantificación y en consecuencia peor calidad de transmisión. Para evitar esto se deberá disminuir los intervalos entre niveles bajos y aumentar los intervalos entre los niveles de cuantificación correspondientes a las amplitudes altas.

COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPRESIÓN

	PARÁMETRO	Nº SEGMENTOS
Ley μ	$\mu = 255$	15
Ley A	$A = 87.6$	13

Esto equivale a comprimir con mayor intensidad los pulsos correspondientes a las amplitudes altas PAM que las bajas. Esta operación se denomina Compresión y se efectúa tras la cual se aplica una cuantificación lineal. La compresión se obtiene pasando el tren de muestras multiplexadas en el tiempo, a través de un transductor no lineal que modifica la distribución de amplitudes.

Se emplea para ello una curva logarítmica de compresión. En la práctica se emplean diferentes curvas de compresión logarítmicas, en USA, Canadá y Japón se utiliza la curva de Ley μ , mientras que Europa emplea la curva que recomienda la ITU-T, la relación denominada Ley A de compresión (Fig. 12).

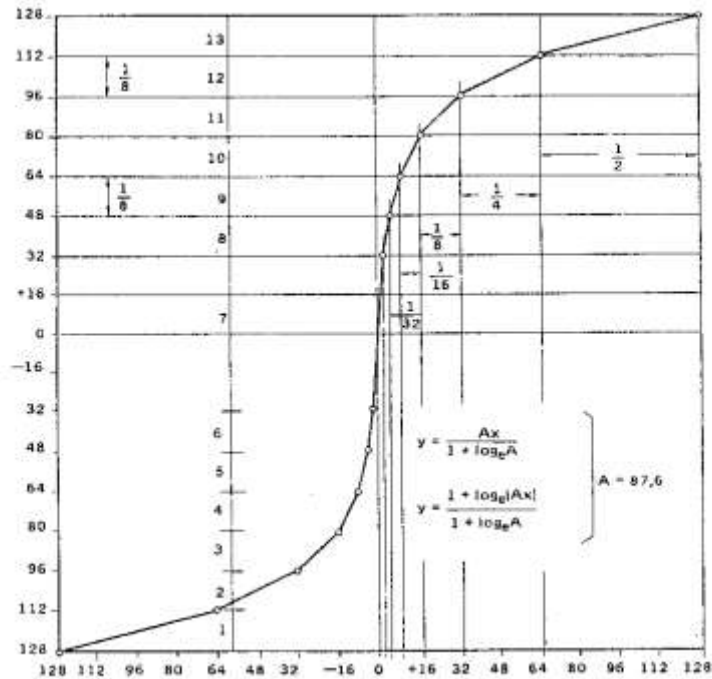


Fig. 12 - Curva de la Ley A de Compresión

Codificación digital del sistema PCM

En la modulación PCM, luego del muestreo de la señal analógica y su cuantificación le corresponde la codificación, lo que le permite transmitir en línea mediante pulsos digitales binarios. Este proceso de codificación se analizará más adelante, en el tratamiento general de la Codificación Digital.

A. 3. 2. 5. Modulación Delta y DPCM

Como una etapa de la modulación PCM, se considera la codificación directa de los valores de las muestras. Sin embargo, se han desarrollado distintas variantes donde se saca utilidad de las redundancias de muestras sucesivas repetitivas, a efectos de reducir la cantidad de bits transmitidos, manteniendo constante la calidad de información recibida.

Estos sistemas resultan particularmente más eficientes cuando las sucesivas muestras de la señal están altamente correlacionadas. Así por ejemplo en la transmisión de imágenes variables de televisión o servicios de teleconferencia, porciones apreciables de la señal describen información de fondo y contienen en consecuencia muy pequeña variación de datos. Bajo tales circunstancias, una señal de PCM transmitirá palabras de código repetidas veces, aun fuesen iguales o muy próximas.

Una alternativa es el método denominado DPCM, Diferencial PCM (Differential PCM), luego mejorado mediante la Modulación Delta (ΔM), donde se mejora la eficiencia del proceso enviando en forma codificada solamente la diferencia entre muestras sucesivas.

Si el rango de las diferencias entre muestras es menor a un rango dado indica la repetición de la muestra. Si tiene un incremento algo mayor indica aumentar un grado de cuantificación o un grado menor si es un decremento.

Este sistema es particularmente simple de implementar, se obtiene cuantificando la señal diferencia en solamente dos niveles, entre un valor actual y el anterior. Consecuentemente la salida del cuantificador, para estos casos, estará representada por un único dígito binario.

El mismo tiene dos tipos de errores de cuantificación. Si la amplitud de la señal sube o baja más rápido que el paso de cuantificación, el codificador no podrá seguirlo, produciendo "sobrecarga de pendiente". Si los valores de la amplitud es estable el codificador oscila entre dos valores lo que produce un ruido granular (Fig. 13).

Otro método utilizado es el llamado, PCM diferencial adaptativo ADPCM (Adaptive Diferencial PCM). Este método utiliza 4 bit de identificación de la muestra, por lo que consume 32 Kb/s. El ADPCM es frecuentemente utilizado para las transmisiones de telecomunicaciones a larga distancia.

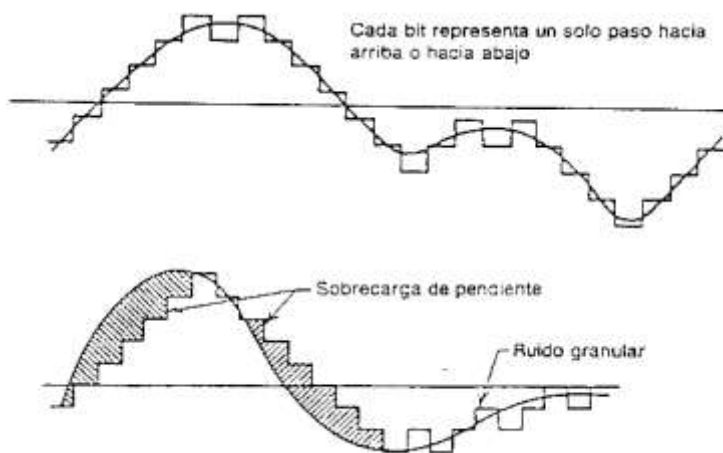


Fig. 13 - Modulación Delta

A. 3. 3. Codificación digital

Los canales de transmisión disponen de anchos de banda finitos, se hace necesario, maximizar las condiciones que permitan incrementar las tasas (b/s) de señalización. Por otra parte se debe minimizar la interferencia entre símbolos (ISI) la que introduce errores de señalización.

Una forma sencilla de alcanzar estos objetivos, será adecuar las propiedades estadísticas de la secuencia de dígitos transmitidos, a las características del canal a emplear. Ello se logra conformando un espectro de señal conveniente a ese medio. Tal proceso se conoce como Codificación de Transmisión. Sin embargo se debe destacar la diferenciación entre un código plano y un código de línea.

Los códigos planos como ser, retorno a cero RZ ó de no retorno a cero NRZ, solo llevan la información binaria y se emplean internamente en los equipos, mientras que los códigos de línea deben contener mucha mayor información, como ser el tipo de línea, su estado, el sincronismo, correctores de errores, tecnología. Estos códigos, utilizados en sistemas de modulación, resultarán más complejos.

Por ejemplo, al enviar por una línea una sucesión de unos, el receptor debe detectar cada uno de estos dentro de una ventana temporal. Para ello, debe mantener un fuerte sincronismo entre el emisor y el receptor. Se podrá administrar este agregando un franco en medio del pulso, el cambio de estado crea una forma de sincronismo más fácil de detectar por el receptor.

Luego se debe introducir una codificación que obtengan mas bits por muestra, o sea, más bits por Baud. Como un Baud es la cantidad de cambios de una muestra por segundo, según su codificación, la velocidad de transmisión Baud/seg podrá ser igual a la de bit/seg, o a nbit/seg. Para transmitir n bits por Baud y facilitar así el rescate del sincronismo, se han ideado distintos tipo de códigos, como ser AMI, HDB3, CMI, o los ternarios 4B3T y cuaternarios 2B1Q.

El proceso de codificación plana se implementa en la salida de la fuente de emisión de la señal, mientras que en el caso de los códigos de línea, en la unidad de transmisión hacia la línea.

En la modulación del tipo PCM, una vez cuantificados y comprimidos los pulsos PAM, se procede a dicho método de codificación, para su transmisión en línea. Esta codificación será manteniendo pulsos de igual amplitud, ello simplifica y abarata los circuitos de reconocimiento en la recepción y etapas de regeneración.

Fuese el caso de transmisión PCM de una señal de canal de voz, el cálculo de su velocidad digital se podrá obtener aplicando la expresión:

$$\log_2 N = H, \text{ resultando: } \log_2 256 = 8 \text{ bits /muestra.}$$

Luego, la velocidad digital necesaria para transmisión un canal de voz, es de 8 bit/ muestra x 8000 muestras/ seg = 64 000 bit/ seg = 64 Kb/s.

Existen diferentes métodos para codificar una señal digital. Algunas de estas codificaciones se emplean en sistemas múltiplex, como ser en PCM. De los métodos básicos tenemos a:

- NRZ (Not Retor to Zero), con no retorno a cero,
- RZ (Retor to Zero), con retorno a cero,
- AMI (Alternate Mark Inversion), de con inversión alternada de marcas,
- HDB3 (High Density Bipolar 3), de alta densidad bipolar,
- CMI (Coded Mark Inversion), con inversión de marca codificada,
- mB/nB (m bits/ n bits), con m bits /n bits.

Asimismo, se dispone de otras diferentes codificaciones, aplicadas en y para diversos sistemas. Ya las primitivas máquinas telegráficas empleaban el código Baudot de 5 bit. El código AMI se emplea para transmisiones de canales T1 de 1.544 Mb/s. El código HDB3 tiene su mayor utilidad en cables, mientras que el CMI, lo tiene tanto en multipares como en fibras ópticas y el mB/nB en fibras ópticas.

Codificaciones como la SDLC o la HDLC se emplean para control de la transferencia de datos. Los códigos ternarios 4B3T y cuaternarios 2B1Q se han dedicado a los sistemas ISDN (RDSI) y los códigos CAP 64 y CAP 128, a la familia de técnica de acceso de abonados xDSL. Estos sistemas se estudian en los respectivos anexos.

Según las características de los códigos en línea, en particular sus velocidades, permiten adaptar el espectro de las señales a los parámetros del canal de transmisión. Esto se realiza con el objeto de obtener, equipos y filtros de emisión y recepción más simples de realizar y conseguir una transmisión mas adecuada a los parámetros de la línea a utilizar, en particular.

Una forma sencilla de adecuar las señales será la alteración de las propiedades estadísticas de la secuencia de símbolos o bits trasmitidos a las características del sistema a emplear. La combinación acertada de varios estados de bits = 0 y bits = 1, nos dará una codificación requerida.

Si se utiliza la numeración binaria, la combinación de varios 0s y 1s formarán un número digital. Estos estados podrán ser representados, ya por dos potenciales eléctricos distintos: tensión cero y tensión V1 que se denomina unipolar o un valor de tensión V1 y otro -V1 que se denomina bipolar, o también por un cambio de valor de un potencial a otro.

Para líneas analógicas, se podrán emplear en forma similar, pulsos modulados en frecuencias distintas, que llamamos tonos.

Otro inconveniente ya aludido es la interferencia intersímbolos ISI. Ésta representa el detrimento al proceso de detección digital, como mezcla de energías entre las colas de los pulsos adyacentes lo que trae aparejado la posibilidad de introducir errores de señalización.

Para evitar esta interferencia intersímbolos, se deberá cumplir el teorema de Nyquist indicado anteriormente, verificándose que la relación del ancho de banda BW mínimo teórico necesario, para detectar R_s símbolos por segundo, cumpla la relación:

$$BW = \frac{R_s}{2} \text{ [Hz]}$$

Ahora bien, si se quiere evitar estos efectos e incrementar la velocidad de transmisión digital en bit /seg, se podrá emplear un módem que disponga una simbología más compleja de códigos compuestos.

A. 3. 3. 1. Código NRZ

Si se eligen dos distintos niveles de tensión, por ejemplo V_1 para el valor 0 y tensión V_2 para el valor 1, se incrementa la tensión utilizada y con ello la potencia consumida. Para reducir este efecto, se podría adoptar una tensión cero para los 0 y un valor positivo V_1 para los 1, a tal codificación se la denomina unipolar con no retorno a cero, NRZ (Not Return to Zero) (Fig. 14a).

También este código podrá tener el carácter bipolar si se fija como valor positivo a los 1s y negativo a los 0s (Fig. 14b).

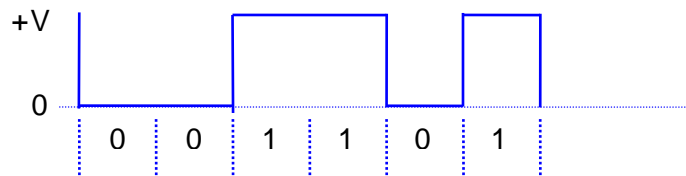


Fig. 14a - Código "no retorno a cero" NRZ, unipolar

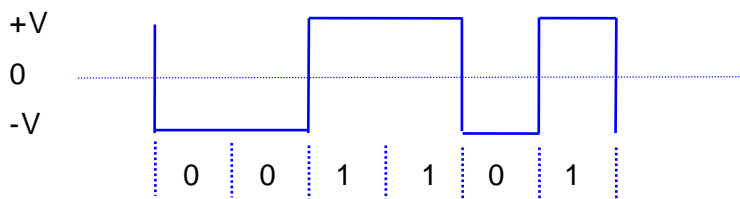


Fig. 14b - Código "no retorno a cero" NRZ, bipolar

El código NRZ tiene el inconveniente de no poder ser transmitido a grandes distancias por dos motivos:

- 1) Dificultad para reconstruir la señal de reloj. La señal NRZ podrá tener una secuencia grande de 1s o 0s consecutivos, lo que dificulta la detección de la referencia de los relojes de sincronismo, por ejemplo la utilizada para la regeneración del tren de pulsos.
- 2) Presencia de una componente de corriente continua. La componente de continua la hace impracticable para los circuitos analógicos, ya que no permitir su pasaje. Ello se debe a que tales circuitos contienen efecto de, o capacitores en serie. A estos se les llaman, circuitos no transparente a las componentes de continua.

A. 3. 3. 2. Código RZ

El código calificado como, retorno a cero RZ (Retor to Zero), soluciona la reconstrucción de la señal de reloj en la recepción, por lo menos en secuencias de cero que no excedan de determinados límites. Esta codificación consiste en atribuir a los 1s solo el 50% del intervalo asignado como bit. Sin embargo no dará solución a la presencia de la componente continua (Fig. 15).

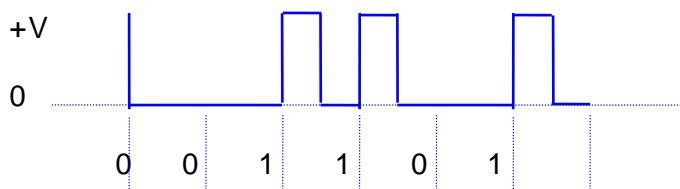


Fig. 15 - Código "con retorno a cero" RZ, unipolar

A. 3. 3. 3. Código Manchester

Vimos que el código NRZ tiene el inconveniente de no disponer de autosincronismo cuando se sucedan varios ceros o unos, asimismo la componente de continua, por la transmisión de una sucesión de muchos 1s, podrá afectar a la polarización de ciertos circuitos electrónicos.

Mediante la codificación bipolar Manchester se permite facilitar la reconstrucción de la señal de reloj, es decir obtener una fuerte temporización (timing). Asimismo, con este método de codificación se evita la componente de continua.

Para ello, este código utiliza dos valores de Volt, +0.85 y -0.85 y la transición ocurre en medio de cada bit, asignándose por ejemplo, el valor 1 cuando la transición ocurre de arriba hacia abajo y el valor 0 cuando la transición es de abajo hacia arriba. Con este método se logra una alta autosincronización. (Fig. 16a y Fig. 16b).

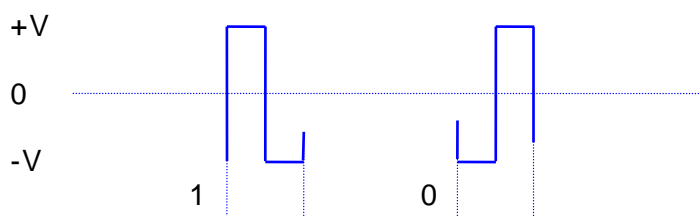


Fig. 16a - Pulsos de valor 1 y valor 0 en Manchester

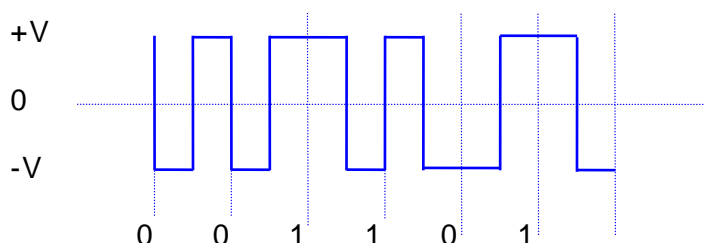


Fig. 16b - Código Manchester bipolar

Podremos observar que, si la velocidad de transmisión es de 10 Mbit/seg, la velocidad de señalización es el doble 20 MegaBaud. Los protocolos controladores (driver) de las placas adaptadoras de red, utilizan esta codificación en las transmisiones sobre líneas telefónicas de corta distancia.

A. 3. 3. 4. Código Manchester Diferencial

Una limitación del Código NRZ ó el Manchester está representada, al ser la señal 1 exactamente igual al negativo de la representación del 0. Esto podrá causar grandes inconvenientes, si al decodificar la señal se confunde en un instante dado un signo, lo que producirá luego decodificar todos los 1s como 0s y viceversa.

Esto se evita si adoptamos como regla, decodificar para un cambio de forma de onda con un 1 y si no ocurre un cambio se decodificar con un 0. A tal código se lo denomina Manchester Diferencial ó también como Código NRZ Diferencial. Este código se utiliza en las redes Token Ring (Fig. 17).

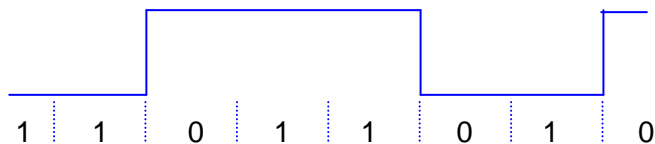


Fig. 17 - Manchester diferencial

A. 3. 3. 5. Código AMI

Otra codificación muy utilizada es la denominada “inversión alternada de polaridad” AMI (Alternative Mark Inversion) que contribuye tanto a la solución del problema de reconstrucción de la señal de reloj, como la supresión de la componente de continua.

Se dice que el código AMI, es un código pseudoternario, pues a pesar de disponer tres niveles (+1, 0, -1), el nivel 0 no transporta información. Del código binario original, por ejemplo RZ, se efectúa una conversión invirtiendo en forma alternada los signos 1 del código binario.

Se invierte la polaridad del bit 1, respecto al bit transmitido anteriormente. Al invertir en forma alternativa los bits 1 binarios, se garantiza una cantidad igual de marcas positivas y negativas. Se obtiene así, un código ternario donde la velocidad de bit es igual a la de Baud (Fig. 18).

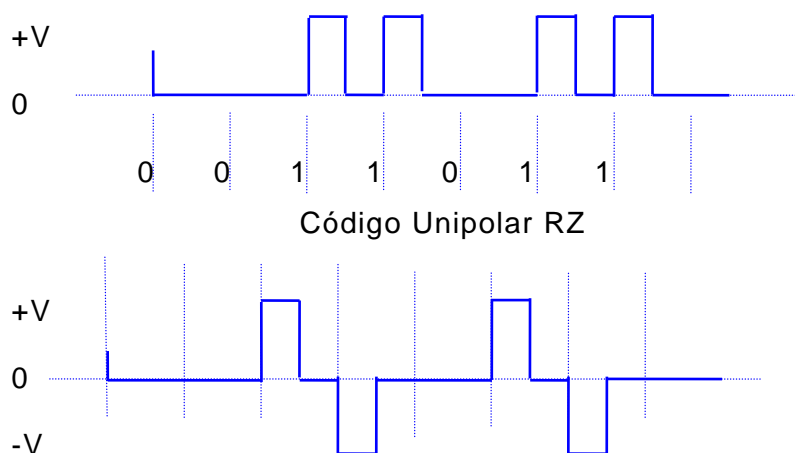


Fig. 18 - Código Bipolar AMI

Este código se emplea en los sistemas de transmisión de primer orden, consistente en canales digitales alquilados, utilizados en USA, denominados T1, y que disponen de una capacidad de 1.544 Mb/s.

A. 3. 3. 6. Código HDB3

El código bipolar de alta densidad HDBn (High Density Bipolar n), no admite una secuencia de n ceros consecutivos, por ejemplo en el HDB3 no admite mas de tres ceros consecutivos. Este código ha sido el de mayor difusión en la transmisión de telecomunicaciones por cables (Fig. 19a).

Similar al código AMI introduce bit 1 artificiales, según reglas preestablecidas que rompen las largas secuencias de 0s binarios (Fig. 19b).

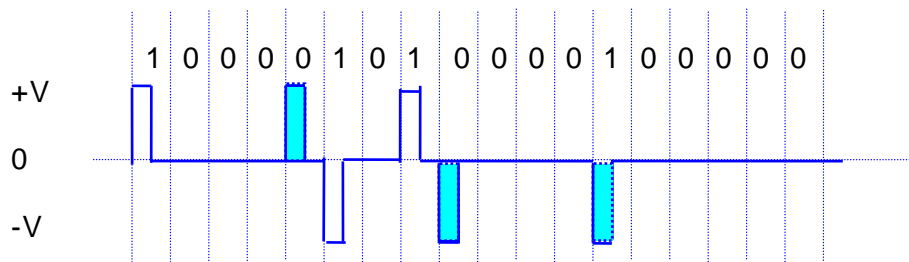


Fig. 19a - Código HDB3

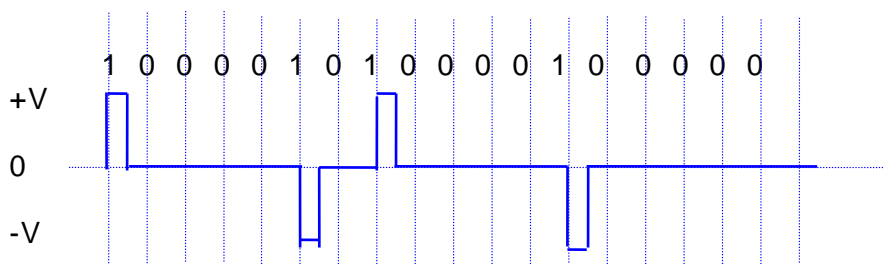


Fig. 19b - Código AMI

Este código requiere cumplir las siguientes reglas:

1. Un tren de bits que comprenden una secuencia de ceros inferior a tres, se traduce como aplicando la misma regla que para el código AMI, es decir alternándolos.
2. En una secuencia de cuatro ceros consecutivos, el cuarto cero se convierte en 1, con polaridad inversa al 1 anterior.
3. Si entre dos secuencias de cuatro ceros hay un número par de 1s, en la segunda secuencia además de transformar el cuarto 0 en un 1 con polaridad invertida, se debe cambiar en 1 el primer 0, pero sin cambio de polaridad.
4. La falta de bits 1 entre dos secuencias, se considera como número par.

La distinción entre número par e impar de 1s entre dos secuencias de cuatro 0s se efectúa al solo efecto de reducir al mínimo la componente de corriente continua.

A. 3. 3. 7. Código CMI

El código, inversión de marca codificada CMI (Coded Mark Inversion Code), ha sido diseñado para la transmisión de señales digitales sobre cables y/o fibras ópticas a elevadas velocidades de cifras, como por ejemplo 140 Mb/s.

Es un código binario sin retorno a cero. Se crea de manera que dos niveles se obtienen consecutivamente cada uno durante un período mitad de un intervalo unidad bit, de esta forma se suprime la componente de continua.

Es una variante del código Manchester, donde el símbolo 0 es dado por el cambio de polaridad de negativo a positivo, que se produce en la mitad del tiempo bit y el símbolo 1 es enviado alternativamente como positivo y negativo (Fig. 20).

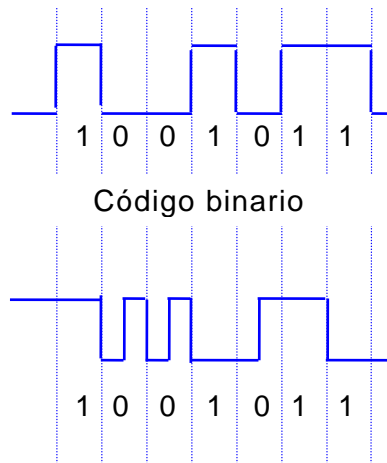


Fig. 20 - Codificación CMI

A. 3. 3. 8. Código mB /nB

El Código mB/nB (m bits /n bits), es utilizado ampliamente en sistemas de fibras ópticas, en las versiones 5B/6B y 6B/8B, a las velocidades de transmisión de 34 y 140 Mb/s.

El mismo se aplica en sistema, para introducir redundancia y eliminar secuencias peligrosas que impidan recuperar la señal de reloj (el clock). Siempre el número de bit n es mayor que el número de bit m. Se emplea dos estados de codificación. Cada uno de estos estados permite que se seleccione entre 32 palabras codificadas, según la disparidad resultante entre estados.

A. 3. 3. 9. Control sincrónico de enlaces de datos, SDLC

En los módem sincrónicos se emplea la codificación para teleprocesos, control sincrónico del enlace de datos SDLC (Synchronous Data Link Control). Este protocolo fue desarrollado por IBM, sometido luego para su aprobación internacional.

El Instituto Nacional de Estandarización Americano ANSI lo modificó convirtiéndolo en el, procedimiento avanzado de control de comunicación de datos ADCCP (Advanced Data Communication Control Procedure).

La Organización Internacional de Estandarización ISO, también lo modificó para convertirlo en el, control de enlace de datos de alto nivel HDLC (High level Data Link Control), que luego el CCITT lo adoptó y modificó para su, procedimiento B de acceso de enlace LAPB (Link Access Procedure B), como parte del estándar de interfaz de red X.25.

Es el código mas frecuentemente utilizado en redes de transmisión de datos bajo el, sistema de arquitectura de red SNA (System Network Architecture) de IBM. Se aplica a transmisiones sincrónicas, orientado a bits, que organiza la información en tramas y usan el relleno de bits para lograr la transparencia de los datos. En este código no interviene la componente de continua, pues no son los niveles propiamente dichos, sino los cambios de nivel lo que censa el receptor.

El objetivo de este código es que ante la ausencia de señal en los dispositivos, se de lugar a una alternancia de pulsos que permita mantener el sincronismo. Este esquema es utilizado en sistema de velocidades reducidas.

En estos sistemas el corrimiento de la señal en el tiempo, es decir corrimiento de sincronismo entre emisor y receptor, no causa problemas. Fuese una velocidad de 9.6 Kb/s, cada bit toma alrededor de 100 microsegundo. Un corrimiento de 1 microsegundo no afectará la transmisión.

