

# Indice

<b>1</b>	<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>1-4</b>
1.1	OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA.....	1-4
1.2	PROFESORADO .....	1-4
1.3	PROGRAMA .....	1-4
1.4	PRÁCTICAS EN LABORATORIO .....	1-5
1.5	BIBLIOGRAFÍA.....	1-5
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2-7</b>
2.1	INTRODUCCIÓN .....	2-7
2.2	CLASIFICACIÓN DE LA REDES .....	2-9
2.3	PROTOCOLOS Y ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS .....	2-15
2.4	MODELO DE REFERENCIA OSI.....	2-15
2.5	PROTOCOLOS TCP-IP .....	2-18
2.5.1	Nivel de subred .....	2-19
2.5.2	Nivel de Inter-red.....	2-19
2.5.3	Nivel de transporte.....	2-19
2.5.4	Nivel de aplicación .....	2-20
2.6	COMPARACIÓN OSI VS TCP/IP .....	2-20
2.7	ORGANISMOS DE NORMALIZACIÓN .....	2-21
<b>3</b>	<b>TRANSMISIÓN DE DATOS .....</b>	<b>3-22</b>
3.1	TERMINOLOGÍA.....	3-22
3.1.1	Transmisión de datos analógica y digital.....	3-26
3.1.2	Perturbaciones en la transmisión .....	3-26
3.1.2.1	Atenuación .....	3-26
3.1.2.2	Distorsión de retardo.....	3-27
3.1.2.3	Ruido.....	3-27
3.2	CAPACIDAD DE UN CANAL .....	3-28
3.3	MEDIOS DE TRANSMISIÓN .....	3-30
3.3.1	Guiados .....	3-30
3.3.1.1	Par trenzado .....	3-30
3.3.1.2	Coaxial .....	3-33
3.3.1.3	Fibra óptica .....	3-34
3.3.2	No guiados .....	3-38
3.3.2.1	Microondas terrestres.....	3-38
3.3.2.2	Infrarrojos .....	3-40
3.3.2.3	Ondas de radio .....	3-40
<b>4</b>	<b>CODIFICACIÓN DE DATOS .....</b>	<b>4-42</b>
4.1	ALGORITMOS .....	4-43
4.1.1	NRZ (NRZ-L Non Return to zero (Level)).....	4-43
4.1.2	NRZI (NRZ Invertido) .....	4-44
4.1.3	Manchester.....	4-45
4.1.4	Manchester diferencial .....	4-45
4.1.5	Pseudo-ternario .....	4-45
4.1.6	AMI (Alternate Mark Inversion) .....	4-46
4.1.7	B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution) .....	4-46

4.1.8	HDB3 (“High Density Bipolar-3 Zeros”)	4-47
4.1.9	Forma de onda de estas codificaciones	4-47
4.2	DATOS DIGITALES A SEÑAL ANALÓGICA	4-47
4.2.1	Desplazamiento en amplitud (ASK Amplitud-Shift Keying)	4-48
4.2.2	Desplazamiento en frecuencia (FSK)	4-48
4.2.3	Desplazamiento en fase (PSK)	4-48
4.3	DATOS ANALÓGICOS A SEÑALES DIGITALES	4-48
4.3.1	Modulación por impulsos codificados	4-49
4.4	DATOS ANALÓGICOS A SEÑAL ANALÓGICA	4-49
<b>5</b>	<b>INTERFACES DE CAPA FÍSICA</b>	<b>5-50</b>
5.1	CONCEPTOS	5-50
5.1.1	Transmisión síncrona y asíncrona	5-50
5.1.1.1	Transmisión asíncrona	5-50
5.1.1.2	Transmisión síncrona	5-51
5.2	INTERFACES	5-51
5.2.1	RS-232	5-52
5.2.2	MODEM de distancia limitada	5-52
5.2.3	MODEM de la red telefónica	5-53
5.2.4	MODEM Nulo	5-54
<b>6</b>	<b>NIVEL DE ENLACE</b>	<b>6-55</b>
6.1	INTRODUCCIÓN	6-55
6.2	ENTRAMADO	6-55
6.3	CONTROL DE FLUJO	6-57
6.3.1	Parada y espera	6-57
6.3.1.1	Análisis de prestaciones	6-60
6.4	VENTANA DESLIZANTE	6-61
6.4.1.1	Análisis de prestaciones	6-62
6.5	CONTROL DE ERRORES	6-63
6.5.1	Códigos de protección frente a errores	6-64
6.5.1.1	Protección de errores: tipos	6-65
6.5.1.1.1	Paridad	6-65
6.5.1.1.2	Paridad bloque o multidimensional	6-65
6.5.1.1.3	Código Hamming	6-65
6.5.1.1.4	CRC	6-68
6.5.2	Técnicas de corrección de errores	6-69
6.5.2.1	ARQ	6-69
6.5.2.1.1	ARQ de parada y espera	6-69
6.5.2.1.2	ARQ de rechazo simple	6-69
6.5.2.1.3	ARQ de rechazo selectivo	6-70
6.5.2.1.4	Prestaciones de ARQ	6-71
6.5.2.1.4.1	Arq de parada y espera	6-71
6.5.2.1.4.2	ARQ con rechazo simple y selectivo	6-72
6.5.2.2	FEC (Forward Error Control)	6-72
6.5.2.3	Técnicas mixtas	6-73
6.5.2.3.1	FEC + FEC	6-73
6.5.2.3.2	ARQ + FEC	6-73
6.6	PROTOCOLOS DE NIVEL DE ENLACE	6-73
6.6.1	SLIP (Serial Link IP)	6-73
6.6.2	PPP (Point to Point Protocol)	6-73

6.6.3	<i>HDLC (High level Data Link Control)</i> .....	6-74
6.7	PROBLEMAS .....	6-74
<b>7</b>	<b>NIVEL DE ENLACE: MEDIO COMPARTIDO</b> .....	<b>7-77</b>
7.1	MULTIPLEXACIÓN .....	7-77
7.1.1	<i>TDM</i> .....	7-77
7.1.2	<i>FDM</i> .....	7-78
7.1.3	<i>WDM</i> .....	7-78
7.1.4	<i>CDM</i> .....	7-78
7.2	PROTOCOLO ALOHA .....	7-78
7.2.1	<i>ALOHA puro</i> .....	7-78
7.3	CÁLCULO DE PRESTACIONES .....	7-79
7.3.1	<i>ALOHA ranurado</i> .....	7-80
7.4	CSMA .....	7-81
7.4.1	<i>CSMA 1-persistente</i> .....	7-81
7.4.2	<i>CSMA no persistente</i> .....	7-81
7.4.3	<i>CSMA p-persistente</i> .....	7-82
7.5	CSMA/CD .....	7-82
7.6	PASO DE TESTIGO .....	7-83
7.7	LAN .....	7-83
7.7.1	<i>Ethernet (IEEE 802.3)</i> .....	7-83
7.7.2	<i>Token Ring (IEEE 802.5)</i> .....	7-84
7.7.3	<i>FDDI</i> .....	7-84
7.7.4	<i>Token Bus (IEEE 802.4)</i> .....	7-84
7.8	PROBLEMAS .....	7-84

---

# Sistemas de Comunicación de Datos

---

## 1 Presentación

### 1.1 Objetivos de la asignatura

Se pretende que los alumnos:

- adquieran conocimientos generales acerca de las redes de datos (clasificación, tipos de conmutación, conceptos de interfaz, servicio y protocolo)
- comprendan conceptos relativos al nivel físico de la comunicación
- comprendan y sean capaces de analizar y recrear las técnicas usadas en el nivel de enlace, tanto en enlaces punto a punto como en enlaces de acceso múltiple.

### 1.2 Profesorado

- [Carlos García Rubio](#) (Responsable)
- José Luis Hernández Fernández

### 1.3 Programa

1. Introducción
  - Historia y uso de las redes de datos
  - Clasificación de redes de ordenadores
  - Conceptos Básicos
  - Descomposición en niveles de los sistemas de comunicación de datos:
    - Interfaces
    - Servicios
    - Protocolos
  - Modelo de referencia OSI
  - Modelo TCP/IP
2. Nivel físico
  - Transmisión de datos
  - Medios de transmisión
  - Codificación de datos
  - Interfaces de comunicación de datos
3. Nivel de enlace
  - Control de enlace
    - Definiciones y representaciones
    - Funciones del nivel de enlace
    - Tipos de enlace
    - Códigos de detección y control de errores: Técnicas FEC
    - Ejemplo: SLIP, PPP
    - Protocolos de control de errores: Técnicas ARQ
    - Ejemplo: HDLC
  - Técnicas de acceso al medio

- Reserva: FDM, TDM, TDM estadística
    - Contienda: Aloha, CSMA
    - Selección: Paso de testigo
  - Redes de área local:
    - Conceptos Básicos
    - Arquitectura
    - Ethernet (IEEE 802.3) y Fast Ethernet
    - Token Ring (IEEE 802.5)
    - FDDI (ISO 9314)
4. Interconexión de Subredes
- Nivel Físico: Repetidores
  - Nivel de Enlace: Bridges
    - Bridges Transparentes
    - Bridges con Encaminamiento fuentes
    - Nomenclatura: Repetidores-Hubs, Bridge-Switch

## 1.4 Prácticas en laboratorio

Además de las clases de teoría y de problemas, se realizarán prácticas en laboratorio.

- Las prácticas comienzan el 8 de Noviembre de 2000.
- El horario de prácticas será los miércoles, coincidiendo con las horas de clase (de 9:00 a 11:00 y de 15:00 a 17:00), si bien podrán hacerse también fuera de horas de clase conectándose a los puestos del laboratorio por telnet o slogin desde cualquier ordenador de Internet y trabajando en remoto, cualquier día de la semana a cualquier hora.
- Las prácticas se realizarán en el laboratorio del Área de Ingeniería Telemática 1.0A02, en PCs con sistema operativo Linux. Como ya hemos comentado, puede conectarse a estos ordenadores a través de Internet (se llaman `it001.lab.it.uc3m.es` a `it018.lab.it.uc3m.es`).
- Para poder entrar en los ordenadores del laboratorio necesita tener una cuenta abierta. Puede solicitarlo a través del siguiente [formulario](#). Las cuentas se solicitarán individualmente (cada alumno tiene derecho a tener una cuenta). Esta cuenta le servirá además para el resto de las asignaturas que curse en el Área de Ingeniería Telemática.
- Las prácticas se harán y se entregarán obligatoriamente por parejas. Lea en el enunciado de la prácticas las normas sobre cómo notificar cuáles son los componentes de cada pareja.
- Pulse aquí para acceder al [enunciado de la práctica](#).

## 1.5 Bibliografía

[Tanenbaum 96]

- [Andrew S. Tanenbaum](#): *Computer Networks*, Third Edition, [Prentice Hall International](#) 1996 (también en Español).
- [Stallings 97]  
[William Stallings](#): *Data and Computer Communications*, Fifth Edition, [Prentice Hall International](#) 1997 (también en Español).
- [Perlman92]  
Radia Perlman: *Interconnections: Bridges and Routers*. Addison Wesley, 1992  
96]  
Larry L. Peterson, Bruce S. Davie: *Computer Networks, A Systems Approach*, [Morgan Kaufmann Publishers](#) 1996.
- [Schwartz 88]  
Mischa Schwartz: *Telecommunication Networks: Protocols, Modelling and Analysis*, Addison Wesley, 1988.
- [Peterson 96]  
Larry L. Peterson, Bruce S. Davie: *Computer Networks, A Systems Approach*, [Morgan Kaufmann Publishers](#) 1996.
- [Bertsekas 92]  
Dimitri Bertsekas, Robert Gallager: *Data Networks*, Second Edition, [Prentice Hall International](#) 1992.
- [Halsall 96]  
Fred Halsall: *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*, Fourth Edition, [Addison Wesley](#) 1992.

## 2 Introducción

### 2.1 Introducción

El procesamiento de la información (Informática) y la distribución de la información (Telecomunicaciones) convergen, ambas tienden hacia la telemática.

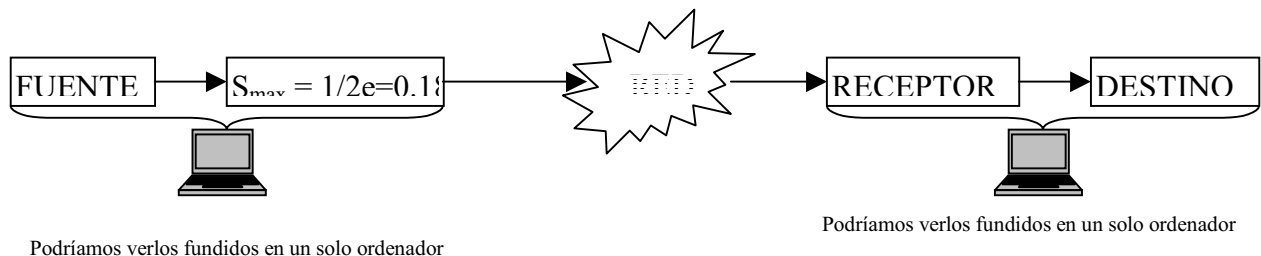
De los sistemas informáticos centralizados hay una evolución a los sistemas distribuidos.

Telemática es el estudio de las redes de ordenadores (SCD).

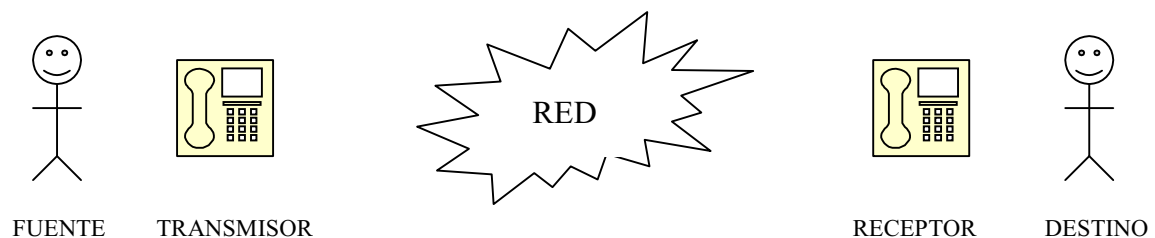
Algunas definiciones:

- Red de ordenadores: Es una colección interconectada (permite el intercambio de información) de ordenadores autónomos (equipos que en principio no necesitan la red para funcionar).
- Telecomunicación: Comunicación a distancia. Cualquier intercambio de información, ya sea entre hombre o máquina, independientemente de la distancia (unos pocos metros o hasta kilómetros). En principio es una comunicación bilateral, aunque puede haber sistemas unilaterales (difusión de radio o TV).
- Redes de ordenadores simétricas: en las que las comunicaciones se producen igual en un sentido que en otro.

