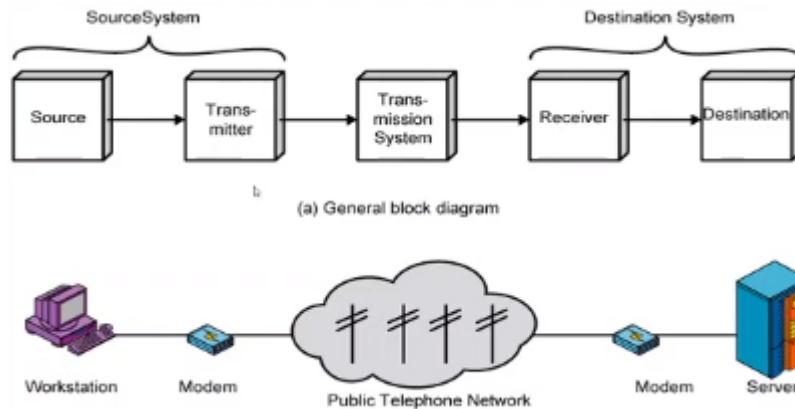


# Tema 1. El paquete IP

## Modelo de Shannon.



El source escanea la información. Envía 0 y 1s mediante una señal digital al transmisor. Este envía una señal analógica. Análogo porque el sistema de transmisión lo requiere, Si no, no funcionará. El receptor desmonta la señal analógica y la convierte en una señal digital.

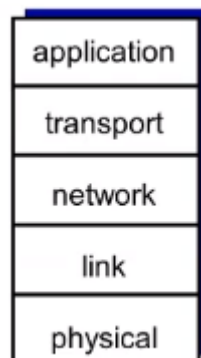
Un host es un sistema final (pc, servidor, móvil). En estos dispositivos corren aplicaciones de redes.

El internet está formado por ISPs interconectadas.

## Protocolos

¿Por qué niveles? Porque las redes son muy complejas y tienen muchas piezas (hosts, router, sw, hw). Querían un modelo abierto. Para poder interconectar diferentes tipos de terminales que trabajan de diferentes formas y tienen características diferentes.

Hicieron una lista de todas las funciones. Después juntaron estas funciones. Una vez diferenciadas, las agruparon en niveles. Este modelo tiene mucho coste de overhead. Lo mejor que tiene es la independencia.



**Aplicación.** FTP, SMTP, HTTP. La función que tenga cada aplicación.

**Transporte.** Transferencia de datos extremo a extremo. Sincronización, control de errores y flujo extremo a extremo. Direcccionamiento.

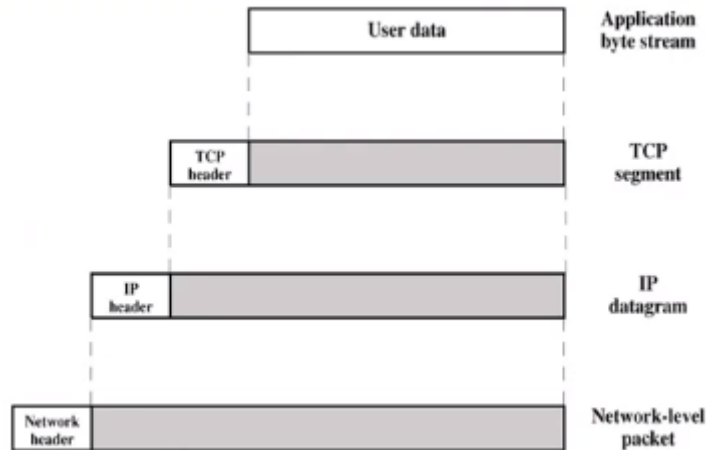
**Network.** Enruta los datagramas, desde el source hasta el destino. Enrutamiento.

**Enlace.** Donde hay más variedad. EL nivel de enlace. Proporciona transmisión de datos entre vecinos. Controles de errores y flujo local. Sincronización de la unidad de datos.

**Físico.** Permite que los bits funcionen de forma ordenada. Conversión de 0 y 1. Sincronismo.

Cada uno de los niveles ejecuta funciones y proporciona servicios al nivel superior. Son abstracciones que hacen esto.

Cuando los paquetes se mueven por modelo se mueven quitando y añadiendo cabezales. De esa forma, sabemos en qué nivel estamos trabajando.



## Tema 2.

Todas las señales son una suma de tonos puros

Todos los medios de transmisión son filtros de frecuencias (naturales o forzados).

**Transmisión.** Permite saber la velocidad de transmisión (número de bits por unidad de tiempo)

$V_t = \text{bits/seg} \rightarrow$  número de bits por unidad de tiempo

$V_m = \text{símbolos/seg (Bauds)}$

$V_m = V_t$  si símbolo = 1 bit

**Propagación.**

$V_p = \text{km/seg.}$

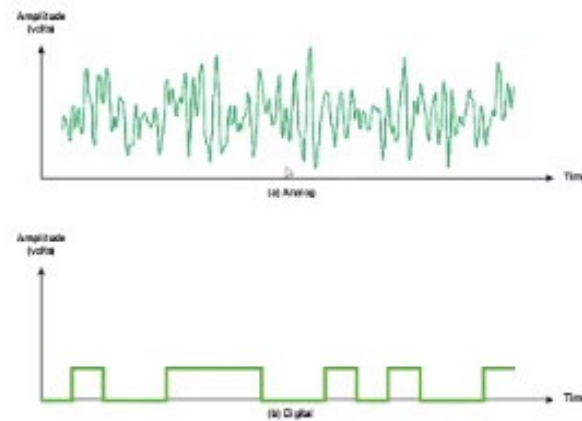
Cuanto tarda un símbolo en ir de un lado a otro. Depende de la velocidad de propagación de la perturbación que hacemos sobre la línea a lo largo de la línea. Depende del medio de transmisión. Para nosotros será siempre 300.000 km/s

**Largaria de un bit.**

$L = V_p / V_t$ . Un bit ocupa una parte de la línea que no puede ocupar nadie más. Una línea está cargada cuando no hay espacio libre.

Una señal analógica es aquella señal cuya intensidad varía de forma continua porque no tiene rompimientos.

Una señal digital cuya intensidad se mantiene a un nivel constante y cambia abruptamente a otro nivel.



Señal periódica. Se repite a lo largo del tiempo.

Señal aperiódica. No se repite a lo largo del tiempo.

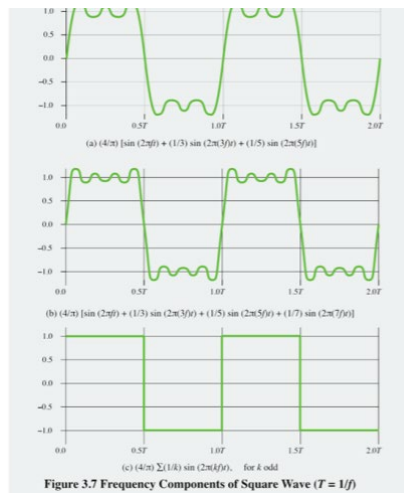
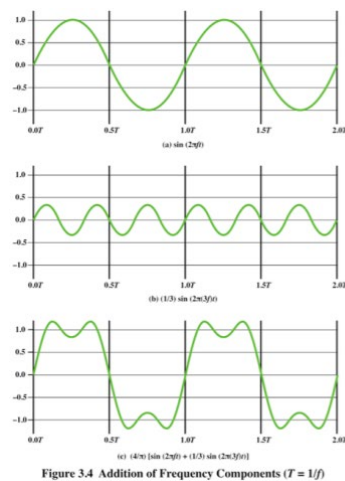
### Parámetros de una onda.

- **Amplitud.** Máxima fuerza de la señal. V
- **Frecuencia.** El ritmo en el que se repiten los ciclos. Hz.
- **Fase.** Posición relativa en el tiempo durante un periodo de la señal.

Dominio de la frecuencia.

- Las señales están hechas de un conjunto de frecuencias.
- Cada una de estas frecuencias es una senoide.
- Fourier permite saber qué frecuencias tiene una señal.

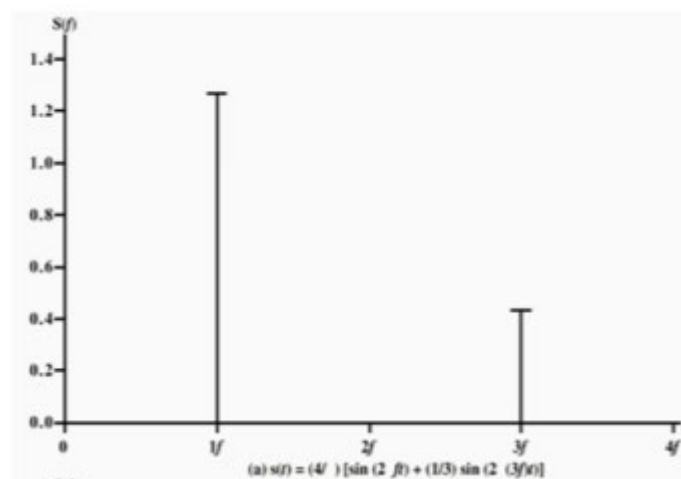
Si la señal  
infinitas



tiene

frecuencias, la representación es continua en la función de las frecuencias. Las señales no periódicas son las que tienen infinitas frecuencias. Con infinitas frecuencias, el ancho de banda es infinito.

Normalmente con el primer lóbulo tenemos suficiente para interpretar la señal. Cuando solo pasan algunas frecuencias.



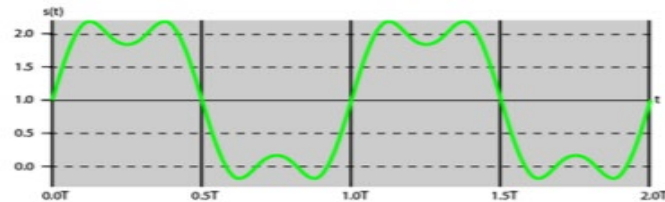
Este es el diagrama de frecuencias de la figura c. Tiene las frecuencias  $f$  y  $3f$ .

El ancho de banda de esta señal es  $2f$  ( $3f-f$ ). Frecuencia más alta menos frecuencia más baja.