Sin embargo para una red Ethernet de 10 Mb/s cada bit dura 0.1 microsegundo, luego un corrimiento de 1 microsegundo sería fatal para la correcta transmisión.

A. 3. 3. 10. Control de enlace de datos de alto nivel, HDLC

El protocolo, control de enlace de datos de alto nivel HDLC (High level Data Link Control) ha sido emitido por la ISO como código para el control de la transferencia de información internacional. Se utiliza para enlaces X.25.

Es un protocolo sincrónico, orientado a bits que se aplica al nivel de Capa Enlace del modelo OSI, para el empaquetamiento de mensajes. La información se transfieren en tramas organizadas de cantidad variable de datos. En HDLC, toda la información se envía dividiéndola en tramas de tres tipos:

- Trama **I** (información),
- Trama **S** (secuencias de supervisión) y
- Trama **U** (órdenes o respuestas).

A su vez, la trama **I** de información, estar formada por seis sectores (Fig. 21):

- F1** - Flag de sincronismo como comienzo de trama (01111110)
- D** - Dirección
- C** - Control
- I** - Información
- SVT** - Secuencia de Verificación de Trama
- F2** - Flag final de trama (01111110)

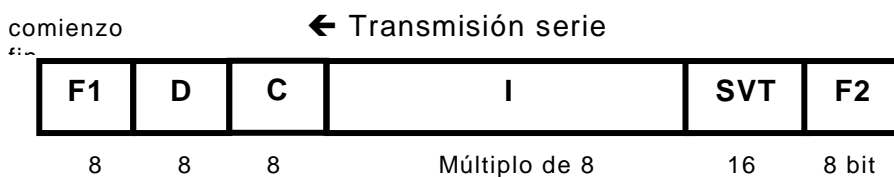


Fig. 21 - Trama información del formato HDLC

Las tramas tipo **S** y **U**, disponen de similares campos, excepto que no poseen el campo de información **I**

A. 3. 4. Modulación digital multinivel

Veamos los métodos de modulación de línea que específicamente permiten adaptar la información digital a un medio, fuese físico o radioeléctrico. Una de las cualidades de su aplicación, podrá ser diferenciada según el tipo de modulación, por ejemplo en el caso de señales emitidas por computadoras para facilitan su transporte en forma apta por el par de cobre, donde empleamos un módem.

Otra cualidad es facilitar la radiación en los radioenlaces, asignación de frecuencias, multiplexación, superar limitaciones del medio, etc. Para ello se utilizan modulaciones digitales binarias del tipo similar a las modulaciones analógicas, por variaciones de la amplitud, frecuencia o fase de la señal de portadora, respectivamente ASK, FSK y PSK, o combinación de ellas.

También, si queremos aumentar las velocidades de transmisión digitales en bit/seg, se podrá emplear módems que obtiene mas bit por muestra o sea por Baud. Estos emplean combinación de técnicas para transmitir múltiples bits por Baud, caso de la modulación PSK multinivel, mPSK ó de la QAM.

Una aplicación de estas técnicas, se ofrece en la modulación multinivel empleada en los módem avanzados de alta velocidad, como ser los xDSL. También en el caso de equipos de microondas, el modulador podrá emplear la modulación multinivel mPSK ó QAM.

Si queremos aumentar las velocidades de transmisión digitales en bit/s, se podrá emplear módems que obtiene mas bits por muestra o sea por Baud. Estos emplean combinación de técnicas para transmitir múltiples bits por Baud (multisimbólica).

Cada estándar de módem tiene su propio patrón de constelación. Por ejemplo el modelo ITU V.32 para módem de 9.6 Kb/s emplea la transmisión de 4 bit /Baud a 2400 Baud y resulta el patrón de 16 combinaciones, representado en la figura subsiguiente.

El modelo ITU V.32 bis, módem para facsímil, es de 14.4 Kb/s y se logra transmitiendo 6 bit por muestra a 2400 Baud con una constelación de 64 puntos. Una posterior versión del V.34 opera a 36.6 Kb/s. Por otra parte, en el módem V.90, se alcanzan 56 Kb/s, empleando la modulación digital DMT.

Se debe optar por el código de línea que satisfaga la longitud requerida y solvete la calidad de servicio QoS (Quality of Service), estipulada para el mismo. Sea por ejemplo la codificación de la modulación por desplazamiento de fase PSK. En su esquema todos los puntos de la constelación se ubican sobre circunferencias, lo cual implica una cierta constancia de amplitudes (Fig. 22).

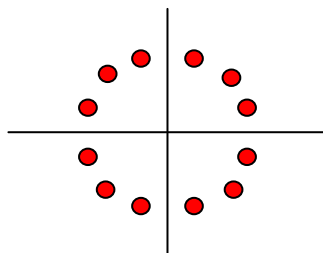


Fig. 22 - Diagrama de fase de una señal 8 PSK

Se corresponde un flujo de 8000 muestras por segundo, para 256 niveles de amplitud, luego será $\log_2 256 = 8$ bit por muestra. Por consiguiente, la velocidad en bit necesaria para transmitir un canal de voz, es de $8 \text{ bit /muestra} \times 8000 \text{ muestras /seg.} = 64\,000 \text{ bit /seg.}$

A. 3. 4. 1. Modulación digital en amplitud, ASK

Probablemente, la modulación digital en amplitud ASK (Amplitude Shift Keying), haya sido la primera técnica de modulación pues ha sido utilizada para los primitivos sistemas de telegrafía Morse vía radio (Fig. 23).

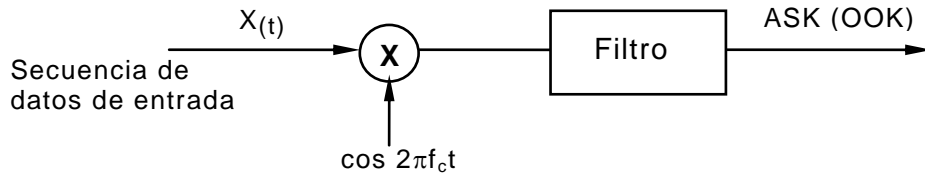


Fig. 23 - Modulación ASK

Este método consiste en variar la amplitud de la señal de portadora entre dos valores predeterminados, en correspondencia con la señal binaria de datos digital (Fig. 24).

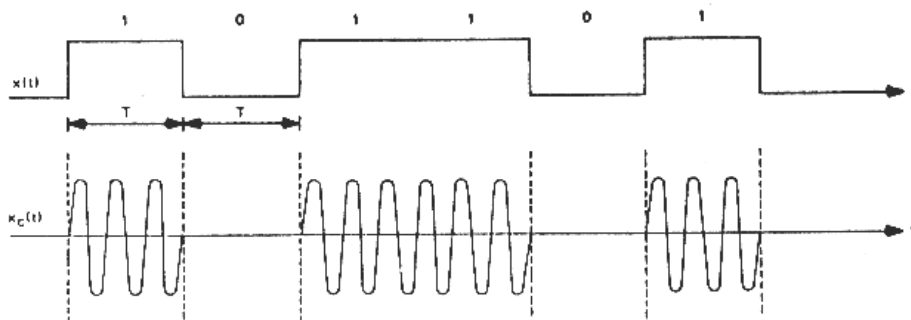


Fig. 24 - Proceso de la modulación ASK (OOK)

Si $x(t)$ es la señal de datos, que varía entre 0 y 1 en intervalos de T segundos, y f_c la frecuencia de portadora, la señal modulada ASK será $x_c(t)$:

$$x_c(t) = A x(t) \cos 2\pi f_c t$$

Usualmente uno de los dos niveles coincide con el valor cero, por lo cual a esta modulación ASK, también se la denomina como OOK (On - Off Keying).

A. 3. 4. 2. Modulación digital, desplazamiento de frecuencia, FSK

La modulación digital por desplazamiento de frecuencia, FSK (Frequency Shift Key-ing), provee una señal de amplitud constante. Es utilizada principalmente en radiotransmisores digitales de banda angosta, aunque se use también en banda ancha, principalmente en sistemas múltiplex FDM.

La expresión de una señal binaria FSK es:

$$x_c(t) = A \cos [2\pi (f_c + x(t) \Delta f) t]$$

donde f_c es la frecuencia central de portadora, $x(t)$ la señal digital de banda base, con codificación simétrica NRZ de dos niveles y Δf la desviación de frecuencia.

El espectro resultante FSK, podrá visualizarse como la superposición de dos señales OOK desplazadas en un valor T (Fig. 25).

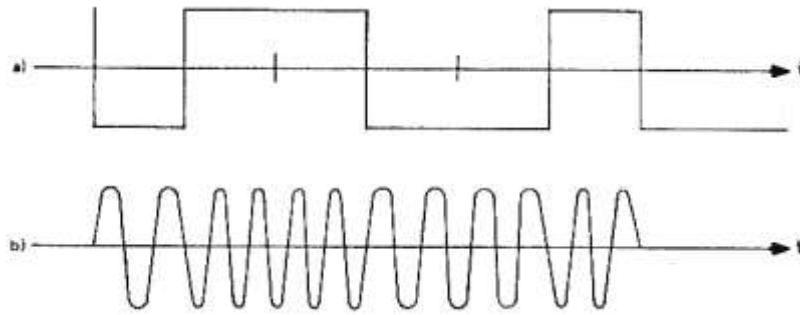


Fig. 25 a) señal digital de banda base (NRZ) b) señal modulada en FSK

Partiendo de estas expresiones para FSK, se podrán obtener otros métodos de modulación digital.

Como ser, la modulación:

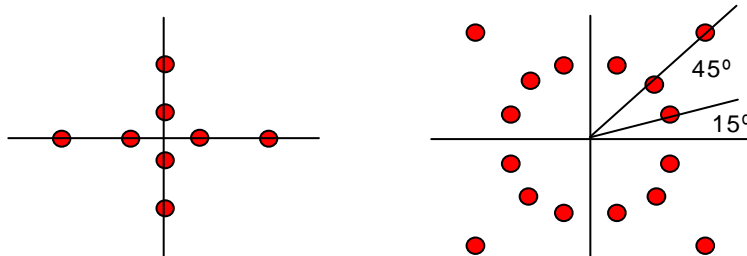
- Por desplazamiento de fase PSK (Phase Shift Keying),
- Por desplazamiento de fase diferencial DPSK (Differential Phase Shift Keying)
- De amplitud en cuadratura QAM (Quadrature Amplitude Modulation),
- Por desplazamiento de fase cuaternario QPSK (Cuaternar Phase Shift Keying)
- Por desplazamiento múltiple MPSK (Multiple Phase Shift Keying)

A. 3. 4. 3. Modulación digital por desplazamiento de fase, PSK

En el caso de un sistema digital que transmita a 3 bit /Baud, con un patrón de constelación de 8 puntos, se tienen defasajes a 0° , 90° , 180° y 270° , con dos niveles de amplitud cada una de ellos, luego se obtienen 8 combinaciones de amplitud y fase.

Tal diagrama designado como patrón de constelación, es el resultado de tomar las variaciones de dos parámetros independientes, consecuentemente estas modulaciones emplean códigos bidimensionales.

En la codificación de la, modulación por desplazamiento de fase PSK (Phase Shift Keying). En su esquema todos los puntos de la constelación se ubican sobre circunferencias, lo cual implica una cierta constancia de amplitudes (Fig. 26).



Patrón de 3 bit /Baud

Patrón de 4 bit /Baud

Fig. 26 - Patrones de la PSK

La modulación digital por desplazamiento de fase PSK, se utiliza en sistemas de radio enlaces de banda ancha o sistemas de enlaces satelitales.

En este tipo de modulación, se modifica la fase de una portadora de amplitud constante. Cuando esta modulación esta referida al valor absoluto de una portadora sin modular, se tiene el sistema PSK, mientras que si se modula en referencia a la fase del estado anterior, tendremos los denominados sistemas de modulación por desplazamiento de fase diferencial, DPSK (Differential Phase Shift Keying). La ecuación que la caracteriza es:

$$x_c(t) = x(t) A \cos 2\pi f_c t$$

donde $x(t)$ es una señal binaria aleatoria de periodo T , NRZ, que toma valores $+1$ ó -1 , de la forma:

$$s_0(t) = A \cos \omega_c t$$

$$s_1(t) = A \cos (\omega_c t + \pi)$$

donde se observa la diferencia de fase de 180° , entre dos estados (Fig. 27).

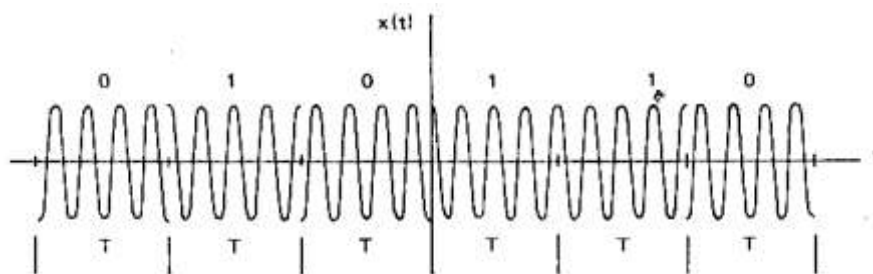


Fig. 27 - Modulación digital por desplazamiento de fase PSK

A. 3. 4. 4. Modulación multinivel cuaternario, QPSK

En la modulación MPSK la fase de la portadora puede tomar uno de los M valores posibles, separados un ángulo $\Delta\phi = 2\pi / M$, en consecuencia resulta la expresión general:

$$s(t) = A \cos (\omega_c(t) + x(t) \Delta\phi / 2)$$

Si $M = 4$ será 4PSK, que se denomina QPSK, por Q cuaternario.

La modulación PSK de 4 fases se basa en 2 portadoras de igual frecuencia con un desfase relativo de 90° . Al invertir en fase la primera, la segunda o ambas, se puede asociar a una fase resultante, un par y solo uno de bits (Fig. 28).

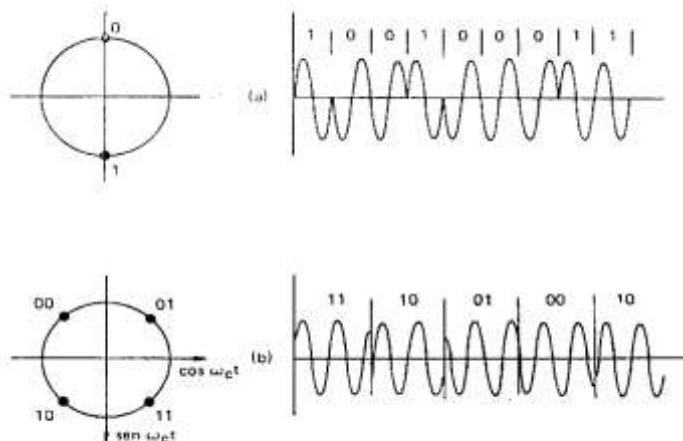


Fig. 28 - Diagrama vectorial y modulación PSK en, (a) 2PSK y (b) 4PSK

A. 3. 4. 5. Modulación digital en cuadratura, QAM

La modulación de amplitud en cuadratura QAM (Quadrature Amplitude Modulation), consiste en la modulación multinivel de amplitud, de dos portadoras en cuadratura en forma independiente.

A diferencia de la modulación PSK en donde la cuadratura entre canales mantenían dependencia de amplitud, lo cual implicara una amplitud constante describiendo una constelación de círculos, en este sistema de modulación QAM se combinan las variaciones de amplitud y fase. Se obtiene gran densidad de modulación llegando el caso de 14 bit por muestra (símbolo).

La ecuación de la señal QAM se puede expresar como:

$$s_i(t) = a_i \cos \omega_0 t + b_i \sin \omega_c t$$

donde a_i y b_i toman en forma independiente los valores discretos previstos según un número de niveles establecidos.

Entonces, se representa un esquema donde cada canal en cuadratura puede tomar cuatro niveles distintos, resultando el sistema denominado 16 QAM.

Otras expresiones similares definirán otros esquemas. Podremos visualizar algunos diagramas de estado, de modulación usuales QAM, observando sus diferencias esquemáticas (Fig. 29).

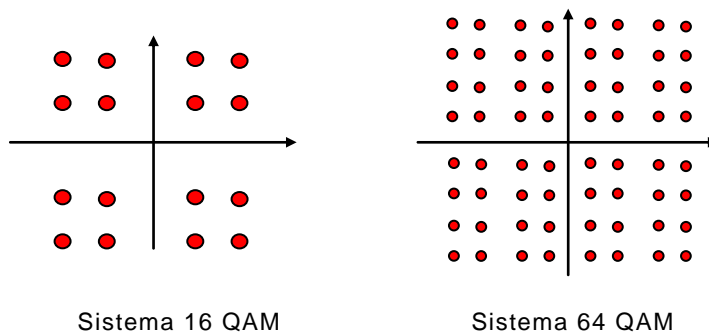


Fig. 29 - Diagrama de estado para modulación digital QAM

Estos esquemas de constelaciones, se entienden como el conjunto de puntos formados por las distintas posiciones posibles y su combinación digital respectiva. Las constelaciones multinivel, al crecer requieren mayores anchos de banda, asimismo disponen de menor tasa de error. Sin embargo, se hacen más sensibles a las variaciones de sus parámetros e introducen mayores valores de la relación señal a ruido, S/N.

RELACIÓN S/R SEGÚN ESQUEMA DE CONSTELACIÓN

Nº de bit / muestra (r)	Constelación (2^r -QAM)	S/N dB para $10^{-7} \geq \text{BER}$
4	16-QAM	21.8
6	64-QAM	27.8
8	46-QAM	33.8
9	512-QAM	36.8
10	1024-QAM	39.9
12	4096-QAM	45.9
14	16284-QAM	51.9

A. 3. 4. 6. Modulación por multitonos discretos, DMT

La técnica de, modulación por multitonos discretos DMT, parte del proceso de modulación de amplitud en cuadratura QAM. La técnica DMT consiste, en dividir un rango de frecuencia reservado en múltiples canales estrechos y manejar cada canal de forma independiente.

En su aplicación a los módems ADSL la modulación QAM se realiza sobre una banda previamente canalizada en 256 canales. Cada uno de estos canales tiene un ancho de banda de 4 KHz. El tratamiento de este sistema de modulación se trata en el Anexo V, donde se desarrollan los estudios de los módems ISDN y ADSL.

A. 3. 5. Plan de Jerarquía Digital

Con el propósito de obtener una transmisión mas rápida y de características de la mas alta calidad y esencialmente segura, tanto en el establecimiento como en la explotación de las redes, las administraciones y operadores de telecomunicaciones transforman las líneas analógicas en digitales.

Por otra parte y a fin de lograr la disminución de costos, se lograr la unificación de los procesos de digitalización. Ambos procesos llevan a la unificación y convergencia de los diferentes sistemas y de los diversos servicios.

En consecuencia, con ese mismo fin y para su uso en el contexto internacional se ha debido crear un plan jerárquico y sus equivalencias, las que cubren el ámbito mundial. Las distintas organizaciones normalizadoras de USA, Europa y Japón, han precisado estándares de uso particular a su ámbito, para luego propender a que estos formen parte de las recomendaciones internacionales.

Al igual que en FDM, existen grupos de jerarquía superior, secundario, terciario, super-grupos o grupo super master, en TDM también se han creado a su similitud de uso, niveles superiores. En USA con los canales Tn, en Europa los canales En y en Japón con la denominación Jn.

A. 3. 5. 1. Canal de voz telefónico

La voz humana puede producir sonidos de frecuencias menores a 250 Hz hasta casi los 5000 Hz, mientras que el oído humano normal tiene un rango mayor, puede oír sonidos desde 15 Hz hasta 17000 Hz. Es decir que un ancho de banda de la voz es inferior a los 4800 Hz, mientras que el de la audición es casi los 17000 Hz (Fig. 30).

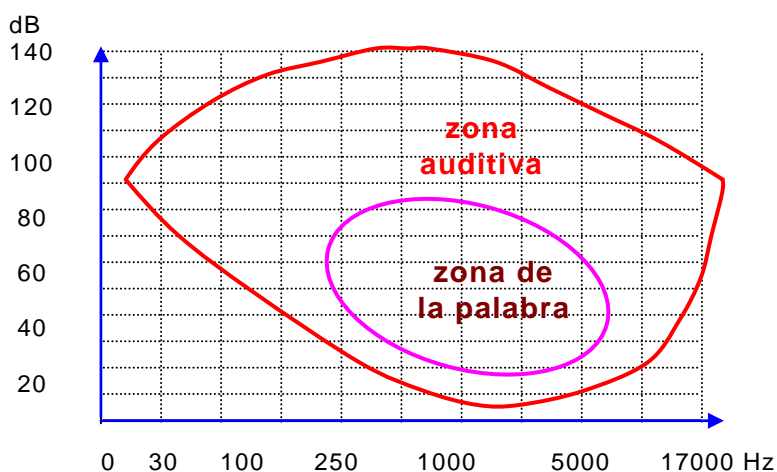


Fig. 30 - Umbrales de la palabra y la audición

El canal de voz en la red de telefonía, para satisfacer en la recepción una inteligibilidad aceptable debe disponer por lo menos, de un ancho de banda admisible. Se adopta un canal conformado, desde 300 Hz hasta 3400 Hz, es decir con un ancho de banda de 3.1 KHz. No se utilizan las frecuencias debajo de 300 Hz, pues existen fuertes influencias de ondas inducidas por motores o transformadores.

Al ancho de banda de 3.1 KHz, se le debe sumar señales de sincronismo y señalización, para conformar un canal factible de filtrar, digitalizar y/o multiplexar. Ello nos lleva a disponer un canal con un ancho de banda de 4 KHz (Fig. 31).

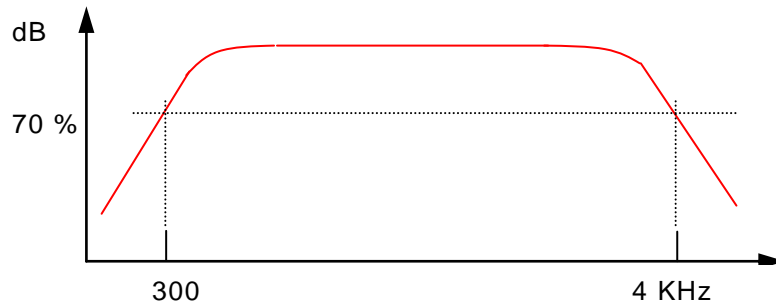


Fig. 31 - Canal de transmisión telefónico

A. 3. 5. 2. Ancho de banda

Actualmente, para los sistemas de transmisión se requiere un alto grado de calidad de servicio.

En lo referente a ancho de banda se admite para la audición un volumen relativamente aceptable, se pone énfasis en un suficiente grado de inteligibilidad, sin embargo las exigencias de los clientes son aun mayores.

Las redes también deberían satisfacer el apreciar los sonidos musicales, que podrán disponer de frecuencia de 22 000 Hz, a las que se deben sumar sus armónicas.

Para apreciar con alta calidad la música emitida por un violín, se debe considerar su tercera y quinta armónica, sin las cuales se pierde un alto porcentaje de su calidad tonal. Por ello, los servicios de audio de alta fidelidad deben contemplar como mínimo, estos anchos de banda

Al ancho de banda expresado en Hertz, se le ha correspondido por el Teorema de Convolución una cierta velocidad digital. Según normas, los sistemas indicaron ciertas velocidades de transmisión, como equivalentes a anchos de banda característicos:

Radio broadcasting =	16 Kb/s
Modem Dial Up =	56 Kb/s
WLL/ RDSI =	64 Kb/s
Videoconferencia satelital =	2 Mb/s
Canal TV =	6 MHz (UE) / 8 MHz (USA)
TV (modulación 64 QAM) =	20 Mb/s
Canal LMDS =	50 Mb/s
ADSL =	8 Mb/s
ADSL 2 =	25 Mb/s
PCS =	10 ó 30 MHz
Celular 3G =	25 MHz
RDSI de banda ancha =	622 Mb/s
Canal Láser =	50 Gb/s

Sin embargo, no todos se comercializan con un valor de ancho de banda con carácter garantido, sino que se expresan indicando solo como un valor de hasta un valor dado:

Modem Dial Up = 56 Kb/s

Cable modem de CATV ó ADSL = 256 ó 512 Kb/s downstream /128 Kb/s upstream

Canal inalámbrico = 64,128 ó 256 Kb/s

Canal inalámbrico de microondas = 560 Kb/s

A. 3. 5. 3. Formación de niveles digitales, DS0 (T0 /E0)

Hemos visto que el pasaje a transmisión digital, se efectuará mediante un muestreo con velocidad igual al doble de esta frecuencia de 4 KHz, teorema de Harry Nyquist, luego resulta con una velocidad de 8 Kb/s (que corresponde a un periodo de 125 μ s). Con la cuantificación en niveles, utilizando la codificación en 8 bit por nivel, resultará una velocidad de 64 Kb/s (Europa) o con 7 bits, 56 Kb/s (USA).

En USA se denomina a esta velocidad, Señal Digital de Nivel 0 ó DS0. La distinción de un sistema portador digital como DS, se debe a la denominación inglesa "Digital System". En Europa corresponde al nivel CEPT-0 (Conference European des Administrations des Poste et des Telecommunications-0), también denominado enlace E0, mientras que en Japón se refiere al nivel J0.

Con TDM se permite multiplexar varias portadoras T1, formando jerarquías más altas. La jerarquía digital utilizada por operadores de redes interurbanas, como la AT&T en USA, toma múltiplos del valor 1544 Kb/s, mientras que en Europa el valor unidad es de 2048 Kb/s y Japón es coincidente con uno u otro valor.

A su vez con estos valores, en USA, se crea un Plan de Jerarquía Digital, con primer, segundo, tercer y cuarto orden:

- Con cuatro canales T1 se forma un canal T2.
- Con seis T2 se forma un canal T3.
- Con siete T3 se forma un canal T4.

El canal T2 tiene 6312 Mb/s, en vez de 6.176 Mb/s, pues cuenta con bits extras para enmarcar y recuperación en caso de que la portadora pierda la sintonía.

Una conexión T1 que conecta a distintas LAN, comienza en una línea telefónica acondicionada de dos pares mediante la, unidad digital de servicio DSU (Digital Service Unit y la, unidad de servicio de canal CSU (Channel Service Unit).

Los equipamientos de abonado CPE (Customer Premises Equipment), podrán estar comunicados a través de las áreas urbanas o interurbanas, por las líneas T1/E1, conmutadas o por líneas directas.

La unidad de servicio de canal CSU, prepara y diagnostica las señales en la línea para las LAN. Mantiene la línea viva en el caso de haber problemas con la conexión.

La unidad de servicio de datos DSU, establece la conexión con la CSU y convierte las señales de la LAN en señales T1/E1.

Los equipos de abonado CPE (Customer Premises Equipment) podrán ser comunicados a través de áreas urbanas por líneas T1 conmutadas o directas. Enlaces interurbanos podrán ser implementados por canales T1 á T4, según su valor de tráfico de telecomunicaciones (Fig. 32).