Modelo simplificado de un sistema de telecomunicaciones (una dirección, por simplificar):



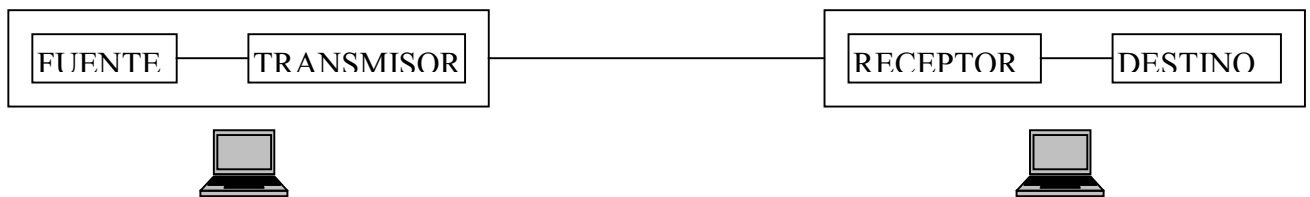
La fuente es la que genera la información a transmitir (en nuestro caso el ordenador). El transmisor transforma la información de la fuente en señales electromagnéticas susceptibles de ser enviadas a través de una red. En el caso de un ordenador sería un MODEM o una tarjeta de red. La red es un conjunto de recursos y facilidades que permitirán la transmisión de esas señales. El receptor capta las señales de la red y las transforma al formato que necesita el destino. El destino es el que recibe los datos enviados por la fuente. Un ejemplo no informático sería:



Definiciones:

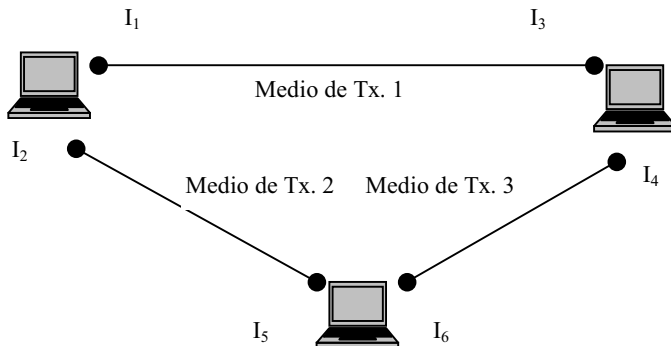
- Transmisión: Proceso de envío de información a través de una red. En principio, la información ha de transformarse para poder ser enviada por la red (electromagnético).
- Señal: Información transformada adecuadamente para ser enviada por red.
- Protocolo: Reglas que definen como se codifica la señal y su organización para ser transmitida por red (protocolo de comunicaciones). Estos necesitan el intercambio de otras señales que no son información.
- Señalización: Señales que no son información pero intervienen en la comunicación y transmisión de esta.

El sistema de comunicación más elemental constará de dos equipos unidos por un medio de transmisión:



- Medios de transmisión: Se clasifican en dos tipos:
  - Guiados: Las ondas electromagnéticas se confinan en el interior de un medio sólido (cable metálico: red, coaxial, etc... o no metálico: fibra óptica).
  - No guiados: Se transmiten las señales sin confinarlas en ningún medio (a través del aire o vacío). También se llama transmisión inalámbrica.

Si en lugar de 2 equipos tenemos 3, necesitamos 3 medios de transmisión, y en cada máquina 2 interfaces de comunicación.



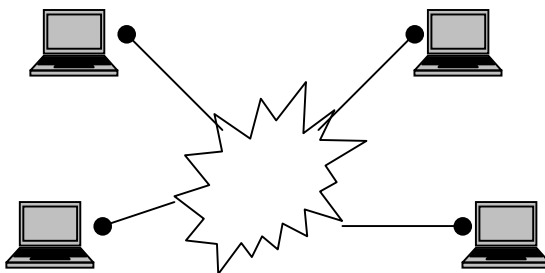
Con 4 equipos sería 6 medios de transmisión y 3 interfaces por máquina.

Con  $n$  equipos interconectados necesitaríamos  $\frac{n(n-1)}{2}$

medios de transmisión y cada máquina habría de tener  $n-1$

interfaces.

- Red de comunicaciones: Sistema compartido que permite reducir el número de medios de transmisión y el número de interfaces necesarios en cada máquina, compartiéndolos y haciendo que cada máquina conectada a la red tenga un solo interfaz (una sola vía de entrada y salida de información).





## 2.2 Clasificación de la redes

Se pueden clasificar según diversos criterios:

- Según su técnica de comunicación:

- Redes punto a punto (dedicadas o malladas): Existe una red de comunicación para cada pareja de equipos conectados.

VENTAJAS: Comunicación muy sencilla, pues cada pareja de equipos tiene un medio exclusivo, sin compartir. No hay que elegir el camino por donde llevar la información.

INCONVENIENTES: Su coste y complejidad cuando hay muchos equipos.

- Redes de difusión: Existe un único medio de transporte compartido por todos los equipos, por ello se necesita un mecanismo en la red de control de acceso a ese medio compartido para evitar que este sea usado por varias máquinas simultáneamente. La compartición se consigue mediante multiplexación. Otra característica es que como el medio es compartido, cuando alguien transmite algo en el medio, es recibido por el resto de los equipos de la red.

VENTAJAS: Un único medio de transmisión. Si queremos transmitir a todas les llega con una única transmisión.

INCONVENIENTES: Privacidad, no sólo le llega al destino, sino a todas las máquinas de la red. La capacidad del canal se divide entre el número de estaciones (para un número de estaciones elevado bajan las prestaciones).

Un ejemplo es la difusión de paquetes por radio.

Otro ejemplo son las redes por satélite.

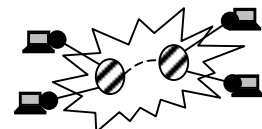
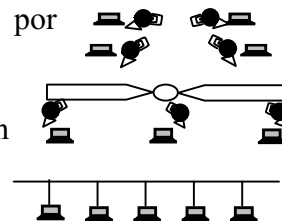
Son redes con un medio de transmisión

no guiado.

Otro ejemplo serían las redes en bus.

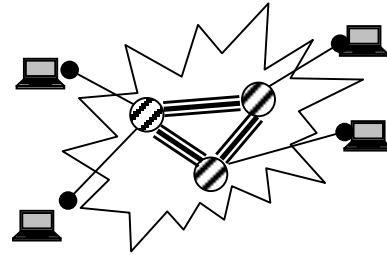
- Redes de conmutación: Además del medio de transmisión va a haber unos equipos llamados nodos de conmutación, de tal forma que los equipos que se conectan a la red no están unidos directamente, sino que se unen a un nodo de conmutación en el interior de la red. Cuando un equipo quiere transmitir algo pasa a su nodo de conmutación y este se encarga de hacerlo llegar hasta el nodo de conmutación del equipo destino.

Los nodos de conmutación están conectados entre sí. Si la red es pequeña y tiene pocos nodos, entonces los nodos pueden conectarse como si fuera una red interna punto a punto. Pero si la red es más grande, no existirán tantos enlaces, por lo que siempre debe existir al menos un camino para llegar de cualquier punto a otro, aun pasando por varios nodos. Por motivos de fiabilidad suele haber más de un camino.



Dependiendo del tipo de red, los nodos reciben un nombre u otro (en TCP/IP son encaminadores, en telefonía son centralitas,...). Según el funcionamiento de los nodos, se dividen en tres tipos:

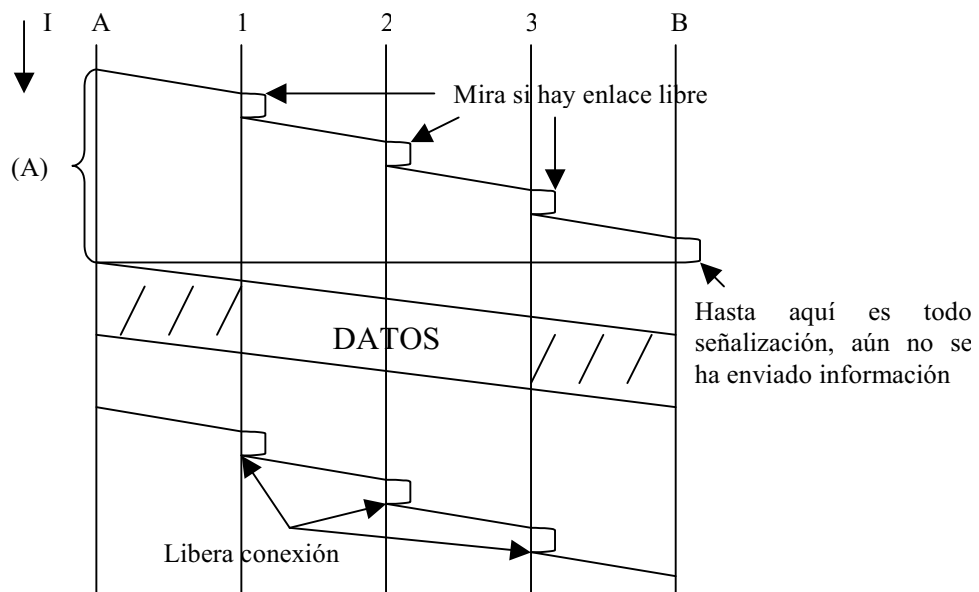
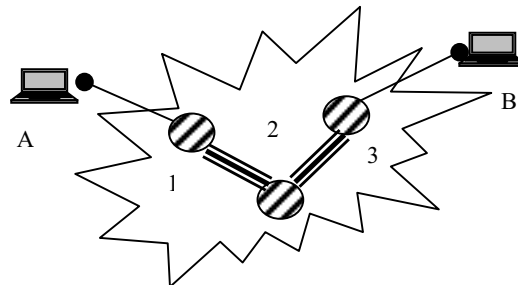
- Conmutación de circuitos: Son los más antiguos que existen y se basan en que los enlaces entre nodos de conmutación. Están formados por varios medios de transmisión.



La comunicación se produce en tres fases:

- 1- Establecimiento de conexión: El origen indica con que destino quiere comunicar. Los nodos van conectando físicamente una de sus entradas y una de sus salidas hasta encontrar un camino que va al emisor y al receptor. Si tiene éxito, tenemos un enlace dedicado punto a punto (exclusivo).
- 2- Transferencia de información: Se intercambia la información que se desee.
- 3- Liberación de conexión: Se comunica a los nodos de conmutación que se pueden liberar los enlaces. Se libera los enlaces internos que crean los nodos, dejándolos libres para otras comunicaciones.

Veamos un ejemplo con un diagrama de tiempos:



**VENTAJAS:** Una vez establecida la conexión es como si tuviésemos un cable dedicado para la comunicación de A con B, por ello NO hay retardo en los nodos de conmutación (retardo que si se produce al principio hasta que se encuentra el circuito), solo el retardo implícito del medio. Es una tecnología conocida (por lo que se tiene experiencia en ella).

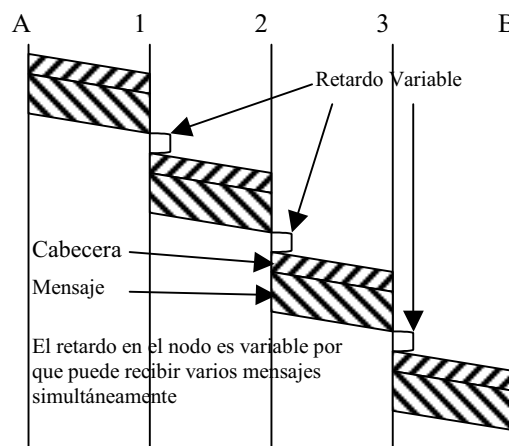
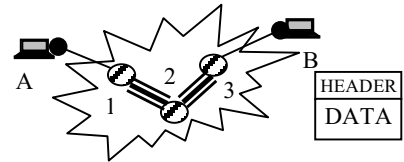
**INCONVENIENTES:** Se nos tarificará por el circuito establecido, independientemente de lo que transmitamos. Aunque en ciertos momentos no generemos tráfico, seguiremos disponiendo del canal.

El retardo de establecimiento de conexión es muy grande (A). Cuando la red se comienza a congestionar, el primero que consiga establecer comunicación tiene un servicio perfecto (mientras no desconecte) y el resto no consigue transmitir, no consigue un circuito. En una red de datos lo ideal es ocupar recursos de la red mientras se está transmitiendo.

Si hay congestión de la red, el servicio no se degrada igual para todos los usuarios. Empiezan a escasear enlaces entre nodos de conmutación, quien tiene suerte y encuentra enlaces libres tiene un servicio perfecto, pero el resto no tiene ningún servicio.

Pese a ser una de las tecnologías más antiguas y no ser una de las mejores formas de transmitir información, es de las más empleadas. Ej. Red telefónica, RDSI,...

- **Conmutación de mensajes:** No existen realmente, sino conceptualmente. Son redes dirigidas especialmente a la transmisión de datos, los nodos de conmutación son ordenadores con su memoria, disco, etc..., donde guardan cosas temporalmente. No hay establecimiento de conexión, sino que cuando A quiere enviar algo a B, inserta una cabecera en la información a enviar donde indicará el destinatario. A se lo envía al nodo que lo almacenará. El nodo lo distribuirá al nodo del destinatario final. Se dice que son redes de almacenamiento y reenvío. Los



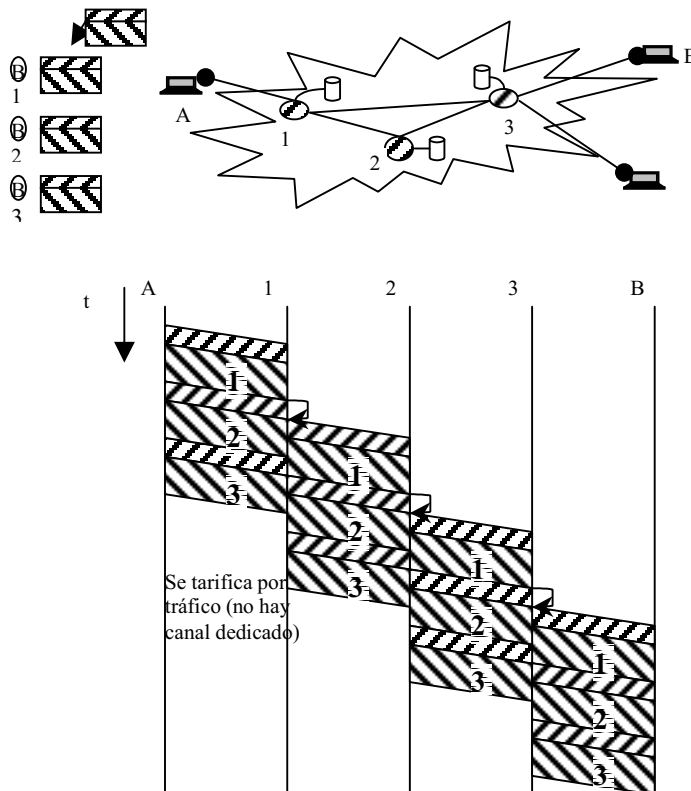
mensajes se encolan y el nodo los va desencolando y procesando. En el nodo destino también se encolan al recibir.

**VENTAJAS:** No hay que establecer circuito, se envía y ya está. No consumimos ningún recurso al transmitir. Solo se nos tarificará por el uso que hacemos de la red, de la cantidad de información que enviamos. Las prestaciones son más grandes y equitativas. Gradual, por que según hay más tráfico, hay más retardo, pero todos pueden enviar.

**INCONVENIENTES:** Hay que limitar el tamaño del mensaje, pues si no, el retardo en cada salto podría elevarse demasiado, o incluso, por retardo ocupar el canal mucho tiempo.

Ese tamaño máximo es el que obliga a fragmentar la información a enviar, llamando a cada fragmento PAQUETE.

- **Conmutación de paquetes:** El mensaje se trocea en paquetes con una longitud máxima específica. Según el tipo de envío puede ser:
  - **Por datagrama:** Cada uno de los fragmentos tiene una cabecera que indica el destino y un número de secuencia (entre otras cosas). Cada paquete se envía por separado como en conmutación de mensajes y el destino debe reordenar los paquetes a su recepción.



#### **INCONVENIENTES:**

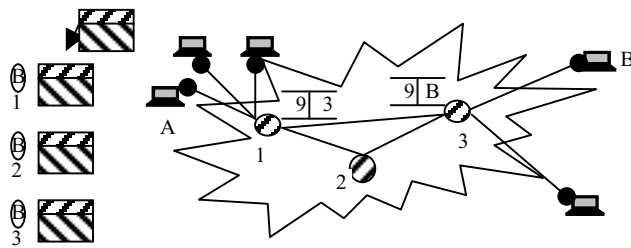
En cada paquete va la dirección de destino, teniendo que decidir por cada nodo de conmutación y paquete, el camino de las tramas para ir al destino. Otro inconveniente es que, como se puede ir desde el origen al destino por varios caminos, unos paquetes llegan antes que otros. Esto obliga al destino a tener memoria para almacenar los paquetes y reordenarlos luego.

**VENTAJAS:** Es muy sencillo. Un ejemplo es Internet (protocolo IP).

Es más rápido que la conmutación de mensajes: Antes teníamos que esperar a recibir todo el mensaje para reenviar, aunque no haya recibido el resto.