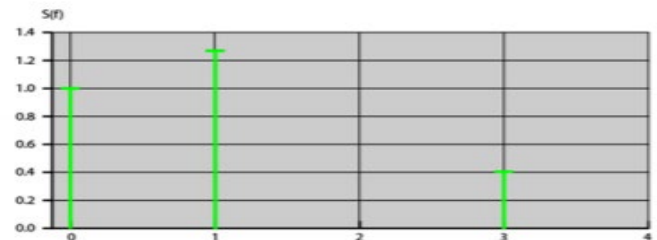
El ancho de banda efectivo es el que nos permite trabajar con él y que funcione.

En este ejemplo. Si  $3f$  no pasara por el filtro. Sólo llegaría la señal de la figura a. Funcionaría. Si sólo pasara  $3f$  por el filtro no funcionaría. Normalmente, si pasan los primeros lóbulos funciona (frecuencias superiores). Si no, no.

Componente continuo. El punto medio de la señal. Cuánto hemos desplazado la señal verticalmente. Las señales no tienen que tener componente continua para que puedan funcionar.



$$(a) s(t) = 1 + (4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3) \sin(2\pi(3f)t)]$$



(b) S(f)

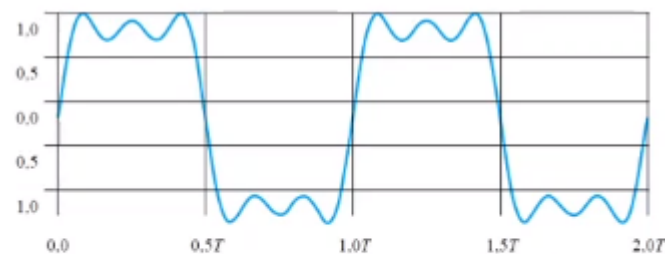
Hay una  
entre la

y el ancho  
Todos los

transmisión tienen una limitación de banda de frecuencias. Esto limita la velocidad de transmisión. Limitar el ancho de banda crea distorsiones. Cuanto más grande el bandwidth más alta la velocidad de transmisión.

relación  
velocidad de  
transmisión  
de banda.  
sistemas de

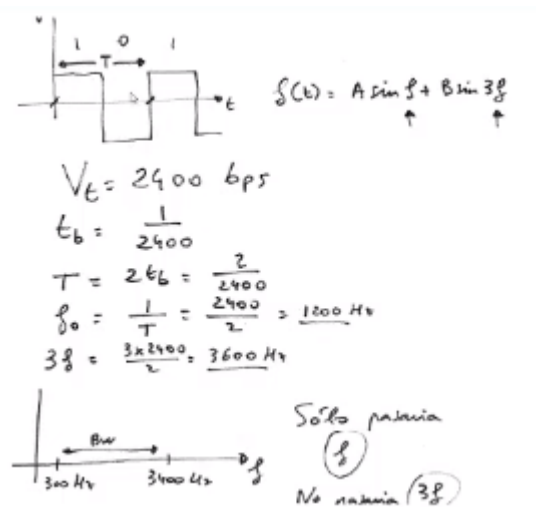
Ejemplo:



$$(a) (4/\pi) [\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3f)t) + (1/5)\sin(2\pi(5f)t)]$$

Si  $f = 1 \text{ Mhz}$  ;  $Bw = 4 \text{ Mhz}$  ( $5f-1f$ )  
 $T = 1/f = 1 \text{ microseg}$  ;  $\text{temps bit} = 0,5 \text{ microseg}$   
 $2 \text{ bits/hertz}$  ;  $Vt. = 2 \times 1 \text{ Mhz} = 2 \text{ Mbps}$   
 Si  $f = 2 \text{ Mhz}$  ;  $Bw = 8 \text{ Mhz}$  ;  $T = 0,5 \text{ microseg}$   
 $2 \text{ bits/hertz}$   $Vt = 4 \text{ Mbps}$

Hay dos bits por periodo.



tiempo de bit es la inversa de velocidad de transmisión.

En una señal periódica, la distribución de frecuencias solo incluye las frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental. La frecuencia fundamental es la inversa del periodo.

### Twisted pair.

La solución más barata y la más usada como medio de transmisión guiado.

Son dos cables de cobre puestos en espiral.

Actúa como un único enlace de transmisión.

Se usan comúnmente en la red de telefonía y para comunicaciones.

- **UTP.** Unshielded. Cable de telefonía. Más barato. Más fácil de instalar. Sufre de interferencias electromagnéticas externas.
- **STP.** Recubierto de metal que reduce las interferencias. Mejor rendimiento en velocidades de transmisión más altas. Más caro. Más difícil de manipular.

### Cable coaxial.

Para distancias más largas y soporta más estaciones.

Un conductor cilíndrico vacío, que recubre un cable.

Es un medio de transmisión versátil, utilizado para la distribución de TV, transmisiones de teléfono de larga distancia y LANs.

## Fibra óptica.

Es un medio fino y flexible capaz de guiar un rayo óptico.

Se pueden usar varios cristales y plásticos para hacer una fibra óptica.

Es un cilindro con 3 capas: core, cladding y jacket.

Es usado en telecomunicaciones de larga distancia.

Es popular por el rendimiento, el precio y las ventajas.

Beneficios:

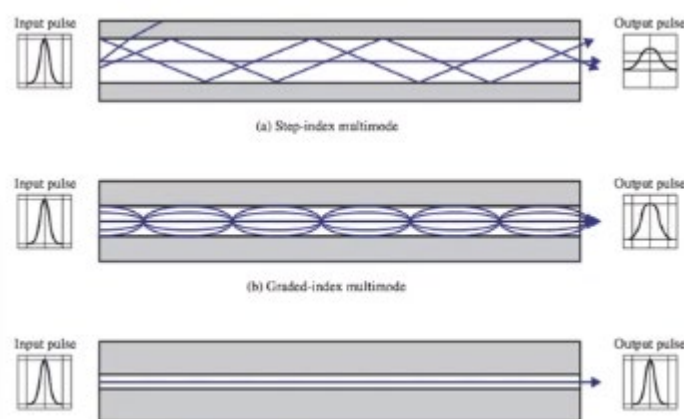
- Mayor capacidad. Soporta velocidades de transmisión de cientos de Gbps.
- Más pequeño y menos peso. Disminuye los requerimientos de soporte estructural.
- Menor atenuación, más espacio entre repetidores.
- Aislación electromagnética. No es vulnerable a interferencias o ruido. Tiene un nivel alto de seguridad contra el eavesdropping.
- Permite más distancia entre repetidores, cada 50 km.

Las fibras ópticas tienen 3 modos de transmisión:

- Multimodo. El conductor interior de la luz es más grande que el conductor exterior. Esto genera una deformación del pulso, sale más achatado.

Tenemos dos tipos: step-index y gradual-index. En el segundo el tamaño del interior y del exterior son más parecidos.

- Monomodo. El diámetro del conductor de vidrio interior es similar a la longitud de onda de la señal que se está enviando. No hay deformación. Estas son más caras.



En la fibra no podemos usar todo el ancho de banda disponible. Solo se pueden usar 3 zonas, que se llaman ventanas. Cada una de estas ventanas tiene un tamaño aproximado de 200 nm. Están centradas en diferentes situaciones.

Es necesario que la atenuación no sea lo suficientemente grande como para que el destino no pueda interpretar la señal.

**Longitud de onda \* frecuencia = velocidad de la luz**

La atenuación es que la señal pierde potencia por culpa del medio de transmisión. Varía con la frecuencia.

### **Distorsión de retardo.**

Diferentes componentes frecuenciales de una señal tenían diferentes velocidades de propagación. Se produce un desfase. En cuanto a transmisión de datos no es tan importante.

Pasa cuando la velocidad de transmisión varía con la frecuencia. No es tan importante porque no afecta tanto como la distorsión de atenuación.

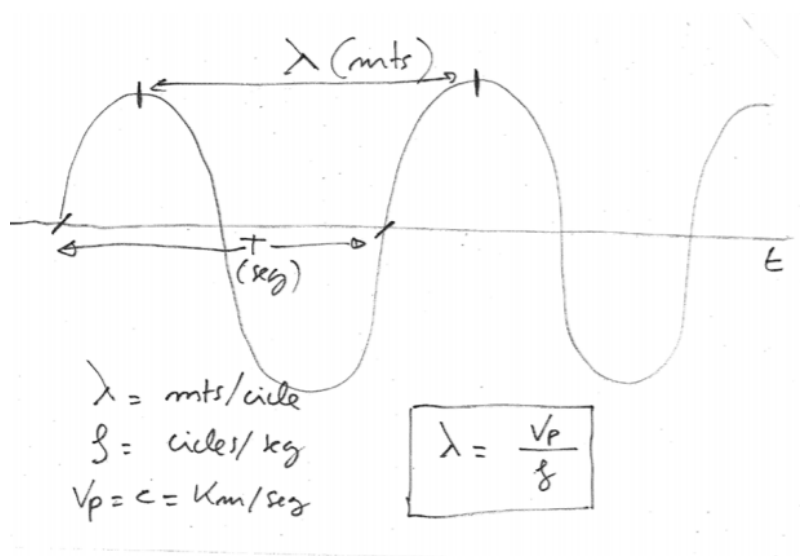
En el cable coaxial se hace ecualización para arreglar la distorsión de atenuación.

En la fibra óptica no se hace ecualización, ya que tenemos 3 ventanas con las que poder trabajar. ¿Cuál elegimos? La tercera, porque tiene menos atenuación. Es más cara.

### **Distorsión de atenuación.**

Se puede arreglar de dos maneras: ecualización (procedimiento para aplanar esta curva de manera que se mantuviese plana, que la atenuación se mantuviese plana) o utilizando zonas de los anchos de banda donde la atenuación se mantenga constante a lo largo de la frecuencia. La segunda se utiliza en la fibra óptica.

### **Longitud de onda.**





**Dbs.**

Handwritten text inside a rectangular box:

$$dB = 10 \log_{10} \frac{A}{B}$$

Mesura quan de gran  
és A respecte a B

Below the box, handwritten text:

$$30 \text{ dB} = 10 \log_{10} \frac{A}{B} \Rightarrow A \text{ és } 10^3 \text{ vegades més gran que B.}$$

### **Satélite**

Se utiliza actualmente de una manera: utilizando satélites geoestacionarios. Un satélite es un repetidor que en vez de estar en la tierra está en el espacio. Recibe una señal radioeléctrica y la devuelve a la tierra. Depende de la altura tiene un comportamiento diferente.

Hay un punto en el que la velocidad centrífuga es la misma que la centrípeta, a 36000 km de altura en la órbita ecuatorial. Un objeto ahí se quedará quieto.