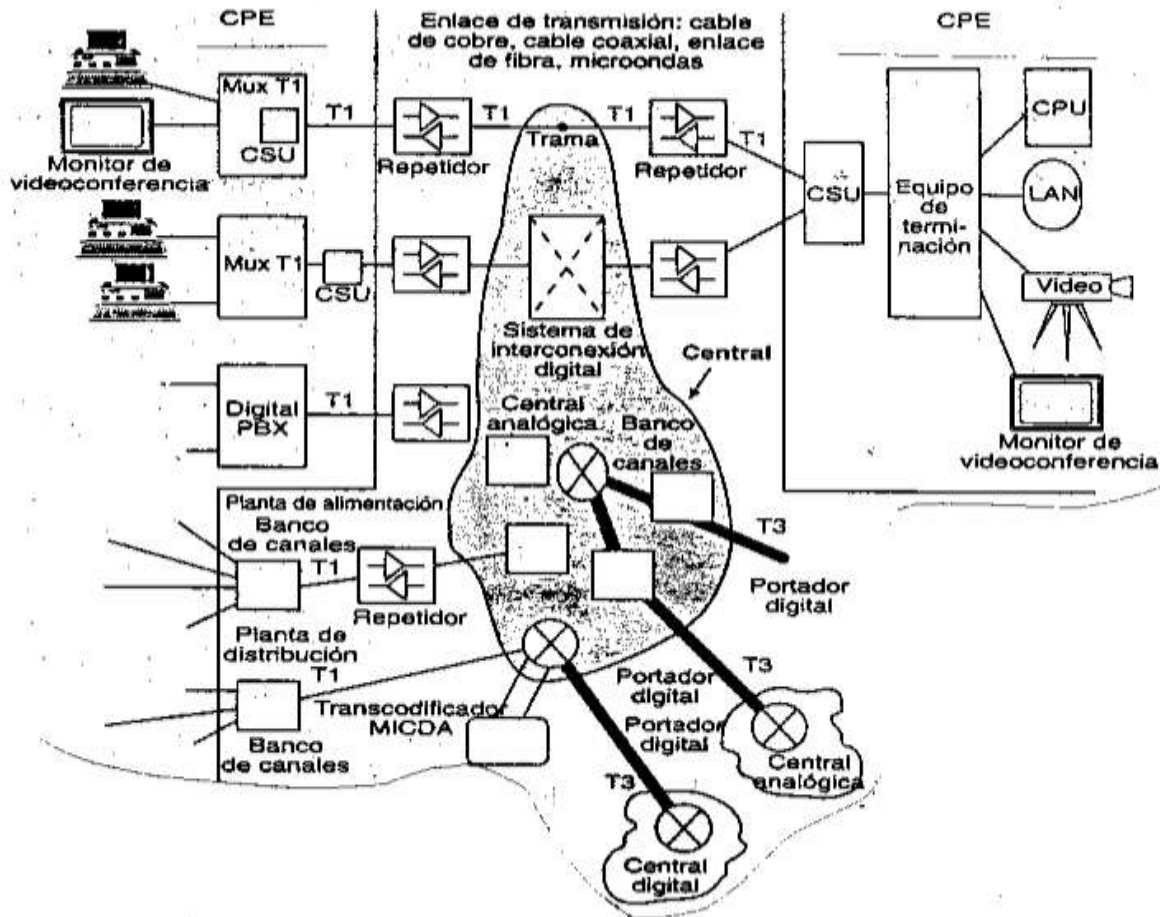


Fig. 32 - Vínculos urbanos T1 e interurbanos T3

A. 3. 5. 4. Nivel digital DS1 (T1 /E1)

En USA, los sistemas múltiplex por distribución en el tiempo TDM, por ejemplo en la modulación del tipo PCM se agrupan 24 canales básicos de 64 Kb/s (DS-0) y se obtiene un canal de 1.544 Kb/s, al que se le denomina DS1 o portadora T1. En Europa, por otra parte, se toman 30 canales E0 de 64 Kb/s, obteniendo un canal E1 de 2.048 Mb/s, también denominado CEPT-1. En Japón al mismo se le llama J1. Los canales T1 y E1 corresponden a la jerarquía múltiplex de primer orden.

El sistema portador T1, es quizás el tipo mas ampliamente utilizado para la transmisión digital de voz y datos, punto a punto, en líneas de enlace de bajo tráfico, en los USA. Emplea dos pares para la transmisión full dúplex (FDX), un par para emitir y otro para recibir la señal. La portadora T1 se comercializa como un servicio de circuito virtual permanente PVC o circuito virtual conmutado SVC. Su trama contiene 193 bits, según codificación (Fig. 33).

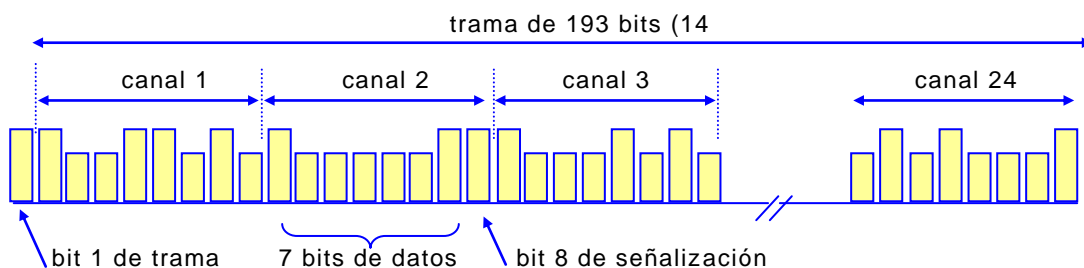


Fig. 33 - Trama de portadora T1

En USA, el canal T1 ha sido mayormente utilizado para la formación de las WAN.

A. 3. 5. 5. Nivel digital DS2 (T2 /E2)

En USA, dos flujos DS1 podrán a su vez conformar un nivel DS1c de 3.152 Mb/s, con 48 canales. Si se toman cuatro DS1 obtendremos el nivel DS2 de 6.312 Mb/s, con 96 canales.

En Japón, al primero (DS1C) se le denomina J1C, mientras que al segundo (DS2) se le denomina portador T2. Al mismo en Japón se relaciona como J2.

En Europa se ha normalizado como equivalente el canal E2, de 8.448 Mb/s, con 120 canales E0. Los canales E1 y E2 podrán ser transmitidos por cables multipares trenzados de cobre, implementados con técnicas de modulación especiales. Tanto T2 como E2 corresponden a la jerarquía múltiplex de segundo orden

A. 3. 5. 6. Nivel digital DS3 (T3 /E3)

En USA si se multiplexa, tomando 28 flujos DS1, obtendremos el nivel DS3 de 44.736 Mb/s, con 672 canales. Otra forma es tomar 14 flujos del tipo DS1C o bien tomar 7 flujos del tipo DS2. Al nivel resultante DS3 se le denomina también como T3.

A nivel japonés, se toman 5 flujos de segundo orden DS2, obteniendo la velocidad digital de 32.064 Mb/s, que porta 480 canales J0, y que se le denomina J3.

En Europa se ha normalizado como equivalente al T3, el sistema E3, también denominado CEPT-3, de 34.368 Mb/s, con 480 canales E0. Tanto T3 como E3 corresponden a la jerarquía múltiplex de tercer orden.

Las líneas de enlace entre centrales interurbanas son generalmente implementadas en USA, por canales T3. También con este sistema se implementan líneas directas alquiladas, punto a punto.

A. 3. 5. 7. Nivel digital DS4 (T4 /E4)

Si en USA se multiplexan 6 flujos DS3, se obtiene el nivel DS4 de 274.176 Mb/s, con 4032 canales T0. Al nivel resultante DS4 se le menciona también como T4. En Europa se ha normalizado como equivalente al sistema T4, el sistema equivalente E4 (CEPT-4), de 139.264 Mb/s, con 1920 canales E0.

En Japón se toman cinco flujos de 32.064 Mb/s para formar un nivel de velocidad digital dada en 97.728 Mb/s, portando 1440 canales J0, al que se le denomina J3c, asimismo si se toman nuevamente cuatro de estos niveles, se formará el nivel de 397.200 Mb/s, con 5760 canales J0.

Los canales T3 y T4 podrán ser transmitidos por cables de fibras ópticas, implementados con técnicas de modulación especiales. Un equipo multiplexor conforma un banco de canales a nivel DS3 o DS4, para luego ser dispuestos por vínculos de fibra óptica, en transmisión T3 o T4. También se podrán disponer sobre sistemas de microondas.

A. 3. 5. 8. Sistema portador T Fraccional

En muchos casos se emplean canales a velocidades incrementos de 64 Kb/s, los que son conocidos como canal T1 fraccionado ó FT1, canal T2 fraccionado ó FT2, etc.

Los primeros sistemas ópticos digitales, en la conformación múltiplex, emplearon la velocidad denominada de 12.624 Mb/s, igual a dos veces la DS2, la velocidad FT3 a 44.736 Mb/s, igual a la DS3 y la velocidad FT3c a 90.524 Mb/s, algo mayor a dos DS3.

A. 3. 5. 9. Niveles jerárquicos de los sistemas portadores

Las jerarquías digitales analizadas anteriormente y utilizada por los operadores de las redes interurbanas se podrán resumir en las siguientes tablas:

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EN EUROPA

ENLACE	DENOMINACIÓN	VELOCIDAD BINARIA	CAPACIDAD EN CANALES
E0	CEPT-0	64 Kb/s	1
E1	CEPT-1	2.048 Mb/s	30
E2	CEPT-2	8.448 Mb/s	120
E3	CEPT-3	34.368 Mb/s	480
E4	CEPT-4	139.264 Mb/s	1 920
E5	CEPT-5	565.148 Mb/s	7 680
E6	CEPT-6	≅2.5 Gb/s	30 720
		≅10 Gb/s	122 880
		≅40 Gb/s	491 520

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EN USA

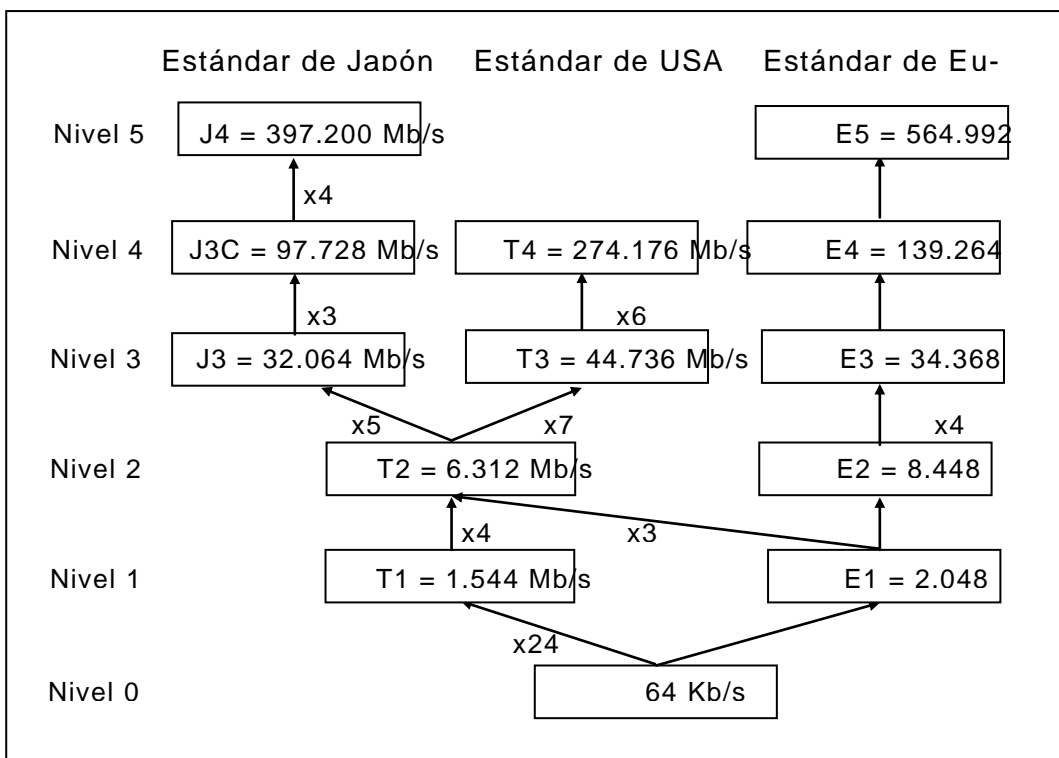
ENLACE	DENOMINACIÓN	VELOCIDAD	CANALES
T0	DS-0	64 Kb/s	1
T1	DS-1	1.544 Mb/s	24
T1C	DS-1C	3.152 Mb/s	48
T2	DS-2	6.312 Mb/s	96
T3	DS-3	44.736 Mb/s	672
T3C	DS-3C	91.053 Mb/s	1344
T4	DS-4	274.176 Mb/s	4032

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EN JAPÓN

ENLACE	VELOCIDAD BINARIA	CANALES
J0	64 Kb/s	1
J1	1.544 Mb/s	24
J1C	3.152 Mb/s	48
J2	6.312 Mb/s	96
J3	32.064 Mb/s	480
J3C	97.728 Mb/s	1440
J4	397.200 Mb/s	5760

Las equivalencias entre distintos estándares las compendiamos en el siguiente cuadro:

EQUIVALENCIAS ENTRE ESTÁNDARES DE TRANSMISIÓN



A. 3. 6. Compresión digital

En las transmisiones digitales, por ejemplo para establecer videoconferencias, se emplea multiplexación de canales con la compresión de las señales. En este tipo de compresión se detecta la ausencia de señales y /o la no modificación de una señal dada. Con ello se permite ahorrar la transmisión de señales y consecuentemente aumentar el ancho de banda disponible.

En las transmisiones de audio, se podría también proceder en igual práctica, aún más ahorrar las pausas entre conversaciones, sin embargo para el proceso en audio se deberá tomar en cuenta ciertas particularidades que presentan en para la comunicación. En el arte musical, un mayor o menor silencio podrá disponer mayor o menor intensidad, profundidad o colorido al sonido que le acompaña.

Los silencios se comportan de similar manera, en la transmisión de la voz, dando cierto valor de inteligibilidad, entonación y exteriorización a la información emitida.

Luego, se deberá tener en cuenta que, en una comunicación entre seres humanos, los silencios entre palabras, representan información, por lo cual no se los podrán extraer, ni variar indiferentemente, sin realizar su análisis. Se podría suprimir un silencio, a fin de efectuar una transmisión comprimida, pero por algún medio se deberá restituirlo exactamente en la recepción.

A. 3. 6. 1. Compresión de la información

En el año 1987, la Comisión Internacional de Electrotécnicos IEC, junto con la ISO, crearon el Comité Técnico Conjunto JTC 1 (Joint Technical Committee 1). Este comité tuvo la misión, de coordinar la información internacional sobre estandarización de información técnica. Para cumplimentar esta tarea, repartió sus recursos en varios subcomités y grupos de trabajo.

Uno de estos subcomités fue el Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento MPEG (Moving Pictures Expert Group).

En su primer encuentro oficial, realizado en mayo de 1988, la televisión digital fue solamente una promesa al futuro, sin embargo, el desarrollo del CD de audio demostraba ya, que señales analógicas podían ser digitalizadas entregando una alta calidad. Esto producía mejor calidad de sonido y a su vez satisfacía la necesidad de ocupar menor ancho de banda que el tradicional método de almacenamiento.

Los procesadores de información, ya fuese del tipo archivos de texto, películas, libros, juegos, etc. la preparan y editan en su forma original digital, o posteriormente se las digitalizan para ser enviada a través de la red. Esta información es conveniente ser comprimida, para minimizar los tiempos de transmisión y del uso de memoria de almacenamiento. Los métodos de compresión se rigen por los estándares de la serie H, JPEG, MPEG o los ATSC y DBV.

Todos estos procesos de compresión de la voz y del video, se apoyan en la precisión o imperfección de nuestros órganos auditivos y visuales. El oído es sensible a variaciones de sonido que duran apenas algunos milisegundos, mientras que el ojo, en cambio no nota cambios en el nivel de la luz que duran varios milisegundos.

Variaciones en una transmisión afectan a la calidad del sonido y no al de la imagen. Los discos compactos CD (Compac Disc) de audio con tasa de muestreo de 44100 muestras /seg, de 16 bit cada una, son suficientes para captar y reproducir frecuencias de hasta 22 050 Hz, alta calidad para el oído humano. Se requieren 705 Kb/s para audio monofónico y 1.411 Mb/s para audio estereofónico.

El ojo humano sin embargo, retiene una imagen durante unos milisegundos. si una secuencia de imágenes incide a 50 o más imágenes /seg, aprecia un movimiento continuo y no las imágenes discretas. Los servicios de cine y TV se apoyan en esta característica.

Estándar H.261

El estándar H.261 es empleado para videoconferencia y videotelefonía que utiliza la técnica ISDN. Tiene un rango de velocidad de $n \times 64$ Kb/s, con n de 1 a 30. La calidad ofrecida dependerá de su velocidad de transmisión, con una tasa de 384 Kb/s se corresponde a la videoconferencia de buena calidad. No soporta edición o reproducción avanzada.

Estándar H.320 / H.324

El estándar H.320 ha sido desarrollado por la ITU-T para líneas digitales y el estándar H.324, para líneas telefónicas analógicas. Estos estándares de compresión permiten el enlace de una PBX, que preste servicio de videoconferencia, con ancho de banda típico de 6×64 Kb/s ó de 2 Mb/s. El H.324 establece un algoritmo de compresión de alto rendimiento de audio y video a través de líneas analógicas comunes de baja velocidad

Estándar H.323

El estándar H.323 define el protocolo para establecer comunicaciones entre una LAN y una WAN. Soporta comunicaciones WAN, punto a punto, y punto a multipunto.

Estándar JPEG

El estándar JPEG es empleado para la compresión de imágenes fijas de tono continuo, como ser fotografías. El estándar llamado Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía JPEG (Joint Photographic Expert Group) fue desarrollado por expertos en fotografía de USA, bajo el auspicio de ITU, ISO y el IEC. El JPEG tiene cuatro modos y varias opciones. Produce una compresión de hasta 80:1.

Estándar MPEG-1

El estándar MPEG-1 ha sido desarrollado en 1988 y publicado a principios de 1993 por el MPEG. Está concebido para la codificación digital de audio y video, para almacenamiento de películas en sistemas digitales como un CD-ROM.

Define la compresión, con velocidades (bit-rate) de 1.5 Mb/s, que provee una calidad similar a un servicio de cinta VHS. Para un video de 472 Mb/s produce una compresión a 1.2 Mb/s con calidad de videogradora de 352 x 240 para NTSC. Se puede adaptar a aplicaciones con mayores velocidades.

Permiten aplicaciones de video, audio, texto en transmisión simétrica y asimétrica. Además, admite las funciones similares a una videocasetera VCR, play, reverse, pause, etc. Reconoce solo imágenes de TV progresivas. Pronto se efectuó la aplicación en CD interactivo para videojuegos y CD de películas, también se popularizó su uso para transmisiones de radios digitales.

Al igual que el resto de los estándares MPEG es flexible, definiendo solo la trama en bits de la codificación y no el proceso en si, reservado este a cada uno de los fabricantes. Corresponde a la norma ISO / IEC 11172-1 para sistemas, 11172-2 para video, 11172-3 para audio, 11172-4 para comprobaciones y la 11172-5 para informes técnicos.

Estándar MPEG-2

El estándar MPEG-2 ha sido desarrollado en 1990 y se lo publicó. en julio de 1993 Está dirigido a la televisión de alta definición HDTV (High Definition TV), aplicaciones en CD-ROM, multimedias, programas multiplexados y la encapsulación de datos multiplexados.

Su velocidad esta optimada de 3 Mb/s hasta 100 Mb/s. Permite aplicaciones asimétricas. Reconoce tanto imágenes de TV progresivas como entrelazadas.

Define el mecanismo de compresión de una señal de video, a menos de 30 veces su tamaño original. Luego, posibilita emitir varios canales y servicios simultáneos, como HDTV con selección de diferentes idiomas, servicios de Internet y la TV interactiva.

La base del MPEG-2 es la compresión, por reducción de la redundancia y sin afectar la calidad de video y /o audio, aunque en la práctica según el grado de compresión se obtendrá una mayor o menor degradación. El estándar da la flexibilidad a los fabricantes de proveer las distintas soluciones de aplicación. El compromiso de la elección de alta calidad o alta compresión para cada caso, esta especificada por el MPEG-2 en diferentes perfiles y niveles.

La video compresión depende de la redundancia espacial en y entre imágenes o cuadros, además aprovecha las características de la visión humana, en su inhabilidad de detectar cierta degradación o "suciedad" de áreas de una imagen. Dos tipos de compresión, la espacial y la temporal permiten al codificador reducir significativamente la redundancia de datos y así obtener el decremento del ancho de banda.

En la codificación espacial se toma las similitudes (redundancia) de pixeles adyacentes en áreas de una imagen. Por ejemplo en una imagen con fondo de cielo azul contendrá conjuntos idénticos de pixeles azules, esta codificación espacial, escanéea y pesa al conjunto de pixeles de cada área de imagen y mediante una transformación discreta coseoidal DCT (Discrete Cosine Transform), la expresa en una matriz de coeficientes de unos pocos bits.

La codificación temporal, elimina la redundancia entre un conjunto de cuadros en la trama de video, mediante la estimación de intercuadros. Así también se toma de cada cua-

dro las porciones de imagen que varían, repitiendo de cuadro a cuadro los sectores que no sufren variaciones.

La decodificación se realiza reversando cada uno de los procesos de codificación efectuados antes. Para ello en cada cabecera de trama se debe disponer de la información de decodificación DTS (Decoding Time Stamp) y de PTS (Presentation Time Stamp) que asegura el apropiado orden en la presentación.

Corresponde a la norma ISO / IEC 13818-1 para sistemas, 13818-2 para video, 13818-3 para audio, 13818-4 para conformación.

Estándar MPEG-4

El MPEG-4 representa un código audiovisual que analiza perfiles de objetos en vez de cuadros rectangulares de imágenes. Permite así, un mayor grado de compresión que el MPEG-1 y el MPEG-2.

El estándar MPEG-4 sirve a una gran cantidad de aplicaciones que incluyen video cable, juegos de PC y servicios inalámbricos. El estándar MPEG-4 se aplica para videoconferencia de mediana definición y bajo ancho de banda 64 KB/s. Esto permite transmitir un canal de TV por N-ISDN B.

Estándar MJPEG

En el estándar MJPEG, los videos se codifican como una sucesión de imágenes codificadas en el estándar JPEG. Su calidad es inferior a MPEG-1 y H.261, a igual velocidad de transmisión. El estándar JPEG, al ser creado para transmitir fotografías no contaba en principio con audio en sus sistemas de compresión.

Las técnicas de compresión podrán lograr la transmisión, en 6 MHz, de hasta 6 canales, si se trata de canales con películas, mientras que hasta 3 canales del tipo de TV estándar SDTV (Standard Definition TV) o solo de un canal del tipo de alta definición HDTV.

Estándar ATSC

En el año 1987, la FCC de USA nombra una comisión asesora referida a las cuestiones técnicas y políticas de la televisión avanzada de alta definición. En el año 1993 se habían presentado 23 propuestas de las cuales se seleccionaron cuatro, las que fueron ensayadas extensivamente.

Como se descubrieron deficiencias en cada una de ellas, se propuso formar un consorcio que hallase el estándar apropiado. En respuesta a esto se formó el HDTV Grand Alliance, que en 1993 presentó un proyecto que aprobó el Comité ad hoc ATSC (Advance Television System Commite), denominándolo A/53.

Este estándar fue aprobado en 1999, por la FCC para emisiones terrestres. Actualmente el ATSC, formado originalmente con solo miembros de USA, cuenta con más de 220 miembros de todo el mundo.

Mientras que MPEG-2 organiza la compresión en una simple trama de transporte, no provee la gran variedad de servicios disponibles sobre la red, con múltiples sistemas de transporte. Las tablas ATSC PSIP (Program and System Information Protocol), son una extensión del estándar MPEG-2, que permiten a las emisoras ofrecer un gran número de servicios y productos a sus clientes. El estándar ATSC fue creado principalmente para emisiones radiadas terrestres aunque provee algunos parámetros para la transmisión por CATV.

Estándar DBV

El proyecto Video Broadcasting Digital DBV comienza en septiembre de 1993 cuando organizaciones de televisión de toda Europa acuerdan crear un estándar para la TV digital. Actualmente cuenta 220 participantes de más de 30 países de todo el mundo. A diferencia del ATSC, el estándar DBV se aplica a todo tipo de transmisión, terrestre abierta, por cable o satelital y por múltiples procedimientos. Por esta razón, limita las variaciones ante los diferentes proveedores de servicios.

Al igual que ATSC PSIP, las Tablas de información de programas y servicios DBV SI (Service Information), entrega las herramientas necesarias a los proveedores de servicios en redes que cuentan con múltiples sistemas de transporte. Las mismas complementan al estándar MPEG 2 y permiten el acceso a cualquier red MPEG/DBV, con variedad de STB, multiplexores y en toda trama de transporte.

A. 3. 6. 2. Tecnología de compresión de voz

Mientras que los equipos de telecomunicaciones analógicos ya han sido digitalizados, la señal producida por la voz humana permanece inherentemente analógica, ocupando un ancho de banda desde 300 á 3400 Hz.

La modulación por pulso codificado PCM, normalizada en la década del 60, es el estándar internacional para la transmisión de la voz, con mayor calidad. Lleva tal ancho de banda analógico de 3.1 KHz, digitalizado a 64 Kb/s.

Con la creciente demanda de capacidad en sistemas de radio, sobremanera en transmisión satelital, se requiere reducir la velocidad de transmisión de la voz, manteniendo la calidad de la señal. El método diferencial adaptativo PCM, ADPCM (Adaptive Differential PCM) con 4 bit de codificación emplea 32 Kb/s, mientras que otras normas emplean algoritmos llamados, código lineal predictivo LPC (Linear Predictive Code).

Ambos métodos LPC o PCM / ADPCM permiten codificar la información de la voz, estando estandarizados por la ITU en la serie de recomendaciones G:

- G.711 - Trata la técnica de codificación de la voz en 64 Kb/s.
- G.722 - Trata la audio codificación de 7 KHz (banda de 50 á 7KHz) a 64 Kb/s. Este sistema de codificación es empleado para diversas aplicaciones con señales de voz de alta calidad. Utiliza la técnica ADPCM.
- G.726 - Trata la técnica ADPCM codificada a 40, 32, 20 y 16 Kb/s.
- G.728 - Trata el código predictivo lineal excitado CELP (Code Excited Linear Predictive), de compresión que requiere solo 16 Kb/s de ancho de banda.
- G.729 - Trata el CELP de compresión en tramas de 8 Kb/s.
- G.723 - Trata la codificación sobre dos velocidades 5.3 ó 6.3 Kb/s mediante el algoritmo de compresión H.324.

Otros métodos son:

- VSELP - Predicción lineal excitada por suma de vectores.
- QCELP - Predicción lineal excitada por código Q.
- RPE-LTP - Predicción a largo plazo excitada por pulsos regulares

La calidad de la señal, según el método de codificación empleado, es evaluada en términos de percepción de la voz humana. Se mide considerando una escala de 5 puntos conocida como sistema de, puntaje de opinión media, MOS (Mean Opinion Score).