- **Por circuitos virtuales:** La decisión de encaminamiento de A a B sólo se produce una vez. Se hace comunicación en tres fases, como en las redes de conmutación de circuitos. Primero se envía un paquete especial a la red donde se dice que se quiere establecer un circuito virtual con el destino (este circuito virtual no es real, no se establece

realmente un circuito virtual con el destino). El primer nodo nos contesta con un identificador de circuito virtual. El nodo, a continuación decide por donde deben ir esos paquetes. Crea una tabla que asigna un identificador de circuito virtual a un nodo, que será el siguiente nodo de conmutación. Un nodo le solicita al otro el establecimiento de un circuito virtual, guardando el segundo en una tabla que para el circuito virtual n° X se envía a través del nodo n o se entrega al destino. Al terminar de decidir el camino, se inicia el envío de los paquetes, añadiendo en la cadena el n° de circuito virtual a seguir.

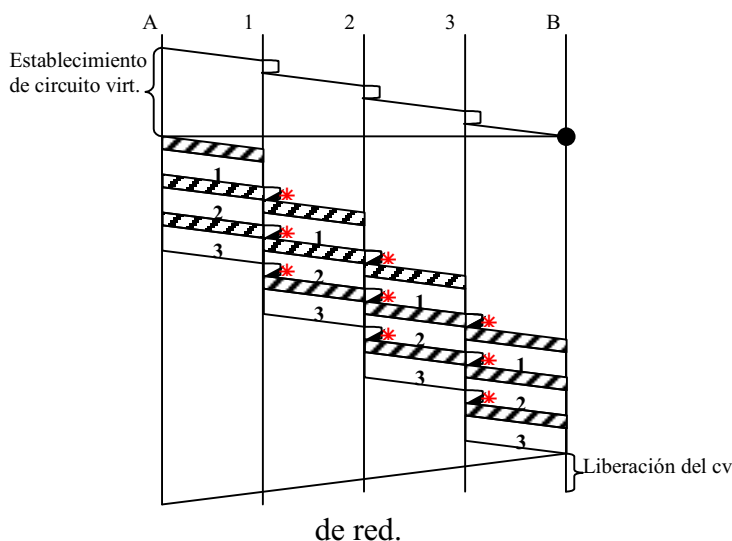


Si falla la red o un nodo, se cierra el circuito y hay que volver a solicitar circuito y reenviar. Se llaman circuitos virtuales por que se parecen a la conmutación de circuitos, pero son virtuales por que realmente no existen.

Si no transmitimos no consumimos, pues no tenemos la ruta dedicada. Si hay pocos paquetes es mejor por datagrama, pues no pierdes tiempo estableciendo un circuito. Si son muchos paquetes compensa establecer el circuito. Es adecuado para redes de alta velocidad. El numero de circuito virtual es más pequeño que en una dirección de red, por lo que la cabecera es más pequeña.

Ejemplo: X.25, Frame-Relay(1600 bytes), ATM (53 bytes) o conmutación de células (los paquetes son muy pequeños).

Al final se envía un mensaje especial para liberar el circuito virtual, borrando los números de las tablas de encaminamiento, quedando ese identificador libre para otro circuito virtual. El diagrama de tiempo sería el siguiente:



El retardo (\*) se supone que es menor por que ya está calculada la ruta y aunque se tarde en establecer y liberar compensa la suma de retardos.

Hay una pequeña parte de tarificación por el tiempo que tenemos establecido el circuito y el resto es por el tráfico

Si no se transmite, no se consume ningún recurso de la red, ya que cualquiera podría enviar por ese enlace (a diferencia de los circuitos virtuales).

Una vez establecida la conexión, cada paquete incluirá en las cabeceras el nº de circuito virtual únicamente, mandándolos a la red en el orden adecuado. La acción de encaminamiento se realiza al comienzo de la conexión y no se vuelve a hacer.

VENTAJAS: La decisión de encaminamiento se realiza una sola vez al comienzo de la conexión. Los paquetes llegan ordenados.

INCONVENIENTES: Se ha de establecer y liberar la conexión. Si se envían pocos paquetes es mejor por datagrama, si son muchos, por circuito virtual, porque solo hay que encaminar una vez.

La tarificación realizada es, en conmutación de circuitos por el tiempo que esté establecido el circuito, independientemente del tráfico generado. En datagramas (comunicación por paquetes) por el tráfico generado, si se transmite se cobra, si no se transmite, no. En conmutación de paquetes por circuitos virtuales se cobra una pequeña cantidad por el tiempo que pasa desde que se establece el circuito virtual hasta que se libera (por el espacio en memoria para almacenar el circuito virtual). Pero fundamentalmente se cobra por la cantidad de bits que se mandan, consumen ancho de banda en los enlaces de la red.

- Según su extensión geográfica: Se pueden clasificar en Redes locales (LAN), redes metropolitanas (MAN), redes extensas (WAN) o redes de sobremesa (DAN).
  - LAN: Desde un laboratorio (unos pocos metros), pasando por un edificio o varios edificios próximos entre sí (a lo sumo 1 Km de diámetro). Por ejemplo, un campus.
  - MAN: Cubrirá una ciudad y sus alrededores.
  - WAN: Cubre una región (comunidad, país, continente e incluso todo el planeta). El tamaño de la red influye en el protocolo a utilizar.
  - DAN: Las redes metropolitanas (MAN) están cayendo en desuso. Incluso están apareciendo unas nuevas redes, las redes de sobremesa (Desk Area Network o DAN). Son redes de centímetros que unen un procesador con los periféricos. En máquinas multiprocesador sirven para unir los distintos procesadores.
- Según su explotación: Tenemos redes privadas y públicas.
  - Redes Privadas: Son las que tienen las organizaciones para darse servicio a sí mismas.
  - Redes Públicas: Propiedad de una empresa que cobra por su uso a terceros. Dependiendo del tipo de red existen protocolos más o menos adecuados (coste, tiempo, etc...).

El hecho de que sea pública o privada va a afectar a los protocolos de comunicaciones. En las redes públicas hay que cuidar aspectos no necesarios en las privadas, como tarificación (cobrar a los usuarios), seguridad (los datos que

envía un usuario han de ser recibidos por el destinatario. En una red privada no es tan importante garantizar la confidencialidad de los datos en la red), garantizar la calidad del servicio (el usuario paga por el servicio, paga por unos Mbits por segundo, y hay que dárselo).

También ha habido una tendencia a identificar LAN con red privada y WAN con red pública.

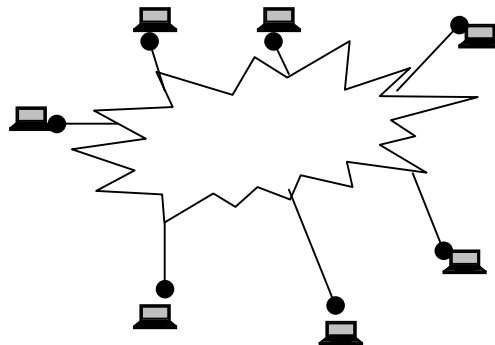
## 2.3 Protocolos y arquitectura de protocolos

Para que usuarios heterogéneos (S.O., etc...) se puedan comunicar, han de ponerse de acuerdo en el lenguaje a utilizar, que cosas se van a decir, como y cuando.

Un protocolo de comunicaciones es un conjunto de reglas mutuamente aceptadas que van a regir el diálogo entre los equipos de una red. Se compone de una **sintaxis** (formato de envío de datos, como codificarlos, tipos de mensajes a intercambiar, ...), una **semántica** (a cada mensaje le da un significado concreto), y una **temporización** (indica cuando puedo enviar un mensaje o qué respuestas puedo mandar a un mensaje).

El problema de la comunicación entre ordenadores se divide en subproblemas más fáciles de atacar (tipos de cables, de conectores, como son las señales, etc...). Esto es lo que persiguen las arquitecturas de protocolos de comunicaciones: descomponer el problema de la comunicación de ordenadores en una serie de subproblemas llamados niveles o capas.

Cada fabricante definió su propio protocolo (IBM con SNA, Serdex con DNA...) pero se requería una arquitectura normalizada para que todo el mundo usase la misma. Entre ellos están el modelo de referencia OSI, arquitectura TCP,...



## 2.4 Modelo de referencia OSI

1997- ISO (Organización internacional de estandarización) creó un comité para definir una arquitectura de protocolos que pudiera ser una referencia universal. Lo llamó Modelo de Arquitectura de Interconexión de sistemas abiertos (MARISA en español u OSI).

1984- Fecha de publicación de la norma final (ISO 7498). Define la descomposición del problema de la comunicación en una serie de niveles (7 niveles: Físico, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación).

Este modelo es genérico: está dividido en capas. Cada capa agrupa un conjunto de funciones relacionadas, y a su vez, cada capa hace uso de las funciones del nivel inferior para realizar sus funciones. Está muy influido por la arquitectura SNA de IBM.

En general un nivel  $n$  hace uso de los servicios del nivel  $n-1$  y ofrece servicios al nivel  $n+1$ . Se dice que el nivel  $n$  recibe servicio del nivel  $n-1$  y ofrece servicio al nivel  $n+1$ .

El nivel  $n$  accede al servicio del nivel  $n-1$  a través de unos puntos de acceso (SAP o Service Access Point). A su vez, ofrece estos puntos de acceso al nivel superior. Se pueden ver como funciones que pueden ser llamadas para enviar y recibir datos.

El conjunto de los SAP que ofrece cada nivel es el interfaz de ese nivel.

- **Nivel Físico:** Nivel más bajo de la torre OSI. Es el que realmente va a utilizar el medio físico para enviar y recibir datos. El servicio que va a ofrecer al nivel superior es el envío y recepción de bits. Para ello, los estándares de este nivel deben definir el medio de transmisión y los conectores desde cuatro puntos de vista: mecánico, eléctrico, funcional y procedimental.
  - **Mecánico:** cable (cobre, etc), aislante a utilizar, etc...
  - **Eléctrico:** Señales a enviar, como representar 0 y 1, frecuencia, forma de onda, velocidad, etc...
  - **Funcionales:** Conectores, cuantos pines, para que sirve cada pin,...
  - **Procedimentales:** Nos dice los pasos a seguir en los envíos: mandar un ACK por el pin 7, espera respuesta por el pin 14 (o sea, secuencia de ordenes a seguir con el conector).

Ejemplos de normas de nivel físico: RS232 (puerto serie), Vx (V14, V24,...), ISDN (RDSI) y LAN.

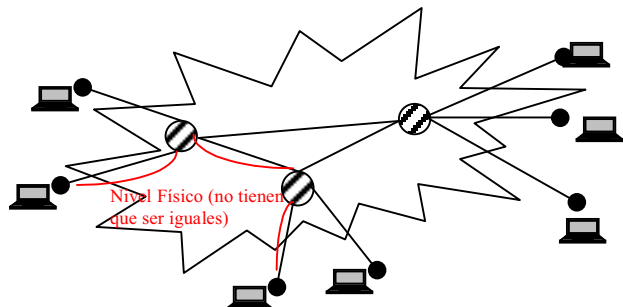
- **Nivel de enlace:** El servicio que ofrece al nivel de red es transmisión y recuperación fiable de tramas. Realiza ciertas funciones: Control de errores (detección / corrección), delimitación de tramas y multiplexación. El nivel físico sólo ve bits, debemos determinar donde acaba un mensaje y comienza el siguiente. Eso es lo que hace el control de tramas. A nivel de enlace se llama **tramas** y a nivel de red se llama **paquetes**. La información se enmarca con bits de control (Frame en inglés). En las redes de difusión todos los ordenadores están interconectados, necesitando algo que regule el acceso al medio compartido (la red). Esto es lo que se llama multiplexación. Es tarea también del nivel de enlace.

En una red conmutada el nivel físico y el nivel de red nos resuelven entre un equipo y su nodo de conmutación, y entre nodos de conmutación, puede que para los saltos haya medios de transmisión y protocolos de enlace distintos. Se garantiza que (salto a salto) los bits están libres de errores entre esos dos.

Un protocolo del nivel de enlace no tiene por qué implementar todas las funciones. Algunos protocolos del nivel de enlace son DIC, SLIP, PPP, ISDN y LAN, LAPB, LAPD.

El nivel físico y el de enlace son los que vemos en la asignatura.

- **Nivel de red:** Nos va a dar un servicio de transmisión y recepción de paquetes extremo a extremo. Implementa las funciones de encaminamiento, fragmentación y re-ensamblado. En una red de conmutación, el nivel físico y de enlace trabajan salto a salto. El nivel que se encarga de encontrar el trayecto de origen a destino es el de red.





En las redes punto a punto y en las redes de difusión no va a hacer falta el nivel de red (tenemos conexiones extremo a extremo). Es más necesario en las de conmutación, tanto en datagramas (hará el encaminamiento de los datagramas) y en las de circuitos virtuales el establecimiento de circuito.

Será necesario también el nivel de red cuando interconectemos redes.

La interconexión de esas redes se hace conectando encaminadores, que se unen entre sí en un enlace punto a punto. Es entonces una red de conmutación de paquetes, cuyos dispositivos conectados son a su vez redes de distintas tecnologías.

Los encaminadores o nodos de conmutación (de redes conmutadas) sólo necesitan implementar hasta el nivel de red de la torre OSI.

El nivel de red tiene que ser el mismo en toda la red.

Ejemplos de protocolos de nivel de red son X.25, IP,...

- **Nivel de transporte:** Va a proporcionar tres servicios:

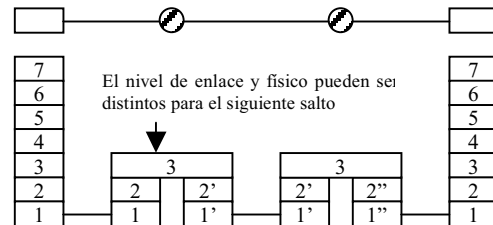
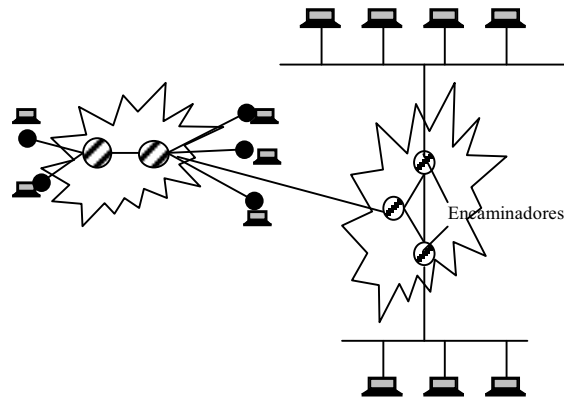
- **Conmutación fiable extremo a**

**extremo:** Pueden llegar los datos desordenados al destino (datagramas) si siguen distintos caminos, e incluso puede que algunos no lleguen, no por errores en el medio de transmisión (¡por que se asegura que de A a B va a llegar sin errores, se verifica salto a salto), sino por congestión. Nótese que es una red de almacenamiento y reenvío, que a un nodo llegan muchos paquetes y los va almacenando hasta que el enlace de salida queda libre. Si la memoria se llena (congestión), cuando llega un nuevo paquete, el nodo lo tira (se pierde). El nivel de transporte debe reordenar los datos enviados así como pedir aquellos paquetes que no le llegan.

- **Ofrecer la calidad de servicio demandada por el usuario** que el retardo máximo sea x, que haya un retardo constante entre los paquetes (ej. Envío de voz).
- **Multiplexación de aplicaciones:** Al enviar mensajes de varias aplicaciones distintas pueden estar intercambiando datos entre el mismo origen y el mismo destino de res. Ej. De nivel de transporte: UDP, TCP, TRP.

Con el nivel de transporte tenemos comunicaciones fiables entre cualquier máquina de una red.

- **Nivel de sesión:** Realiza funciones de organización y sincronización de la comunicación, que son mecanismos complejos que consiguen determinar en que punto se encuentra exactamente la comunicación si ocurre un error fatal (Ej. Cajero). No se suele usar, son para aplicaciones muy específicas.
- **Nivel de presentación:** Realiza 3 funciones:
  - **Representación de datos:** Se definen mecanismos independientes de la máquina de codificación de información, de tal manera que todas las máquinas representen los datos recibidos de la misma forma (los caracteres



sean los mismos, etc...). Ejemplos de modelos de representación son XDR, ASN-1, ...