Con solo 3 satélites en el ecuador se da cobertura a toda la tierra menos los polos. Las antenas parabólicas van en línea recta.

### **Categorías del ruido.**

- **Crosstalk.** La señal de una línea se coge desde otra línea. Puede ocurrir por un acoplamiento eléctrico entre dos twisted pairs cercanos. No ocurre en las fibras ópticas.
- **Ruido impulsivo.** Ocurre por interferencias electromagnéticas externas. No es continuo, consiste en pulsos irregulares. Son de corta duración y alta amplitud. Son una gran fuente de error en señales digitales. Las fibras ópticas no lo tienen, solo los sistemas eléctricos.

La relación señal-ruido se mide en dB.  $dB = 10 \log(S/N)$ .

30dB significa que la señal es  $10^3$  veces más grande que el ruido. No se puede trabajar con menos de 30dB. Nunca es infinito porque siempre hay ruido.

El ruido es una señal externa o interna que se añade aditivamente a la señal que estamos enviando, y que puede suceder de forma esporádica.

El ruido interno es el que se produce por el mismo material de la que está hecho el medio de transmisión. Sigue la función de Gauss, afecta a todas las frecuencias. No se puede hacer nada.

### Ancho de banda de Nyquist.

Tenemos que diferenciar entre símbolos/s y bits/s. Un símbolo es el número de alteraciones que se producen. símbolo/s depende del ancho de banda (directamente proporcional). Esto no pasa con bits/s.

En el caso teórico de que no hubiera ruido:

Si el ritmo de transmisión es  $2B$  ( $B$ : ancho de banda) entonces puede transportar señales con frecuencias no más grandes que  $B$ .

Con un ancho de banda  $B$  la máxima velocidad de transmisión es  $2B$

Para señales binarias, para transmitir a  $2B$  bps, necesitamos un ancho de banda de  $B$  Hz.

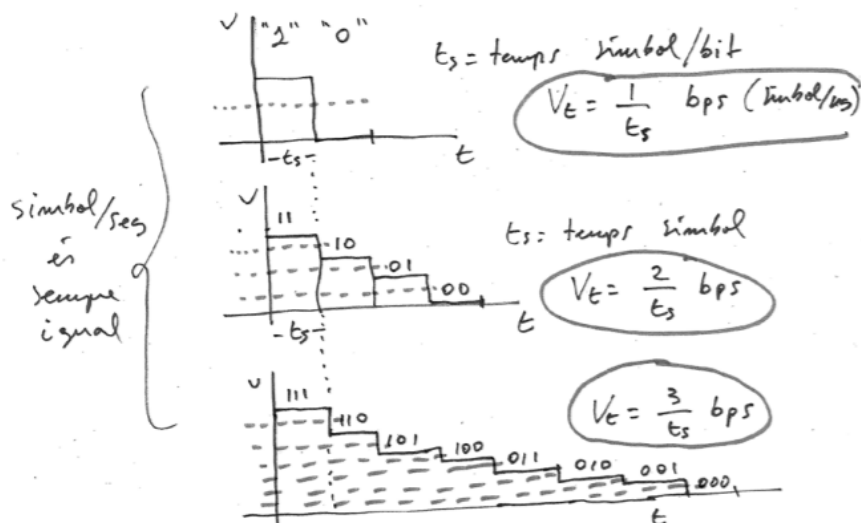
Podemos incrementar la velocidad utilizando  $M$  niveles de señal, sin modificar  $B$ .

- **Fórmula de Nyquist:** la capacidad de un canal libre de ruido es igual a 2 veces el ancho de banda logaritmo base 2 de  $M$ :

$$C \text{ (b/s)} = 2B(\text{símbol/s}) \log_2(M) \quad M: \text{diferentes niveles de señal}$$

$2B$  es la velocidad de modulación.

Cuando añadimos niveles, la separación entre niveles es más pequeña por lo que cuesta más distinguirlos. Se ve en la imagen siguiente:



## Fórmula de Shannon.

Tenemos que considerar la relación de la velocidad de transmisión, el ruido y la tasa de errores. Porque esto nos producirá una limitación de niveles que se pueden crear.

SNR no va en dB.

$$30\text{dB} = 10^3$$

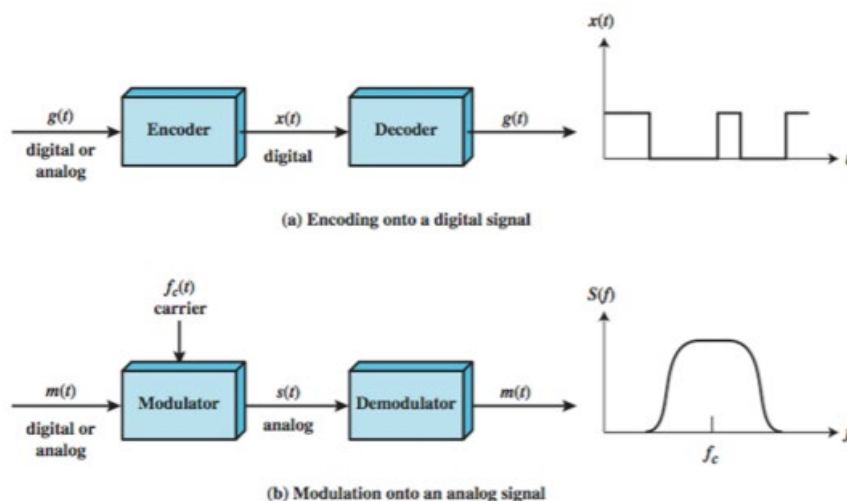
Capacidad máxima del canal  $C(\text{b/s}) = B \log_2(1 + \text{SNR})$

Maneras de mejorar la capacidad: mejorando SNR, aumentando el ancho de banda o ambas.

SNR se mejora mejorando los sistemas de codificación y modulación.

## Codificación de señales.

Una técnica de adaptación. Se utilizan dos técnicas diferentes.



La modulación es una técnica para adaptar los bits a la línea en la cual se tiene en cuenta el ancho de banda del canal. Los sistemas de codificación no lo tienen en cuenta, ya que no trabajamos en frecuencias si no en tiempos, solo tienen en cuenta la velocidad de transmisión.

Con Fourier se puede pasar de tiempo a frecuencia.

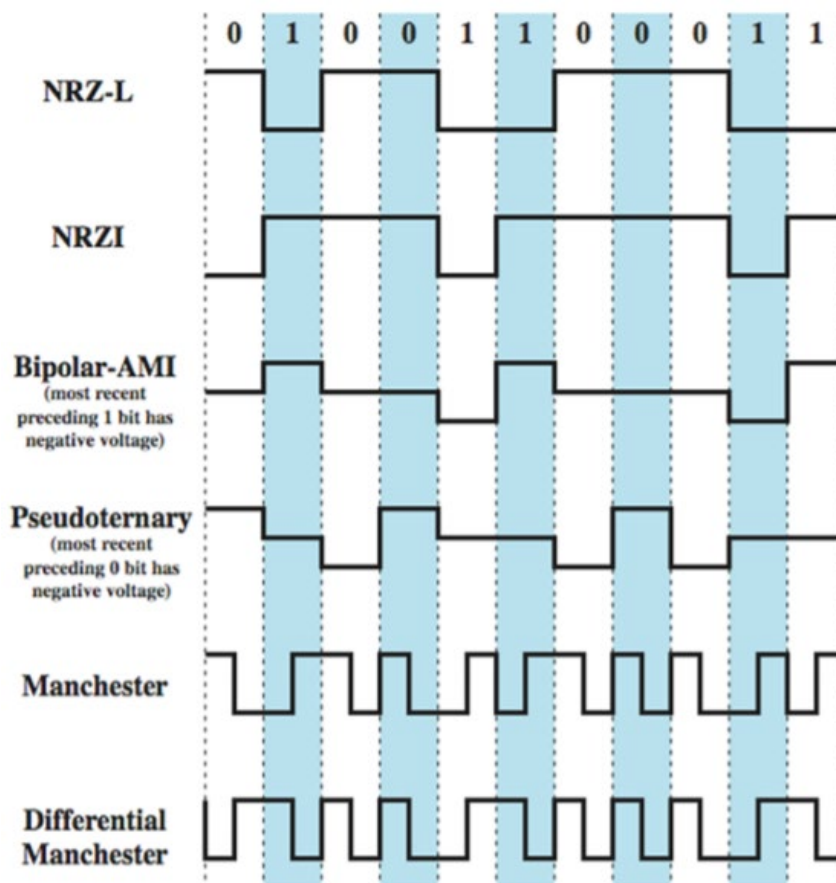
El sistema de codificación es óptimo para líneas de las cuales el ancho de banda no nos preocupe (porque no está compartido), y que el ritmo en los cuales genero los bits es compatible con el ancho de banda definido.

Con el de modulación podemos compartir el ancho de banda.

En el sistema de modulación tenemos módems y en el de codificación tenemos códecs.

Los códecs utilizan diferentes técnicas que dependen de los siguientes factores: espectro de señal (ancho de banda que está ocupando), detección de error, sincronismo de reloj (tiene que aportar transiciones, para variar el momento de detección), interferencia entre señales e inmunidad de ruido, precio y complejidad.

### Sistemas de codificación:



**NRZ-L:** los 1 son abajo y los 0 son arriba. Perjudica al clocking porque si envías seguidos muchos bits iguales no hay transiciones.

**NRZI:** un 1 es un cambio de transición, y cuando hay 0 no hay transición. Esto es mejor para el clocking, pero solo si estoy seguro de que habrá 1s. y el

anterior en desuso porque son para líneas de baja velocidad. Mejora el SNR respecto al NRZ-L.

**Bipolar-AMI:** un 0 es ausencia de señal, y 1 es abajo o arriba alternándose. Se utilizan mucho. Garantiza las transiciones con el 1 pero no con el 0. Serviría siempre que haya 1s y que no haya muchos 0s seguidos. Con las modificaciones se usa para líneas de alta velocidad.

**Pseudoternario:** al revés que el Bipolar-AMI. Lo utiliza la red de telefonía. 1 ausencia de señal y 0 arriba o abajo alternándose. Con protocolos de nivel 2 que garantizan que no hay muchos 1s seguidos.