Esta escala MOS, se aplica exponiendo un grupo de oyentes a un número dado de entradas de voz. La ITU emplea equipos de operadores entrenados que pronuncian y analizan un silabario predeterminado.

Cada oyente clasifica la calidad de la voz recibida de cada entrada. Luego se promedian los resultados según la cantidad de oyentes y entradas recibidas, considerando un alto número de ambos. La clasificación utilizada en la evaluación de la recepción, corresponde a la escala:

- 1 = mala
- 2 = pobre
- 3 = razonable
- 4 = buena
- 5 = excelente

La calidad de la señal se correlaciona directamente con la velocidad de transmisión en b/s. Según el sistema de algoritmo empleado, será la calidad resultante de voz.

En la conmutación o en el enrutamiento de las señales digitales, el factor que provoca la peor degradación de la voz, corresponde al retardo de transmisión causado por efectos de tráfico.

Una señal con aproximadamente 100 mseg de retardo, es perceptible sin presentar objeciones. Retardos mayores provocan degradación objetable en la calidad de la transmisión. La razón de tal problema es que la información de la voz tiene un tiempo entre palabras con un significado dado. También la pausa entre sílabas es parte del lenguaje y debe ser preservado.

El código de predicción lineal (ACELP) permite una calidad de voz aceptable sobre Frame Relay. Con referencia a esto se ha demostrado que la voz puede ser comprimida a velocidades tan bajas como 4,8 Kb/s logrando una calidad aceptable. El retardo derivado de la red Frame Relay puede ser muy importante a la hora de transmitir voz. Si suponemos que una red tiene 5 conmutadores (switches) y cada uno ocasiona un retardo de 5 mseg el retardo total de la red (latencia) sería de 25 mseg.

TÉCNICAS DE CODIFICACIÓN DE LA VOZ

CODIFICACIÓN	VELOCIDAD	ESTÁNDAR	CALIDAD	APLICACIÓN
PCM	64 Kb/s	G.711 de ITU-T	4.4	Redes telefónicas
ADPCM	32 Kb/s	G.726 de ITU-T	4.2	Redes telefónicas Almacén de datos Teléf. inalámbrico digital
LD-CELP	16 Kb/s	G.728 de ITU-T	4.2	Redes telefónicas
CS-ACELP	8 Kb/s	G.729 de ITU	4.2	---
MPMLQ	6.4 Kb/s	G.723.1 de ITU	3.98	---
ACLEP	5.3 Kb/s	G.723.1 de ITU	3.5	---
RPE-LTP	13 Kb/s	GSM de ETSI	3.577	Sist. celular dig europeo
VSELP	8 Kb/s	IS-54 de TIA	3.435	Sist. celular digital USA.
	5.6 Kb/s	GSM de ETSI		Sist. celular dig europeo

Se podrá observar en la tabla siguiente, las principales demoras en el proceso de una red y la comparación entre los retardos ocasionados en una red simple con un único conmutador y otra red compleja compuesta con varios conmutadores:

PRINCIPALES RETARDOS EN LA RED

	RED SIMPLE	RED COMPLEJA
Buffer de entrada	24 mseg	24 mseg
Compresión	20 mseg	20 mseg
Cola de Acceso	no aplicable	24 mseg
Latencia de red	5 mseg	25 mseg
Cola de ext. lejano	no aplicable	24 mseg
Jitter Buffer	72 mseg	72 mseg
Decodificación	4 mseg	4 mseg
Total	125 mseg	193 mseg

Los términos Wander (divagar) y Jitter (temblar) se refieren a las variaciones del reloj de sincronismo, los que causan errores por fluctuaciones de fase. Cuando el corrimiento de fase es de carácter rápido se denomina Wander, mientras que cuando es lento se le llama Jitter. En general las variaciones podrán ser tanto de, duración de intervalo, como de amplitud, frecuencia o fase de sucesos sucesivos. El umbral es de 10 Hz.

El término Latencia (latency) se refiere a la variancia del tiempo de conmutación o tiempo que insume el envío de un paquete a través de un segmento o sistema dado. La ITU lo define, como el tiempo transcurrido entre que un bit dado entra y sale de un sistema. Se indica también como retardo (delay).

Como un índice comparativo se podrá decir que la latencia de un servicio POTS está entre 20 y 30 mseg, un servicio de voz Frame Relay está entre 125 y 193 mseg y un servicio de satélite en 250 mseg. Se puede considerar aceptable una latencia inferior a 100 mseg para el servicio de voz.

Se podrá asignar asimismo, prioridades de uso de tres tipos de memorias, de acuerdo a las características de su tráfico. A un servicio de fax se le puede dar la mayor prioridad, debido a que sus señales son más sensibles al retardo que la voz, luego en segunda instancia al servicio de voz y en tercera prioridad al de datos.

A. 3. 7. Servicio de canal de datos

Los servicios de canales de datos, los podremos distinguir como ofrecidos por las empresas operadoras de las redes públicas o por operadoras independientes, que los arrienden para clientes personales o corporativos. Las técnicas que permiten establecer tales servicios le contienen su nombre. Ellos son X.25, SMDS, Frame Relay, DQDB y ATM.

A. 3. 7. 1. Generación de redes de datos

El desarrollo de las redes de datos ha pasado por sucesivas generaciones. en un comienzo, las redes eran centralizadas y en una disposición donde la dependencia del comportamiento de los vínculos era definitoria. Un ejemplo fue la inicial red SNA de la IBM, en conformación tipo árbol. Los primeros sistemas de conmutación de paquetes presentaban un esquema de rutas alternativas pero de nodos no redundantes, como lo fue ARPAnet.

Para el diseño de red pública se convino en incorporar redundancia en la conmutación, para hacerlas altamente confiables. No solo se implementaron nuevos centros de conmutación, sino que se crearon oficinas con alta redundancia interna de conmutación.

Un ejemplo fue las redes Telenet. Las más recientes generaciones han previsto redundancia al nivel de concentradores y sus accesos a troncales, otorgando absoluta seguridad de conexión.

El concepto primario de una red de paquetes consiste en crear una red con vínculos redundantes y múltiples nodos inteligentes que memoricen y encaminen los paquetes de información, como segmento de los mensajes a transmitir. En el esquema segundo, si falla el segmento C-E, el nodo C ante la falta de confirmación que debería enviar el nodo E, reenvía una copia aun en su memoria por la ruta C-D. El mensaje es reordenado en el nodo receptor (Fig. 34).

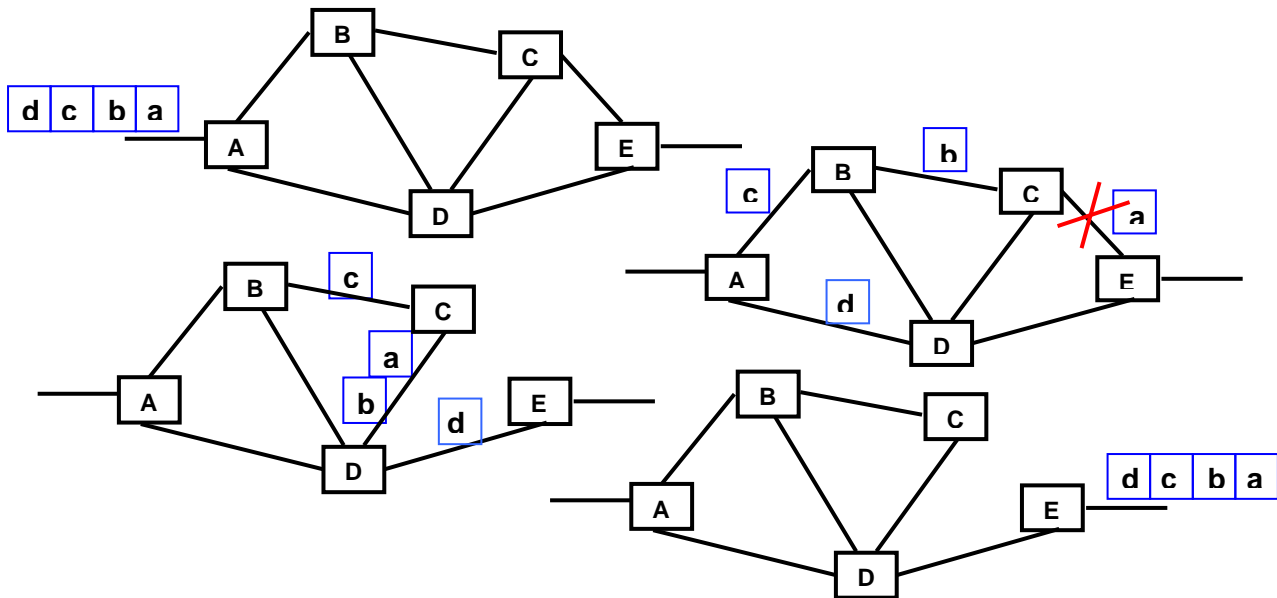


Fig. 34 - Esquema de conmutación de paquetes

A. 3. 7. 2. Estándar X.25

Un conjunto de protocolos, forma el sistema X.25 de conmutación de paquetes. La red X.25 utiliza nodos, circuitos y caminos, disponibles en cada momento para proporcionar la mejor ruta, es decir con la mayor eficiencia y al menor costo.

Ante el suceso de la ARPANet en USA, origen de la red de Internet, en el año 1975 se crea la red Telnet. Sus técnicos trabajando con el CCITT desarrollaron la recomendación X.25, publicada en 1976 y que sirve a la formación de las redes de paquetes WAN.

Esta norma constituye la serie X del CCITT, actual ITU, con sus X.400 y X.500 de Capa 7 - de Aplicaciones, el X.25 de Capa 3 - de Red, y los X.3, X.21, X.21bis, X.28, X.29 y X.75, de Capa 1 - Física.

Es un servicio orientado a la conexión, que se compone de servicios conmutados, los que originalmente conectaba terminales remotos a Host centrales. Define la forma de establecer, mantener y liberar las conexiones y realizar el intercambio de datos entre equipos de usuarios y dispositivos de red. Cuenta con tres capas: La Capa 1, Física, Capa 2, de Enlace y Capa 3, de Red.

En la Capa Física, se define la interfaz X.21, que se emplea cuando se usa señalización digital para adaptarlo a las redes telefónicas y el X.21bis (EIA 232-D/V.24) cuando es analógica.

El estándar de la Capa de Enlace, utiliza el llamado, procedimiento de acceso de enlace balanceado LAP-B (Link Access Procedure-Balanced), que es una versión modificada del estándar ISO HDLC (High level Data Link Control).

Define el procedimiento de acceso al enlace para el intercambio de datos entre DTE y DCE, en un enlace o en multienlaces y contiene la corrección de errores originados en la línea telefónica.

El estándar de la Capa de Red, es el X.25 PLP (Packet Layer Protocol). Realiza las funciones de control de flujo, las interrupciones, la asignación de direcciones y la confirmación de entrega. Este sistema permite constituir circuitos virtuales, tanto permanentes como conmutados, en velocidades de hasta 64 Kb/s.

Los protocolos X.25 se diseñaron según las condiciones de las redes que tenían en los años 1970, baja velocidades, con tasa de errores elevada. Considerado seguro pero pesado a su vez. Por otra parte, se lo utiliza muchas veces para encapsular tráfico correspondiente a otros protocolos.

Cuando se encapsula un protocolo como el TCP/IP en X.25 se realiza en forma redundante las tareas de la capa de red, lo que lo hace más ineficiente.

La red X.25 al ser de conmutación de paquetes utiliza los nodos, circuitos y caminos, disponibles en cada momento, para proporcionar la mejor ruta con la mayor eficiencia y al menor costo.

Como estos componentes cambian rápidamente a cada momento, dependiendo de la vacancia de los segmentos de la red, se podrá asemejar a una nube. Esta nube indica la existencia de conjuntos de circuitos no acordados anticipadamente y su situación siempre cambiante.

Las primitivas redes de conmutación de paquetes se establecieron con la finalidad de conectar grandes sistemas remotos, utilizando líneas telefónicas públicas.

Éstas eran poco fiables, por ello se incorporó una poderosa corrección de errores. A su vez, ello provoca sucesivas retransmisiones que la transforma en una técnica algo lenta.

Las normas X.25 proporcionan dos tipos de controles, el control de flujo que sirve para limitar la afluencia del tráfico procedente de los usuarios, evitando la congestión de la red y el control de errores que garantiza la correcta recepción del tráfico.

El protocolo X.25 actual, define la interfaz entre un Host (equipo que funciona como servidor anfitrión de una red) y la red pública de datos PDN (Public Data Network), en modo de paquete sincrónico, sobre circuitos virtuales. Tal interfaz corresponde a un equipo terminal de datos /equipo de circuitos de datos (DTE / DCE).

El equipo terminal de datos DTE (Data Terminal Equipment) incluye a un Host, a un ensamblador, desensamblador de paquetes PAD (Packet Assembly Disassembly) y a una puerta de enlace (Gateway) a la, red pública de datos PDN.

El PAD permite comunicar una red pública X.25 a un terminal ordinario que no fuera del tipo X.25, es decir que no maneje paquetes. Se encarga de ensamblar los caracteres asincrónicos en forma de paquetes, recibidos del equipo terminal, para ser transmitirlos por la red pública de datos.

Así también, se encarga de desensamblar los paquetes recibidos de la red pública y entregarlos al equipo terminal en forma de caracteres.

El protocolo X.28 describe las operaciones entre el equipo terminal y el PAD. El protocolo X.29 entre equipos PAD, a través de a red de datos y el protocolo X.3 para la operación de los mismos PAD. La red entre los DCE opera bajo los protocolos propietarios de cada uno de sus fabricantes (Fig. 35).

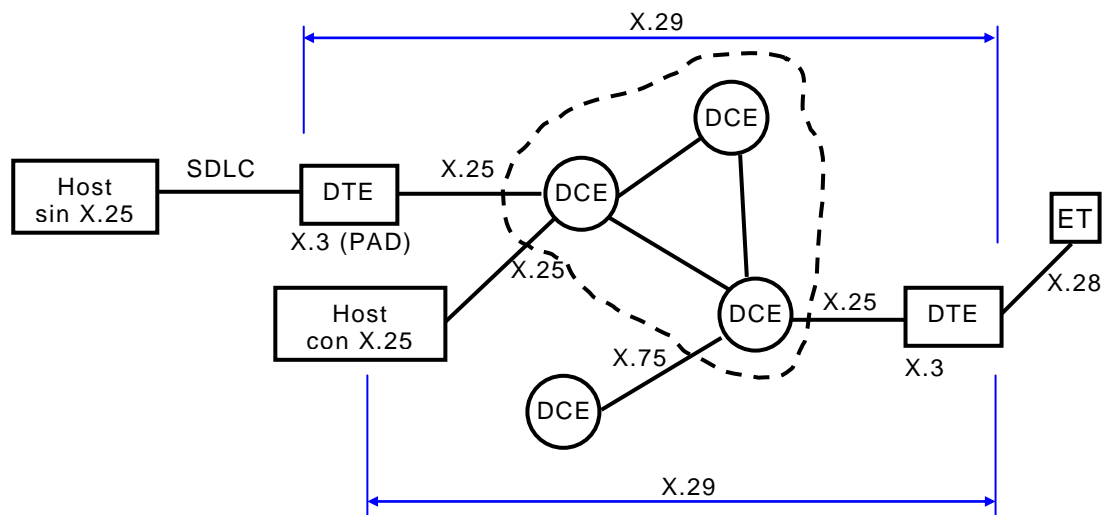


Fig.35 - Esquema de protocolos de la Serie X del CCITT

Supongamos que un terminal de red DTE-A requiere comunicarse con otros terminales de red DTE-B y DTE-C. El X.25 establece los procedimientos y servicio de interfaz entre los DTE y los DCE (Fig. 36).

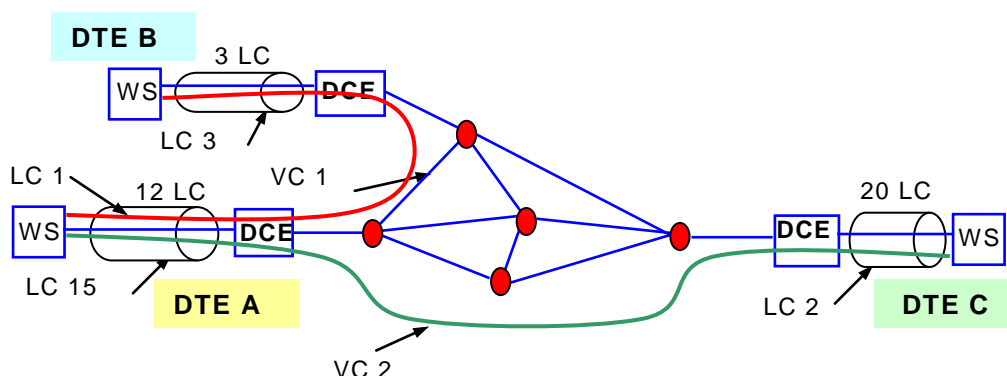


Fig. 36 - Circuitos Virtuales VC - Canales Lógicos LC

El DTE-A mantiene las dos comunicaciones simultáneas, asignándosele 12 canales lógicos (LC), el DTE-B tiene asignado 3 LC y el DTE-C tiene 20 LC. Se establecen dos circuitos virtuales (VC) entre los DTE-A, DTE-B y DTE-C.

El VC 1, está definido entre el LC 1 de DTE A y el LC 3 de DTE B.

El VC 2, está definido entre el LC 15 de DTE A y el LC 2 de DTE C.

A. 3. 7. 3. Sistema de datos conmutados multimegabits SMDS

El servicio de datos multimegabits conmutados SMDS (Switched Multimegabit Data Service), de Bellcore, proporciona los intercambios de portadoras en la red local. Se emplea generalmente para la formación de las MAN.

Es compatible con el estándar IEEE 802.6 para MAN, así como con ISDN-B. Fue puesto en funcionamiento a fines de la década de 1980, empleando portadoras de larga distancia. Ha sido diseñado para conectar entre sí múltiples LAN, en muchos casos de casas centrales con las de sus sucursales.

Una red SMDS, con un ancho de banda apropiado, se conecta con el proveedor de servicios local y puede proporcionar conexiones de backbone entre todas las instalaciones sin procedimiento de llamada o de desconexión. Al compartir los servicios de enlace, alquilando líneas telefónicas, resulta más económica.

Las velocidades de transmisión de SMDS están entre 1 Mb/s y 34 Mb/s, con conectividad multipunto. Maneja tráfico de paquetes, en modo de ráfagas. Al contrario que una red dedicada con múltiples rutas, este sistema sin conexión, puede brindar un gran ancho de banda, a precios reducidos. Trabaja con característica de difusión, descartando el receptor los paquetes que no le corresponda.

El sistema SMDS opera en una topología de bus dual, que forma un anillo no cerrado y utiliza la misma tecnología de longitud fija de celda que ATM. La carga útil puede contener paquetes tanto Ethernet, como Token Ring o IP.

El SMDS no realiza comprobación de errores o control de flujo, operación que se deja a la red para que realice la conexión. El SMDS utiliza el, bus dual de cola distribuida DQDB (Distributed Queue Dual Bus) como interfaz y método de acceso a la red.

A. 3. 7. 4. Frame Relay

El Frame Relay se creó en 1990 a partir de los estudios de las RDSI, con el diseño que permitiese poder definir circuitos virtuales, sin los inconvenientes que ofrecían los sistemas X.25. Frame Relay significa literalmente retransmisión de tramas.

Es una técnica digital rápida, de conmutación de paquetes de longitud variable, en el nivel de Enlaces, de la Capa 2 del esquema OSI.

A medida que las telecomunicaciones transmutan en la dirección de redes digitales y con los soportes de fibra óptica, se requiere menor grado de comprobación de errores que los anteriores sistemas de conmutación de paquetes en redes analógicas, como lo es el X.25. Frame Relay, no proporciona acuse de recibo ni control de flujo normal. Los datos viajan por una línea dedicada alquilada, hasta un conmutador de datos Frame Relay, pasa por esta red y llega a su red de destino.

El sistema Frame Relay utiliza un circuito virtual permanente (PVC) para enlace punto a punto, por ejemplo vincular dos LAN. Al usar una red conocida extremo a extremo, no requiere dispositivos de retransmisión de tramas que realice fragmentación y reensamblado o que proporcione la mejor ruta. Con esto se obtiene su rapidez de transmisión.

Frame Relay ofrece el ancho de banda que requiera el usuario desde 9.600 Kb/s hasta 52 Mb/s, por ello se le denomina diseño de ancho de banda bajo demanda. No obstante, es común que cuando un usuario desea una interconexión de Frame Relay, se establezca un contrato entre el proveedor y el usuario. Este contrato especifica, el mínimo ancho de banda que el proveedor se compromete a ofrecer cuando se establezca la interconexión. Esto se conoce como Velocidad de Interconexión Mínima, CIR (Committed Information Rate).

Además de esta condición, el proveedor le permite al usuario exceder al CIR, siempre y cuando exista ancho de banda disponible suficiente en la red. Este parámetro es conocido como Velocidad de Interconexión Máxima, EIR (Excess Information Rate). El mismo requiere un enrutador que acepte esta técnica y permita la retransmisión de tramas. Necesitará al menos un puerto WAN para la conexión con la red y otro puerto para cada LAN. Por ejemplo, supongamos que una computadora se conecta a una Frame Relay mediante una línea de 1984 Kb/s y tiene dos circuitos establecidos con otras dos computadoras cada una de ellas con un CIR de 256 Kb/s y un EIR, de 512 Kb/s. En ese caso cada circuito tendrá asegurado un ancho de banda de 256 Kb/s como mínimo y si la red lo permite 512 Kb/s.

Si se intenta utilizar mayor capacidad, Frame Relay comienza a descartar tramas con el fin de que la línea nunca se sature. La especificación CIR, se hace independientemente en cada sentido de transmisión y también podrá hacerse asimétrica.

Una conexión en Frame Relay podrá emplearse para vincular dos conmutadores del tipo X.25, no así a la inversa pues X.25 es mas lento que Frame Relay y produciría retardos apreciados por los usuarios. Por la misma razón se podrá utilizar Frame Relay para transmitir voz digitalizada no así X.25, los retardos no permitiría cumplir as especificaciones de transmisión correcta (por más información del ver Anexo IX - Redes de Computadoras).

A. 3. 7. 5. Sistema bus dual de cola distribuida DQDB

El sistema bus dual de cola distribuida DQDB (Distributed Queue Dual Bus), está definido como interfaz y método de acceso estándar para la constitución de redes MAN en las normas IEEE 802.6 e ISO 8802-6. Es utilizado por el sistema SMDS a ese fin. Emplea celdas 53 Byte similares al ATM

La finalidad del sistema DQDB es proveer conectividad entre las LAN, sobre zonas externas a velocidades de bus, de 34 /45 /140 /155 Mb/s (E3 /T3 /E4 /OC3), con un máximo en 310 Mb/s. Permite redes de hasta 200 Km. Típicamente operan en USA, a velocidades de 44 736 Mb/s (T3) con enlaces de hasta 160 Km. Estas velocidades pueden ser adecuadas para la transmisión de datos y suficientes para una red de banda ancha multimedia, obteniendo la capacidad deseada combinando estos sistemas con conmutación ATM. Una MAN esta normalmente compuesta por varias subredes DQDB.

Su denominación de bus dual de cola distribuida, corresponde a estar estructurado sobre el principio de doble bus físico, cada uno unidireccional, con mecanismo de acceso en tiempos de espera de colas distribuidas. Aunque emplee un cableado físico en estrella hacia una central telefónica, funciona como red en anillo.

La red DQDB, con dos buses vincula series de nodos, ambos con direccionales de transmisión opuesta, que podrán emitir o recibir información. Cada bus utiliza un tipo de reserva distribuido, con controlador de bus que dispone de un contador para cada dirección de transmisión, proceso que se denomina acceso por cola de reserva de los paquetes (Fig. 37).

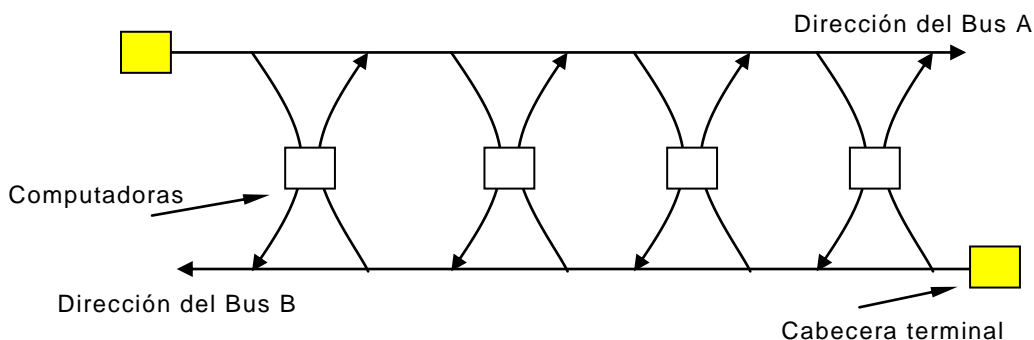


Fig. 37 - Arquitectura de red de área metropolitana DQDB

Cada bus tiene una terminal cabecera (Head End), que generan una cadena constante de células de 53 Byte (similares al ATM). Las estaciones se ponen en cola en orden FIFO (First In First Out), el que entra primero sale primero

Este sistema fue creado por estudiantes de la Universidad de Western, Australia, en 1989, para subsanar las ineficiencias del método CSMA /CD, cuando opera sobre redes geográficas a altas velocidades. Proveen capacidad de comunicación dúplex entre cualquier grupo de nodos.

El método de transmisión se basa en celdas de longitud fija. La ventaja de su tolerancia a fallos, radica en que los nodos laterales al mismo, podrán ejercer la función de final de bus (Fig. 38).

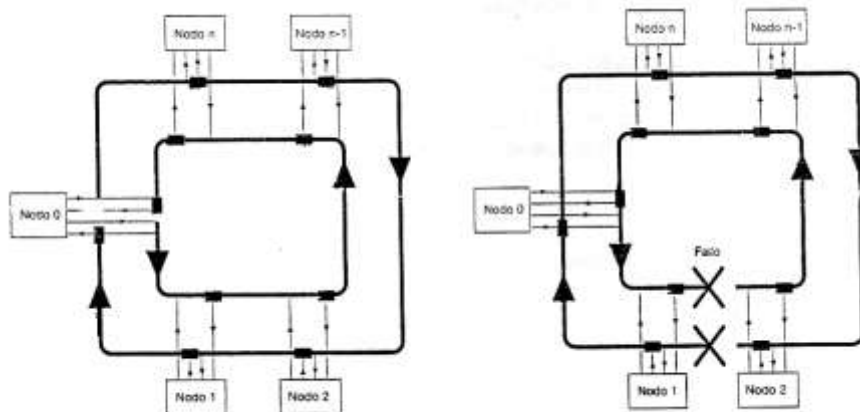


Fig. 38 - Tratamiento de fallos en sistemas DQDB

Los nodos pueden acceder a los buses tanto en modo, asincrónico como sincrónico. El acceso arbitrado por un orden en colas QA (Queue Access), es utilizado para el tráfico asincrónico de paquetes en ráfagas, mientras que el acceso prearbitrado PA (Prearbitrary Access), es utilizado para el tráfico asincrónico de emulación de circuitos. El modo prearbitrado proveerá acceso a octetos sincrónicos sobre una conexión previamente establecida en la red.