- Compresión de los datos
- Cifrado de los datos

En la práctica estas 3 funciones suelen llevarse a nivel de aplicación.

- Nivel de aplicación: No son las aplicaciones, son unas funciones de uso común para muchas aplicaciones, las aplicaciones están por encima (ej. Envío de ficheros,...). Este nivel tiene una arquitectura muy compleja.

Los niveles de sesión, presentación y aplicación suelen obviarse en la práctica y se consideran como aplicaciones.

En la parte superior de la torre OSI se encuentra la aplicación que quiere enviar unos datos a otra máquina. Los datos los pasa al nivel de aplicación, que añade una cabecera al nivel de aplicación.

El conjunto de los datos y la cabecera forman una PDU (Protocol Data Unit) o unidad de datos de protocolo para cada nivel.

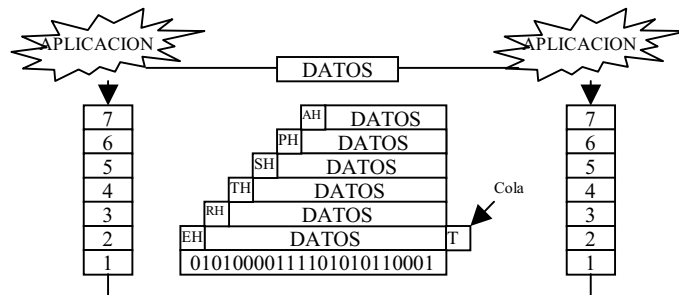
Así se hace para todos los niveles.

En el nivel de enlace se añade además de la cabecera una cola, para determinar las tramas, pero no siempre es así.

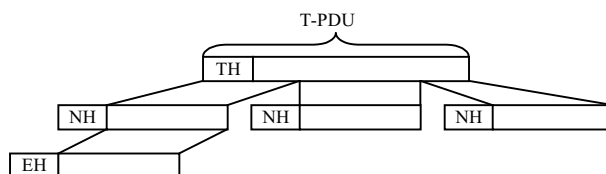
El nivel físico no añade nada.

Cada nivel lo único que procesa es la cabecera y el resto se lo va pasando al nivel superior hasta que al final lo entrega al destino.

Cada nivel trata a la cabecera del nivel superior como si fueran datos.



Puede ocurrir que la T-PDU sea mayor que el tamaño máximo permitido por lo que se ha de fragmentar en el nivel de red.

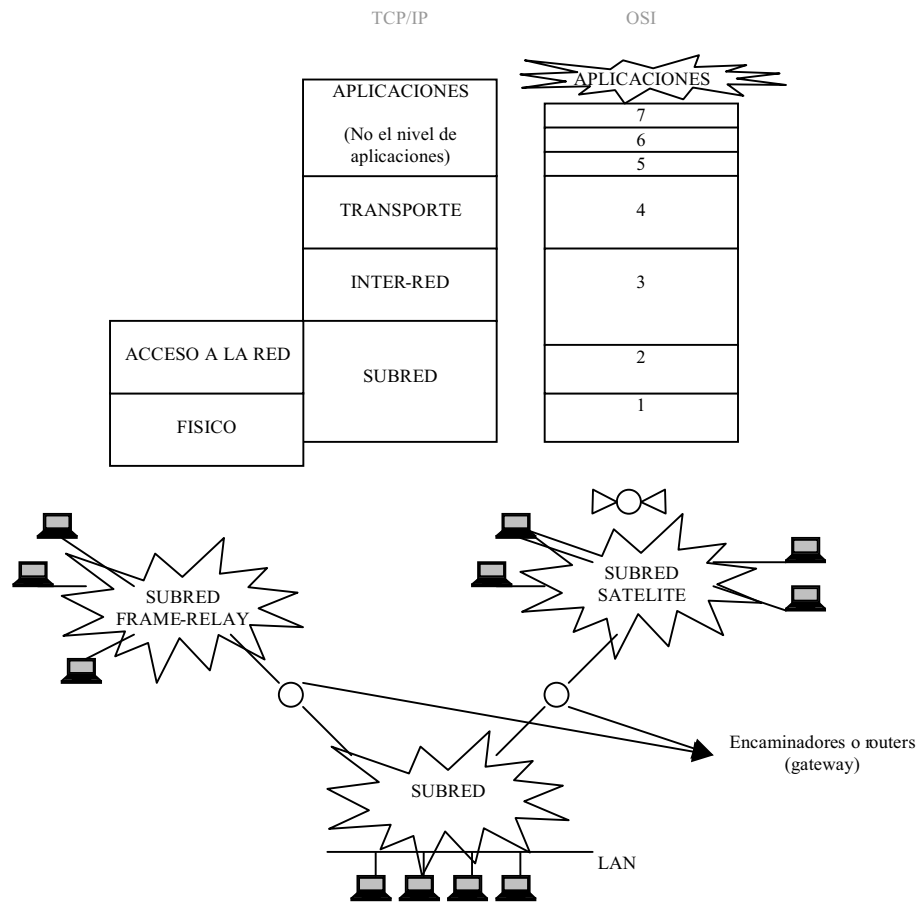


## 2.5 Protocolos TCP-IP

- Triunfaron frente a ISO.
- Son más sencillos, menos ambiciosos.
- Las implementaciones son más fáciles de hacer y salen antes al mercado que los protocolos que define ISO.
- Se desarrollan dentro del departamento de defensa americano (es el mayor cliente de SW del mundo), muchas empresas empiezan a desarrollar estos protocolos.

- No se diseñó una arquitectura, según las necesidades de comunicación se iban creando protocolos y asociándolas con la arquitectura.

La arquitectura que define es:



Cada subred puede ser distinta y con distintos protocolos, una red puede estar compuesta por un conjunto de subredes.

### 2.5.1 Nivel de subred

Define como se realiza la comunicación entre equipos conectados a la misma subred. Esta capa hará más o menos funciones, dependiendo de la complejidad de la red (ej. Punto a punto, frame-relay,...).

### 2.5.2 Nivel de Inter-red

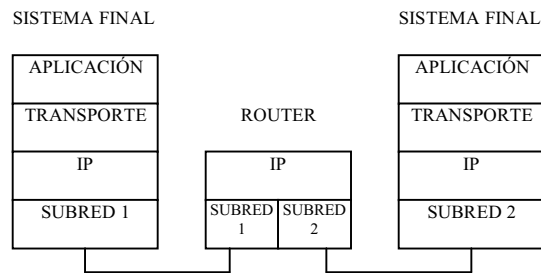
Hace posible que los datos viajen entre máquinas conectadas en subredes distintas. Hacen el encaminamiento a través de los routers. Para ello será necesario dar varios saltos de origen a destino utilizando varios encaminadores. El router es un equipo que tiene enlaces a varias subredes (está conectado a dos o más subredes). Estos datos podrán llegar desordenados y con errores.

### 2.5.3 Nivel de transporte

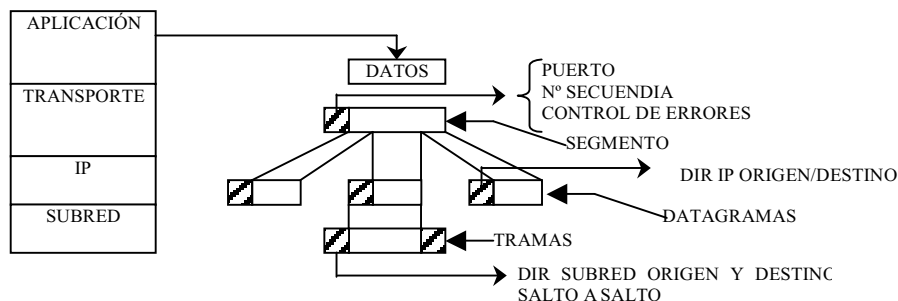
Da un servicio extremo a extremo fiable (no hay pérdida de datos y llegan ordenados) y todos los parámetros de calidad del servicio que exija el usuario. Asegura que los datos lleguen desde la aplicación origen a la aplicación de destino en el mismo orden, etc...

## 2.5.4 Nivel de aplicación

Están directamente las aplicaciones (ej. E-mail, telnet, ...) en contraposición a OSI.



El encaminador solo implementa los protocolos de subred y de Inter-red. Los protocolos de transporte y aplicación son protocolos extremo a extremo, solo están implementados en los sistemas finales.



La cabecera de transporte incluye en su cabecera el puerto origen y destino (aplicaciones origen y destino de los datos).

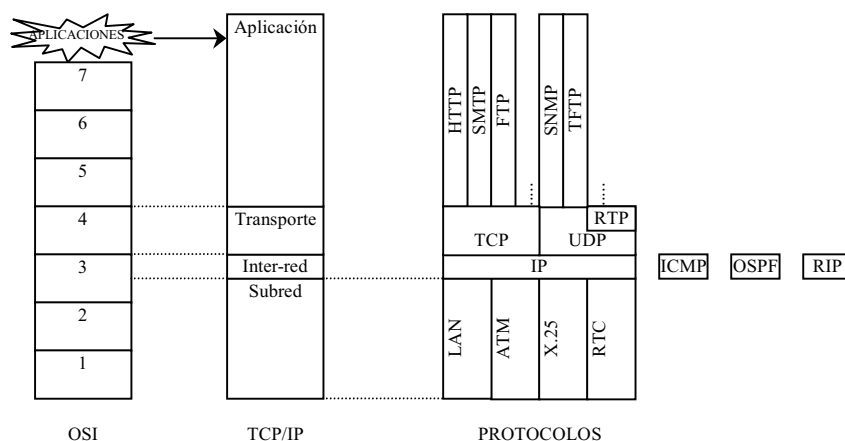
El control de errores sirve para saber si se ha perdido algún paquete en la red y pedir la retransmisión.

Este segmento es pasado al nivel IP, que seguramente lo primero que haga sea fragmentarlo, incluyendo en cada fragmento una cabecera. La cabecera IP contiene la dirección IP origen y destino para encaminar la información entre subredes del origen al destino.

Los datos se pasan al nivel de subred y se les añade una cabecera y una cola. La cabecera incluye la dirección de subred origen y destino de cada salto (salto a salto).

La trama se envía a través de la red. Con el paquete IP se contruyen sucesivas tramas para el nivel de subred y el paquete IP no cambia). El router recibe la trama, extrae la cabecera y la cola y la encapsula con la subred 2.

## 2.6 Comparación OSI vs TCP/IP



## 2.7 Organismos de normalización

Las normas se dividen en dos tipos:

- De facto: Son aquellas que aparecen sin ninguna intención de crearlas, simplemente por su gran difusión en el mercado. En el mundo de las comunicaciones, las normas de facto son raras.
- De jure: Son normas creadas por algún organismo de normalización legalmente aceptado.

Los organismos de normalización son de dos tipos:

- Establecidos por organizaciones internacionales:
  - ITU: Unión internacional de comunicaciones. Dependiente de la ONU. Creado en 1865. Las normas que hace la ITU se llaman recomendaciones y su formato es: ITU-T (telecomunicaciones), ITU-R (radiocomunicaciones). Ej. ITU-T .163, ITU-T X25 (Letra mayúscula/número).
  - ISO: organización Internacional de estandarización. Tiene un ámbito mucho más amplio que el de las telecomunicaciones. Surgió en 1940, como agrupación de organizaciones de normalización de distintos países (en España AENOR,...). ISO está dividido en 200 comités técnicos que estandarizan distintas cosas, el TC97 estandariza ordenadores y procesamiento de la información.
- Realizadas por organismos sin ánimo de lucro:
  - IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Ha patrocinado algunas normas, las más importantes son las normas LAN, realizadas por el comité 602.
  - IAB: Comité de actividades de Internet. Comité de 10 expertos para decidir que cosas era necesario normalizar en Internet. Estas normas se llaman RFC's.

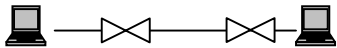
## 3 Transmisión de datos

(Stallings)

### 3.1 Terminología

La transmisión de datos entre un emisor y un receptor siempre se realiza a través de un *medio de transmisión*. Los medios de transmisión se pueden clasificar en *guiados* y *no guiados*. En ambos casos, la comunicación se realiza con ondas electromagnéticas. En los *medios guiados*, como por ejemplo en los pares trenzados, los cables coaxiales y las fibras ópticas, las ondas se transmiten confinándolas a lo largo del camino físico. Por el contrario, los *medios no guiados* proporcionan una forma de transmitir las ondas electromagnéticas pero sin encauzarlas, como por ejemplo en la propagación a través del aire, el mar o el vacío.

El termino *enlace directo* hace referencia al camino de transmisión entre dos dispositivos en el que la señal se propaga directamente del emisor al receptor sin ningún otro dispositivo intermedio que no sea un amplificador o repetidor. Estos últimos se usan para incrementar la energía de la señal.

El medio de transmisión guiado es *punto a punto* si  proporciona un enlace directo entre los dos únicos dispositivos que comparten el medio. En una configuración guiada *multipunto*, el mismo medio es compartido por más de dos dispositivos.

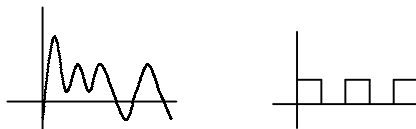
Un medio de transmisión puede ser *simplex*, *half-duplex* o *full-duplex*. En la transmisión simplex, las señales se transmiten sólo en una única dirección; siendo una estación la emisora y otra la receptora. En half-duplex, ambas estaciones pueden transmitir, pero no simultáneamente. En full-duplex, ambas estaciones pueden igualmente transmitir, pero ahora simultáneamente. En este último caso, el medio transporta señales en ambos sentidos al mismo tiempo. Posteriormente se explicará cómo se realiza este tipo de transmisión.

La *señal* es la representación en forma de ondas electromagnéticas de la información emitida por una estación. La señal es una función del tiempo, pero también se puede representar en función de la frecuencia, es decir, la señal está constituida por componentes de distintas frecuencias.

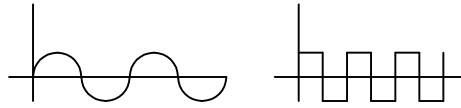
Teniendo en cuenta la señal como función del tiempo, podemos tener señales *continuas* y *discretas*. Una señal continua es aquella en la que la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo. Es decir, no se presentan saltos o discontinuidades. La definición matemática de señal es,  $S(t)$  es continua si:

$$\lim_{t \rightarrow a} S(t) = S(a), \forall a$$

Una señal discreta es aquella en la que la intensidad se mantiene constante durante un determinado período de tiempo, tras el cual la señal cambia a otro valor constante. La señal continua puede corresponder a la voz y la discreta a los valores binarios (0,1).



El tipo de señales más sencillas que se pueden considerar son las periódicas, que se caracterizan por contener un patrón que se repite a lo largo del tiempo. A continuación se muestra un ejemplo de señal periódica continua (una onda sinusoidal) y un ejemplo de señal periódica discreta (una onda cuadrada).



Matemáticamente, una señal  $s(t)$  se dice que es periódica si y solo si:

$$S(t) = S(t + T), \forall t$$

donde la constante  $T$  es el período de la señal ( $T$  debe ser el menor valor que cumple la ecuación). En cualquier otro caso, la señal no es periódica.

$$\frac{1}{T} = f = \text{frecuencia de la señal}$$

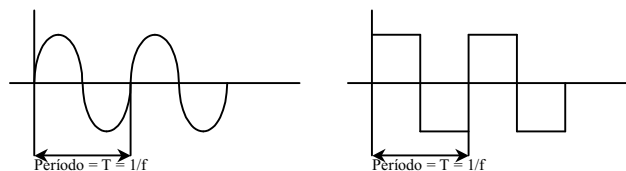
La onda seno es la señal continua fundamental por excelencia. Cualquier onda seno se representa mediante tres parámetros: la amplitud ( $A$ ), la frecuencia ( $f$ ) y la fase ( $\Phi$ ). La amplitud es el valor de pico de la señal en el tiempo; típicamente este valor se mide en voltios. La frecuencia es la razón (en ciclos por segundo o Hertzios [Hz]) a la que la señal se repite. Un parámetro equivalente es el período ( $T$ ) definido como la cantidad de tiempo transcurrido entre dos repeticiones consecutivas de la señal; por tanto. Teniendo en cuenta la ecuación anterior se obtiene:

$$f = \frac{1}{T}$$

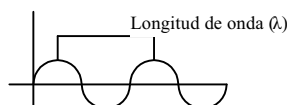
La fase es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un período de la misma.