**Manchester:** produce una transición en todos los bits. 0 es una transición en mitad del intervalo hacia abajo, y el 1 es una transición en mitad del intervalo hacia arriba. Hay dos símbolos por bit. Ethernet utiliza este método. Si es un 0 tiene que empezar arriba y terminar abajo, y si es un 1 tiene que empezar abajo y terminar arriba. El inconveniente es que ocupa el doble del ancho de banda, ya que mandamos dos símbolos por bit.

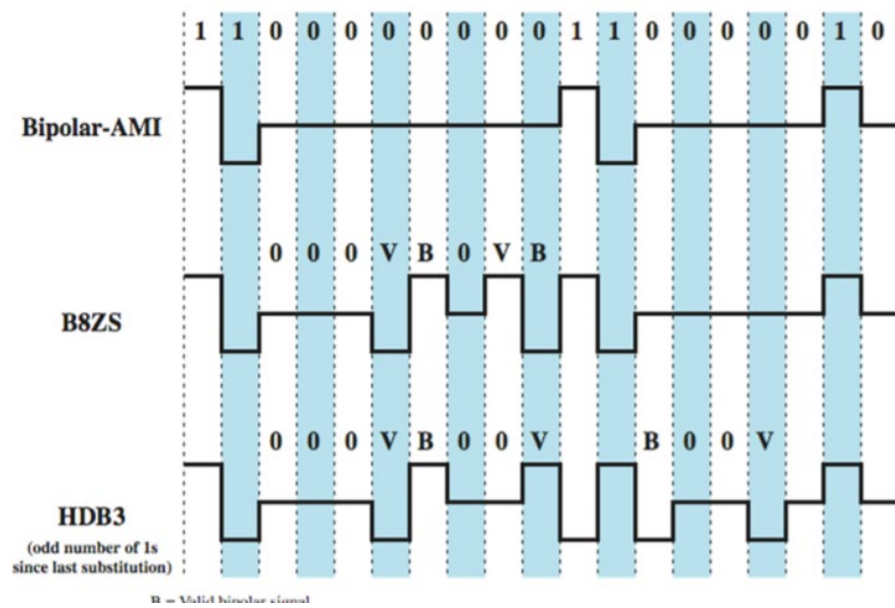
**Manchester diferencial:** partimos arriba, 0 es dejarlo como está, por lo tanto, el primero es de subida, el 1 cambia de sentido y 0 implica no cambio de sentido. Tiene mejor SNR que el Manchester. La velocidad de modulación es el doble que la velocidad de transmisión, ocupa el doble del ancho de banda. Y el anterior se utiliza en líneas de alta velocidad Ethernet.

La velocidad de modulación es el número de símbolos por segundo.

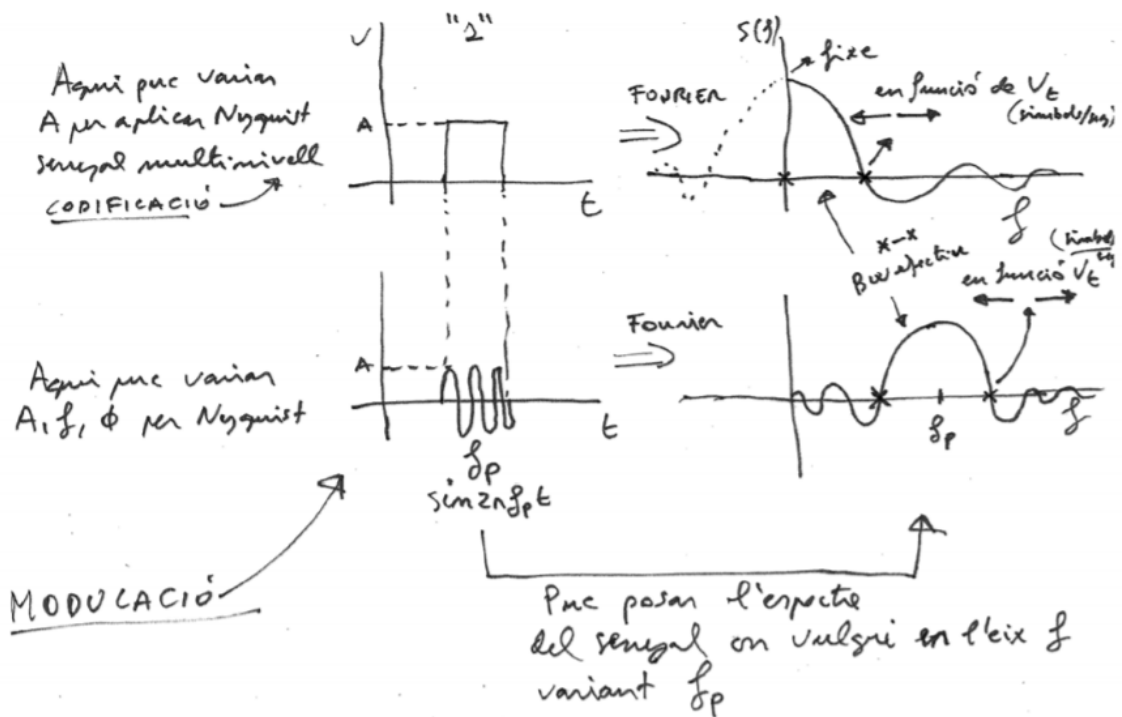
A bipolar-AMI le hacemos una modificación y evitamos que pueda haber muchos 0s seguidos. B8ZS y HDB3 para líneas de alta velocidad y de larga distancia.

**B8ZS:** cuando hay 8 ceros seguidos, aplica un algoritmo que modifica estos 8 bits y los convierte en los que se ve en la imagen.

**HDB3:** como el anterior para cada vez que hay 4 0s seguidos.



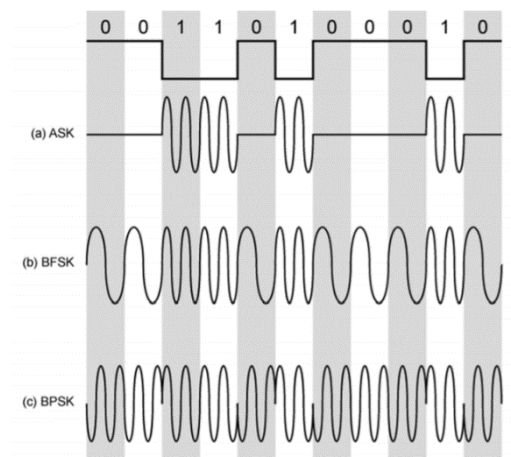
## Modulación.



La modulación lo que hace es poner donde había cuadrado una senoide.  
Como pasar de digital a analógico.

$f_p$  = frecuencia portadora

Se puede modificar la A, la frecuencia y la fase.



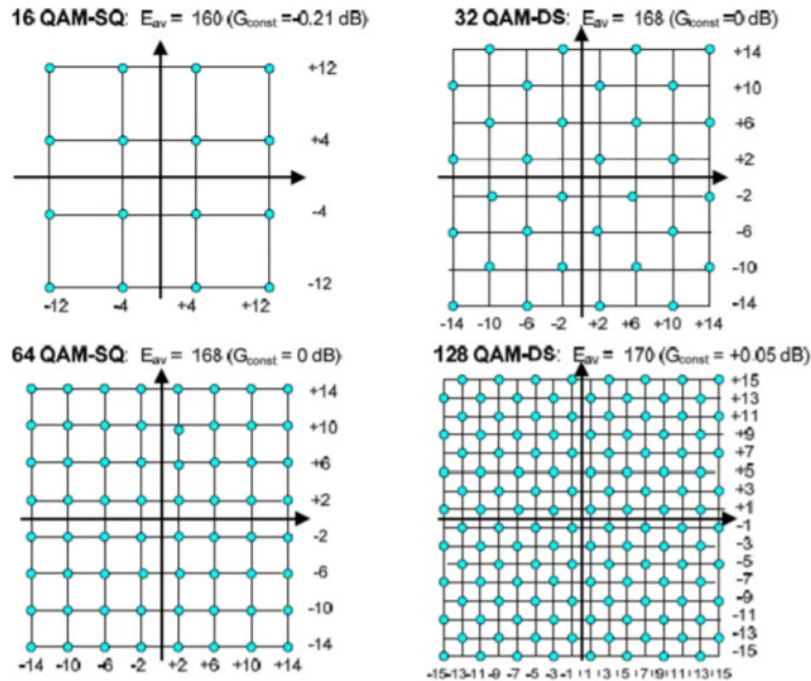
**ASK** modifica la amplitud. 0 ausencia de señal, 1 senoide.

**BFSK** modifica la frecuencia. Cambia la frecuencia de la senoide dependiendo de si 1 o 0

**BPSK** modifica la fase. Mantenemos A y F, pero cambia la fase dependiendo de si 0 o 1.

**Quadrature amplitude modulation (QAM)**

Combinación de ASK y PSK. Modulación multinivel. Incrementamos la velocidad de transmisión sin aumentar la amplitud, incrementando la cantidad de símbolos diferentes. Es el que mejor se comporta con el SNR.



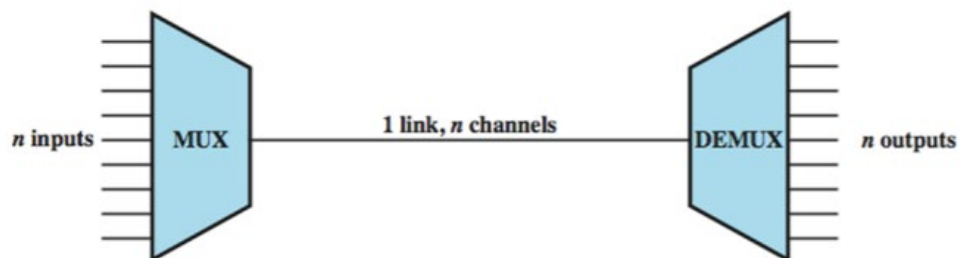
## PCM.

Método de modulación. Método de digitalización de señales analógicas. Utiliza el teorema del muestreo. Si una señal es muestreada en intervalos regulares en un ritmo que como mínimo es el doble que la frecuencia más alta que lleve la señal, las muestras contienen toda la información de la señal original.

## Multiplexación

Para hacer más eficientes las líneas de alta velocidad se utiliza la multiplexación. Esto permite a múltiples fuentes de transmisión compartir una mayor capacidad.

Este link tiene que tener la capacidad para poder transmitir la capacidad de  $n$  entradas.