Estos accesos, permiten ofrecer un ancho de banda garantizado, suministrando tráfico de velocidad continua en unidades de 64 Kb/s, por ejemplo para transmisión digital de voz.

A. 3. 7. 6. Modo de transferencia sincrónica STM

El modo de transferencia sincrónica STM (Synchronous Transfer Mode) está basado en la multiplexación y conmutación por división en el tiempo. La técnica STM se originó a modo de propuesta para la B-ISDN, como modo de transporte de los datos, con anterioridad a la definición de la técnica ATM.

El STM puede ser mas simple de administrar pero no es tan eficaz como el ATM. Las diferencias entre STM y ATM radican fundamentalmente en la conformación de sus celdas.

A. 3. 7. 7. Modo de transferencia asincrónico ATM

Los Laboratorios Bell concibió el modo de transferencia asincrónico ATM (Asynchronous Transfer Mode) en 1986, luego en 1988 la ITU lo adoptó como parte de la red digital de servicios integrados de banda ancha B-ISDN.

En septiembre de 1997, la ITU ha aprobado el estándar de adaptación ATM a la Capa 2, denominada por ello Capa de Adaptación ATM de Capa 2, AAL-2 (ATM Adaptation Layer-2). Este estándar regula la transmisión de voz sobre ATM, lo que da nuevo impulso a su utilización.

El modo de transferencia asimétrico ATM, es probablemente la tecnología más discutida de los recientes años. Hay quienes la proclaman como la futura red de transporte, que proveerá rendimiento garantizado para una ancha gama de servicios, mientras que otros opinan ser compleja y con relativo alto costo, comparado con otras técnicas, como ser el IP.

Ambas opiniones están a la expectativa del desarrollo del mercado. Su desarrollo actual, indica la tendencia del mercado a adoptarla globalmente:

- British Telecoms ha planeado establecer una red ATM con mas de 200 centros de conmutación ATM.
- Deutsche Telekom ya ofrece cobertura nacional bajo el nombre T-Net- ATM.
- Los productos Global ATM están disponibles en países distribuidos por el mundo.
- Las compañías suizas Telia y Finnish Telecom son las mas avanzadas en este campo. Ambos proveedores de redes, ofrecen ATM vía IP.

El Modo de transferencia asíncrono ATM, es una técnica de paquetes avanzada que combina, la multiplexación con la conmutación, y que está diseñada para lograr un método universal de transferencia de datos, suplantando a la gran variedad de servicios de datos como son el SMDS, X.25, Frame Relay, DQDB, etc.

Antes de surgir ATM, cada aplicación requería su propia red. La principal razón es que los diversos servicios determinan diferentes requerimientos al medio de transmisión.

Por ejemplo, un pequeño ancho de banda de 3.1 KHz es siempre adecuada para transmisión señal de voz. Sin embargo el retardo en transmisión debe ser pequeño y mantenerse constante. La transmisión de datos entre computadoras tiene una consideración completamente diferente. En esta red, los requerimientos de ancho de banda son crecientes con el paso del tiempo, luego solo algún tipo de transferencia de datos pueden ser transmitidos por la red telefónica.

La forma de comunicarse entre computadoras es también muy diferente a la conversación del ser humano. La transferencia se realiza en ráfagas, durante mucho tiempo la red podrá estar inactiva y en pocos segundos una velocidad de Megabits será transmitida. También el retardo de tiempo de la transmisión es relativo.

Diferentes tecnologías han sido desarrolladas para salvar estas diferencias. Con la multiplexación por división de tiempo TDM usada para telefonía, se creó una completa gama de protocolos. Los mismos han sido basados principalmente en paquetes de longitud variable, por ejemplo el X.25, Frame Relay e IP.

El ATM provee el medio para combinar telefonía y datos dentro de una sola entidad, integrando sus servicios. Al estandarizar la estructura de red ATM y sus componentes permite ahorrar costos a los proveedores e implementar mayor eficiencia y administración a los diferentes requerimientos de servicios y tráfico.

Mediante ATM se facilita la transmisión de, voz, fax, audio en calidad de disco compacto (CD), imágenes y video en tiempo real y datos a velocidades de 155.52 Mb/s, 622 Mb/s y actualmente en el orden de los 40 Gigabit/s. Fundamentalmente ATM funciona en 155 Mb/s con la finalidad de transportar sus células por troncales SONET en canales ópticos OC-3.

Debido a su potencia de transmisión y a su sobresaliente versatilidad, influye en nuevos ofrecimientos de los mas recientes servicios y en la transformación de las redes de telecomunicaciones. Un sistema que emplee el modo ATM puede manejar un volumen de información determinado para cada una de las comunicaciones y con un cierto ancho de banda distinto.

Asimismo, la cantidad de comunicaciones que se puede transmitir simultáneamente en un sistema, puede no ser constante.

La técnica de modo de transferencia asíncrono ATM, es un procedimiento de transferencia de información, basado en el mecanismo de multiplexación por división en el tiempo asíncrona, donde se asignan intervalos de tiempo a una comunicación en función del ancho de banda a transmitir.

El principio básico del ATM, consiste en la segmentación del flujo de información, el que ha de ser transferido en bloques de información de longitud fija, denominados células. Estas células no se transfieren a intervalos de tiempos regulares, sino que se emiten de acuerdo con los requisitos y necesidades de la fuente de tráfico, que las genera, de modo que la capacidad de transferencia será asignada según lo requiera la demanda dada para el establecimiento de cada una de las comunicaciones.

Antes de surgir ATM, cada aplicación requería su propia red. La principal razón es que los diversos servicios determinan diferentes requerimientos al medio de transmisión. El modo ATM proporciona transmisión de datos a alta velocidad, para enviar paquetes de tamaño fijo, tanto sobre las LAN, como sobre grandes enlaces de banda ancha o en las WAN, contemplando cada requerimiento de cada servicio.

Versatilidad del ATM

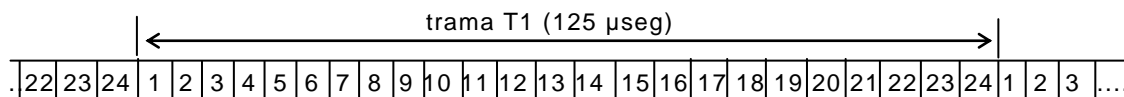
El sistema ATM permite variadas ventajas:

- Obtiene la transmisión independiente del medio utilizado, PDH, SDH o SONET.
- Garantiza la calidad de transmisión, según lo requerido por el servicio.
- Se emplea en la red de acceso, para servicios y aplicaciones actuales y futuros.
- Dispone anchos de banda escalable, adaptados a los requerimientos de cada servicio de telefonía analógica o digital, facsímil, CATV o datos como telemedicina, teleenseñanza, video sobre demanda, etc,

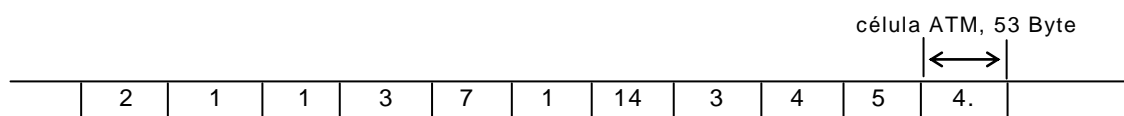
La tecnología ATM puede ser efectivamente utilizada en las dos áreas, en el acceso al abonado con múltiples servicios, como en los grandes enlaces con elevado tráfico.

En ATM el término asincrónico, hace referencia al hecho de que las celdas (células) asignadas a la misma conexión, pueden mostrar un patrón irregular ya que las celdas se rellenan según una demanda que podrá ser variable.

Las celdas ATM pueden ser enviadas por si solas en forma individual, por un cable de cobre o de fibra óptica o bien se pueden empacar dentro de la carga útil de otros sistemas portadores, como ser T1, T3, SONET o FDDI. Es decir que, ATM se diseño para ser independiente del medio de transmisión (Fig. 39).



(a) Trama T1- Transmisión Sincrónica (trama regular)



(b) ATM - Transmisión Asíncrona (orden irregular de las células)

Fig. 39 - Trama T1 vs celda ATM

La técnica ATM posee un algoritmo de conmutación basado en hardware, en tanto que el X.25 y el Frame Relay están constituidos como software. Esto releva la distinción entre las LAN, MAN y WAN, integrándolas en una única red.

Incrementa el uso o reemplaza a las técnicas Ethernet, Token Ring, X.25, Frame Relay o FDDI. La implementación de la técnica ATM, relegará los sistemas X.25 a líneas de baja calidad, mientras que Frame Relay podrá ser transportada sobre ATM.

COMPARACIÓN DE SISTEMAS X.25, Frame Relay, ATM

SERVICIOS	ACCESO	ENLACES	APLICACIONES	USO
X.25	Velocidad baja 75 b/s á 2048 Mb/s	Analógicos	Transmisión de datos	Punto a punto con entrega de datos garantizada
Frame Relay	Velocidad media y alta 9.6Kb/s á 56 Mb/s	Digitales en fibras ópticas	Transmisión de datos, canales de voz	Datos de alta velocidad en WANs
ATM	Velocidad media y alta 155.52 Mb/s y 622 Mb/s	Digitales en cobre y en fibras ópticas	Transmisión de voz, video y datos a alta velocidad	Videokonferencia, telemedicina, teleeducación, codificación de voz, video y datos

Se podrán implementar la técnica ATM en redes de vinculación con troncales de enlace ATM y también en redes que empleen troncos alimentadores ATM mas ramales ATM, en la red de acceso.

Actualmente, la aplicación de los servicios de voz y video, sobre sistema de datos genera la disyuntiva en el uso de redes confiables orientadas a la conexión, o de redes no confiables sin conexión. Al disponer ATM de una capa orientada a la conexión, siendo IP orientado a sin conexiones, que sucede con IP cuando atraviesa una red basada en ATM.

Los Host de origen establecen primero una conexión ATM de Capa de Red con Host de destino y envía por ella paquetes independientes, en este caso paquetes IP, para la administración de correo electrónico, para lo cual interviene un programa FTP, a nivel superior (Fig. 40).

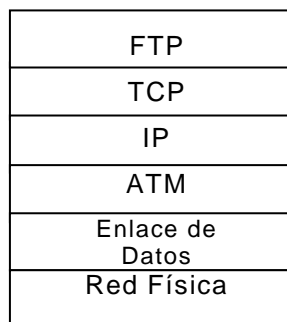


Fig. 40 - Transporte de TCP/IP sobre ATM

Estandarización del ATM

Las posibilidades de velocidad digital que se adquiere mediante ATM es causa de actual desarrollo. Si un enlace ATM en fibras ópticas transmite a 622 Mb/s, representará la cantidad de información de todo el contenido de la Enciclopedia Británica, incluyendo los gráficos, transmitido todo en tan solo un segundo. Si el mismo volumen de información se transmite con un módem de 2400 Baud la operación llevaría a tardar más de dos días.

La estandarización del ATM es llevada a cabo por el ATM Forum, constituido por 700 fabricantes y proveedores de equipos, y la ITU-T.

Ambos cuerpos trabajan juntos, aunque el ATM Forum labora mas aceleradamente, de acuerdo a los requerimientos del mercado y a los nuevos desarrollos tecnológicos. Los resultados de ambos organismos tienen mínimas diferencias. La organización ATM Forum regla el empleo de ATM utilizando interfaces físicas con las siguientes técnicas:

- FDDI en 100 Mb/s,
- SONET a 155 Mb/s (OC-3),
- T3 (44.736 Mb/s),
- Frame Relay,
- X.25.

ATM no dispone de características específicas de capa física, por ello las celdas del sistema ATM son transportadas por SONET, FDDI y otros sistemas de transmisión.

EL sistema ATM

ATM es un método de conmutación de circuitos y conmutación de celdas. Se basa en la utilización de celdas de longitud fija, tanto para la información, como para la señalización. Ello permite transportar información indistintamente, tal como sistema de conmutación por paquetes X.25 o Frame Relay de longitud variable.

Las celdas están tan vinculadas, que conforman una trama continua. Comparado con el procedimiento sincrónico que tiene una temporización asignada fija, para cada paquete de longitud variable. Las celdas utilizan un particular equipo terminal, el que no dispone una posición fijada para la trama de transmisión.

El ancho de banda está definido por la cantidad de celdas transferidas por unidad de tiempo. Si no hubiese datos a ser transmitidos, las llamadas celdas ociosas (idle) serán insertadas en la trama. Estas celdas ociosas no contienen información. Si el ancho de banda requiere ser incrementada, la relación celdas usuario a celdas ociosas serán incrementadas, lo que significa que el ancho de banda podrá ser fácilmente adaptado.

ATM se basa en el método de transmisión de datos en banda ancha, en celdas de 53 Byte, en vez de emplear tramas de longitud variable. Estas celdas consisten en 48 Byte de información y de 5 Byte adicionales para datos de encabezado ATM, denominado tara.

Por ejemplo, ATM divide un paquete de datos de 1000 Byte, en 21 tramas de 48 Byte y pone cada una de estas tramas en una celda. El resultado es una tecnología que transmite una celda concentrada y uniforme (Fig. 41).

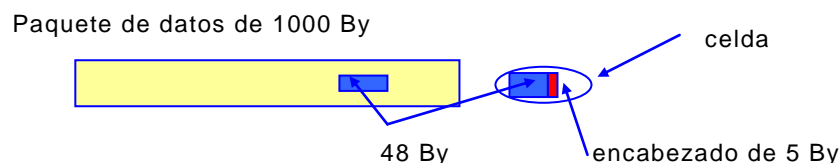


Fig. 41 - Formación de celdas ATM

Los 5 Byte de encabezado, disponen a su vez de una cabecera como etiqueta de un identificador de trayecto virtual VPI (Virtual Path Indicator) y un identificador de canal virtual VCI (Virtual Channel Identifier) Los 48 Byte de información, significan 48 octetos, es decir $48 \times 8 = 384$ bit. (Fig. 42).

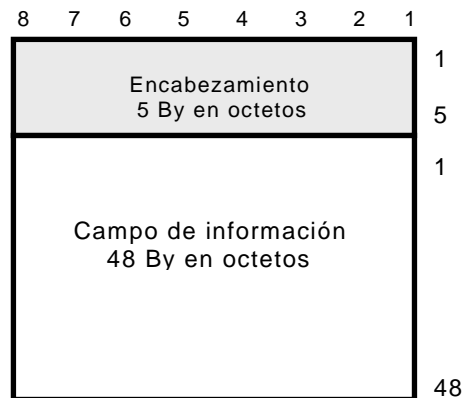


Fig. 42 - Estructura genérica de una celda ATM

El Modelo de Referencia ATM

En las redes, los servicios de banda angosta han coexistido con los servicios de banda ancha. Luego, se requerirán anchos de banda desde 64 Kb/s hasta los Gigabit/s, esquema óptimo para los sistemas ATM. Los servicios podrán ser además, de velocidad constante CBR o de velocidad variable VBR.

Los servicios de video emplean anchos de banda que van desde 2 Mb/s hasta 600 Mb/s. La videotelefonía requiere de 2 á 40 Mb/s, mientras que las videoconferencias desde 2 hasta 130 Mb/s.

La televisión por cable de 130 á 750 Mb/s. La red deberá soportar los servicios actuales y futuros. Luego, ATM creada para los servicios ISDN, se diseña para ser flexible a esta gran variedad de requerimientos de la extensa variedad de servicios que se están presentando actualmente.

Servicios con características y exigencias de calidad distintas deben ser soportados por la misma red y el control deberá ser simple para permitir pequeños retardos. Se crean para ello, canales virtuales en trayectos de comunicación hechos a medida del usuario, es decir personalizados (customized).

La funcionalidad de ATM se explica, mediante la confección de un modelo de referencia tridimensional, organizado en planos y capas. El Plano de Gestión incluye dos tipos de funciones, la Gestión de Planos que abarca al sistema total y la Gestión de Capas que actúa para cada capa, en la operación y el mantenimiento.

El Plano de Usuario transporta los datos del usuario para una aplicación, que incluye el control de flujo y la recuperación de errores. El Plano de Control ejerce las funciones de control de llamada y control de conexión.

El modelo ATM, está compuesto por cuatro capas, basadas sobre el principio de la arquitectura ISO / OSI. Para representar exactamente ATM, es necesario ser definidas dos capas ATM especiales, denominadas como capa ATM y capa de adaptación ATM.

1) La Capa Física se divide en dos subcapas

- 1.1. Subcapa Dependiente del medio físico PDM (Physical Medium Dependent), que es responsable de la correcta emisión y recepción de bits por cada medio físico, establece la interfaz con el cable, transfiere los bits y controla la temporización.

- 1.2. Subcapa de Convergencia de transmisión TC (Transmission Convergence), que convierte las celdas ATM a bits, que envía a la capa PMD y en la recepción de bits a celdas, hacia la capa ATM.
- 2) La Capa ATM es una mezcla de las capas de Enlace de datos y de Red del modelo OSI. Realiza cuatro funciones:
- Multiplexado y demultiplexado de celdas provenientes de conexiones diferentes en el mismo chorro de celdas.
 - Translación del identificador de canal virtual VCI e identificador de trayecto virtual VPI (enrutamiento).
 - Inserción y extracción de encabezamiento.
 - Control genérico de flujo GFC (Generic Flow Control).
- 3) Capa de Adaptación ATM (AAL), sirve de interfaz entre la capa ATM y los requerimientos de servicios de las capas altas. La capa AAL se subdivide en la Subcapa de Convergencia CS (Convergence Sublayer) que provee servicios AAL a las aplicaciones y la Subcapa que opera en la Segmentación y Reensamblado SAR (Segmentation and Reassembly). La información de las capas altas, que excede de los 48 Bytes, es segmentada formando las celdas ATM y en la recepción se efectúa la operación inversa de reensamblado. El protocolo de transporte AAL 3/4 es el único de ATM que permite multiplexar, es decir que varias aplicaciones o usuarios diferentes puedan utilizar simultáneamente el mismo circuito virtual.
- 4) Las capas superiores corresponden a las distintas aplicaciones.

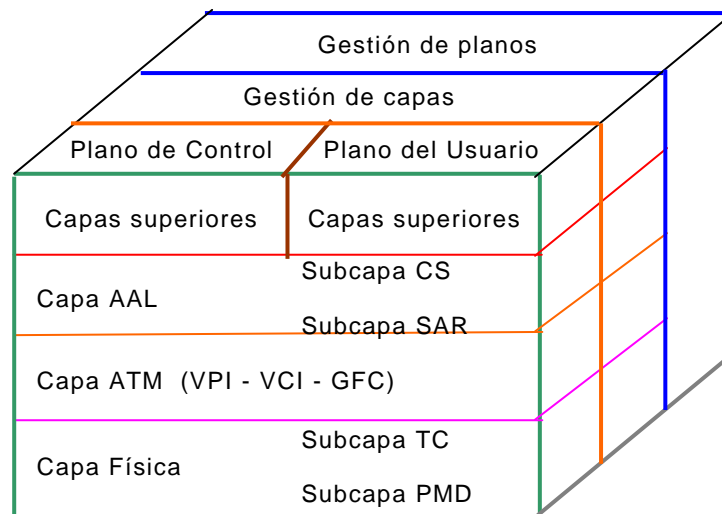


Fig. 43 – Modelo de referencia ATM

Interfaces ATM

En algunas arquitecturas como ser las LAN, con técnicas Ethernet o Token Ring solo un equipo puede transmitir a la vez, hasta que el equipo al que ha sido dirigido, recibe el paquete. Sin embargo, ATM utiliza conmutadores como multiplexores, para permitir que varios equipos pongan datos en la red en forma simultánea, en modo orientado a la conexión. Por ejemplo, tres enrutadores (routers) podrán enviar datos simultáneamente a tres redes y a un conmutador remoto ATM.

Los conmutadores ATM, son dispositivos multipuerto que pueden actuar como repetidores, para dirigir a los datos desde un equipo a otro dentro de una misma red o como router, para enrutar datos a alta velocidad, hacia otras redes remotas.

Las redes ATM operan con dos pares de cables EIA/ TIA Categoría 5, proveyendo velocidades de 155 Mb/s. Con cableados EIA /TIA Categoría 3 ó 4, utilizando cuatro pares, se obtienen 25 Mb/s. Para altas velocidades ATM, por ejemplo 622 Mb/s o longitudes mayores a 100 m se requiere utilizar fibra óptica.

Si las estaciones de trabajo (workstation) de una LAN permiten el manejo de velocidades ATM, se podrá diseñar una red integral que aproveche la velocidad total de 622 Mb/s y sus fracciones. Otra forma de conectar grupos de trabajo existentes del tipo Ethernet o FDDI con acceso al troncal (backbone) ATM, será posible a través de Hub conmutadores.

Debido a la expansión en el empleo de la banda ancha, se requiere que la misma pueda acceder a la transmisión celular e inalámbrica en general. Por medio de sistemas ATM, se permite en la actualidad ofrecer servicios de algo mas de 230 m, a velocidades de 155 Mb/s (OC-3). Consiste en redes Fast Ethernet, FDDI o también en Token Ring con transmisión en infrarrojo. Por otra parte, AT&T ha desarrollado un chip que permite transmitir sobre un par de cobre velocidades de 51.840 Mb/s, en longitudes de hasta 300 m.

Al requerir los interfaces de aire, el uso de compresión, se utilizan esquemas de codificación diferenciada por servicios. Aún en comunicaciones de voz, una interfaz de aire con detección de silencios ATM, haría un mejor uso de la capacidad del canal, ya que cada canal virtual es liberado durante los períodos de silencio.

Se estima que la influencia sobre sistemas móviles con tecnología CDMS/ ATM, recién se sentirá con el desarrollo de los 3G, futuro sistema de telecomunicación móvil universal UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Se ha demostrado que la combinación CDMA/ ATM es superior a la combinación TDMA/ ATM, en términos de eficiencia espectral, tamaños de celdas que satisfagan las demandas de tráfico en distintos ambientes, retardos en comunicaciones vocales, etc.

Podemos distinguir dos tipos de interfaces en la red ATM. Entre el conmutador y el terminal del abonado, se halla la, interfaz de red usuario UNI (User Network Interface) y entre conmutadores de red, se halla la, interfaz de nodos de red NNI (Network Node Interface).

Los protocolos de señalización para ambas interfaces, están definidos por el ITU-T Para la red pública, el protocolo de la UNI está especificado en la recomendación Q.2931. Mientras que de la NNI, está definido en la Q.2764. Ambas basadas en los protocolos ISDN. La red privada utiliza para la NNI y la UNI, los protocolos definidos por el ATM Forum (Fig. 44).

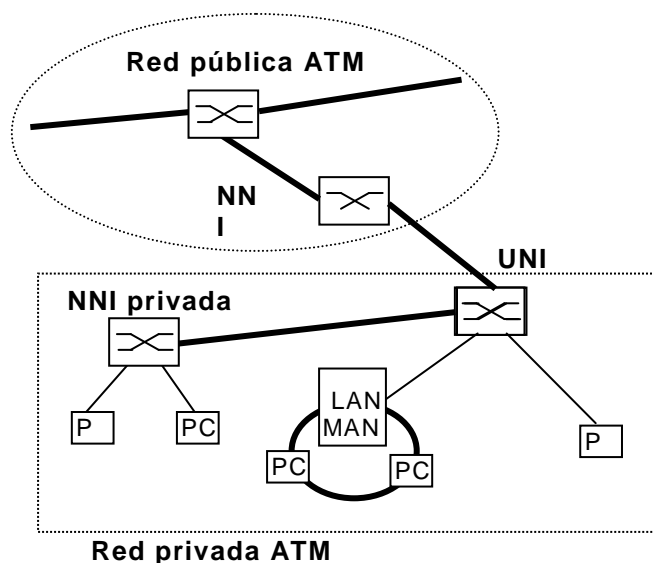


Fig. 44 – Estructura simplificada de la red ATM

Celda ATM

La celda ATM es la unidad de información estandarizada más pequeña utilizada. Toda información de señalización y del usuario debe estar representada dentro de este formato. Cada celda esta formada por un total de 53 Byte, de los cuales 5 Byte representan la cabecera dejando 48 Byte disponibles para información del usuario o señalización.

La cabecera contiene la información relativa al direccionamiento de las células y su prioridad, así como la información utilizada para asegurar una transferencia libre de errores. La celda cabecera es empleada principalmente para encaminar la celda a través de la red ATM. Los encabezamientos de las celdas ATM podrán tener una estructura del tipo de interfaz de usuario-red, UNI y de interfaz de nodo-red, NNI.

En el caso de encabezamiento de la UNI, existe un campo GFC, cuyo propósito es aliviar las condiciones de sobrecarga a corto plazo que puede tener la red. Si una estación terminal está directamente conectada a un conmutador ATM, el GFC es el encargado de controlar la velocidad del flujo de celdas desde la estación terminal. En el caso de la NNI, la red ATM no provee ningún mecanismo de control de flujo, por lo tanto no es necesario el GFC dentro de la red ATM (Fig. 45).

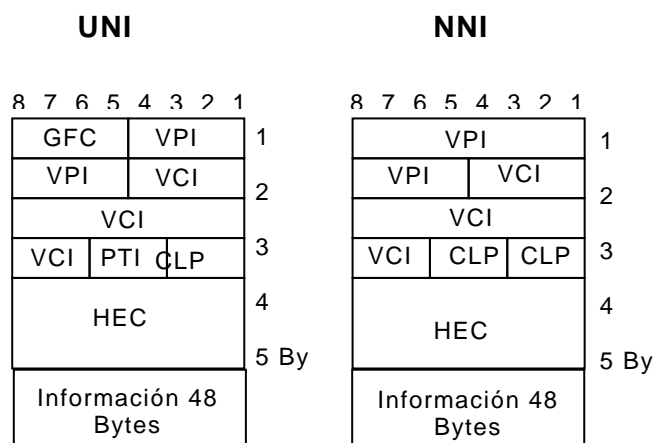


Fig. 45 – Formato de la celda ATM

- **GFC (Generic Flow Control).** El campo denominado control de flujo genérico, soporta la configuración del equipo del abonado. Implementa el control de un posible sistema bus de la interfaz del usuario (UNI). Este campo contiene 4 bits.
- **VCI (Virtual Channel Identifier).** El identificador de canal virtual, contiene parte de las instrucciones de direccionamiento de la celda. Todas las celdas pertenecientes al mismo canal virtual, tendrán el mismo VCI. El identificador de canal virtual indica en cada caso, una sección de trayecto entre centros de conmutación o entre el centro de conmutación y un abonado. Todos estos diferentes VCIs, marcan el trayecto a través de la red. Este campo contiene 16 bits.
- **VPI (Virtual Path Identifier).** El identificador de trayecto virtual, contiene la segunda parte de las instrucciones de direccionamiento virtual y con más alta prioridad que el VCI. Acopla juntos, varios canales virtuales. Esto permite el rápido direccionamiento de las celdas a través de la red. Mediante el uso de los equipos de distribución (cross connects) ATM, es capaz de conmutar las tramas de celdas en varias direcciones, basándose en el VPI. El VPI y el VCI están asignados por el conmutador central, cuando la llamada es establecida. Este campo contiene 4 bits en la UNI ó 12 bits en la NNI.
- **PTI (Payload Type Identifier).** El identificador de tipo de carga útil, indica el tipo de datos que contiene el campo de información. Una distinción es hecha entre la información de red y la del usuario. Este campo contiene 3 bits.