La expresión general para una onda senoidal es:

$$s(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + \Phi)$$



Para una señal, se define la longitud de onda  $\lambda$  como la distancia que ocupa un ciclo, en otras palabras, la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos. Supóngase que la señal se propaga a una velocidad  $v$ . En ese caso, la longitud de onda se puede relacionar con el período de la señal a través de la siguiente expresión:  $\lambda = T \cdot v$ , de forma equivalente:  $\lambda \cdot f = v$ . Es frecuente el caso en el que  $v = c$ , esto es, el caso en el que la velocidad de propagación en el medio es igual a la de la luz en el espacio libre, que como es sabido es  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.



### Análisis de Fourier

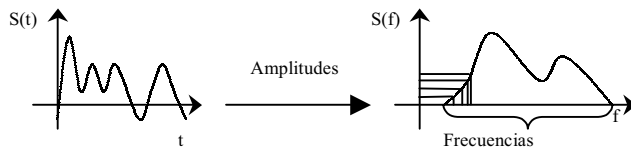
Toda señal (continua o discreta) se puede descomponer como suma de ondas sinusoidales de distintas frecuencias y amplitudes. Por lo general el n° de ondas que hacen falta es infinito.

El conjunto de ondas sinusoidales de distintas frecuencias que componen la señal se llama *espectro de la señal*. Ese espectro se puede obtener mediante la *transformada de Fourier*.

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) \cdot e^{j2\pi ft} df$$

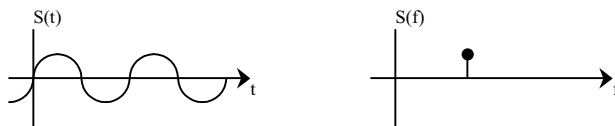
$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt$$

Esta transformada de Fourier nos permite pasar de una representación en el tiempo de la señal a una representación en frecuencia.



Si cogemos ondas seno de las frecuencias del segundo gráfico con la amplitud  $S(f)$ , obtenemos la señal  $S(t)$ .

La Transformada de Fourier de una señal va a tener un aspecto en función de cómo sea esa señal. Ej. Onda sinusoidal:

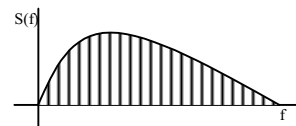
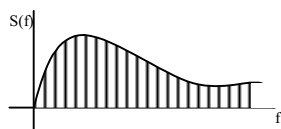
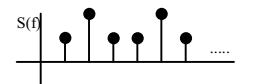
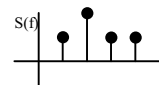


Es un solo valor de la frecuencia y amplitud de la señal. Ya que la transformada de Fourier es la suma de señales sinusoidales, con una única onda

seno quedaría representada.

En general hay cuatro tipos de transformadas:

- Suma de un número finito de ondas. Como este ejemplo con 4 ondas.
- Suma de infinitas frecuencias. Por ejemplo la transformada de una onda cuadrada. En este caso si  $T = 1/f$ , la transformada tendrá puntos en  $f_1, 2 \cdot f_1, 3 \cdot f_1, \dots$
- Suma de infinitas frecuencias, infinitamente juntas unas de las otras.
- Suma de infinitas frecuencias que se extienden hasta el infinito.



Estas señales han de ser integrables, por lo que las amplitudes van tendiendo a cero para que la suma sea finita.

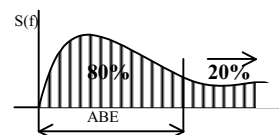
En toda transformada, siempre podemos identificar la frecuencia más alta (puede ser infinito) y la más baja que sea distinta de cero. A la diferencia entre ambas se le llama ancho de banda de la señal (BW). Este ancho de banda es infinito para los tipos 2 y 4.

En los casos en los que el BW es infinito, se define el Ancho de Banda Efectivo a las frecuencias que suman hasta el 80% de la señal.

En concreto, la  $S(t)$  derivada del 80% de una onda infinita y de otra no infinita que coincida con el 80% de la primera, son tan similares que muchas aplicaciones las consideran idénticas.

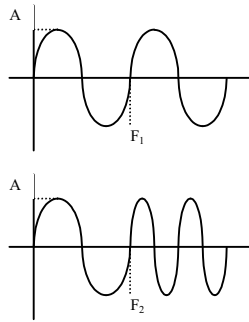
El ancho de banda también se mide en Hertzios.

Por último, indicar que hay espectros donde  $S(0) = 0$  y otros donde  $S(0) \neq 0$ . El valor en el punto 0 ( $S(0)$ ) se llama componente continua de la señal y equivale al valor medio de la señal en el dominio del tiempo.





El comportamiento de los medios de transmisión es distinto según la frecuencia.



Las señales, al viajar, disminuyen su amplitud por varios problemas (calor, ...). Esta atenuación es distinta según la frecuencia de la señal, por lo que la 1ª señal podría llegar con amplitud  $A/2$  y la segunda con una amplitud de  $A/10$ .

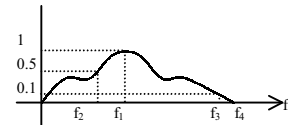
Además, la velocidad de transmisión también cambia con la frecuencia, aunque el cambio en la velocidad se nota menos que el de la amplitud.

Si lo que se transmite es la suma de las dos señales, la señal destino se parecerá poco a la original ya que una componente se atenúa menos que la otra. Es decir, cada componente de una transformada se atenúa de una forma distinta.

La respuesta o comportamiento en frecuencia de un medio de transmisión es la atenuación que va a introducir en los distintos componentes de la frecuencia.

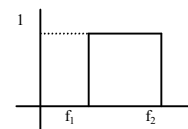
Se representa en el dominio de la frecuencia indicando cómo atenúa para los distintos valores de frecuencia.

Es decir, ante 3 señales con la misma amplitud y frecuencias  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$ , la amplitud de salida sería  $1 \cdot B$ ,  $0.5 \cdot B$  y  $0.1 \cdot B$  para cada una de ellas. Si se transmite con una frecuencia  $f_n$ , la salida tendrá una amplitud 0. Por último, la relación entre  $A$  (amplitud original) y  $B$  (amplitud máxima en recepción) depende de la longitud del cable.

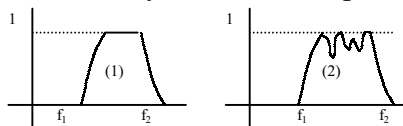


El ancho de banda de un medio es la diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja que pueden atravesar dicho medio de comunicación.

El medio de transmisión ideal tendría esta forma. una frecuencia o no pasa o pasa con atenuación. En la respuesta de un medio real tiene una zona central casi

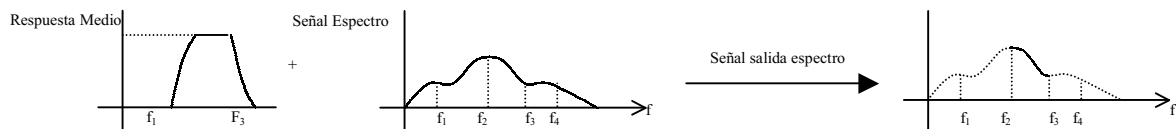


Es decir, realidad, la plana, pero



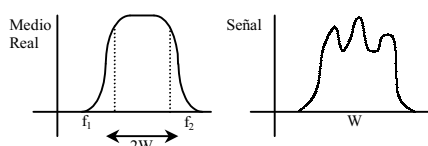
Para medios metálicos (1), esta respuesta es muy regular, pero para el aire, la respuesta es irregular (2).

Si se envía una señal espectro entre  $f_2$  y  $f_4$  cuando el medio admite entre  $f_1$  y  $f_3$ , la salida entre  $f_1$  y  $f_2$  será 'nada', entre  $f_2$  y  $f_3$  será parecido al original y la zona entre  $f_3$  y  $f_4$  no pasará.



Es decir, si la respuesta del medio está entre  $f_1$  y  $f_3$ , sólo se pueden enviar señales dentro del ancho de banda efectivo entre  $f_1$  y  $f_3$ .

Además en un medio de transmisión real, como hay zonas intermedias entre 0 y 1 cerca de los bordes para transmitir una señal con un  $BW = W$ , el ancho de banda ha de ser aproximadamente  $2W$ .



En concreto, el ancho de banda de una señal digital dependerá de la técnica de codificación y de la velocidad de transmisión (que no es lo mismo que la de propagación). El ancho de banda del medio, limitará el BW de la

señal que puedo meter, y por consiguiente, la velocidad de transmisión.

---

### 3.1.1 Transmisión de datos analógica y digital

---

Analógico y digital es asimilable a continuo y discontinuo, y puede ser aplicado a los datos, la señal y la transmisión.

Los datos (información) pueden ser analógicos o digitales. Los primeros podrían tomar cualquier valor en un intervalo continuo (la voz, ya que son ondas de presión). Los datos digitales sólo pueden tomar ciertos valores concretos (texto en ANSI). Estos datos se representan mediante señales.

Una señal es analógica cuando es continua, es decir, su amplitud varía de forma continua, y es digital cuando es discreta. Cualquier tipo de datos (Analógico o Digital) puede ser transmitido de cualquiera de las formas. Por ejemplo:

	Datos	Señal
Teléfono	A	A
PC (MODEM)	D	A
CODEL (Voz o vídeo digitalizado)	A	D
Transmisor digital (PC: 0001111..)	D	D

Un transmisor digital sencillo se basa en asignar +5v al 1 y -5v al 0 digital.

Por último, la transmisión de la señal del origen al destino también puede ser Analógica o Digital.

- Será analógica cuando la señal se propaga a base de amplificadores.
- Será digital si se propaga a base de repetidores.

Un amplificador simplemente aumenta la amplitud de la onda por un determinado valor (p.ej. x10). Su problema es que también se amplifica el ruido y las perturbaciones.

Un repetidor puede ser usado solo con señales digitales. En concreto, no amplifica, sino que lee la señal y la retransmite (sin perturbaciones) con la misma amplitud que el original. Son más complejos y más caros (ahora no tanto), pero se pueden usar tantos como se quiera sin estropear la señal (a diferencia de los amplificadores). Por eso se tiende a usar transmisión digital. Además, las señales digitales ocupan menos ancho de banda.

---

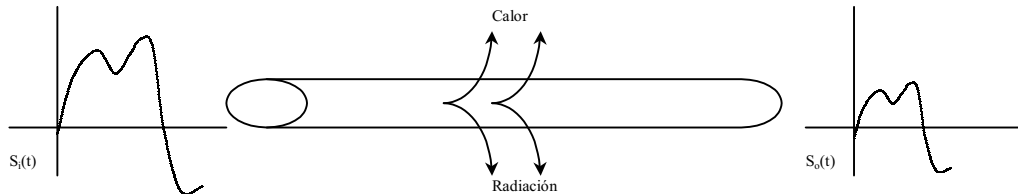
### 3.1.2 Perturbaciones en la transmisión

---

Estas perturbaciones pueden ser atenuación, distorsión de retardo o ruido.

#### 3.1.2.1 Atenuación

Es la pérdida de energía que ofrece la señal según viaja por el medio. Esto ocurre en todos los medios, por ejemplo, en un cable metálico la amplitud baja por la resistencia de los electrones, lo que hace que aparezca un calentamiento en el cable y por la generación de radiaciones electromagnéticas, ya que todo cable funciona como una antena que radia parte de la señal que conduce.

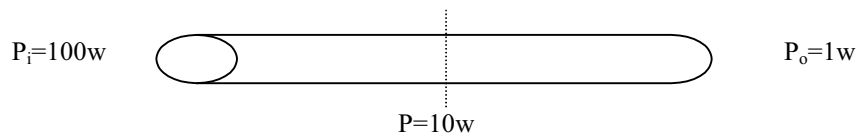


Si llamamos  $P_i$  y  $P_o$  a la potencia (en vatios) de la entrada y la salida, la atenuación (en decibelios) es:

$$A(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_i}{P_o}$$

En el medio ideal  $P_i = P_o$  y  $A = 0\text{ dB}$  y en el peor de los casos  $P_o = 0$  por lo que  $A = \infty\text{ dB}$ .

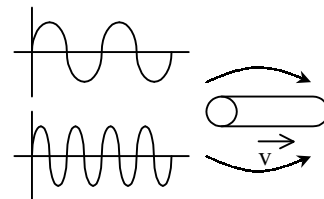
Se usan los dB como medida ya que especialmente en medios guiados, la atenuación es proporcional a la longitud del cable (en medidas logarítmicas).



Además la atenuación también depende de la frecuencia, por lo que no todas las frecuencias sufren la misma atenuación en un medio.

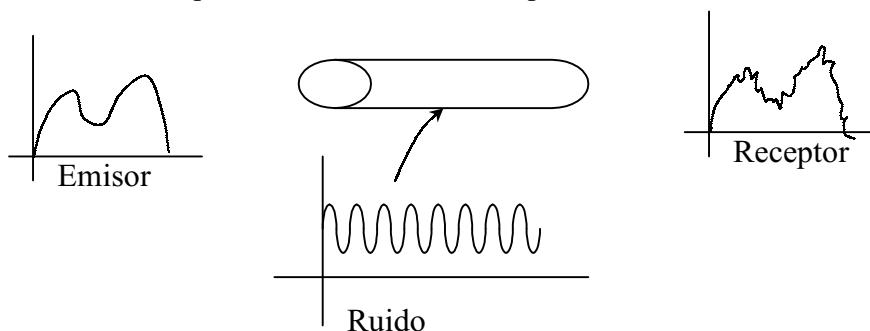
### 3.1.2.2 Distorsión de retardo

La velocidad de propagación de las señales en un medio varía con la frecuencia. Esta diferencia es algo más apreciable en los medios metálicos.



### 3.1.2.3 Ruido

Cualquier emisión no deseada que se inserte entre el emisor y el receptor.



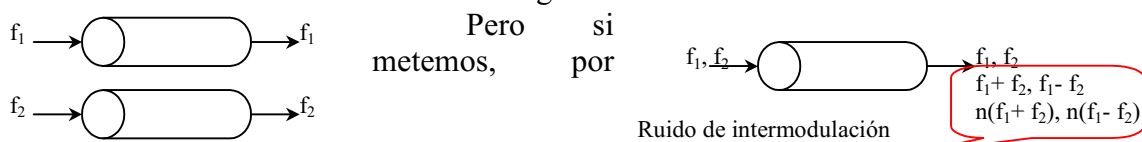
Según el origen del ruido, este puede ser de cuatro tipos, térmico, de intermodulación, de diafonía e impulsivo.

- Térmico: Ruido blanco o gaussiano, proviene de la agitación de las moléculas del medio de transmisión debido a la temperatura.

$$N(W) = K \cdot T \cdot BW$$

Siendo  $K$  la constante de Boltzman ( $1.3803 \cdot 10^{-23}$  Julios/ $^{\circ}\text{K}$ ),  $T$  la temperatura en grados Kelvin y  $BW$  el ancho de banda (en hertzios).

- Intermodulación: Tiene su origen en no linealidades del medio de transmisión.



ejemplo, la suma de dos ondas seno.

- **Diafonía:** Se debe al acoplamiento eléctrico entre medios de transmisión cercanos, de forma que parte de la señal de un medio pasa como ruido al otro medio. En inglés se llama CROSS-TALK.
- **Impulsivo:** Es un ruido irregular, consistiendo en un pico de corta duración que se introduce en el medio de transmisión y tiene una amplitud relativamente grande.

Una causa pueden ser las tormentas eléctricas, los tubos fluorescentes que consumen mucha energía al encenderse pudiendo afectar a cables cercanos.