Se

puede repartir el tiempo (TDM para sistemas codificados, cada usuario tiene



todo el ancho de banda durante un tiempo) o el ancho de banda (FDM para sistemas modulados). Ninguna de las dos puede vulnerar la capacidad máxima de Shannon.

### **FDM.**

Reparte el ancho de banda del medio de transmisión del link entre todos los usuarios. Este ancho de banda los usuarios lo tienen todo el tiempo.

Cada usuario se modula con una frecuencia portadora diferente.

Tenemos muchos canales cada uno con su frecuencia portadora y su ancho de banda.

Cada señal es modulada con una portadora diferente de diferente frecuencia.

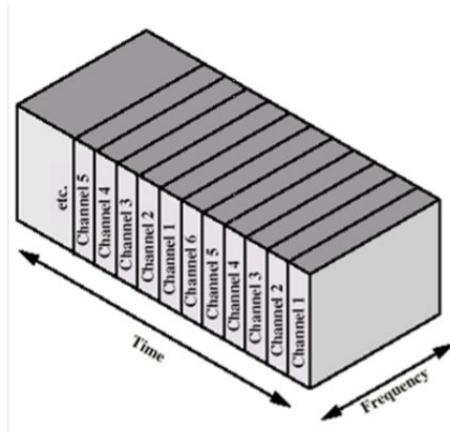
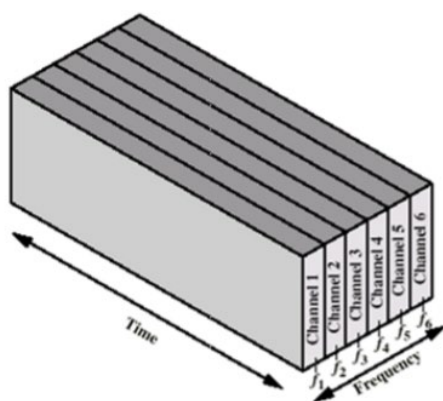
Las portadoras tienen que estar separadas para que no haya overlapping. Esto se hace con las bandas de guardia.

Hay una variación: WDM. En vez de por frecuencia, la división se hace por longitud de onda. Se usa en sistemas ópticos. La frecuencia portadora es la de luz que se está enviando.

### **TDM.**

Múltiples señales digitales pueden colocarse ocupando todo el ancho de banda del link pero no durante todo el tiempo. Después se puede modular. Se puede crear un protocolo que permita gestionar la división del tiempo. Funciona mediante ranuras temporales.

Se ha creado un protocolo para identificar de quién son los bits que van llegando.



### **SONET/SDH**

SDH triplica la capacidad del SONET.

Si solo se transmite Ethernet utilizan otra técnica.

Trabajando con Ethernet a nivel 2 se puede utilizar SDH a nivel 1. Si usamos esto, también podemos utilizar tecnología de canales (transmitir canales a una velocidad determinada y tramas Ethernet a nivel 2), cosa con Ethernet a nivel 1 no se puede hacer.

Es una alta capacidad de transmisión.

## **SONET**

Es un protocolo de nivel 1 que transmite datos en tramas.

Una unidad de datos es un conjunto de bits seguidos que tiene una duración de 125 microsegundos.

El contenido de la trama SONET se llama contenido virtual.

Las tramas tienen 90 columnas por 9 filas. Las 3 primeras columnas son el overhead del transporte, la velocidad es 8000 tramas por segundo o 125 microsegundos.

$90 \times 9 \times 8000 = 51,84 \text{ Mbps}$ , cada canal 64 Kbps

Para aumentar la velocidad de transmisión manteniendo este procedimiento: aumentar el número de bits de payload. Para eso, aumentamos el número de columnas.

## **SDH.**

Aumentamos a 270 columnas.

9 columnas de cabecera, columna adicional de path overhead que es parte de las 270 de payload.

Utilizamos el triple de canales

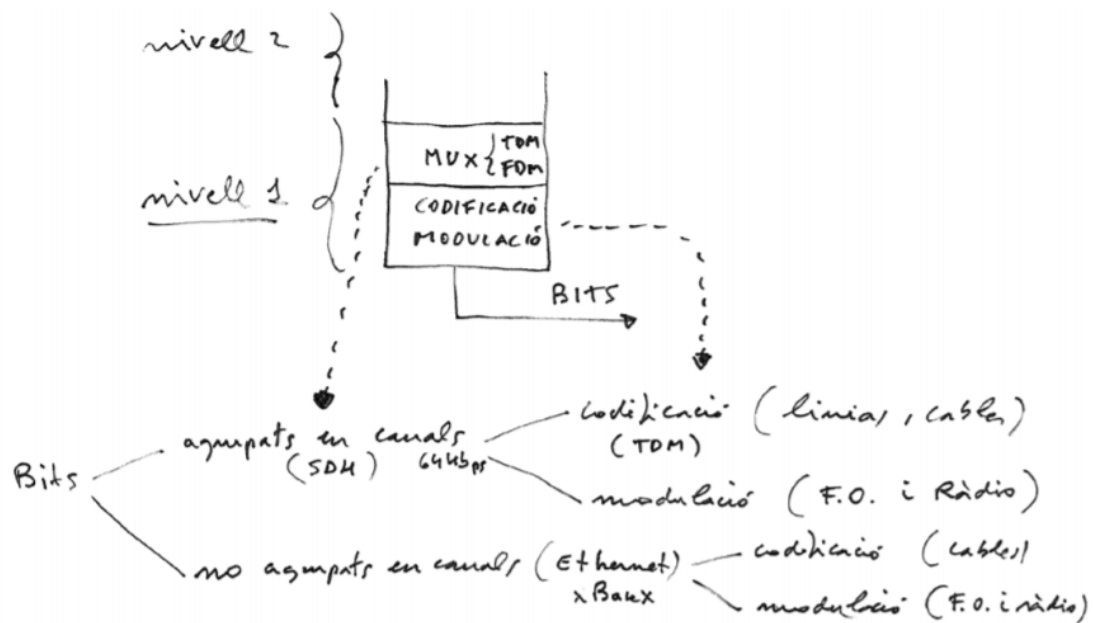
3 tramas Sonet forman una SDH.

$3 \times 51.84 \text{ Mbps} = 155.52 \text{ Mbps}$

En el sistema europeo la columna de path overhead se incluye en las columnas de cabecera.

Un canal es una agrupación de bits

## **Resumen**



Modulació. Solo ocupa el ancho de banda que nosotros queramos a través de la frecuencia portadora.

Codificación. Sistema de adaptación de la señal a la línea que ocupa todo el ancho de banda.

Multiplexación. Permite compartir el link.

Si los bits están agrupados en canales, van organizados en tramas de 125 microsegundos. Va variando el número de puntos de la matriz. Cada punto es un canal de 64Kbps.

SDH. Método de enviar los bits por la línea que se han codificado o modulado ordenadamente. Puede transmitir conversaciones telefónicas.

Una vez tenemos la señal multiplexada, la ponemos en la línea, o bien modulada o codificada.

Codificado: estamos trabajando con líneas y cables que trabajan con señales eléctricas.

Modulado: fibras ópticas o sistemas vía radio.

Si no están agrupados en canales (más barato) solo se pueden enviar paquetes, Ethernet solo.

Las comunicaciones de voz que provienen de canales de 64kbps solo pueden ser enviadas en agrupaciones en canales. Sirven para todo.

Si viene de multiplexación solo se puede ir a SDH.

Fibra óptica y radio no se pueden codificar porque lo ocuparía todo.

TDM solo se puede codificar. FDM tendremos que usar mod. Se pueden mezclar también (telefonía móvil).

## Conmutación

La topología de red que se utiliza:

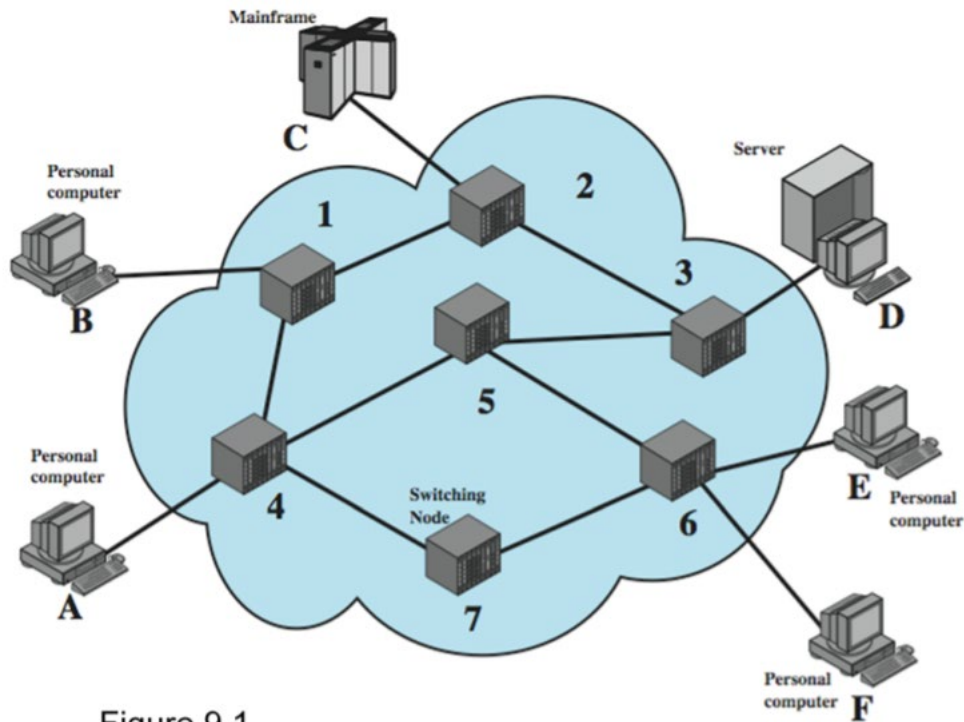


Figure 9.1

Forman parte: terminales conectadas, links que permiten la conexión, y los conmutadores que configuran la red. El proceso de conexión es a través de una red de acceso.

Los nodos forman parte del core network. Los nodos de conmutación trabajan en nivel 1, 2 o 3. Los que trabajan a nivel 1 son la conmutación de circuitos. Los otros dos son conmutación de paquetes. Se puede trabajar solo con conmutación de circuitos.

Los conmutadores que trabajan a nivel 1 son conmutación de circuitos (conmutación de canales de 64Kbps)

Los de 2 y 3 son conmutación de paquetes (switch y router)

Internet está formada por conmutadores de nivel 3, pero también puede tener conmutadores de nivel 2.