- **CLP (Cell Loss Priority)**. El campo prioridad de pérdida de celda, determina con que prioridad una celda puede ser suprimida, en el caso de embotellamiento de tráfico. Una celda con CLP-0 tiene mayor prioridad que una celda con CLP-1. Este campo contiene 1 bit.
- **HEC (Header Error Control)**. El campo, control de error de cabecera, provee el control de red y la posible corrección de errores en el mismo encabezamiento de datos. Es utilizado para sincronizar el receptor, al comienzo de la celda. Un procedimiento de chequeo redundante cíclico CRC (Cyclic Redundancy Check) es utilizado para la detección de errores. El mismo se basa en un polinomio generador $x^8 + x^2 + x + 1$.

Diferenciación de las celdas

Hay celdas para la transmisión de la información y para la operación, administración y el mantenimiento. Estas últimas son llamadas celdas OAM (Operation, Administration and Maintenance) y pueden ser insertadas en la trama cuando se requiera. Estas celdas portan la información para el monitoreo de errores y alarmas, controlando los elementos de red y localizando los errores.

También se dispone de las celdas ociosas, las que son insertadas en las tramas, solo cuando no es necesario transmitir celdas con información. Estas contienen información de control de flujo GFC, pero no están asignadas a alguna conexión en particular. Todas las celdas están identificadas por medio de una combinación de los VPI y VCI.

Direccionalidad en la red ATM

Para establecer una conexión se requiere una dirección ATM (número telefónico) que permita efectuar el vínculo. En la Recomendación E.164 de la ITU-T, se especifica las direcciones de banda angosta ISDN, estructuradas en tres partes (Fig. 46):



donde:

Código del país CC (Country Code)
 Código del área NOC (National Destination Code)
 Código del abonado SN (Subscriber Code)

Fig. 46 – Direcccionamiento ITU-T E.164

Analogía del proceso ATM

Otra forma de facilitar la comprensión del proceso de un sistema ATM es hacer la analogía de éste, a un viaje en tren por un equipo de fútbol.

Esta analogía explica en forma amable los conceptos sobresalientes del proceso ATM: descripción de componentes, la segmentación y reensamblado de las celdas multiplexado, funciones de control y de conmutación.

En el tren viaja un equipo de fútbol que se dirige a un estadio que se encuentra en otra localidad.

El equipo podrá ser visto como un servicio de banda ancha, y la red de ferrocarril como el sistema y medio de transmisión de banda ancha. Las estaciones de ferrocarril son análogas a conmutadores ATM, los trenes equivalen a flujos de celdas ATM y la cantidad de pasajeros sentados representan la capacidad de un determinado flujo de celdas ATM.

Los jugadores disponen cada uno de un pasaje, el que contiene información del destino del jugador, el nombre del equipo y la clase en que viaja. Cada jugador con su pasaje representa una celda ATM. En ese caso, el jugador es el campo de información útil y el pasaje representa el encabezamiento.

El equipo de fútbol ha reservado con anticipación los pasajes, lo cual equivale al procedimiento de preparación para efectuar una llamada, que da a la gestión de la red la oportunidad de dimensionarla.

El destino de cada jugador es análogo al identificador de canal virtual (VCI). El equipo es equivalente al identificador de trayecto (VPI). La clase del pasaje representa a la prioridad de pérdida de celda.

El equipo llega a una estación para efectuar un trasbordo, equivalente a un conmutador ATM, cada jugador con su pasaje espera la llegada de un próximo tren.

También hay otros pasajeros que llegan a esa estación al mismo tiempo, con sus respectivos pasajes, que representan a otros servicios de banda ancha. Estos se mezclan con los jugadores de los equipos. Esto es análogo al proceso de segmentación de celdas ATM, en un servicio de banda ancha.

El equipo dispone de un número determinado de jugadores por lo que representa a un servicio de ancho de banda constante, mientras que los otros grupos representan servicios de ancho de banda variable.

El tren deberá partir a horario con asientos ocupados o no. Los asientos vacíos representan celdas desocupadas (idle) en el flujo ATM.

Si hay mas pasajeros en la plataforma que asientos en el tren, tendrán prioridad los pasajes de primera respecto a los de clase económica, a los que el guarda indicará que no pueden viajar. El guarda representa la función de control en ATM.

Los pasajeros que no han podido viajar, se debe a no haber realizado las reservas necesarias, lo que ha provocado el equivalente a una congestión de red donde se ha excedido el ancho de banda para un trayecto virtual en particular.

La siguiente etapa es el transporte en otro tren hasta el estadio de fútbol, responsabilidad de la compañía de ferrocarriles de llevar al equipo a destino. Al llegar al estadio, cada jugador entrega el pasaje al guarda a medida que baja del tren y espera con el resto del equipo ante la puerta del estadio, proceso equivalente al reensamblado ATM.

Por último, el servicio de banda ancha abandona la red en cuanto el total del equipo o sea de la información, llega a destino.

Etapas para la transmisión de celdas ATM

Para visualizar las etapas que emplea la transmisión ATM, podremos crear una analogía gráfica descriptiva que las represente. Por la misma pasa la información perteneciente a varios servicios de un sistema B-ISDN transmitido por una red ATM.

En B-ISDN se podrá estar brindando servicios en velocidad constante, de 64 Kb/s, de 2 Mb/s y de 34 Mb/s, además de otros en paquetes o de tramas de velocidad variable. Estos se procesan en las capas superiores de las aplicaciones.

Mediante la capa AAL, donde se segmenta en celdas ATM. En la capa ATM se efectúa el multiplexado digital para pasar a la capa física donde se emiten a la red los bit componentes a las celdas ATM (Fig. 47).

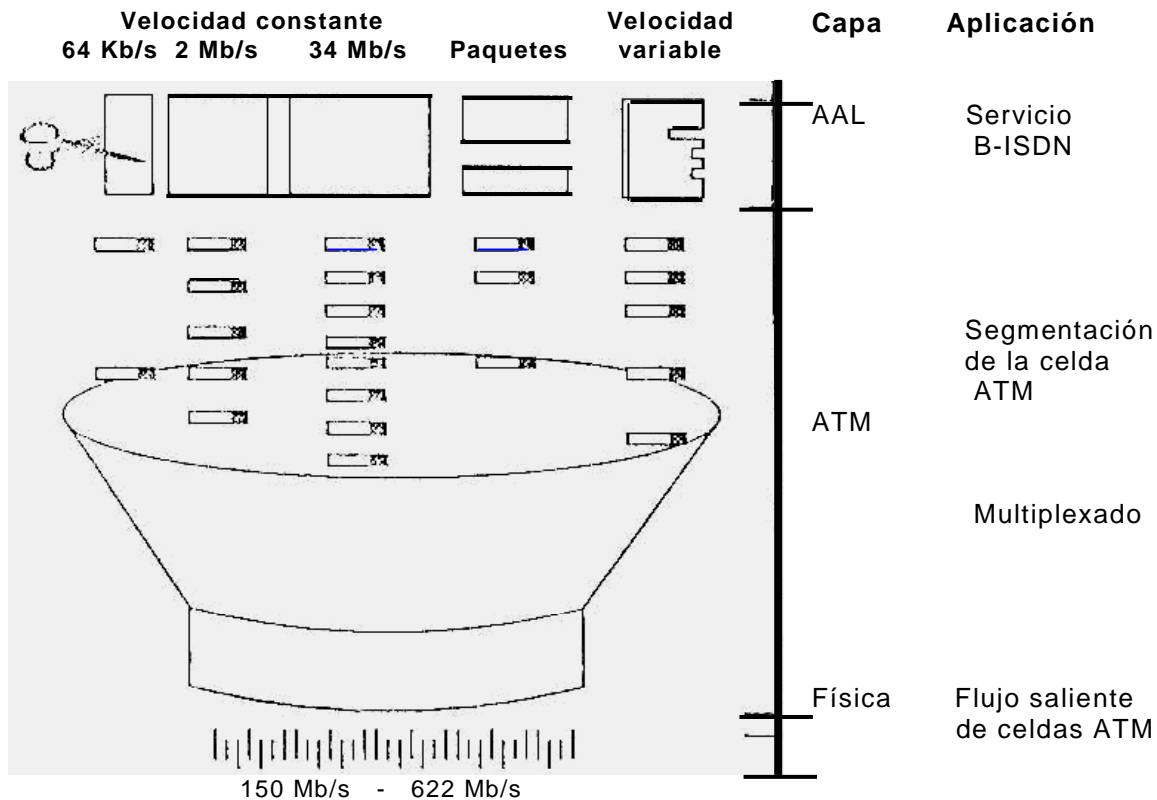


Fig. 47 - Etapas para la transmisión de celda ATM

Clases de servicios ATM

En los sistemas ATM, la transferencia de datos se realiza mediante conmutación de paquetes de banda ancha. Es un sistema diseñado para combinar las características de los multiplexores por división de tiempo (TDM) con retardo dependiente y de las redes locales con retardo variable.

Veamos que significa esto, recapitulando :

- La conmutación de paquetes en ATM, es la capacidad de enviar un mensaje segmentado en celdas, multiplexado con otras celdas de otros mensajes y situadas en un canal ATM. Las celdas son luego reensambladas, en el extremo receptor.
- En la multiplexación por división de tiempo, se combinan señales separadas en una única transmisión de alta velocidad. La información llega en el mismo orden emitido y en intervalos de tiempo regulares. Todos los paquetes son del mismo tamaño, tanto en bits como en tiempo,
- El retardo variable, se presenta en las redes locales, debido a que cada método de red, podrá utilizar un paquete de tamaño distinto.

Los enlaces ATM son básicamente punto a punto unidireccionales (a diferencia de las LAN que podrán disponer de muchos receptores). Sin embargo, se puede logra la multidifusión haciendo que una célula entre en un conmutador ATM y salga por varias direcciones.

Para ello se puede proveer a los usuarios finales, diferentes clases de servicios:

- Clase A - velocidad de bits constante CBR (Constant Bit Rate), con emulación de circuitos orientados a la conexión.
- Clase B - velocidad de bits variable VBR (Variable Bit Rate), con sincronización de tiempo entre terminales orientados a la conexión.
- Clase C, servicios de datos orientados a la conexión.
- Clase D, servicios de datos sin conexión.

Los servicios de Clase A y B se utilizan en aplicaciones sincrónicas como lo son voz y video, mientras que los servicios de Clase C y D para datos de paquetes, de carácter asincrónico.

En el caso de Clase A, es necesario garantizar en forma estricta el retardo y el ancho de banda.

Las Clases B y C no tienen necesidades tan estrictas, solo es necesario contar con mecanismos de gestión y policía para garantizar una calidad de servicio QoS negociado.

Categoría de los servicios ATM

La red ATM está diseñada para satisfacer el ancho rango de los servicios ofrecidos. La designación de los distintos servicios según ITU-T y el Foro ATM están estandarizados:

CBR - Garantiza una capacidad (velocidad digital) determinada y constante. Es equivalente a una línea dedicada punto a punto, pero con algunas diferencias:

- Las líneas dedicadas son siempre simétricas, los canales virtuales CBR son asimétricos de acuerdo a las necesidades.
- Las líneas dedicadas se contratan a 512 Kb/s ó múltiplos de 2 Mb/s con lo que su eficiencia decrece, los canales CBR se pueden configurar al valor deseado.
- Las líneas dedicadas para pasar de un tipo a otro (de 512 Kb/s a 2 Mb/s), se debe instalar una nueva línea, el caudal de un CBR se modifica en minutos.
- Las líneas dedicadas tienen reservada la capacidad en forma permanente, un CBR se contrata para la hora deseada de forma de obtener la mayor capacidad.

VBR - Este servicio está pensado para una elevada cantidad de tráfico y de forma continua. El usuario especifica un caudal medio, pero podrá cambiarlo.

Tiene dos modalidades rt-VBR con bajo retardo y jitter para aplicaciones de voz, videoconferencia, VoD, etc y el nrt-VBR para cuando se trata de tráfico elevado pero el retardo no es tan importante como para datos.

ABR - El servicio está pensado para tráfico en ráfagas y muy variable. Permite establecer un mínimo garantizado de ancho de banda y fijar un máximo operativo. Con este servicio ATM puede proveer control del flujo al emisor para poder regular el ritmo en caso de congestión.

UBR - Este servicio es el de menor calidad. No existe garantía en cuanto al ancho de banda y al retardo, tampoco se tiene control de flujo. UBR utiliza la capacidad sobrante de las demás categorías de servicio. Se usa para tráfico IP.

DISTINTOS SERVICIOS SEGÚN EL FORO ATM Y LA ITU-T

ATM FORUM	ITU-T	TIPO DE LAS APLICACIONES
CBR Constant Bit Rate	DBR Deterministic Bit Rate	Video y audio
rt-VBR realtime - Variable Bit Rate	Bajo estudio	Video y audio comprimido
nrt-VBR non realtime – Variable Bit Rate	SBR Statistical Bit Rate	Transferencia de archivos
ABR Available Bit Rate	ABR Available BitRate	Control interactivo
UBR Unspecific Bit Rate	---	Tráfico IP

Se podrá evaluar la calidad de aplicación, según la categoría de los servicios ATM:

EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS ATM

	CBR	.rt-VBR	.nrt-VBR	ABR	UBR
Datos	XX	X	XXX	X	0
Interconexión LAN	X	X	XX	XXX	XX
Transporte WAN	X	X	XX	XXX	XX
Circuitos	XXX	XX	0	0	0
Telefonía, video conferencia	XXX	00	00	0	0
Audio comprimido	X	XXX	XX	XX	X
Distribución de video	XXX	XXX	X	0	0
Multimedia interactiva	XXX	XXX	XX	XX	X

X Óptimo, **XX** Bueno, **XXX** Regular, **0** No conveniente, **00** Bajo revisión

Conmutación ATM

Una red ATM consiste en la integración de un conjunto de enlaces ATM conectados mediante conmutación ATM. Los conmutadores ATM permiten minimizar los tiempos de procesamiento requeridos para la interconexión. Sirve a la vinculación de redes Ethernet, Token Ring, Frame Relay o FDDI. ATM define la conmutación en dos niveles jerárquicos.

1) - Conmutación de canal virtual VC (Virtual Channel).

2) - Conmutación de trayecto virtual VP (Virtual Path).

El concepto de Canal virtual (VC) describe un transporte unidireccional de celdas ATM asociadas por un único Identificador de canal común (VCI).

El concepto de Trayecto virtual (VP) describe un transporte unidireccional de celdas, de varios Canales virtuales (VC) que están asociados por un Identificador de trayecto virtual (VPI) común.

Es decir, un enlace de transmisión físico puede transportar varios Trayectos Virtuales (VP), los cuales a su vez pueden incluir varios Canales Virtuales (VC).

Los VP y VC, son respectivamente identificados en los enlaces de transmisión con el VCI (Virtual Channel Identifier) y el VPI (Virtual Channel Identifier) (Figs. 48a y 48b).

En capa ATM, podremos disponer de conmutación VP o conmutación VC.

La celda navega a través de la red utilizando la información dada en el VPI /VCI. Esta información es aplicada, solo a la sección de la conexión en cada caso. El identificador de canal virtual VCI, es asignado por el conmutador central y juntamente con el identificador de trayecto virtual VPI, identifica todas las celdas pertenecientes a una conexión en particular.

Cuando una conexión es establecida, el valor de VCI se hace disponible para su uso en red. El valor de VPI permite reunir juntos a los canales. El distribuidor digital (cross connects) ATM, puede cambiar el VPI y de ese modo llevar a cabo un grado de selección. La conmutación de la celda es mantenida exclusivamente por los conmutadores ATM, según las informaciones del direccionamiento (Fig. 49).

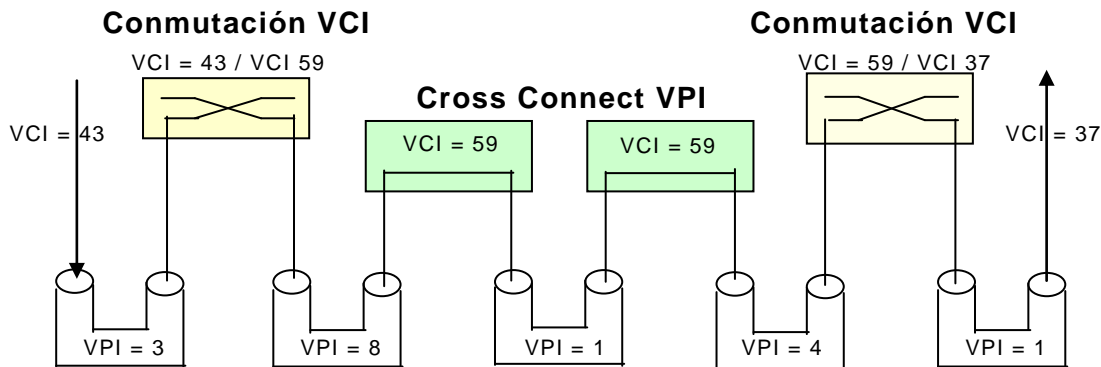


Fig. 49 – Ejemplo de un trayecto virtual en conmutación ATM

A. 3. 7. 8. Sistema Portador 56 Conmutado

Los sistemas 56 conmutado, son empleados en USA por empresas que brindan acceso digital urbano y servicios de larga distancia. También suele vincular distintas LAN. Este sistema se utiliza en líneas bajo demanda.

Cada equipo que utilice este sistema deberá estar dotado con una, unidad de servicio de canal / unidad de servicio de datos CSU /DSU (Channel Service Unit /Datos Service Unit, que pueda invocar otro equipo que emplee el mismo sistema. Dado que no se puede obtener esta velocidad, a menos que los extremos, lado usuario y lado proveedor, sean compatibles, se ha creado en USA el foro, denominado Open 56K Forum, con la finalidad de implementar los módem analógicos a 56 Kb/s y salvar este inconveniente.

Mientras que los módem PCM de 64 Kb/s trabajan con una codificación de 8 bits /muestra sobre 8000 muestras /segundo, los módem de 56 Kb/s operan con 7 bit /muestra x 8000 muestras /seg.

Los módem de 56 Kb/s nominales, realmente proveen esta velocidad en una línea óptima y con bajo tráfico, en la práctica se llega con suerte a 46 Kb/s. Por otra parte, esta velocidad se refiere solamente al sentido downstream o sea corriente abajo desde la central al usuario, en el sentido upstream, se tiene nominalmente una velocidad de 33.6 Kb/s.

A. 3. 7. 9. Otros sistemas portadores

Si analizamos las redes interurbanas e internacionales constituidas por cables coaxiales, radioenlaces de microondas y los más recientes enlaces de fibras ópticas, distinguiremos muy altos valores de velocidades y capacidades en canales. Cada sistema dispone de normas de transmisión específicos. Los mismos se renuevan e incrementan constantemente de acuerdo a la paulatina evolución de la tecnología.

SISTEMAS DE CABLE COAXIAL

AÑO	SISTEMA	CANALES X TUBO	VELOCIDAD	CANALES TOTALES
1946	L1	600	115 Mb/s	1800
1953	L3	1860	595 Mb/s	9300
1967	L4	3600	2 Gb/s	32400
1974	L5	10800	6 Gb/s	108000
1978	L5E	13200	8 Gb/s	132000

RADIOENLACES DE MICROONDAS

AÑO	SISTEMA	CANALES
1950	TD-2	2400
1959	TD-2	6000
1967	TD-3	9000
1968	TD-3	12000
1973	TD-3 ^a	16500
1979	TD-3D	19899
1981	AR-6 ^a	42000

En los sistemas de fibra óptica se disponen de velocidades de 10 Gb/s obteniendo 148500 canales. En la actualidad, con sistemas SONET, OC-768 y en SDH, STM-256 se alcanza velocidades de 42.5 Gb/s, por fibra óptica.

A. 3. 8. Sistemas de transporte

Las redes de datos se diferencian en Canales de Servicio de Datos, como ser las líneas privadas directas, o por su conformación en redes según su extensión geográfica, de área local LAN, de áreas metropolitanas MAN o de área amplia WAN. Además, se podrán distinguir por los servicios de datos que ellas brindan los sistemas X.25, Frame Relay o ATM y por las técnicas de transporte interredes que utilizan FDDI, SONET /SDH, WDM o DWDM.

Las técnicas más empleados para el transporte de información entre redes son el FDDI, ATM, SONET /SDH, WDM o DWDM, usadas como troncales (backbone) de alta capacidad para conforman las grandes redes.

Estos sistemas emplean tecnología y protocolos para el manejo de los paquetes de datos y de su conmutación, que permiten ofrecer la velocidad y el ancho de banda que necesitan estos enlaces. La formación de las MAN y WAN y en el caso de FDDI y ATM también permite solventar los accesos que utilizan las respectivas redes LAN.

A. 3. 8. 1. Interfaz para datos distribuidos por fibra FDDI

El interfaz para datos distribuidos por fibra FDDI (Fiber Distributed Data Interface), fue definido inicialmente por el comité ANSI en 1982 y puesto en el mercado en 1986. Se normalizó como estándar internacional OSI 314. Trabaja en el subnivel MAC del estándar OSI, para el subnivel LLC utiliza el estándar IEEE 802.2.

Provee las transmisiones en redes troncales de fibra óptica, mediante la transmisión por conmutación de paquetes en alta velocidad. Trabaja en anillo con la tecnología paso de testigo.

Posibilita la vinculación troncal, como backbone, de varias LAN, aunque en principio es una LAN del tipo Token Ring de alto desempeño. Opera en los 100 Mb/s, con distancias de hasta 200 Km y con hasta 1000 estaciones conectadas, al igual que cualquier LAN 802, pero con un gran ancho de banda. Se utiliza la codificación 4B5B con 14 MegaBaud.

Con esta codificación 4B5B se ahorra ancho de banda, pero se pierde la característica de autosincronismo de la codificación Manchester. Para lograr el sincronismo se introduce 16 símbolos (Baud), correspondiéndole 90 bits, al inicio de la trama o del token. La longitud máxima del campo de datos de las tramas es de 4500 Byte.

La norma FDDI difiere respecto al Modelo OSI, en lo que respecta a la estructura de Capa 1 y Capa 2. En Capa 1 se especifican dos subcapas, la subcapa Física (PHY) y la subcapa Dependiente del Medio PMD. En la Capa 2, se constituyen otras dos subcapas, la inferior MAC y la superior LLC. Mientras que las capas superiores, no presentan variaciones (Fig. 50).

La técnica FDDI es utilizada primariamente para interconexiones serie de varias LAN pequeñas y lentas, tales como Ethernet de 10 Mb/s o Token Ring de 4 Mb/s, permitiéndoles disponer de un vínculo de gran ancho de banda. Emplea dos fibras ópticas, en topología en anillo, con un token viajando por cada anillo en sentido opuesto. Se constituye en red de doble anillo de fibra óptica para neutralizar fallas, incrementando su seguridad.

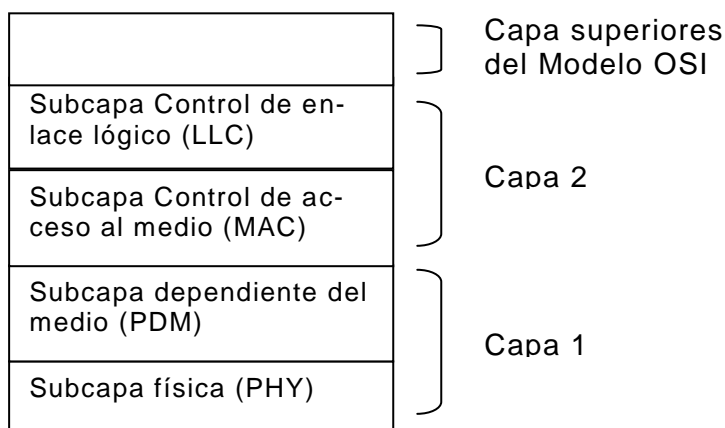


Fig. 50 - Modelo en capas FDDI

Generalmente se utiliza para redes con aplicaciones tales como diseño asistido por computadora CAD (Computer Aided Design) o fabricación asistida por computadora CAM (Computer Aided Manufacture) que requieren altas velocidades de datos y gran ancho de banda. Permite transmisión de datos sincrónica y asincrónica en tráficos restringidos.

Al diseñarse con separaciones entre estaciones de hasta 2 Km, hasta un trayecto de 200 Km por fibra, con hasta 1000 estaciones, se emplean para configurar las MAN y no las WAN. Según su longitud de los anillos puede emplear fibra óptica multimodo y diodos emisores de luz LED (Light Emmiting Diodes). Como se verá mas adelante, pueden trabajar como redes de cobre donde toman el nombre de CDDI.

Este sistema permite dos tipos de configuraciones de trabajo, Clase A y Clase B. En la configuración Clase A también llamada, estación de conexión dual DAS (Dual Attach Station) las estaciones se conectan a dos anillos, primarios y secundarios, mientras que en la configuración de Clase B, estación de conexión simple SAS (Single Attach Station), se vinculan a un anillo único.

En el caso de Clase A, un anillo transmite en sentido horario y el otro anillo en sentido contrario. Si se rompe cualquiera de los anillos, se usa el otro como respaldo. Si se rompen los dos en un cierto lugar, pueden unirse los dos formando un solo anillo, del doble de longitud.

Para ello cada estación contiene relevadores (relays) que sirven para efectuar un puente que salte el tramo o una de las estaciones, según el lugar del daño. Con la segunda fibra utilizada para reconfigurar la red en caso de fallas, no se podrá constituir mas de 500 equipos y 100 Km de cable.

En el caso B de redes con topología en anillo único, se forman circunferencias con longitudes de hasta 200 Km (Fig. 51).

Con estos sistemas, se obtiene una tasa de error en BER (Bit Error Rate) de carácter global, inferior a 10^{-9} . Por definición, la tasa de error BER cuenta los errores en bits, acaecidos en un segundo, en un equipo o sistema dado.

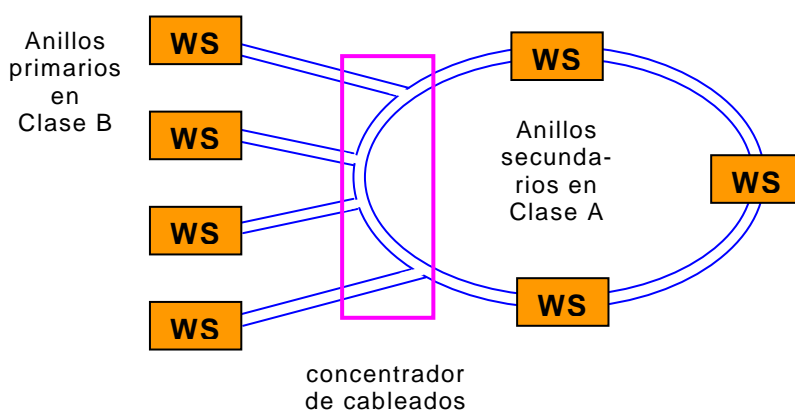


Fig. 51 - Conexión FDDI, Clase A (dos anillos) y Clase B (un anillo)

Para lograr una alta confiabilidad se pueden emplear concentradores en conformación estrella, para aislar y corregir fallas. El concentrador maneja tanto anillos de Clase A como anillos de Clase B (Fig. 52a). En caso de falla, según el caso, reconfigura automáticamente la red en conformación de un anillo. Las fallas podrán producirse en un enlace (Fig. 52b), o en una estación (Fig. 52c).