Para la transmisión analógica, la atenuación, intermodulación y la diafonía son dañinas, pues transforman la señal, obteniendo algo a la salida en donde es difícil discernir que es señal y que es ruido. Para la transmisión digital no son tan problemáticos.

Sin embargo, el ruido impulsivo es peor por la transmisión digital (pista al revés): a 14400 bits/seg, un pico de 1 centésima nos cambia un 0 por un 1. Se corrigen con técnicas de detección y corrección de errores.

## 3.2 Capacidad de un canal

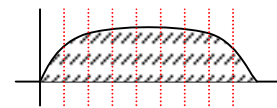
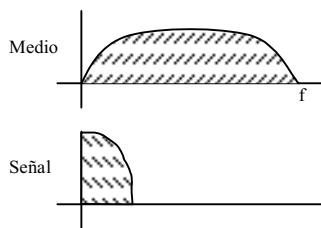
Esta capacidad representa el número máximo de bits por segundo de un medio. El ancho de banda de un medio es limitado:

- **Físicamente:** por la respuesta en frecuencia, está limitado por la información que se puede meter en su BW. Este BW podría ser muy grande, pero está siempre limitado (p.e. en el vacío se puede transmitir desde KHz hasta THz). Por lo que no se deja transmitir en todo el BW, sino que se divide en canales, unos para radio, para TV, para móviles, satélite,...
- **Económicamente:** la banda asignada al medio de comunicación.

Algunos medios tienen un BW muy alto, y la señal la tiene muy baja, por lo que se suele dividir en canales y se asigna un canal a cada usuario.

Dividimos en varios canales y le asignamos a cada usuario un canal, pero con la frecuencia que hay que transmitir le sobra.

Vamos a disponer de un ancho de banda limitado (ya bien sea del medio o de un solo canal). Nos preguntaremos cuantos bits por segundo podré transmitir con ese ancho de banda.



Va a haber cuatro factores:

- $C(\text{bits/seg}) \rightarrow$  Capacidad
- $BW (\text{Hz}) \rightarrow$  Ancho de banda
- $N (\text{watt}) \rightarrow$  Ruido
- $P_e ( ) \rightarrow$  Tasa de errores o posibilidad de error que toleramos (bits que seremos capaces de recibir mal).

Fijados 3 factores, el cuarto viene dado.

La rama de las telecomunicaciones que estudia esto se llama “teoría de la información”.

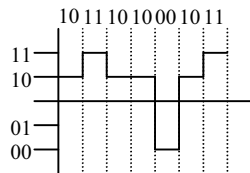
Supongamos un canal sin ruido, con un ancho de banda BW Hertzios, y en el que se emplea una codificación a dos niveles (para un 0 envío  $-5v$  y para el 1 envío  $5v$ , o sea, sólo dos niveles de voltaje). Nyquist demostró que en este medio:

$$C\left(\frac{\text{bits}}{\text{seg}}\right) = 2 \cdot BW$$

Si tenemos un ancho de banda de 100 KHz podremos transmitir 200 Kb/seg.

Se podrían transmitir más bits por segundo, pero empleando codificación multinivel, consistente en agrupar varios bits asignando a cada grupo un valor de tensión.

Multinivel con cuatro niveles ( $M = 4$ ), se coge de 2 en 2 los bits.



Si cogemos 3 bits,  $M=2^3 = 8$  niveles de tensión.

$$C\left(\frac{\text{bits}}{\text{seg}}\right) = 2 \cdot BW \cdot \log_2 M$$

Si queremos enviar muchos bits por segundo, deberíamos tener un M muy grande, lo que implica mínimas diferencias entre los niveles, con lo que al más mínimo ruido fallaría el envío. Sólo sería posible en un medio libre de errores. ¿En un canal con ruido, cuando puede ser el valor de M?

Canal con ruido: la relación señal/ruido a la salida del canal es la división entre S y N (señal y ruido).

$$\frac{S(\text{Watts})}{N(\text{Watts})} \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \cdot \log \frac{S}{N}$$

Para un sistema así, Shanon, en 1949 demostró que:

$$C\left(\frac{\text{bit}}{\text{seg}}\right) = 10 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad \text{Limite de Shanon}$$

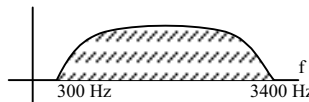
Es la cantidad de bits a transmitir sin errores.

Ejemplo: Línea telefónica básica.

BW = 3100 Hz.

(S/N)dB = 30 dB

(S/N)db = 10 log (S/N)



La mayor parte de la voz se concentra entre 300 y 3400 Hz.

$S/N = 10^3 = 1000$

La potencia de la voz al teléfono es 1000 veces superior al ruido que se genera e interfiere.

$C = 3100 \cdot \log_2(1+1000) = 30984 \text{ bits/seg.}$  (o sea, que de igual que te compres un MODEM de 56600)

Esta formula nos dice el máximo, pero no cómo alcanzarlo. Nos da el régimen binario nada más.

A la vista de la formula, ¿qué se puede hacer para aumentar el régimen binario? Aumentar el BW, la potencia de la señal (S) o disminuir el ruido (N). No es tan sencillo: el ruido es por causas externas. Aumentar el BW tiene un efecto de aumento de la

temperatura, y por ello del ruido. Aumentar la potencia de la señal nos lleva a introducir no linealidades, aumentando el ruido de intermodulación.

## 3.3 Medios de transmisión

Pueden ser guiados (par trenzado, coaxial o fibra óptica) o no guiados (microondas, radio e infrarrojo).

---

### 3.3.1 Guiados

---

#### 3.3.1.1 Par trenzado

Es el medio más barato y más usado.



#### Descripción física

Son dos hilos de cobre, uno envueltos con un aislante y entrecruzados en forma de espiral. Cada par de cables constituye sólo un enlace de comunicación. Típicamente, se utilizan haces en los que se encapsulan varios pares mediante una envoltura protectora. En aplicaciones de larga distancia, la envoltura puede contener dentro de pares. El uso del trenzado tiende a disminuir las interferencias electromagnéticas (diafonía) entre los pares adyacentes dentro de una misma envoltura. Para este fin, los pares adyacentes dentro de una misma envoltura protectora se trenzan con pasos de torsión diferentes. Típicamente, para enlaces de larga distancia, la longitud del trenzado varía entre 5 y 15 cm. Los conductores que forman el par tienen un grosor que varía típicamente entre 0.04 y 0.09 pulgadas. Comúnmente en comunicaciones es más frecuente el de 4 pares.

#### Aplicaciones

Tanto para señales analógicas como para señales digitales, el par trenzado es con diferencia el medio de transmisión más usado. Por supuesto es el medio más usado en las redes de telefonía, igualmente su uso es básico en el establecimiento de redes de comunicación dentro de edificios.

En telefonía, el terminal de abonado se conecta a la central local mediante cable de par trenzado, denominado “bucle de abonado”. Igualmente, dentro de un edificio de oficinas, cada teléfono se conecta a la central privada (PBX, “Private Branch Exchange”) mediante un par trenzado. Estas instalaciones basadas en pares trenzados, se diseñaron para transportar tráfico de voz mediante señalización analógica. No obstante, con el uso de los módems, esta infraestructura puede utilizarse para transportar tráfico digital a velocidades de transmisión reducidas.

En aplicaciones digitales, el par trenzado es igualmente el más utilizado. Típicamente, los pares trenzados se utilizan para las conexiones al conmutador digital o a la PBX digital, con velocidades de hasta 64 Kbps. El par trenzado se utiliza también en redes de área local dentro de edificios para los 10 Mbps. No obstante recientemente se han desarrollado redes de área local con velocidad de 100 Mbps mediante pares trenzados, aunque estas configuraciones están bastante limitadas por el número de posibles dispositivos conectados y extensión geográfica de la red. Para aplicaciones de

larga distancia, el par trenzado se puede utilizar a velocidades de 4 Mbps o incluso mayores.

El par trenzado es mucho menos costoso que cualquier otro medio de transmisión guiado (cable coaxial y fibra óptica), y a la vez es sencillo de manejar. Ahora bien, comparado con los anteriores está más limitado en términos de velocidad de transmisión y de distancia máxima.

### **Características de transmisión**

Los cables de pares se pueden usar para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Para señales analógicas, se necesitan amplificadores cada 5 0 6 Km. Para señales digitales, se requieren repetidores cada 2 o 3 Km.

Comparado con otros medios guiados (coaxial y fibra óptica), el par trenzado permite menores distancias, menor ancho de banda y menor velocidad de transmisión. Este medio se caracteriza por su gran susceptibilidad a las interferencias y al ruido, por ejemplo campos electromagnéticos exteriores pueden afectarle negativamente. Así por ejemplo, un cable conductor situado en paralelo con una línea de potencia que conduzca corriente alterna se verá negativamente afectado por ésta. El ruido impulsivo también afecta a los pares trenzados.

Para reducir estos efectos negativos es posible tomar algunas medidas. Por ejemplo, el apantallamiento del cable con una malla metálica reduce las interferencias externas. El trenzado en los cables reduce las interferencias de baja frecuencia, y el uso de distintos pasos de torsión entre pares adyacentes reduce la diafonía.

Para la señalización analógica punto a punto, un par trenzado puede ofrecer hasta 250 kHz de ancho de banda. En el caso de señalización digital punto a punto de larga distancia, se pueden conseguir del orden de unos pocos Mbps; para distancias cortas, actualmente ya hay disponibles productos comerciales que alcanzan los 100 bps.

### **Pares trenzados apantallados y sin apantallar**

Hay dos variantes de pares trenzados: apantallado y sin apantallar. El par trenzado no apantallado (UTP, “Unshielded Twisted Pair”) es el medio habitual en telefonía. Actualmente es práctica habitual en el cableado de edificios, utilizando dimensiones que están muy por encima de las necesidades reales de lo que se necesita para telefonía. Esto es así ya que hoy por hoy, el par sin apantallar es el menos caro de todos los medios de transmisión que se usan en las redes de área local, además de ser fácil de instalar y de manipular.

El par trenzado sin apantallar se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas externas, incluyendo interferencias con pared cercanos y fuentes de ruido. Una manera de mejorar las características de transmisión de este medio es embutiéndolo dentro de una malla metálica, reduciéndose así las interferencias. El par trenzado apantallado (STP, “Shielded Twisted Pair”) proporciona mejores resultados a velocidades de transmisión bajas. Ahora bien, este último es más costoso y difícil de manipular que el anterior.

En el par trenzado apantallado, cada par va envuelto por una malla metálica y a su vez por otra, para luego estar todo el conjunto cubierto por aislante. Las mallas están a masa (0 voltios) formando una “Jaula de Faraday”. Así reduce las emisiones y recepciones de señales electromagnéticas.

### **UTP tipo 3 y tipo 5**

En la mayoría de los edificios se hace una pre-instalación con un par trenzado de 100 ohmios denominado de calidad telefónica. Por tanto, este tipo de pre-instalaciones se deben considerar siempre como una alternativa bastante atractiva y poco costosa para LAN. No obstante, hay que tener en cuenta que las velocidades de transmisión y las distancias que se pueden alcanzar con este medio no siempre alcanzan las necesidades mínimas.

En 1991, la EIA (“Electronic Industries Association”) publicó el estándar EIA-568, denominado “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard”, que define el uso de pares trenzados sin apantallar de calidad telefónica y de pares apantallados como medios para aplicaciones de transmisión de datos en edificios. Nótese que por aquel tiempo, las características de dichos medios eran suficientes para el rango de frecuencias y velocidades típicas necesarias en entornos ofimáticos. Es más, en esa época el intervalo de interés para el diseño de LAN estaba entre 1 y 16 Mbps. Con el tiempo, los usuarios han ido migrando tanto a estaciones de trabajo como a aplicaciones de mayores prestaciones. Por tanto, había cada vez un interés creciente en diseñar LANs que proporcionaran hasta 100 Mbps sobre medios no costosos. Como respuesta a esa necesidad, en 1995 se propuso el EIA-568-B. Este estándar incorpora los más recientes avances tanto en el diseño de cables y conectores como en métodos de test. En esta especificación se consideran tanto cables de pares apantallados a 150 ohmios como pares no apantallados de 100 ohmios.

En el estándar EIA-568-B se consideran 3 tipos de cables UTP:

- Tipo 3: consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 16 MHz
- Tipo 4: consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 20 MHz.
- Tipo 5: consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 100 MHz.

De entre los anteriores, los tipos 3 y 5 son los más utilizados en los entornos LAN. El tipo 3 corresponde a los cables de calidad telefónica que existen en la mayoría de los edificios de oficinas. Con un diseño apropiado y a distancias limitadas, con cables tipo 3 se pueden conseguir velocidades de hasta 16 Mbps. El tipo 5 es un cable de mejores características para la transmisión de datos, y cada vez se está utilizando más y más como pre-instalación en los nuevos edificios de oficinas. Con un diseño apropiado y a distancias limitadas, con tipo 5 se pueden alcanzar 100 Mbps.

La diferencia esencial entre los cables tipo 3 y 5 está en el número de trenzas por unidad de distancia. El paso de torsión en el tipo 5 es del orden de 1 a 2 trenzas por centímetro, mientras que en el tipo 3 tiene una trenza cada 7 o 10 centímetros. El trenzado del tipo 5 es por supuesto más caro, ahora bien, proporciona prestaciones superiores que el de tipo 3.

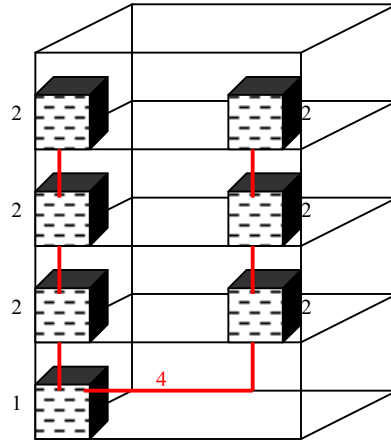
Los conectores son RJ-45 (cable de red o latiguillo). Muy parecido al del teléfono (RJ-11).

El conector STP es muy parecido, pero con una cubierta metálica, donde se conectan las mallas metálicas para ponerlas a masa.

La norma (EIA/TIA-568, comentada anteriormente) que definía el cableado de un edificio no residencial, se conoce como “Sistema de cableado estructurado”:



1. Debe haber una sala principal de equipos, en la planta baja o sótano. A ella llegan todas las líneas del exterior.
2. En cada planta habrá uno o varios repetidores de planta. Los suficientes para que haya en cada punto de la planta un repetidor a menos de 100 metros.
3. En cada puesto de usuario debe haber una roseta, consistente en (al menos) dos tomas de red (una para voz y otra para datos).
4. La norma dice que los cables deben ser tendidos desde la sala de equipos a cada uno de los repetidores. Es el cableado troncal o vertical. Esta norma recomienda fibra óptica de hasta 2 Km de longitud.
5. De cada repetidor de planta salen 2 cables para cada roseta. Se le llama cableado horizontal. Debe medir, como máximo 100 metros, recomendándose par trenzado sin apantallado (UTP).



### Impedancia característica de un cable.

Es la resistencia que tiene un cable de longitud infinita a frecuencia infinita. Con corriente continua la resistencia de un cable crece. Con corriente alterna, crece hasta aproximarse a la impedancia característica.

Si un cable tiene impedancia de 100 ohmios, pongo una impedancia de 100 ohmios al final, la señal que llega al extremo es máxima. Con otra configuración llegará menos señal, no la máxima.

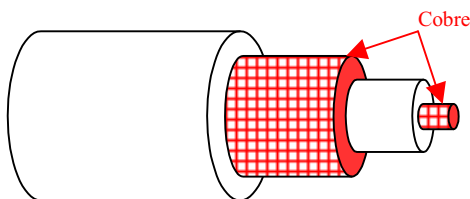
### Aplicaciones del par trenzado

- Línea telefónica.
- Comunicación de datos: RDSI (ISDN), LAN (a 100 metros se llega a conseguir entre 10 y 155 Mb/s)
- ADSL:  $\leq 2$  Km y hasta 4 M/seg.