## Nodos

Una colección de nodos y conexiones es una red de comunicaciones.

Hay dos tipos de tecnologías de switch (conmutación): conmutación de circuito y de paquetes. Una red de paquetes en determinadas circunstancias puede emular una red de circuitos.

### **Conmutación de circuito**

Utilizamos un path dedicado entre dos estaciones. Diseñado para la voz.

Este path (que es un canal) necesita 3 fases: establecer (una vez se establece es único), transferir información y desconectar.

Desventajas: es ineficiente, ya que cuando estableces el canal, aunque no envíes datos está ocupado. También, el establecimiento requiere un tiempo.

Una vez que estás conectado, la transferencia es transparente. O sea, que la red no manipula ni trata ninguno de los bits que se envían.

La ventaja es que el retardo que sufre la información cuando pasa por la red es constante y pequeño.

Los datos se envían todos seguidos

### **Conmutación de paquetes**

Diseñado para los datos.

Los datos se transmiten en paquetes pequeños. Estos paquetes contienen una parte de datos y una parte de información de control.

Los paquetes se reciben, se almacenan brevemente y se pasan al siguiente nodo.

Ventajas:

Eficiencia (un solo link para muchos paquetes).

Conversión de la velocidad de transmisión (las estaciones se conectan al nodo local a su propia velocidad y los nodos almacenan datos si es necesario para igualar velocidades).

Los paquetes se aceptan, aunque la red esté ocupada.

Se pueden utilizar prioridades.

Las tablas de enrutamiento son muy simples.

En nivel 2 utilizamos circuito virtual. En nivel 3 utilizamos datagramas.

### **Datagramas**

Los paquetes se tratan independientemente. Cada uno va por un camino diferente. En caso de pérdida de un paquete, es trabajo de la destinación o del source arreglarlo.

## Circuitos virtuales

Una vez establecido el circuito, todos los paquetes pasan por la misma ruta, por lo que las decisiones de enrutamiento no se tienen que tomar sobre los paquetes, si no solamente en la inicialización del circuito. Por lo que las cabeceras no necesitan tener la dirección destino y source, solo un número (dirección virtual).

Lo utilizaremos para conectar routers.

## Datagramas vs circuitos virtuales

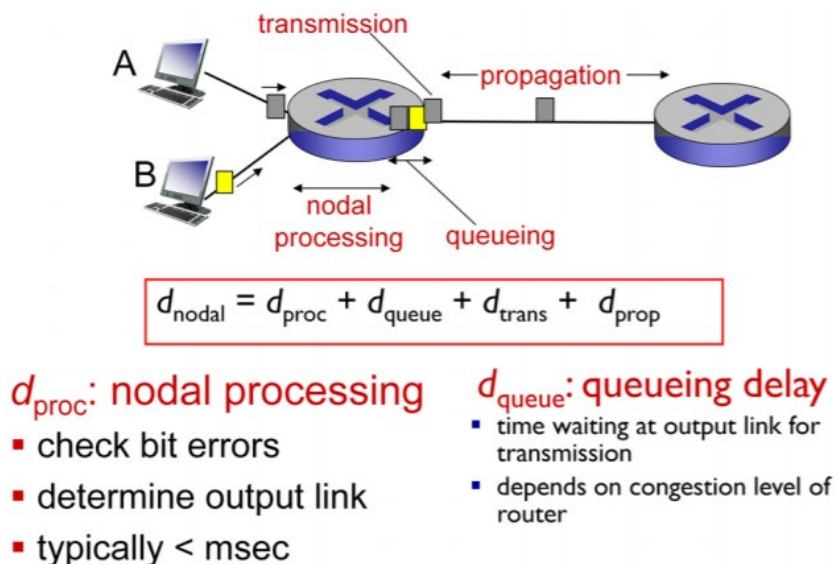
En los circuitos virtuales la red ofrece secuenciamiento y control de errores. Los paquetes se envían más rápido, pero es menos fiable.

En circuitos virtuales las tablas de enrutamiento son más pequeñas, lo que reduce el delay de la transmisión

Los datagramas son más flexibles, fiables y reconfigurables.

En nivel 2 todas las soluciones serán utilizando circuitos virtuales. En nivel 3 se utiliza IP que es un datagrama, aunque se manipulará para que sean circuitos virtuales.

## 4 fuentes de retardo de paquetes



de

transmisión, que depende del número de bits enviados y de la velocidad del link. Tiempo que tardamos en poner los bits en la línea. número/velocidad.

Tiempo de propagación. Depende de la distancia y de la velocidad de la luz. Lo que tarda un bit en ir de un nodo a otro, desde que entra hasta que entra. distancia/velocidad

Tiempo de cola. El ritmo de llegada es mayor que el de la salida por lo que se van acumulando los paquetes. Tiempo de espera en el buffer de salida. Cuando dos paquetes entran simultáneamente en el nodo y van dirigidos al mismo buffer de salida, hay pérdida. Depende de la congestión del router.

Tiempo de proceso. Lo que pasa dentro del nodo. Chequea los bits de errores, determina el link de salida.

¿Dónde se pierden los paquetes?

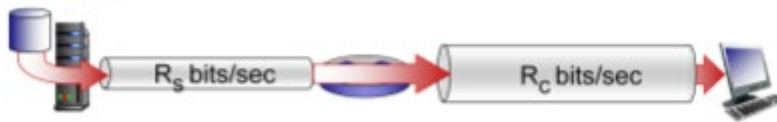
En los buffers. Si llega un paquete a un buffer lleno, se pierde.

### Throughput

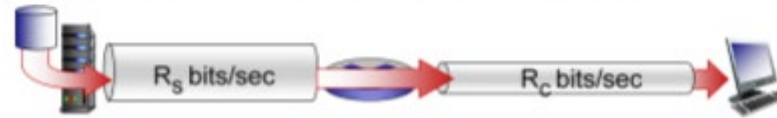
Velocidad a la que se transmiten los bits (bits/unidad de tiempo). Cantidad de información disponible

Throughput instantáneo (en un punto determinado) y average (durante un periodo de tiempo más largo).

•  $R_s < R_c$  What is average end-end throughput? rs



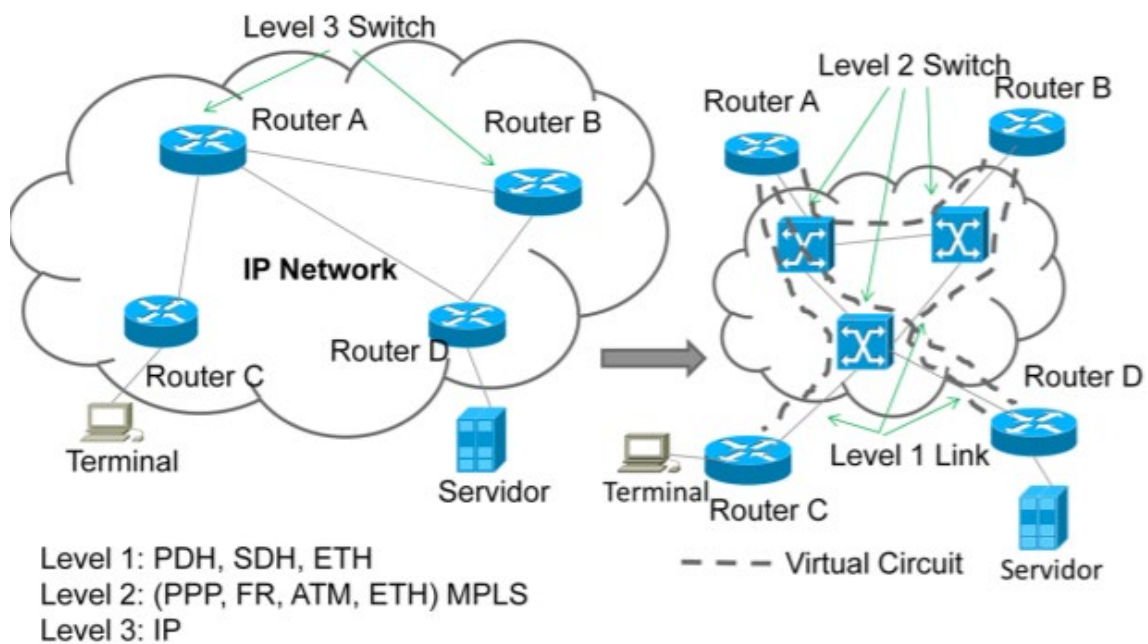
▪  $R_s > R_c$  What is average end-end throughput? rc



Bottleneck link: en un trayecto, si hay un link que tiene mucha menos capacidad que el resto, ocurre un cuello de botella.

## TEMA 3. Core network

Nivel de enlace y circuitos virtuales.



A la izquierda tenemos una red, que es el core network (podría ser la red interna de un ISP). Los routers son conmutadores de paquetes IP. El enlace entre A y B nos dice que si un paquete quiere ir de uno a otro puede hacerlo directamente, sin pasar por ningún otro router.

El dibujo de la derecha es un zoom. Para pasar del router A al router B, no hay un enlace directo en realidad, si no una red de conmutación.

El nivel 3 trabaja en datagramas, el paquete IP va independiente de un router a otro. IP se empaqueta con un protocolo de nivel 2, se le asigna el concepto de circuito virtual y se establece un circuito virtual entre A y B. Cada router tiene que tener un enlace físico con su conmutador. Por cada enlace físico podemos tener tantos circuitos virtuales como queramos. Los paquetes llevarán un identificador del circuito virtual al que pertenece.

El circuito virtual es por definición unidireccional. Pueden tener diferentes throughputs dependiendo de la dirección.

PDH (solo se usa una 2Mbps, 30 canales de 64Kbps), SDH (canal de jerarquía síncrona, canales de 64Kbps, se pueden enviar canales y paquetes), ETH (no tiene canales, pero sí throughputs, no se pueden enviar conversaciones telefónicas)

FR y ATM están obsoletas ya que no se modernizan, pero se siguen utilizando mucho. ATM ya no viene en routers nuevos. En PPP no hay conmutación y en ETH sí. Sobre todas ellas se ha creado MPLS, que es independiente de la tecnología del nivel 2. Anula la dificultad a nivel IP de que haya 4 tecnologías diferentes.



## Protocolos de control del data link

Son funciones de nivel 2. Sincronización de frame es imprescindible porque el paquete IP no lleva sincronización.