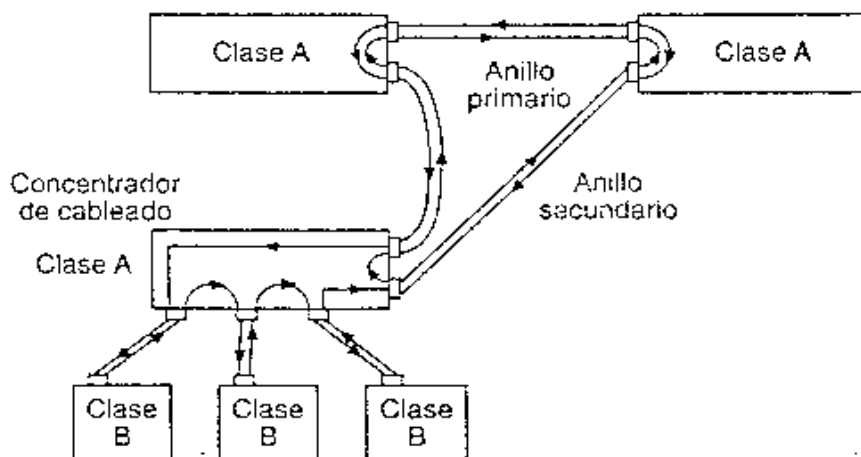


Fig. 52a - Configuración lógica anillo mediante concentrador

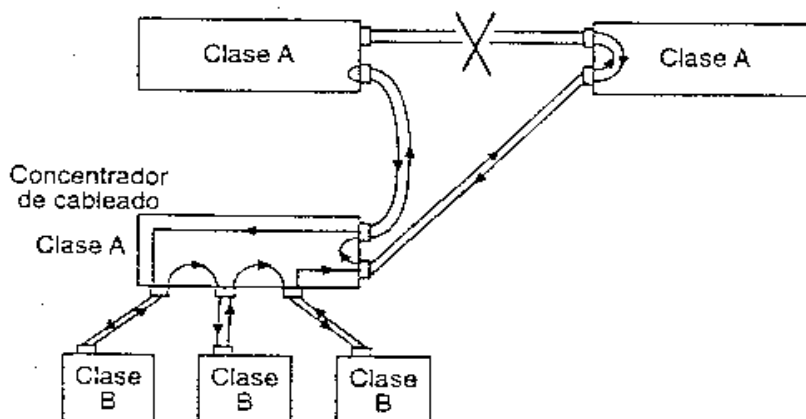


Fig. 52b - Reconfiguración por falla entre LAN

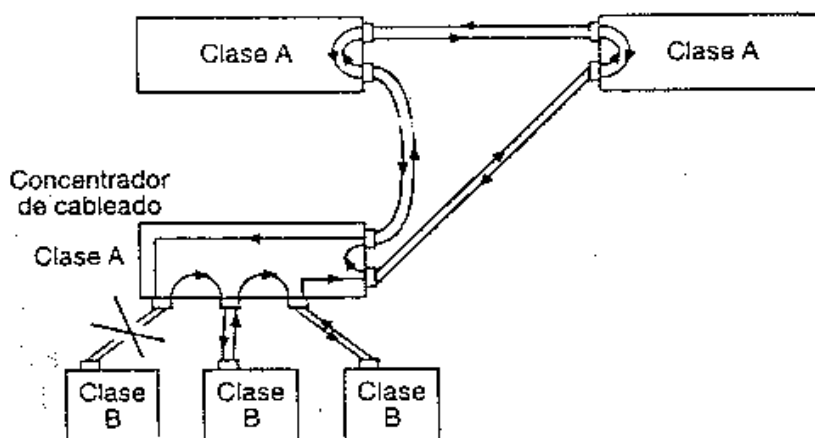


Fig. 52c - Reconfiguración por falla en una estación

Funcionamiento del Método de Acceso al Medio

Veamos el funcionamiento, Paso de Testigo (Token Passing), que en este sistema tiene cierta característica particular (Fig. 53).

- (1) Mientras que ninguna estación está transmitiendo, el testigo (token) circula por el anillo. Cuando una estación A desea transmitir datos espera el paso del testigo, el cual es un pequeño paquete de control.
- (2) Al detectar su paso, A retira el token del anillo y emite la trama de datos T_1 hacia la estación C.
- (3) La estación A añade el token al final de esta transmisión, para que sea utilizado por otra estación.
- (4) La estación destinataria C copia esta trama T_1 .
- (5) La estación C continúa copiando la trama de datos T_1 que circula aún por el anillo. Al finalizar la trama de datos, la estación C emite hacia la estación A aviso de su correcta recepción. Otra estación B que desea transmitir otro mensaje T_2 hacia la estación D, captura el token y comienza la transmisión del T_2 .
- (6) La estación B emite el token al final de la transmisión. La estación D copia el mensaje T_2 direccionado a él. La estación A absorbe T_1 .

- (7) La estación A deja pasar T_2 y el token. La estación B absorbe T_2 .
- (8) La estación B deja pasar el token para ser utilizado por otra máquina que desee transmitir.

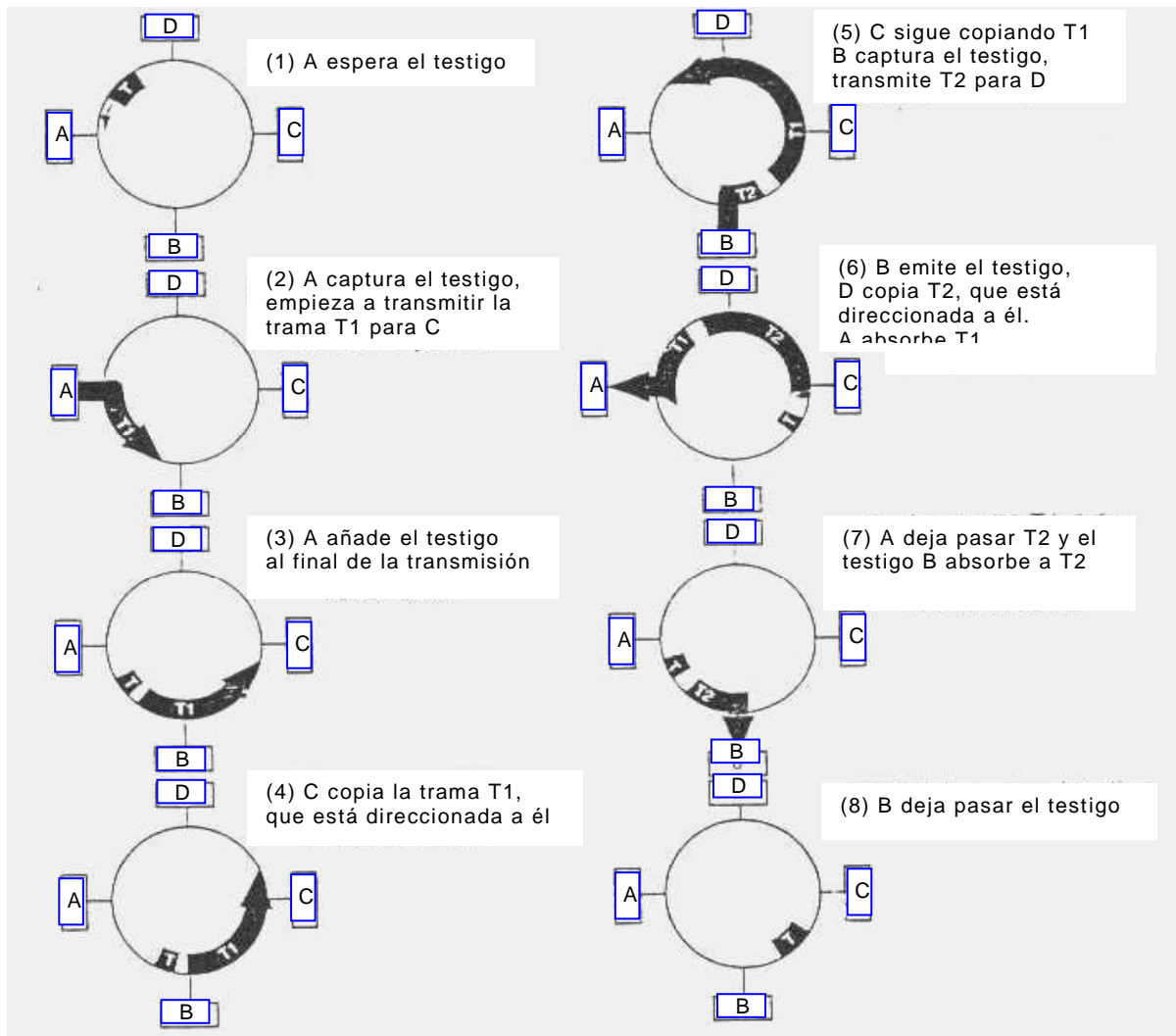


Fig. 53 - Marcha de la transmisión de paquetes

En caso de falla, el equipo que detecta esta falla emite una señal llamada de balizamiento, la que continuará hasta que el problema se haya resuelto.

Un equipo puede transmitir por una red FDDI tantas tramas como pueda producir dentro del tiempo predeterminado, antes de liberar el testigo.

En una red FDDI con 1000 estaciones y una longitud de 200 Km, podrían ser esenciales el tiempo perdido esperando que el token recorra todo el anillo. En consecuencia su diferencia al estándar Token Ring. La diferenciación respecto al estándar Token Ring (IEEE 802.5) es que, en FDDI tan pronto como el equipo ha transmitido libera el testigo, el que puede ser tomado por otro equipo y a su vez transmitir otro mensaje con otro token, al contrario del Token Ring que solo se permite la circulación de una trama por vez.

Las redes con FDDI, procesan el tráfico de multimedios sensibles al tiempo, en forma aceptable, pero solo si el tráfico asíncrono es restringido. Esto es debido a que estas redes no tienen características de priorización, por lo cual el tráfico isócrono (voz o video), sufrirá retardos inaceptables a medida que el tráfico aumenta.

Veamos variantes del FDDI que tratan de superar estas limitaciones.

FDDI II

Una variante del FDDI es el llamado FDDI II, el cual provee un esquema de prioridades, necesario para diferenciar al tráfico asíncrono de datos, del tráfico isócrono de voz o video, es decir sensible al retardo en tiempo real. Esto se logra, al otorgar una cierta proporción de ancho de banda dedicada, a las aplicaciones sensibles al tiempo y creando una trama especial denominada trama síncrona, que se emite cada 125 mseg por una computadora maestra.

El FDDI II, puede procesar tanto el tráfico sincrónico como el asincrónico según el valor de la demanda. Permite manejar canales asincrónicos para voz digitalizada, y video comprimido en tiempo real, y canales sincrónicos de circuitos conmutados de tráfico ISDN. El FDDI II ofrece un menor retardo para aplicaciones multimedia, está basado en la multiplexación del ancho de banda de 100 Mb/s en 16 canales.

CDDI

Aunque el sistema FDDI esta definido para su uso con fibras ópticas, también podrá utilizar conductores de cobre. En ese caso el sistema se conoce como, interfaz de datos distribuidos por cobre CDDI (Copper Distributed Data Interface) y emplean los cables UTP de Categoría 5. Estas redes están notablemente limitadas en sus longitudes. En este caso, se utiliza una topología similar a la 10BaseT, con distancias de 100 m entre las conmutadoras y el concentrador.

A. 3. 8. 2. Multiplexación óptica PDH y SONET /SDH

El sistemas de multiplexación de jerarquía plesiócrona PDH (Pleisocronous Digital Herarchy), provee la transmisión de datos a T0 (64 Kb/s) y los niveles T1 (1.544 Mb/s) y T3 (44.736 Mb/s) en USA ó E1 (2.048 Mb/s) y E3 (34.368 Mb/s) en Europa.

Por otra parte la, red óptica sincrónica SONET (Synchronous Optical Network) desarrollada en USA, y la denominada de jerarquía digital sincrónica SDH (Synchronous Digital Hierarchy), normalizada por la ITU, contemplan niveles superiores con velocidades muy elevadas. Sin embargo habitualmente no se utilizan para redes de computadoras mayores velocidades que T3 ó E3.

El sistema PDH fue desarrollado a principios de la década de 1960, por AT&T de USA, mas tarde en Europa la UIT-T diseñó otro sistema pero con una multiplexación incompatible con la de USA. Por su parte Japón decidió seguir la versión de USA, para hasta el nivel 2, J2 = T2 de 6.312 Mb/s, pero creó una nueva a partir del nivel 3 el J3 de 32.064 Mb/s. Luego, hubo tres sistemas PDH incompatibles entre ellos. En consecuencia, se debían emplear costosos adaptadores, en cuanto se quisiesen interconectar.

Además, el sistema PDH por su época de diseño contempló básicamente sistemas de microondas y de coaxiales pero no de fibra óptica. Por otra parte, el echo de constituir una transmisión plesiócrona, al emplear múltiples relojes en la jerarquía 2 y superiores, impide extraer directamente canales a esas velocidades, requiriendo ser demultiplexado previamente. Para resolver estos problemas, Bellcore como división de investigación de las RBOC de USA, propuso en 1987 a la entonces CCITT (actual ITU-T). Mientras que el ANSI de USA, en 1988, estandarizo el sistema distinguido como SONET.

Ante las divergencias entre los sistemas desarrollados, se convino internacionalmente, en que la velocidad básica fuese en 51 840 Mb/s, a la que se la denominó, portadora óptica nivel 1 OC-1 (Optical Carrier- level 1), para la interfaz óptica y señal de transferencia sincrónica de nivel 1 STS-1 (Synchronous Transfer Signal 1) para la interfaz eléctrica.

Los valores superiores, son velocidades múltiples de ésta y se denominar respectivamente, OC-n y STS-n, con n valor múltiplo.

El CCITT finalmente la normalizó internacionalmente en su Libro Azul (1986-1989), donde se define como Jerarquía Digital Sincrónica JDH (G.707, G.708 y G.709), pero es conocida por las siglas inglesas SDH.

El estándar internacional SDH, utiliza el nivel OC-3 de 155 520 Mb/s como velocidad fundamental, denominándola como STM-1 (Synchronous Transfer Module 1), con las STM de velocidades múltiplo superiores. La red de transporte de telecomunicaciones (RTT) normalizada por la ITU-T (G.803), utiliza la SDH disgregándola en las capas:

- Circuito (red conmutada de circuitos a 64 Kb/s, de paquetes, de líneas dedicadas).
- Trayecto (transporte de información entre equipos sincrónicos distantes).
- Transmisión (señales de red).

Los beneficios que proveen SONET/ SDH a la red son:

- 1) Alta velocidad de transmisión. Las velocidades por sobre 10 Gb/s son estandarizadas en SONET/ SDH, como las técnicas mas indicadas para líneas troncales, las que podremos considerar como super autopistas de las redes de telecomunicaciones del presente.
- 2) Simplicidad para agregar y extraer funciones. Comparado con los sistemas anteriores, es mucho más simple de extraer o insertar canales de baja velocidad digital, desde o dentro de un canal de alta velocidad de tramas del sistema SONET / SDH. Para ello no es necesario demultiplexar y multiplexar la estructura completa, una costosa y compleja operación.
- 3) Alta disponibilidad y capacidad comparativa. Con SONET/ SDH los proveedores de red pueden reaccionar fácilmente y rápidamente, a los requerimientos del cliente. Por ejemplo, las líneas alquiladas podrán ser conmutadas en minutos. El proveedor de red puede utilizar elementos de red estandarizadas, que pueden ser controladas y monitoreadas desde la central por medio de un administrador de red TMN (Telecommunications Management Network).
- 4) Confiabledad. Las modernas redes SONET /SDH, incluyen varios respaldos y mecanismos de reparación automáticos, que hacer frente a las faltas sistemáticas. La falla de un enlace o un elemento de red, no conduce a la falta total de la red, que podría ser un desastre para el proveedor de red. Estos respaldos de las conexiones, están también monitoreadas por un sistema de administración.
- 5) Plataforma para pruebas de futuros nuevos servicios. De hecho, SONET /SDH es la plataforma ideal para servicios, desde POTS, ISDN a radio móvil, a través de redes de datos (LAN, WAN) y permite mantener nuevas servicios tales como, video sobre demanda y video digital, vía ATM.
- 6) Interconexión. SONET /SDH hace mucho más fácil mantener el vínculo entre diferentes proveedores de red y entre ellos mismos. Las interfaces SONET /SDH están estandarizadas globalmente, haciendo posible combinar elementos de red, de diferentes fabricantes dentro de una misma red. El resultado es una reducción de costos de equipos, comparado con los anteriores a SONET /SDH.

Proceso de la Jerarquía Digital Sincrónica SDH

La jerarquía digital sincrónica SDH, está orientada a la red (con procesamiento digital abierto e interconexión de sistemas abiertos), mientras que la jerarquía digital plesiócroma PDH está orientada hacia los equipos.

En proceso plesiócrona, el sistema utiliza en cada central relojes de alta precisión, trabajando en forma independiente, mientras que en la operación sincrónica se basa en la utilización de un único reloj maestro de alta precisión, para toda la red.

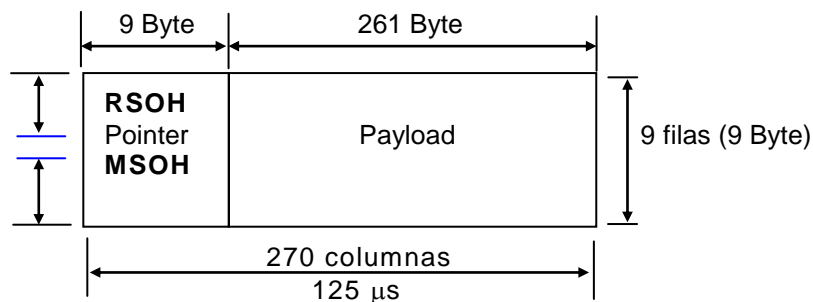
El proceso SDH, está basado en ajustes dinámicos dados por la misma trama. Las tramas disponen en su comienzo de los llamados punteros de trama (tara de transporte), los que permiten mantener el nivel nominal de almacenamiento en las memorias.

El ajuste podrá ser positivo o negativo, insertando un bit de relleno para efectuar el saltado una ranura de tiempo de información. Se produce así su adelanto o su retraso. De tal forma se podrá operar en modo sincrónico, en medios plesiócronicos existentes, pudiendo así efectuar comunicaciones internacionales.

Estructura de las tramas

La trama SDH con una velocidad de 155.52 Mb/s es definida por la Recomendación G.707 del ITU-T. Esta trama, llamada STM-1 (Synchronous Transport Module), es el primer nivel de la jerarquía digital sincrónica SDH. Está constituida por una matriz de Byte de 9 filas y 270 columnas.

La transmisión es efectuada pasando fila por fila, comenzando desde arriba a la izquierda, en un tiempo de 125 μ s. Cada Byte en su capacidad de transporte, como carga útil (payload), representa un canal de 64 Kb/s. La trama STM-1 es capaz de transportar una señal tributaria PDH de hasta 140 Mb/s (Fig. 54).



RSOH	Regenerator Section Overhead (cabecera sección regenerador - transporte)
Pointer	Puntero
MSOH	Multiplex Section Overhead (cabecera sección múltiplex - trayecto)
Payload	Carga útil

Fig. 54 – Trama STM-1 de SDH

El canal básico de SONET se denomina, señal sincrónica de transporte 1 STS-1 (Synchronous Transport Signal - 1) y tiene una tasa de 51.840 Mb/s. El formato de la trama SONET, consiste en 9 filas, de 90 columnas de 1 Byte c/u, con 8 bits por Byte, un total de 810 Byte y 6480 bits, transmitidos cada 125 μ s para formar una señal de 51.840 Mb/s (Fig. 55).

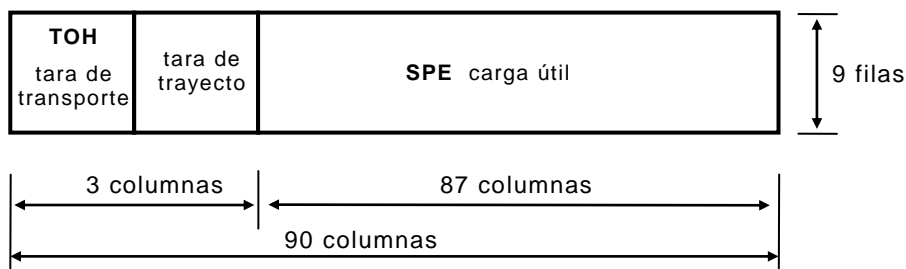


Fig. 55 - Trama STS-1 de SONET

La funcionalidad de SONET se obtiene definiendo la señal básica STS-1 y múltiples N de ésta, con N entre 1 y 255. Actualmente N está definido como 1, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 192. Por ejemplo STS-3 a 155.52 Mb/s y STS-12 a 622.08 Mb/s

En SONET, la portadora óptica OC-N (Optical Carrier), se corresponde a cada portadora eléctrica STS-N. Mientras que la normalización de las velocidades de SDH, con los módulos de transporte STM (Synchronous Transport Module), se corresponden solo para algunos niveles ópticos:

La jerarquía digital sincrónica SDH, está orientada a la red (con procesamiento digital abierto e interconexión de sistemas abiertos), mientras que la jerarquía digital plesiócrona PDH está orientada hacia los equipos.

En proceso plesiócrona, el sistema utiliza en cada central relojes de alta precisión, trabajando en forma independiente, mientras que en la operación sincrónica se basa en la utilización de un único reloj maestro de alta precisión, para toda la red.

El proceso SDH, está basado en ajustes dinámicos dados por la misma trama. Las tramas disponen en su comienzo de los llamados punteros de trama (tara de transporte), los que permiten mantener el nivel nominal de almacenamiento en las memorias.

El ajuste podrá ser positivo o negativo, insertando un bit de relleno para efectuar el saltado una ranura de tiempo de información. Se produce así su adelanto o su retraso. De tal forma se podrá operar en modo sincrónico, en medios plesiócronicos existentes, pudiendo así efectuar comunicaciones internacionales.

CANTIDAD DE CANALES PARA UN SISTEMA SDH

DESIGNACIÓN	BIT RATE	CANALES (POTS)
STM-0	51.840 Mb/s	672
STM-1	155.520 Mb/s	1 920
STM-4	622.080 Mb/s	7 680
STM-8	1244.160 Mb/s	15 360
STM-16	2488.320 Mb/s	30 720
STM-64	9953.280 Mb/s	122 880

CANTIDAD DE CANALES EN UN SISTEMA SONET

Eléctrico	Óptico	BIT RATE	CANALES (POTS)
STS-1	OC-1	51.840 Mb/s	672
STS-3	OC-3	155.520 Mb/s	2 016
STS-9	OC-9	466.560 Mb/s	6 048
STS-12	OC-12	622.080 Mb/s	8 064
STS-18	OC-18	933.120 Mb/s	12 096
STS-24	OC-24	1244.160 Mb/s	16 128
STS-36	OC-36	1866.240 Mb/s	24 192
STS-48	OC-48	2488.320 Mb/s	32 256
STS-192	OC-192	9953.280 Mb/s	129 024

EQUIVALENCIAS DE NORMAS SONET / SDH

VELOCIDAD BINARIA	SONET	SDH
51.840 Mb/s	STS-1	STM-0
155.520 Mb/s	STS-3	STM-1
466.560 Mb/s	STS-9	--
622.080 Mb/s	STS-12	STM-4
933.120 Mb/s	STS-18	--
1.244 160 Gb/s	STS-24	STM-8
1.866 240 Gb/s	STS-36	STM-12
2.488 320 Gb/s	STS-48	STM-16
9.953 280 Gb/s	STS-192	STM-64

De las tablas se puede observar que en SONET, para STS-3 y OC-3, y en SDH, para STM-1, se transmite a 155 Mb/s, que es la velocidad de ATM.

Mediante cables con pares trenzados no blindados, UTP, en redes limitadas a 100 m, se obtienen velocidades de hasta 155 Mb/s. Mientras que el sistema SDH, permite la transmisión por fibra óptica a velocidades desde 622 Mb/s hasta 10 Gb/s

Modelo SONET/ SDH

La tecnología SONET/ SDH, se puede representar según un modelo en capas, las que están directamente relacionadas a su topología de red. Cada capa tiene su propia información de encabezado (Fig. 56).

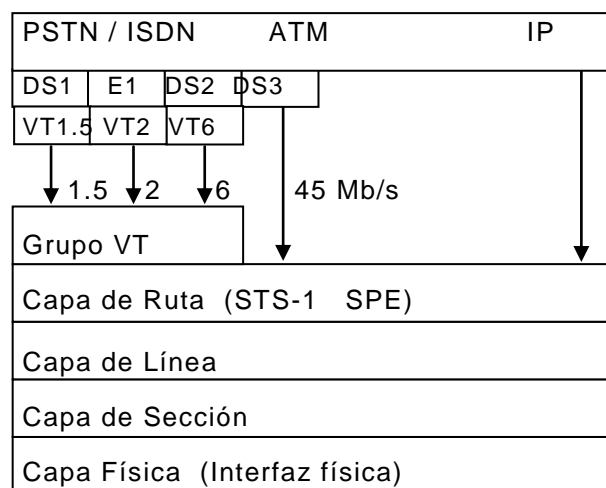


Fig. 56 – Modelo SONET en capas

En SONET /SDH, la capa inferior es la Capa Física y representa el medio de transmisión que generalmente es un enlace de fibra, eventualmente podrá ser un enlace por radio o satélite y la Capa de Sección es la ruta entre regeneradores. Parte del encabezado SOH (Section Overhead), es disponible para la señalización requerida dentro de esta capa.

La Capa de Línea cubre la parte del enlace SONET entre multiplexores. El resto del encabezamiento LOH (Line Overhead) es usado para las necesidades de esta capa de línea.

La Capa de Ruta cubre el enlace de la red SONET, desde donde entran las señales digitales asíncronas y hasta donde estas señales salen de la red SONET.

El módulo de transporte de los datos del usuario, llamado Envoltura de carga útil sincrónica SPE (Synchronous Payload Envelope) está diseñado para portar su carga útil de información. Tal carga útil puede estar constituida por distintos tipos de señales, cada uno con un particular mapeado. El módulo de encabezado es TOH (Transport Overhead).

Se distingue con la palabra mapear (mapping) al proceso, realizado generalmente en un interfaz, de acomodar las celdas en las tramas correspondientes

Las tres capas tributarias virtuales VT (Virtual Tributary), representan una parte del proceso de mapeado. El mapeado de las señales tributarias, como ser PDH o ATM, son adaptadas a los módulos de transporte SONET. El mapeado DS3 es usado para señales de 45 Mb/s ó ATM, el mapeado VT2 para 2 Mb/s y el mapeado VT1.5 para señales de 1.5 Mb/s.