## 3.3.1.2 Coaxial

### **Descripción física**

El cable coaxial, al igual que el par trenzado, tiene dos conductores pero está construido de forma diferente para que pueda operar sobre un rango mayor de frecuencias. Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor. El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados o bien mediante un material sólido dieléctrico. El conductor exterior se cubre con una cubierta o funda protectora. El cable exterior se une a masa formando una jaula de faraday. El cable coaxial tiene un diámetro que va de 1 a 2.5 cm aproximadamente. Debido al tipo de apantallamiento realizado, es decir, a la disposición concéntrica de los dos conductores, el



El cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonías que el par

trenzado. Comparando con este, el cable coaxial se puede usar para cubrir mayores distancias, así como conectar un número mayor de estaciones en una línea compartida.

## **Aplicaciones**

El cable coaxial es quizá el medio de transmisión más versátil, por lo que está siendo cada vez más utilizado en una gran variedad de aplicaciones. Las más importantes son:

- Distribución de televisión
- Telefonía a larga distancia
- Conexión con periféricos a corta distancia
- Redes de Área Local

El cable coaxial se está utilizando para la distribución de la TV por cable hasta los hogares de los usuarios. Diseñado inicialmente para proporcionar servicio de acceso a áreas remotas (CATV, “Community Antenna Televisión”), la TV por cable en un futuro muy cercano llegará a casi tantos hogares y oficinas como el actual sistema telefónico. El sistema de TV por cable puede transportar docenas e incluso cientos de canales a decenas de kilómetros.

Tradicionalmente, el coaxial ha sido fundamental en la red de telefonía a larga distancia, aunque en la actualidad tiene una fuerte competencia en la fibra óptica, las microondas terrestres y las comunicaciones vía satélite. Cuando se usa multiplexación con división en frecuencia (FDM, “Frequency Division Multiplexing”), el cable coaxial puede transportar más de 10.000 canales de voz simultáneamente.

El cable coaxial también se usa con frecuencia para conexiones entre periféricos a corta distancia. Con señalización digital, el coaxial se puede usar como medio de transmisión en canales de entrada salida en computadores.

Otro área de aplicación del cable coaxial es en las redes de área local. El cable coaxial admite un gran número de dispositivos con una gran diversidad de tipos de datos y tráfico con coberturas que van desde un solo edificio a varios, siempre próximos entre ellos.

## **Características de transmisión**

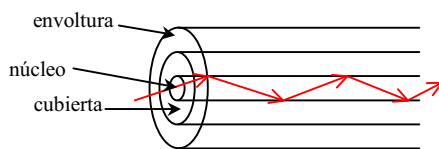
El cable coaxial se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Tiene respuesta en frecuencia superior a la del par trenzado, permitiendo por tanto mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Como ya se ha dicho, por construcción el cable coaxial es mucho menos susceptible que el par trenzado tanto a interferencias como a diafonía. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico, y el ruido de intermodulación. Este último aparece sólo cuando se usan simultáneamente varios canales o bandas de frecuencias.

Para la transmisión de señales analógicas a larga distancia, se necesitan amplificadores separados por muy pocos kilómetros, estando menos separados cuanto mayor es la frecuencia de trabajo. El espectro de la señalización analógica se extiende hasta los 400 MHz. Para señalización digital, en cambio, se necesita un repetidor aproximadamente cada kilómetro, esto es, la separación entre repetidores es menor.

### **3.3.1.3 Fibra óptica**

## Descripción física

La fibra óptica es un medio flexible y extremadamente fino (de 2 a 125 $\mu$ m), capaz de conducir energía de naturaleza óptica. Para la fibra se pueden usar diversos tipos de cristales y plásticos. Las pérdidas menores se han conseguido con la utilización de fibras de silicio fundido ultra puro. Las fibras ultra-puras son muy difíciles de fabricar; las fibras de cristal multicomponente tienen mayores pérdidas y son más económicas, pero proporcionan unas prestaciones suficientes. La fibra de plástico tiene todavía un coste menor y se pueden utilizar para enlaces de distancias cortas, para los que son aceptables pérdidas moderadamente altas.



Un cable de fibra óptica tiene forma cilíndrica y está formado por tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta. El núcleo es la sección más interna, está constituido por una o varias hebras o fibras muy finas de cristal o plástico. Cada fibra está rodeada por su propio revestimiento, que no es sino otro cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos es la cubierta. La cubierta está hecha de plástico y otros materiales dispuestos en capas para proporcionar protección contra la humedad, la abrasión, aplastamientos y otros peligros.

## Aplicaciones

Uno de los avances tecnológicos más significativos en la transmisión de datos ha sido el desarrollo de los sistemas de comunicación de fibra óptica. No en vano, la fibra disfruta de una gran aceptación para las telecomunicaciones a larga distancia, y cada vez más está siendo más popular en las aplicaciones militares. Su perfeccionamiento continuado así como su reducción en precio han contribuido a convertirla en un medio atractivo para los entornos LAN. Las características diferenciales de la fibra óptica frente al cable coaxial y al par trenzado son:

- *Mayor ancho de banda:* El ancho de banda y por tanto la velocidad de transmisión, en las fibras es enorme. Experimentalmente se ha demostrado que se pueden conseguir velocidades de transmisión de 2 Gbps para decenas de kilómetros de distancia. Compárese con el máximo que se puede conseguir en el cable coaxial: cientos de Mbps sobre aproximadamente 1 Km, y con los escasos Mbps que se pueden obtener en la misma distancia para pares trenzados, o con los 100 Mbps que se consiguen en pares trenzados si la distancia se reduce a unas pocas decenas de metros.
- *Menor tamaño y peso:* Las fibras ópticas son apreciablemente más finas que el cable coaxial o que los pares trenzados embutidos, por lo menos en un orden de magnitud para capacidades de transmisión comparables. En las conducciones estrechas previstas en las edificaciones para el cableado, así como en las conducciones públicas subterráneas, la utilización de tamaños pequeños tiene unas ventajas evidentes. La reducción en tamaño lleva a su vez aparejada una reducción en peso que disminuye la infraestructura necesaria.
- *Atenuación menor:* La atenuación es significativamente menor en las fibras ópticas que en los cables coaxiales y pares trenzados, además es constante en un gran intervalo de frecuencias.
- *Aislamiento electromagnético:* Los sistemas de fibra óptica no se ven afectados por los efectos de campos electromagnéticos exteriores. Estos sistemas no son

vulnerables a interferencias, ruido impulsivo o diafonía. Y por la misma razón, las fibras no radian energía, produciendo interferencias despreciables con otros equipos y proporcionando a la vez un alto grado de privacidad; además, relacionado con esto, la fibra es por construcción, difícil de intervenir o, coloquialmente, “pinchar”.

- *Mayor separación entre repetidores:* Cuantos menos repetidores haya el coste será menor, además de haber menos fuentes de error. Desde este punto de vista, las prestaciones de los sistemas de fibra óptica han sido mejoradas progresivamente. Por ejemplo, AT&T ha desarrollado un sistema de transmisión que consigue 3.5 Gbps sobre una distancia de 318 Km sin necesidad de repetidores. Los sistemas basados en coaxial y pares trenzados requieren repetidores cada pocos kilómetros.

Las cinco aplicaciones básicas en las que la fibra óptica es importante son:

- Transmisiones a larga distancia
- Transmisiones metropolitanas
- Acceso a áreas rurales
- Bucles de abonado
- Redes de área local

La transmisión a largas distancias mediante fibras es cada vez más común en la red de teléfonos. En estas redes, las distancias medias son aproximadamente 1500 km y tienen una gran capacidad (típicamente de 20.000 a 60.000 canales de voz). Estos sistemas son competitivos, en cuanto a coste, con los enlaces de microondas y están muy por debajo, en coste, del cable coaxial. La diferencia es tal que incluso en algunos países en desarrollo el coaxial se está quedando desfasado para su utilización en redes de telefonía.

Los circuitos metropolitanos tienen una longitud media de 12,5 km y pueden tener hasta 100.000 canales de voz. La mayoría de los servicios se están instalando usando conducciones subterráneas sin repetidores, que se usan para enlazar centrales telefónicas dentro del área metropolitana. En esta categoría están las rutas que enlazan las líneas de larga distancia de microondas, que llegan hasta las áreas perimetrales de las ciudades, con las centrales de telefonía situadas dentro del casco urbano.

Los accesos a áreas rurales tienen típicamente longitudes que van desde los 40 a los 160 km. En Estados Unidos, estos enlaces a su vez conectan frecuentemente centrales telefónicas pertenecientes a diferentes compañías. La mayoría de estos sistemas tienen menos de 5000 canales de voz. Usualmente, la tecnología utilizada en estas aplicaciones compite con las microondas.

Los bucles de abonado son fibras que van directamente desde las centrales al abonado. El uso de la fibra en estos servicios está empezando a desplazar a los enlaces mediante pares trenzados y coaxiales, dado que cada vez más las redes de telefonía están evolucionando hacia redes integradas capaces de gestionar no sólo voz y datos, sino también imágenes y video. El uso de la fibra en estas aplicaciones está encabezado fundamentalmente por grandes clientes (empresas); no obstante, la fibra como medio de acceso desde los domicilios particulares aparecerá en un futuro a corto plazo.

Finalmente, una aplicación importante de la fibra óptica está en las redes de área local. Recientemente, se han desarrollado estándares y productos para redes de fibra óptica que tienen una capacidad de 100 Mbps y permiten cientos o incluso miles de estaciones en grandes edificios de oficinas.

Las ventajas de la fibra óptica respecto del par trenzado o del cable coaxial son cada vez más convincentes conforme va aumentando la demanda de la información multimedia (voz, datos, imágenes y video).

### **Características de transmisión**

La fibra óptica funciona en un rango de frecuencias que va desde 10<sup>14</sup> hasta 10<sup>15</sup> Hz, cubriendo todo el espectro visible y parte del espectro infrarrojo.

El principio que rige la transmisión en la fibra óptica es el siguiente. La luz proveniente de la fuente penetra en el núcleo cilíndrico de cristal o plástico. Los rayos que inciden con ángulos superficiales se reflejan y se propagan dentro del núcleo de la fibra, mientras que para otros ángulos, los rayos son absorbidos por el material que forma el revestimiento. Este tipo de propagación se llama multimodal, aludiendo al hecho de que hay multitud de ángulos para los que se da la reflexión total. Cuando el radio del núcleo se reduce, la reflexión se dará en un número menor de ángulos. Al reducir el radio del núcleo a dimensiones del orden de la magnitud de la longitud de onda, un solo ángulo o modo podrá pasar: el rayo axial. Esta propagación monomodo proporciona prestaciones superiores por las razones que se esgrimen a continuación. En la transmisión multimodo existen múltiples caminos de propagación, cada uno con longitud diferente y por tanto, con diferentes tiempos de propagación en la fibra. Esto hace que los elementos de la señal se dispersen en el tiempo, lo que limita la velocidad de transmisión al a que se puede recibir adecuadamente. Dado que en la transmisión monomodo sólo hay un camino posible, el tipo de distorsión indicado no puede darse.

Finalmente, se puede conseguir un tercer modo de transmisión variando gradualmente el índice de refracción del núcleo, denominado multimodo de índice gradual. Las características de este último modo están entre las de los otros dos modos comentados. El índice de refracción variable tiene como consecuencia un mejor enfoque de los rayos que en el caso de la transmisión multimodo ordinaria, también denominada multimodo de índice discreto.

En los sistemas de fibra óptica se usan dos tipos diferentes de fuentes de luz: los diodos LED (“Light Emitting Diodes”) y los diodos ILD (“Injection Laser Diode”). Ambos son dispositivos semiconductores que emiten un haz de luz cuando se les aplica una tensión. El LED es menos costoso, opera en un mayor rango de temperaturas y tiene una vida media superior. El ILD es más eficaz y puede proporcionar velocidades de transmisión superiores.

Existe una relación establecida entre la longitud de onda utilizada, el tipo de transmisión y la velocidad de transmisión que se puede conseguir. Tanto el monomodo como el multimodo pueden admitir varias longitudes de onda diferentes y pueden utilizar como fuentes tanto láseres como diodos LED. En las fibras ópticas, la luz se propaga mejor en tres regiones o “ventanas” de longitudes de onda, centradas a 850, 1300 y 1500 nanómetros (nm). Todas estas frecuencias están en la zona infrarroja del espectro, por debajo del espectro visible que está situado entre los 400 y 700 nm. Las pérdidas son menores cuanto mayor es la longitud de onda. En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones usan como fuentes los diodos LED a 850 nm. Aunque esta elección es relativamente barata, su uso está generalmente limitado a velocidades de transmisión por debajo de 100 Mbps y a distancias de pocos kilómetros. Para conseguir mayores velocidades de transmisión y mayores distancias es necesario transmitir en la ventana centrada a 1300 nm (usando tanto láser como diodos), y si todavía se necesitan mejores prestaciones, entonces hay que recurrir al uso de emisores láser a 1500 nm.

---

## 3.3.2 No guiados

---

En medios guiados, tanto la transmisión como la recepción se lleva a cabo mediante antenas. En la transmisión, la antena radia energía electromagnética en el medio (normalmente el aire), y en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. Básicamente hay dos tipos de configuraciones para las transmisiones inalámbricas: *direccional* y *omnidireccional*. En la primera, la antena de transmisión emite la energía electromagnética concentrándola en un haz; por tanto, en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. En el caso omnidireccional, por el contrario, el diagrama de radiación de la antena es disperso, emitiendo en todas direcciones, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. En este caso, la señal se atenúa mucho más rápido. En general, cuando mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

En el estudio de las comunicaciones inalámbricas, se van a considerar tres rangos de frecuencias. El primer intervalo que va desde los 2 GHz (Gigahertzio =  $10^9$  Hertzios) hasta los 40 GHz se denomina frecuencias *microondas*. En estas frecuencias de trabajo se pueden conseguir haces altamente direccionales, por lo que las microondas son adecuadas para enlaces punto a punto. Las microondas también se usan para las comunicaciones vía satélite. Las frecuencias que van desde 30 MHz a 1 GHz son adecuadas para las aplicaciones omnidireccionales. A este rango de frecuencias lo denominaremos intervalo de *ondas de radio*. Las microondas cubren parte de la banda de UHF y cubren totalmente la banda SHF; la banda de ondas de radio cubre la VHF y parte de la banda UHF.

Es preferible la comunicación direccional, aunque solo es posible a frecuencias elevadas, por que deberíamos tener una antena del tamaño de la longitud de onda. Si la frecuencia es baja, la longitud de la onda es muy alta y no podemos construir antenas muy grandes.

Otro rango de frecuencias importante, para las aplicaciones de índole local, es la zona de infrarrojos del espectro que va en términos generales desde los  $3 \cdot 10^{11}$  hasta los  $2 \cdot 10^{14}$  Hz. Los infrarrojos son útiles para las conexiones locales punto a punto así como para aplicaciones multipunto dentro de áreas de cobertura limitada como por ejemplo una habitación.

### 3.3.2.1 Microondas terrestres

#### Descripción física

La antena más común en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño típico es de un diámetro de unos 3 metros. Esta antena se fija rígidamente y transmite un haz estrecho que debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo, para con ello conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y para ser capaces de salvar posibles obstáculos. Si no hay obstáculos intermedios, la distancia máxima entre antenas verifica:

$$d = 7.14 \sqrt{Kh}$$

Siendo  $d$  la distancia de separación entre las antenas expresada en kilómetros,  $h$  es la altura de la antena en metros y  $k$  es un factor de corrección que tiene en cuenta que las microondas se desvían o refractan con la curvatura de la tierra llegando, por tanto,

más lejos de lo que lo harían si se propagasen en línea recta. Una buena aproximación es considerar  $K=4/3$ . Por tanto, a modo de ejemplo, dos antenas de microondas con altura de 100 metros pueden separarse una distancia igual a  $d = 7.14\sqrt{133} = 82\text{Km}$ .

Para llevar a cabo transmisiones a larga distancia, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada.

### Aplicaciones

El uso principal de los sistemas de microondas terrestres son los servicios de telecomunicación de larga distancia, como alternativa al cable coaxial o a las fibras ópticas. La utilización de microondas requiere menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero por el contrario, necesita que las antenas estén alineadas. El uso de las microondas es frecuente en la transmisión de televisión y de voz.