Requerimientos:

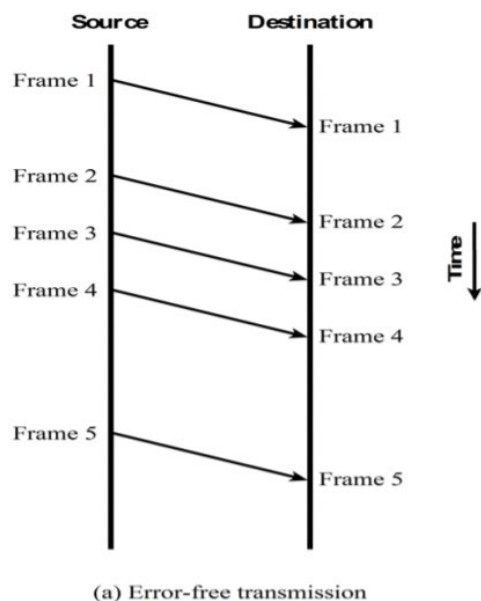
- Sincronización de frame
- Control de flow
- Control de errores. Puede incrementar el delay.
- Direcccionamiento. Si usamos el nivel 2 para unir dos elementos sin conmutación, el direccionamiento es innecesario.
- Control y datos.
- Gestión de link.

## Flow control

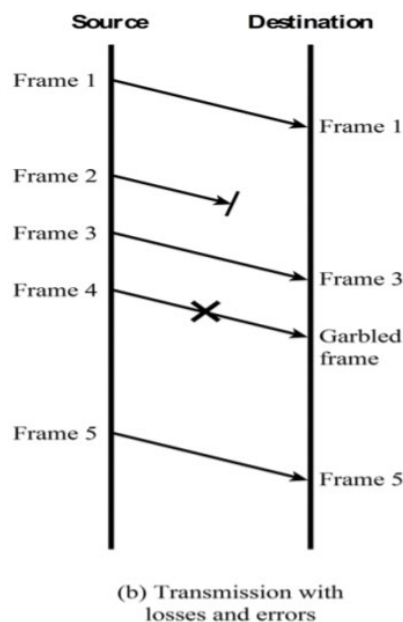
Para asegurar que una de las entidades que está transmitiendo no satura el receptor.

Si no hay flow control, el buffer del receptor se puede llenar y provocar overflow.

## Modelo de transmisión de las tramas de nivel 2



(a) Error-free transmission



(b) Transmission with losses and errors

## Stop-and-Wait Flow Control

La forma más simple de control de flow. El source envía un frame. Cuando el destino recibe el frame, le

comunica al source que está preparado para recibir más frames (ack). El destino

En muchos casos el source partirá los datos en muchos bloques. Por las siguientes razones:

- El buffer del destino puede ser de tamaño limitado
- Con frames más pequeños los errores se detectan antes, de forma que menos datos tienen que ser retransmitidos.
- En un medio compartido, lo deseable es no dejar que una sola estación ocupe el medio durante mucho tiempo.

$$\alpha = \frac{B}{L}$$

$B = \text{bits del LINK}$   
 $L = \text{bits de la trama}$

$$\frac{V_p}{V_t} = \frac{\text{Km/s}}{\text{b/s}} = \frac{\text{Km}}{\text{b}} \quad \downarrow \uparrow \quad \frac{\text{b}}{\text{Km}} = \frac{V_t}{V_p}$$

### Sliding Windows Flow Control

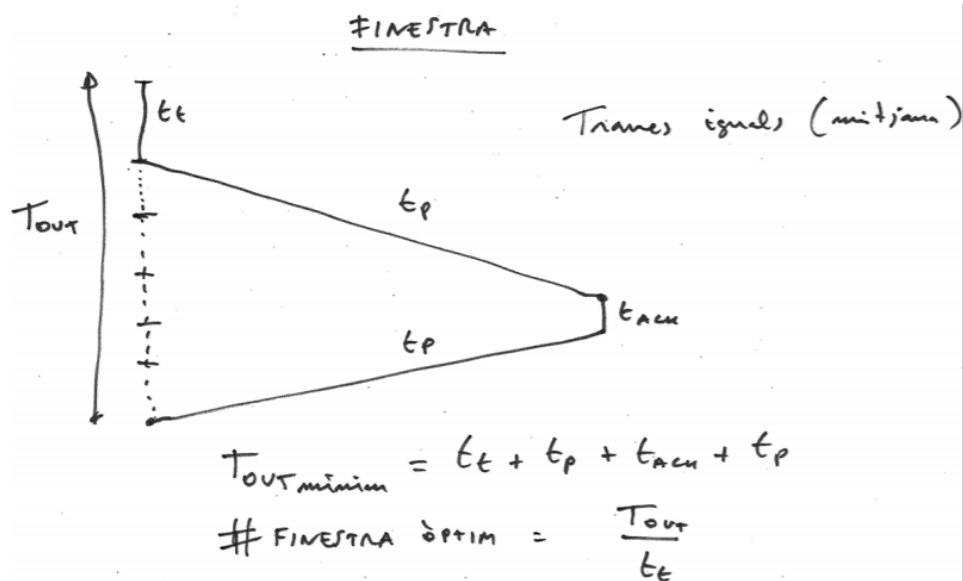
Permite a múltiples frames estar en tránsito. El receptor tiene un buffer de tamaño  $W$ , el source envía  $W$  frames sin esperar confirmación. En la confirmación se incluye el número del siguiente frame que se espera. Los frames se enumeran módulo  $2^k$ , llegando la ventana máxima hasta a  $(2^k)-1$ . El receptor puede enviar un ACK, pero sin permitir más transmisión.

La ventana es cual es la numeración más alta de la trama que podemos guardar o enviar.

el ack contiene el número de la siguiente trama que se espera.

Piggyback: superponer. Enviaremos otras herramientas que no sean ACK para enviar ACK. En full-duplex podemos hacer esto.

También se puede enviar un ACK receive not ready para parar el flujo.



### Técnicas de control de error

El control de flujo se junta con el control de errores porque el mismo protocolo se ocupa de las dos.

Detección de errores, reconocimientos positivos y negativos, retransmisiones después del timeout.

### ARQ

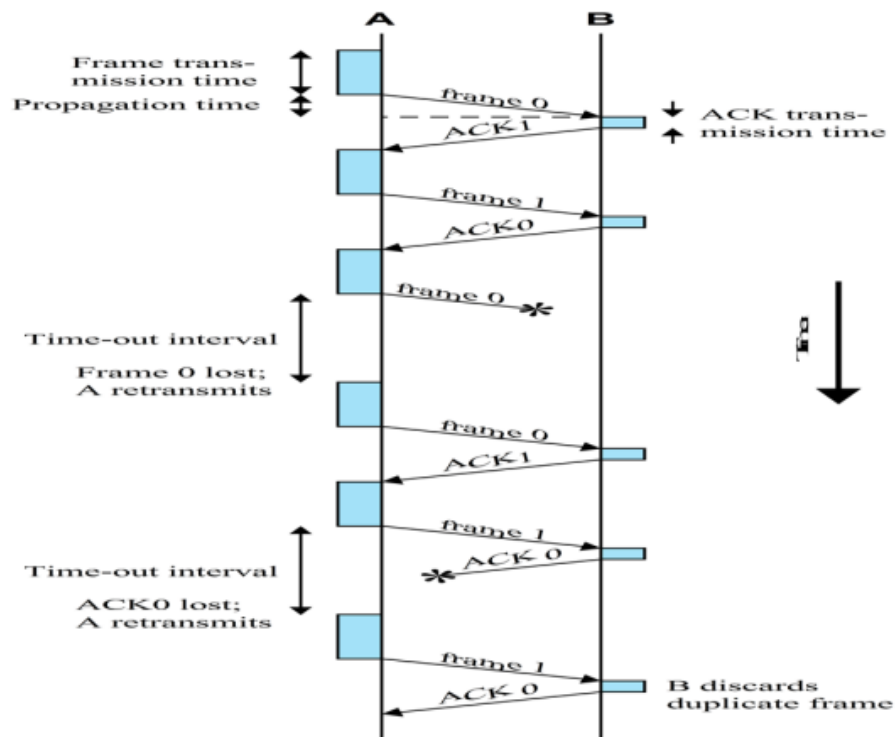
Nombre colectivo para mecanismos de control de error, también permiten el control de flujo.

Hay 3 versiones: stop-and-wait, no-back-N, selective-reject

### Stop and Wait ARQ

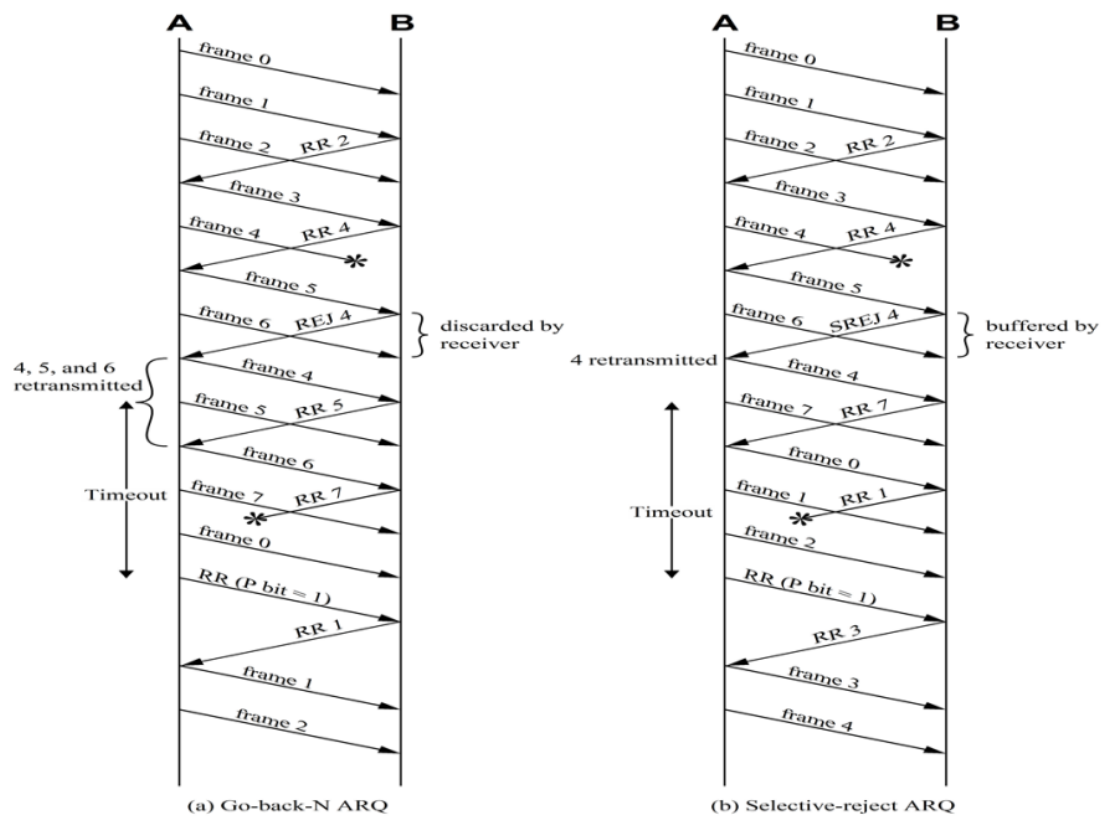
No se puede enviar nada más hasta que no se reciba el ack de la trama enviada.