Hay otras posibilidades para redes de transporte SONET, tales como ATM, IP o ISDN que pueden ser mapeados dentro del módulo de transporte SPE

Topologías del sistema SONET

Un sistema SONET/ SDH está formado por un conjunto de conmutadores, multiplexores y repetidores, todos interconectados por fibra óptica. La fibra que une a cualquiera de los equipos nombrados, se le denomina "Sección", a la unión de dos multiplexores contiguos, posiblemente a través de repetidores, se le denomina "Línea" y al camino completo de comunicación entre multiplexores finales, atravesando varios repetidores y multiplexores intermedios, se le denomina "Ruta" (Fig. 57).

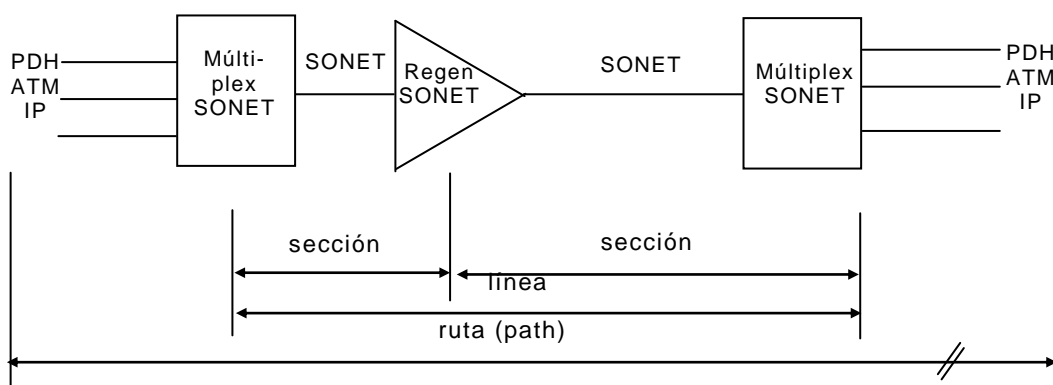


Fig. 57 – Secciones de enrutamiento SONET

Si se quieren vincular dos computadoras mediante un STM-1, los conectamos a dos multiplexores SDH, llamados ADM (Add Drop Multiplexor), que a su vez están conectados mediante dos fibras, una en cada sentido. De acuerdo con la distancia entre los multiplexores finales, se podrán usar repetidores. Se podrán vincular de esta forma varios multiplexores en forma de anillo. Los datos viajan siempre en un solo sentido.

Se podrá usar sistemas WDM, que logran los dos sentidos por una misma fibra, sin embargo es conveniente emplear dos fibras, permitiendo la reconfiguración del sistema en caso de rotura de una o de ambas fibras. La conmutación se realiza en un proceso automático de 60 mseg (el tiempo que tarda un parpadeo es de 100 mseg). También se pueden disponer topologías complejas en estructura mallada.

Virtualmente todo el tráfico de larga distancia de USA esta cursado mediante SONET. El objetivo primordial de SONET /SDH es proveer un estándar único para conectar distintas redes con diferentes técnicas de TDM óptico.

La topología SONET/ SDH, es normalmente un doble anillo de fibra óptica (anillo dual), aunque su topología puede ser del tipo malla. Un diagrama esquemático de estructura en anillo SONET dispone de varias salidas tributarias, con la posibilidad de mezclar diferentes aplicaciones, cualidad típica del sistema SONET. La red sincrónica debe ser capaz de transmitir señales plesiócronas y al mismo tiempo ser capaz de mantener servicios futuros en ATM.

La comunicación SONET/ SDH es siempre full dúplex y simétrica. El SONET/ SDH es un sistema TDM, con uso de todo el ancho de banda de una fibra óptica dedicada a un canal que contuviese todos los segmentos de tiempo para los distintos subcanales.

Elementos de la red SONET /SDH

Las redes SONET/SDH se integran básicamente por los siguientes elementos (Fig. 58):

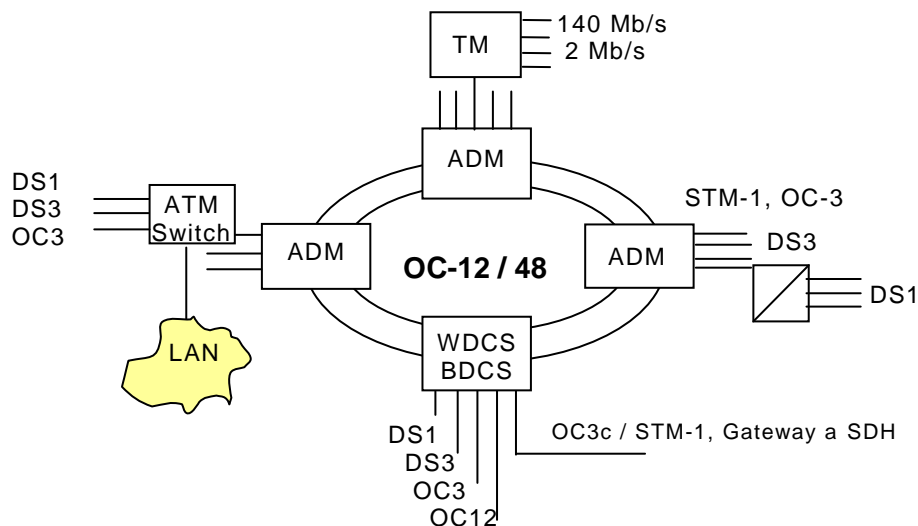


Fig. 58 – Diagrama esquemático de una red SONET híbrida

La red SONET /SDH está básicamente construida por elementos de red tales como:

- R - Regenerador
- TM - Multiplexor terminal con entrada de alta velocidad digital
- ADM - Multiplexor de inserción y extracción de canales tributarios
- DXC - Distribuidor digital (Cross Connect)
- WDCS - Distr. baja canales OC-N, STS-1, DS-1 y DS-3 y conmuta hasta DS-1
- BDCS - Distr. de banda ancha. Conmuta señales a DS-3, STS-1 y STS-Nc, y contiene interfaces OC-N, STS-1, DS-3, DS-1 y ATM

De estos elementos, podremos puntualizar sus funciones y características primordiales

Los regeneradores (R), como su nombre lo indica tienen la tarea de regenerar la señal de reloj (clock) y la relación de amplitud, de las señales de datos de entrada, que han sido atenuados y distorsionados por dispersión (Fig. 59).

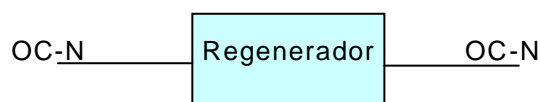


Fig. 59 - Regenerador digital

Los terminales multiplexores (TM) son utilizados para combinar las señales de entrada plesiócronicas y sincrónicas, dentro de la alta velocidad digital STM-N, con N=1, 4, 16 ó 64 (Fig. 60).

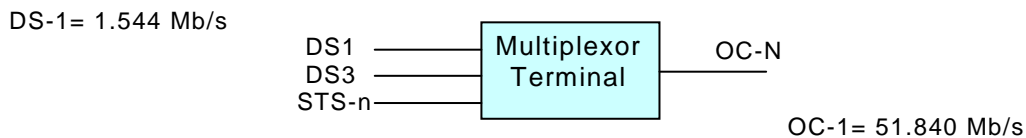


Fig. 60 - Terminal multiplexor

Los multiplexores de inserción y extracción de canales tributarios ADM. Las señales digitales plesiócronicas y las bajas velocidades sincrónicas pueden ser extraídas desde o insertadas dentro, de la alta velocidad de tramas SONET/SDH, por medio de los llamado múltiplexor inserción /extracción ADM (Add/Drop Multiplexer), mientras el tráfico del backbone no es afectado.

Esta característica hace posible establecer estructuras en anillo, que tienen la ventaja que automáticamente conmuta a un camino de respaldo, utilizando otros anillos, en el evento de una falla. Esto posibilita la protección del ancho de banda del anillo (Fig. 61).

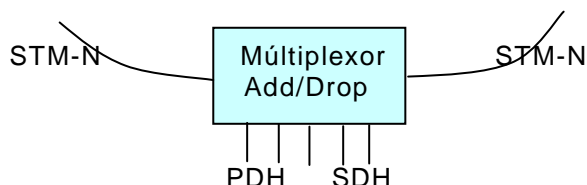


Fig. 61 - Multiplexor de inserción y extracción de canales, ADM

Distribuidor digital de banda ancha (W-DCS). Este elemento de red, tiene un amplio rango de funciones. El W-DCS (Wideband Digital Cross Connect), puede bajar contenidos desde una señal OC-N. La señal recibida puede ser conectada desde cualquier puerto de entrada a cualquier puerto de salida, y a diferentes niveles aún con señales asincrónicas. Un W-DSC acepta señales OC-N, STS-1, DS-1, tanto como DS-3. La conmutación se realiza a DS-1 en USA y VT 1.5 en EU (Fig. 62).

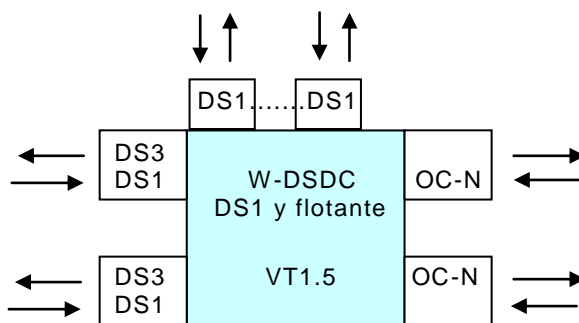


Fig. 62 Distribuidor digital de banda ancha, W-DCS

Distribuidor digital de banda muy ancha (B-DCS). El B-DCS (Broadband Digital Cross Connect) tiene mayor capacidad de operación comparado con el W-DCS puede conmutar a niveles de DS-3, STS-1 y STS-Nc.

Tiene interfaces tales como OC-N, STS-1, DS-1, DS-3 y ATM (Fig. 63).

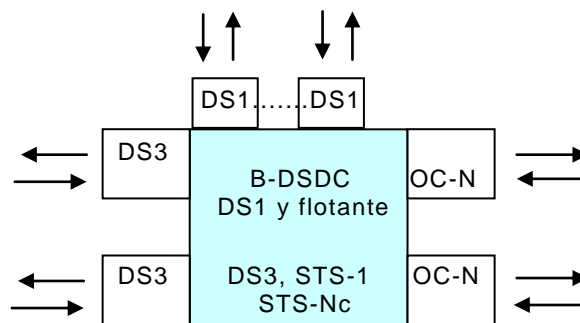


Fig. 63 - Distribuidor digital de banda muy ancha, B-DCS

El sistema SONET proporciona la flexibilidad necesaria para su utilización como nivel de transporte para celdas B-ISDN / ATM. Red pública ISDN, que corresponde al estándar ATM de la ITU.

Por su parte la TDM ha partido del OC-1 (51.840 Mb/s) de SONET, alcanzando hasta OC-192 (10 Gb/s). Entonces para altos valores de tráfico, la opción es utilizar una capacidad de 10 Gb/s, por un par de fibras, mediante OC-192 en TDM, o emplear 4 canales OC-48 en WDM.

Sin embargo la aparición en el mercado de un sistema WDM, el denso WDM, DWDM, de 16 canales permite en la actualidad usar hasta 40 Gb/s por fibra. La elección entre TDM y WDM adquiere una nueva perspectiva.

De esta manera, cambiando amplificadores ópticos de la red se evita el uso de regeneradores ópticos y además, quizás de 16 fibras, puedan quedar libres 15 de ellas, empleándose para otros usos.

Arquitectura de protección

Tanto para SONET, como para SDH, la arquitectura de protección para un anillo de fibra óptica, parte de la implementación de dos distintos tipos de conmutación con protección automática APS (Automatic Protección Switching).

Uno de ellos, es un mecanismo de protección lineal, utilizado en conexión punto a punto, la otra forma básica es la protección en anillo. Ambos, proveen caminos suplementarios de respaldo, mediante una conmutación gobernada por los bytes K1 y K2 de las cabeceras de tramas.

Protección lineal. La primera forma, que es la más simple y es conocida como la protección por conmutación automática 1+1. Cada línea de trabajo es protegida por una línea suplementaria. La misma señal es transmitida por ambas líneas. Si ocurre una degradación o corte, un elemento de red conmuta a la línea de respaldo, en el extremo receptor (Fig. 64a).

La segunda forma implementada es la configuración 1:1. La protección toma lugar en ambos extremos de la línea, transmisión y recepción. La conmutación en el extremo lejano es realizada, por medio de un mensaje de retorno sobre el canal de respaldo (Fig. 64b).

La tercera forma es en la configuración 1:N. La misma, provee protección a N canales sobre un solo canal de respaldo. Así mismo, este canal de respaldo podrá ser utilizado, mientras no haya alguna falta, para transportar tráfico de baja prioridad (Fig. 64c).

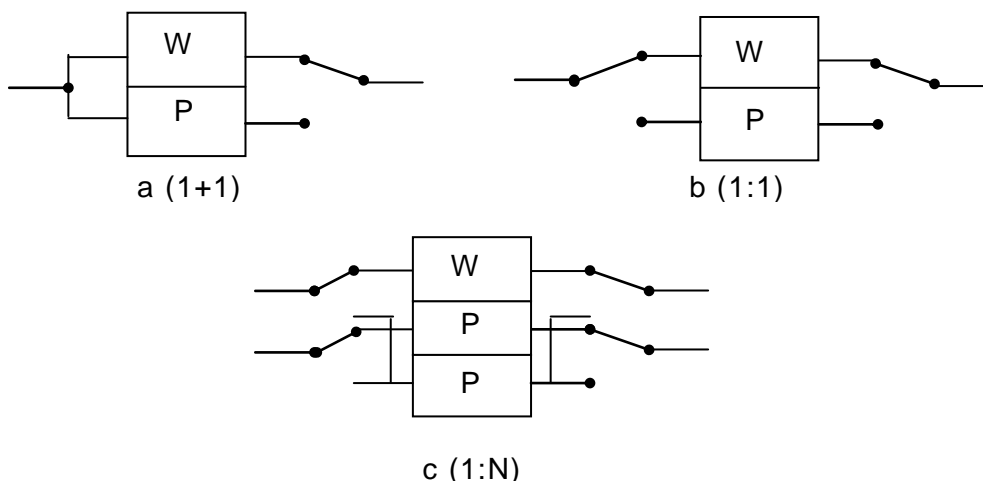


Fig. 64 - Modelos de protección lineal

Las configuraciones 1+1 y 1:1 tienen el 100% de redundancia. Por lo tanto, es preferible económicamente la configuración 1:N, particularmente para transmisión a larga distancia. Las tres configuraciones están estandarizadas en la Recomendación T1.105.1 de ANSI.

Protección en anillo. La topología en anillo es la forma más efectiva para vincular elementos de red, por su alta disponibilidad. Se distinguen las estructuras de anillos unidireccionales y bidireccionales. En la primera estructura, el tráfico es transmitido en una sola dirección y simultáneamente por ambas líneas, la de trabajo y la de reserva. Si hay una falla entre los elementos A y B, de una línea el receptor conmuta a la otra línea, de protección. Se emplea la protección 1+1 (Fig. 65).

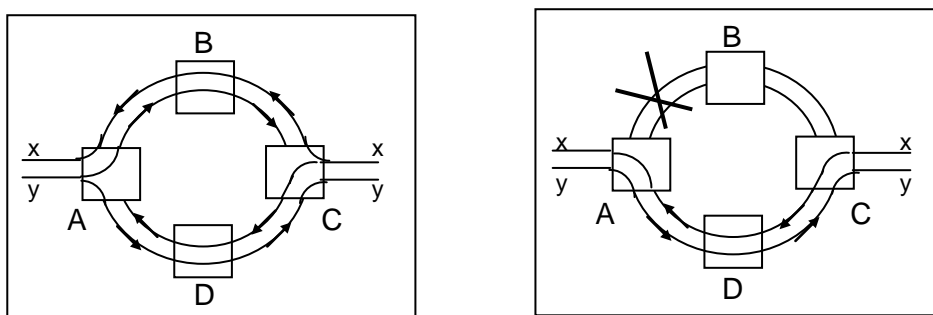


Fig. 65 – Protección en anillos unidireccionales

En la estructura de anillos bidireccionales, la sobre capacidad de la red puede ser dividida en distintos caminos sobre una línea bidireccional. Asumiendo una falla entre A y B, la línea x deberá ser conmutada en los elementos A y en B, a una línea de reserva, mientras que en los C y D se deberá proveer su conexionado de continuidad (Fig. 66).

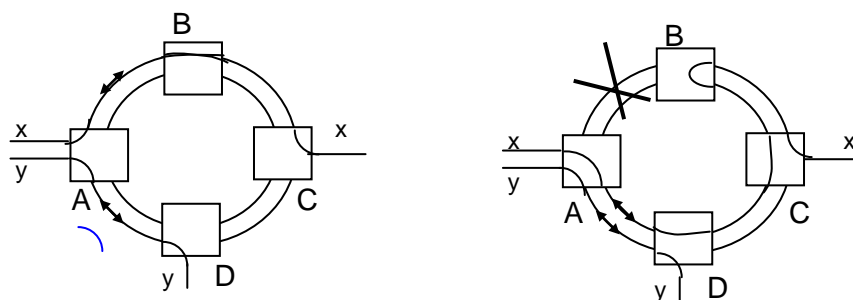


Fig. 66 – Anillos bidireccionales

A. 3. 9. Conmutador multiprotocolo por etiquetado MPLS

El Multiprotocol Label Switching MPLS, ha sido utilizado inicialmente en las redes Core IP, sobre infraestructuras basadas en los router como un mecanismo que proporcionara ingeniería de tráfico en flujos. Posteriormente se empleó con servicios globales de VPN, en las redes Core IP/MPLS difundidas con infraestructuras de datos y que entregan performance extremo-a-extremo de tráfico garantizado.

Las redes de datos Centro están emigrando ahora a un paradigma convergente de multi-servicios, integrando muchas tecnologías dispares como ATM, Frame Relay, Ethernet e IP, hacia una infraestructura común de Centro basada en MPLS.

Por otra parte las redes Metro y de Acceso, están construidas en la jerarquía TDM en anillos SONET/SDH, desplegadas durante los años ochenta y noventa, para entregar voz basada en circuitos y servicios en líneas arrendadas.

Sin embargo, las redes SONET/SDH no se han optimizado oportunamente para transportar eficazmente los emergentes datos basados en ráfagas de paquete y gestionar el crecimiento de los expectantes servicios mediante las tecnologías complementarias de IP y Ethernet.

Un operador con redes de Acceso e infraestructura Metro debe haberlas optimizado en ráfagas de paquetes, capaz de garantizar la performance para una variedad de servicios de datos; desde acceso a Internet, hasta la distribución de video y de voz sobre IP, y proveer recursos íntegros compartidos bajo congestión de red, tan bien para ambas topología en anillo o en malla.

Estas redes de paquete de datos empleando MPLS, permitirán servicios generadores de nuevos réditos, así como restringir los significativos costos operacionales (ápex) y costos de capital (capex), con una reajuste en el número de capas y tecnologías de red. Entonces, la plataforma MPLS usada en la red Centro, debe extenderse también a la infraestructuras de redes de Acceso, redes Metro y redes de Transporte, para mantener una verdadera solución, en la distribución de los servicio de datos, de extremo-a-extremo.

El MPLS opera clasificando los paquetes de datos en la red borde, dependiendo de criterios predefinidos. Los flujos de paquetes identificados con criterio común son remitidos atando a una etiqueta y luego conmutados en paquetes a través de la red dependiente de la etiqueta, así se crea un camino etiquetado conmutado (Label Switched Path, LSP). Este LSP se manipula por la red usando la etiqueta como identificación, sin tener en cuenta la tecnología de transporte subyacente. Por ejemplo, pueden explícitamente remitirse paquetes de MPLS, en cola según requisitos de la calidad-de-servicio (QOS) o separados en varios VPN.

La simplicidad del MPLS y su independencia de la tecnología de transmisión, permiten ofrecen varias ventajas:

- Interoperatividad entre las capas de la red, las arquitecturas y los operadores: El MPLS mantiene un protocolo común para las redes de acceso, Metro y Centro, y permite transportar los servicios extremo-a-extremo con capacidad común de QoS y operación, administración y mantenimiento (OAM).
- Independencia de la capa de transporte: El MPLS puede montarse sobre virtualmente cualquier tecnología de transporte incluso SONET/SDH, Ethernet, ATM o Frame Relay.
- Identificación de servicio: La clasificación de los paquetes es ejercida en el borde (ingreso) de la red, permitiendo mayor flexibilidad en identifican servicios específicos.

- Diferenciación de servicio: Un MPLS LSP es análogo a un circuito virtual (VC) del mundo ATM, donde ofrece servicio dependiendo por ejemplo de criterios predefinidos como ser QoS, requisitos del ancho de banda, prioridad, etc.
- Señalización extremo-a-extremo: El plano de control MPLS asegura el aprovisionamiento extremo-a-extremo, por uso de normas basadas en protocolos de señalización.

El IETF está reforzando la tecnología MPLS para poder entregar mayores capacidades de OAM, calidad de servicio extremo-a-extremo, y un más crítico despliegue de MPLS en las redes de Acceso y Metro, que extienda el alcance de servicios de Capa 2 sobre backbone MPLS.

El IETF ha estandarizado el Pseudowire Emulation (PWE3) basado en un proyecto que proporciona un marco de trabajo para multiplexado y transporte en Capa 2, tal como Frame Relay, ATM o Ethernet y encapsulado de éstos en túnel sobre una red IP/MPLS.

El Pseudowire puede ser definido, como que proporciona al cliente una cañería lógica elástica segregada que entrega QoS garantizada (por ejemplo de delay, jitter y pérdida del paquete, controlado), con la habilidad de operar al cliente varias clases de servicio, como ser garantizada, regulada (overbooked) y de mejor esfuerzo, destinadas a aplicaciones de red, con diferentes requisitos de transmisión.

Asimismo el MPLS provee soporte para la provisión de múltiples virtuales opciones de topología, con servicios que pueden ser, punto-a-punto, punto-a-multipunto o multipunto a multipunto, en conectividad transparente a la topología de red, protocolo y estructura de gestión, de los clientes. Los servicios de Ethernet en la red Metro, pueden ser extendidos de un área Metro a otra, para lograr la visión de conectividad de Capa 2 global.

A. 3. 10. Acceso con multiplexación combinada

Los distintos sistemas de multiplexación, pueden combinarse en la utilización de la red de acceso. Se podrá emplear combinación con técnicas dúplex en frecuencia FDD o en tiempo TDD. Asimismo combinar técnicas de multiplexación, con técnicas de acceso al medio. Se podrán acoplar técnicas de transmisión punto-multipunto con TDM ó WDM en un sentido y TDMA en el sentido contrario.

Varios canales de diferentes tamaños, pueden ser multiplexados en un tren de bits de señal de transporte sincrónico de nivel 3 (STS-3) de SONET, utilizando la técnica ATM. Luego cuatro de estos trenes de bits STS-3, pueden ser multiplexados en un nuevo tren STS-12. Finalmente, varios trenes STS-12 pueden ser multiplexados en una fibra óptica, utilizando la técnica WDM, asignando a cada tren de bits, una longitud de onda diferente.

Estas técnicas de modulación en el tiempo TDM, son frecuentemente utilizadas con distintas técnicas de acceso múltiple, por ejemplo por división de tiempo TDMA o por división de código CDMA.

La técnica de acceso múltiple por división en el tiempo TDMA, es utilizada comúnmente en sistemas de comunicación punto-multipunto, para lograr la transmisión bidireccional sobre un único vínculo.

Podrá realizarse la transmisión en los dos sentidos, sobre dos fibras o empleando una única fibra. Para ramales con dos fibras, una fibra es utilizada en el sentido oficina central a los nodos remotos, emplea la transmisión normalizada TDM. A la vez, otra fibra será utilizada para la comunicación en el sentido de nodos remotos hacia la oficina central, empleando la transmisión TDMA.

En redes de una fibra, puede ser utilizada la multiplexación por compresión en el tiempo TCM (método Ping Pong), en el cual la información TDM es transmitida durante una mitad de la trama y la información TDMA durante la otra mitad. Este tipo de transmisión es denominado TDM/ TDMA. La red de una fibra puede también emplear la multiplexación por división de longitud de onda WDM, combinada con la TDMA. Este tipo de transmisión es denominado WDM/ TDMA.

Otra forma es la transmisión en los dos sentidos, sobre dos fibras o empleando una única fibra mediante la combinación WDM /DWDM . Sistema que podrá ser empleado para una concentración con vínculo de fibra óptica, entre la, terminación de línea óptica OLT (Optical Line Termination) en la central y la terminación de red óptica ONT (Optical Network Termination), del nodo remoto (Fig. 67).

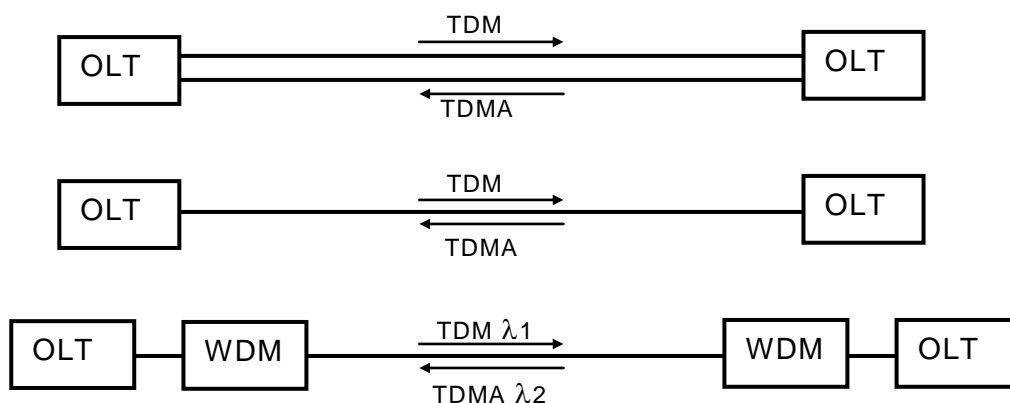


Fig. 67 – Multiplexación combinada

Tanto en los canales telefónicos individuales como en los sistemas de radioenlaces, los anchos de banda son establecidos de acuerdo a la asignación de las frecuencias.

Actualmente para lograr aun una mayor eficiencia en el uso de los anchos de banda, se requieren, además de la combinación de ciertas técnicas, el empleo de señalización multinivel, asociadas al proceso de modulación, por ejemplo el sistema DTM combinado a la QAM. Así, podremos combinar en distintos puntos de la red, procesos SONET /SDH, WDM, DWDM, ATM, IP y Ethernet.

Sin embargo poder combinar distintas técnicas también significa crear plataformas complejas las que insumen tiempos de retardo, lo que a su vez obliga a crear nuevos mecanismos que minimicen sus efectos perjudiciales. Su resultado será introducir un mecanismo inconveniente por complejo, pero sobre todo de elevadamente costoso.

La nueva estructura tiende a desechar tanta tecnología dando poder a algunas pocas, no será extraño ver en un futuro cercano a solo un proceso, por ejemplo TCP/IP, combinada o afrontando, tanto a las redes de acceso con VDSL, como a las de transporte con DWDM.

---ooo0ooo---