Los ack se numeran, se les pone 1 o 0. Para asegurarse de que no se van a mandar tramas repetidas



**Figure 7.5 Stop-and-Wait ARQ**

**Go-Back-N ARQ y Selective Reject**

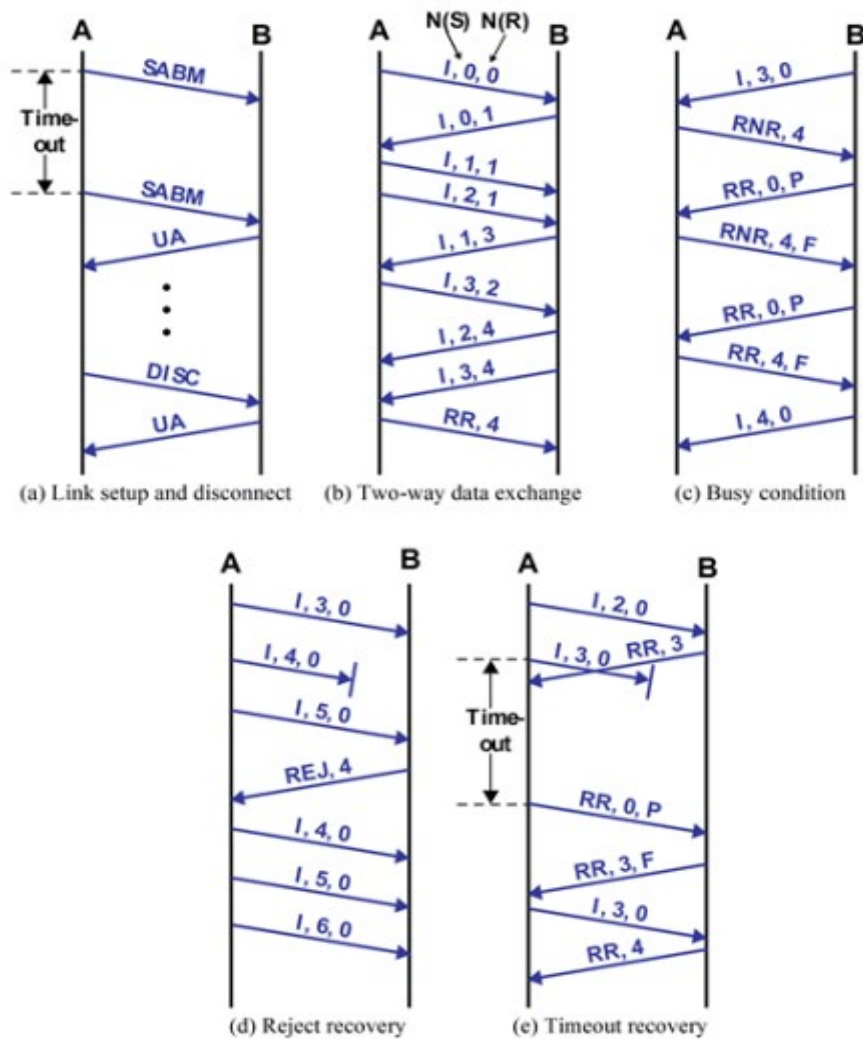


**Figure 7.6 Sliding-Window ARQ Protocols**

## HDLC

Protocolo de nivel 2 para sincronismo, control de flujo, control de errores, etc.

Hay 3 maneras de trabajar: NRM (fuera de uso), ABM (se usa con balanced, cualquier estación puede iniciar transmisión) y ARM (raramente usada, se usa con unbalanced y las secundarias pueden enviar sin permiso de la primaria)



**Figure 7.9 Examples of HDLC Operation**

## PPP

Una modalidad del HDLC, ABM.

La dirección está siempre a 1.

El checksum puede tener 2 o 4 bytes. Detecta errores.

Tiene 3 modalidades, especificado en el campo protocol

LCP. Se garantiza la calidad del enlace.

AP. Permite la identificación de los dos extremos. Es importante cuando es una conexión esporádica. Dos modalidades.

NCP. Toda la gestión del link. También negociación.

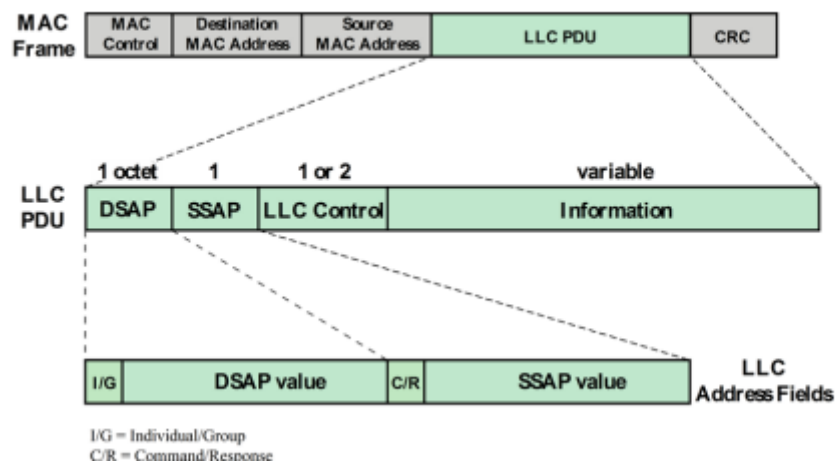
## LLC

Se utiliza conjuntamente con los protocolos MAC. Arregla los problemas que tiene MAC, por ejemplo poder trabajar con circuitos virtuales

Hay 3 servicios:

- UCS: sin reconocimientos (ack) y sin conexiones. LLevamiento de datagramas solamente. No hay control de errores y flujo.
- CS : solo sincroniza. Se establece una conexión lógica entre 2 terminales. Hay control de errores y flujo. Es la más completa. Sería como el equivalente a un ABM
- ACS: los datagramas están reconocidos. Hay un servicio de reconocimiento, por lo tanto se asegura la entrega. No hay conexión lógica.

LLC se empaqueta en un protocolo MAC. Por lo tanto, LLC no necesita llevar sincronismo.

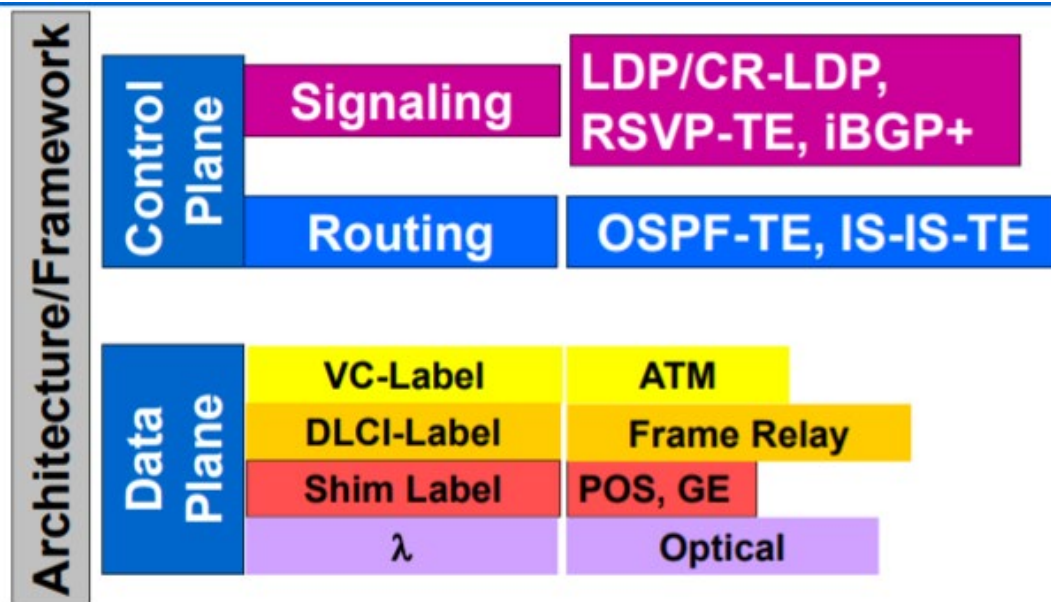


Lleva dos direcciones, una fuente y otra destino. HDLC está en el campo de control.

De HDLC, en la práctica se implementan PPP o LLC.

**MPLS extra**

MPLS es un conjunto de protocolos del control plane y el data plane. En el control plane está todo lo relacionado con el enrutamiento, y en el data plane con el forwarding. Control plane sería el de nivel 3 y el data plane el de nivel 2. El data plane es toda la gestión desde que entra hasta que sale.



Los rosas son protocolos para asignar etiquetas. El RSVP-TE además tiene reserva de recursos. EL iBGP+ permite llevar MPLS a entre AS.

Los azules: utilizaremos el OSPF-TE.

Los amarillos:

- ATM: etiqueta de los circuitos virtuales. La propia cabecera ATM sustituye a la etiqueta normal por una etiqueta MPLS. Unimos nivel 2 con MPLS.
- Frame Relay: aquí no hace falta cortar la trama IP. Cabe en el campo de información porque es de longitud variable.
- Ethernet y POS(punto a punto): colocar la etiqueta entre el nivel MAC y el nivel IP.
- Optical: una etiqueta es una longitud de onda.

### Point-to-Point LSP

Pueden ser un túnel o no.

Merging: que se junten rutas.