Otro uso, cada vez más frecuente, es para enlaces punto a punto a cortas distancias entre edificios. En este último caso, se puede emplear para circuitos cerrados de TV o para la interconexión de redes locales. Además, las microondas a corta distancia también se utilizan en las aplicaciones denominadas de “*bypass*”, con las que una determinada compañía puede establecer un enlace privado hasta el centro proveedor de transmisiones a larga distancia, evitando así tener que contratar el servicio a la compañía telefónica local.

### Características de transmisión

El rango de las microondas cubre una parte sustancial del espectro. La banda de frecuencias está comprendida entre 2 y 40 GHz. Cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de banda potencial, y por tanto mayor es virtualmente la velocidad de transmisión.

Al igual que en cualquier sistema de transmisión, la principal causa de pérdidas en las microondas es la atenuación. Para las microondas (y también para la banda de frecuencias de radio), las pérdidas se pueden expresar como:

$$L = 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

donde  $d$  es la distancia y  $\lambda$  es la longitud de onda, expresadas en las mismas unidades. Por tanto las pérdidas varían con el cuadrado de la distancia. Por el contrario, en el cable coaxial y el par trenzado las pérdidas tienen una dependencia logarítmica con la distancia (lineal en decibelios). Por tanto, en los sistemas que usan microondas, los amplificadores o repetidores se pueden distanciar más (de 10 a 100 km típicamente) que en los coaxiales y pares trenzados. La atenuación aumenta con las lluvias, siendo este efecto significativo para frecuencias por encima de 10 GHz. Otra dificultad adicional son las interferencias. Con la popularidad creciente de las microondas, las áreas de cobertura se pueden solapar, haciendo que las interferencias sean siempre un peligro potencial. Así pues, la asignación de bandas tiene que realizarse siguiendo una regulación estricta.

Las bandas más usuales en la transmisión a larga distancia se sitúan entre 4 GHz y 6 GHz. Debido a la congestión progresiva que están sufriendo estas bandas, recientemente la banda de 11 GHz se está empezando a utilizar. La banda de los 12 GHz se usa para la TV por cable. Los enlaces de microondas se usan igualmente para transmitir señal de TV en las instalaciones CATV locales; posteriormente, dicha señal

se hace llegar al usuario individual mediante cable coaxial. Finalmente, cabe citar que las microondas de altas frecuencias se están utilizando para enlaces cortos punto a punto entre edificios. Para tal fin se usa típicamente la banda de 22 GHz. Las bandas de frecuencias superiores son menos útiles para distancias más largas, debido a que cada vez la atenuación es mayor, ahora bien, son bastante adecuadas para distancias más cortas. Y además a frecuencias superiores, las antenas son más pequeñas y más baratas.

### **3.3.2.2 Infrarrojos**

Las comunicaciones mediante infrarrojos se llevan a cabo mediante transmisores/receptores (“*transceivers*”) que modulan luz infrarroja no coherente. Los transceivers deben estar alineados bien directamente o mediante la reflexión en una superficie coloreada como puede ser el techo de una habitación.

Una diferencia significativa entre la transmisión de rayos infrarrojos y las microondas es que los primeros no pueden atravesar las paredes. Por tanto, los problemas de seguridad y de interferencias que aparecen en las microondas no se presentan en este tipo de transmisión. Es más, no hay problemas de asignación de frecuencias, ya que en esta banda no se necesitan permisos.

### **3.3.2.3 Ondas de radio**

#### **Descripción física**

La diferencia más palpable entre las microondas y las ondas de radio es que estas últimas son omnidireccionales, mientras que las primeras tienen un diagrama de radiación mucho más direccional. Por tanto, las ondas de radio no necesitan antenas parabólicas, ni necesitan que dichas antenas estén instaladas sobre una plataforma rígida para estar alienadas.

#### **Aplicaciones**

Con el término ondas de radio se alude de una manera poco precisa a todas las bandas de frecuencias desde 3 kHz a 300 GHz. Aquí dicho término se considera que abarca la banda VHF y parte de la UHF: de 30 MHz a 1 GHz. Este fango cubre la radio comercial FM, así como televisión UHF y VHF. Este fango también se utiliza para una serie de aplicaciones de redes de datos.

#### **Características de transmisión**

El rango de frecuencias comprendido entre 30 MHz y 1 GHz es muy adecuado para la difusión simultánea a varios destinos. A diferencia de las ondas electromagnéticas con frecuencias menores, la ionosfera es transparente para las ondas de radio superiores a 30 MHz. Así pues, la transmisión es posible cuando las antenas están alienadas, no produciéndose interferencias entre los transmisores debidas a las reflexiones con la atmósfera. A diferencia de la región de las microondas, las ondas de radio son menos sensibles a la atenuación producida por la lluvia.



Como en el caso anterior donde la transmisión sigue una línea recta, en este caso también se verifica la ecuación  $d = 7.14\sqrt{Kh}$ , es decir, la distancia máxima entre el transmisor y el receptor es ligeramente mayor que el alcance visual. Al igual que en las microondas, la atenuación debida simplemente a la distancia verifica la ecuación

$$L = 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}.$$
 Ya que tienen una longitud de onda mayor, las ondas de radio sufren, en términos relativos, una atenuación menor.

Un factor determinante en las ondas de radio son las interferencias por multitrayectorias. Entre las antenas, debido a la reflexión en la superficie terrestre, el mar y otros objetos, pueden aparecer multitrayectorias. Este efecto se observa con frecuencia en el receptor de TV y consiste en que se pueden observar varias imágenes (o sombras) cuando pasa un avión.

## 4 Codificación de datos

Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión discretos y discontinuos, donde cada pulso es un elemento de señal. Los datos binarios se transmiten codificando cada bit de datos en cada elemento de señal. En el caso más sencillo, habrá una correspondencia uno a uno entre los bits y dichos elementos.

Un poco de terminología. Si todos los elementos de señal tienen el mismo signo algebraico, es decir, si son todos positivos o todos negativos, la señal se dice unipolar. En una señal polar, por el contrario, un estado lógico se representará mediante un nivel positivo de tensión y el otro, mediante un nivel negativo. La razón de datos de una señal es la velocidad de transmisión, expresada en bits por segundo, a la que se transmiten los datos. La duración o longitud de un bit se define como el tiempo empleado en el transmisor para transmitir un bit; para una razón de datos  $R$ , la duración de un bit es  $1/R$ . La razón de modulación, por el contrario, es la velocidad o razón con la que cambia el nivel de la señal, que dependerá del esquema de codificación elegido. La razón o velocidad de modulación se expresa en baudios, que equivale a un elemento de señal por segundo. Para concluir, por razones históricas se usan los términos marca y espacio, aludiendo a los dígitos binarios 1 y 0 respectivamente.

Para interpretar las señales digitales, en primer lugar el receptor debe conocer o determinar la duración de cada bit. Es decir, el receptor con mayor o menor precisión debe conocer cuando comienza y acaba cada bit. En segundo lugar el receptor debe determinar si el nivel para cada bit es alto (1) o bajo (0).

¿Qué factores determinan el éxito o el fracaso del receptor al interpretar la señal de entrada? Hay 3 factores importantes: la relación señal-ruido (o mejor  $E_b/N_0$ ), la razón de datos (o velocidad de transmisión) y el ancho de banda. Se suponen los otros factores constantes, se pueden establecer las siguientes afirmaciones:

- Un aumento de la razón de datos aumentará la razón de error por bit (es decir, la probabilidad de que un bit se reciba erróneamente).
- Un aumento de la relación S/N reduce la tasa de error por bit
- Un incremento del ancho de banda permite un aumento en la razón de datos.

Hay otro factor que se puede utilizar para mejorar las prestaciones del sistema, y este no es otro que el propio esquema de codificación. El esquema de codificación es simplemente la correspondencia que se establece entre los bits de los datos con los elementos de señal.

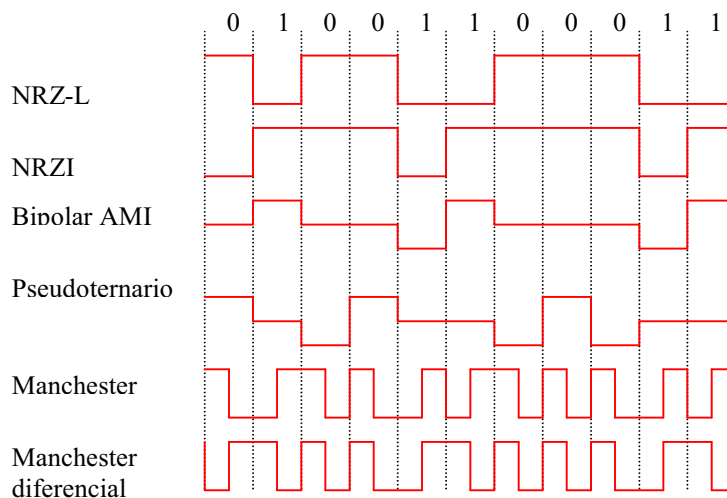
Se han intentado una gran diversidad de aproximaciones. En lo que sigue, se describen algunas de las más utilizadas.

Algunos procedimientos para evaluar y comparar las distintas técnicas son:

- *Espectro de la señal* Hay varios aspectos del espectro de la señal que son importantes. La ausencia de componentes a altas frecuencias significa que se necesita menos ancho de banda para su transmisión. Es más, la ausencia de componente en continua (dc) es también una característica deseable. Si la señal tiene continua, para su transmisión se requiere la existencia de una conexión física directa; si la señal no tiene componente continua, es posible su transmisión mediante transformadores acoplados. Esto proporciona un aislamiento eléctrico excelente, reduciendo así las interferencias. Por último, la importancia de los

efectos relacionados con la distorsión de la señal y las interferencias depende de las propiedades espectrales de la señal transmitida. En la práctica es frecuente que la función de transferencia del canal sea peor cerca de los límites de la banda. Por tanto, un buen diseño debería concentrar la potencia transmitida en la parte central del ancho de banda de la señal. En tal caso, se tendrá una distorsión menor en la señal recibida. Para conseguir este objetivo, se pueden diseñar los códigos de forma que se modele adecuadamente el espectro de la señal transmitida.

- *Sincronización*: Ya se ha mencionado la necesidad de determinar el principio y fin de cada bit. Esto no es una tarea fácil. Una aproximación bastante costosa es transmitir una señal de reloj por separado para sincronizar el receptor con el transmisor. La alternativa es proporcionar la sincronización mediante la propia señal transmitida, lo que puede conseguirse si se adopta un esquema de codificación adecuado.
- *Detección de errores*: Es útil disponer de alguna capacidad de detección de errores incorporada en el esquema de codificación situado en la capa física. Permitiéndose con ello que los errores se detecten más rápidamente.
- *Inmunidad al ruido e interferencias*: Algunos códigos exhiben un comportamiento superior que otros en presencia de ese ruido. Esto se mide en términos de la tasa de error por bit.
- *Coste y complejidad*: aunque el coste de la lógica digital continúa bajando, no se debe ignorar este factor. En particular, cuanto mayor es la razón de elementos de señal para una velocidad de transmisión dada, mayor es el coste.



## 4.1 Algoritmos

### 4.1.1 NRZ (NRZ-L Non Return to zero (Level))

La forma más frecuente y fácil de transmitir señales digitales es mediante la utilización de un nivel de tensión diferente para cada uno de los bits. Los códigos que siguen esta estrategia comparten la propiedad de que el nivel de tensión se mantiene constante durante la duración de un bit; es decir, no hay transiciones (no hay retorno al

nivel cero de tensión). Por ejemplo, la ausencia de tensión se puede usar para representar un 0 binario, mientras que un nivel constante y positivo de tensión puede representar al 1. Aunque es más frecuente utilizar un nivel negativo para representar un valor binario y una tensión positiva para representar al otro. Este último se denomina código *Nivel no retorno a cero* (NRZ-L “Nonreturn-to-Zero-Level”). NRZ-L se usa generalmente para generar o interpretar los datos binarios en los terminales y otros dispositivos. Si se utiliza un código diferente, éste se generará usualmente a partir de la señal NRZ-L.

Por lo tanto, para representar el valor lógico 0 se utilizará un nivel alto y para representar el valor lógico 1 se utilizará un nivel bajo.

Ventajas: es muy sencillo.

Inconvenientes: tiene problemas de sincronización, ya que si tenemos una secuencia muy larga de 0 o 1, tendremos durante mucho tiempo el nivel de tensión, dificultando al receptor el saber cuantos bits llegan de ese nivel. Si no hay el mismo número de 1 y 0, la señal tiene componente continua (la media es distinta de 0), dando problemas con muchos medios de transmisión porque éstos suelen atenuar más la corriente continua.

---

### 4.1.2 NRZI (NRZ Invertido)

---

Una variante del NRZ se denomina *NRZI* (“Nonreturn to zero, inver on ones”). Al igual que NRZ-L, el NRZI mantiene constante el nivel de tensión mientras dura un bit. Los datos se codifican mediante la presencia o ausencia de una transición de la señal al principio del intervalo de duración de un bit. Un 1 se codifica mediante la transición (bajo a alto o alto a bajo) al principio del intervalo del bit, mientras que un cero se representa por la ausencia de transición.

Por lo tanto, 0-> No se cambia la tensión (Hay que decidir un valor de arranque), y 1 se invierte la tensión.

NRZI es un ejemplo de *codificación diferencial*. En la codificación diferencial, en lugar de determinar el valor absoluto, la señal se codifica comparando la polaridad de los elementos de señal adyacentes. Una ventaja de este esquema es que en presencia de ruido puede ser más seguro detectar una transición en lugar de comparar un valor con un umbral. Otra ventaja es que en un sistema complicado de transmisión, no es difícil perder la polaridad de la señal. Por ejemplo, en una línea de par trenzado, si los cables se invierten accidentalmente, todos los 1 y 0 en el NTZ-L se invertirán. Esto no pasa en un esquema diferencial.

Los códigos NRZ son los más fáciles de implementar y además se caracterizan por hacer un uso eficaz del ancho de banda.

La principal limitación de los códigos NRZ es la presencia de una componente continua y la ausencia de capacidad de sincronización. Para ilustrar esta última desventaja, téngase en cuenta que una cadena larga de unos o de ceros en un esquema NRZ-L o una cadena de ceros en NRZI, se codificará como un nivel de tensión constante durante un largo intervalo de tiempo. En estas circunstancias, cualquier fluctuación entre las temporizaciones del transmisor y el receptor darán lugar a una pérdida de sincronización entre ambos.

Debido a su sencillez y a la respuesta en bajas frecuencias, los códigos NRZ se utilizan con frecuencia en las grabaciones magnéticas. No obstante, sus limitaciones hacen que estos códigos no sean atractivos para aplicaciones de transmisión de señales.

---

## 4.1.3 Manchester

---

En el código Manchester siempre hay una transición en mitad del intervalo de duración del bit. Esta transición en la mitad del bit sirve como un procedimiento de sincronización a la vez que se transmiten los datos: una transición de bajo a alto representa un 1 y una transición de alto a bajo representa un 0.

0-> Nivel alto y a mitad del bit se cambia  
1-> Nivel bajo y a mitad del bit se cambia

Asignamos en todos los bits un cambio, no teniendo el mismo nivel de tensión durante mucho tiempo.

---

## 4.1.4 Manchester diferencial

---

La transición a mitad del intervalo se utiliza tan solo para proporcionar sincronización, y siempre existe transición a mitad del intervalo. La codificación de un 0 se representa por la presencia de una transición al principio del intervalo del bit y un 1 se representa mediante la ausencia de transición. El Manchester diferencial tiene como ventajas adicionales las derivadas de la utilización de una aproximación diferencial. No es preciso que el receptor tenga un reloj muy preciso. Siempre tendrá una señal media de 0, no habiendo componente continua. El inconveniente es que consume más ancho de banda.

La codificación Manchester es una codificación 1B2B, por que es como si cogiese un bit y lo sustituyese por 2 bits.

0->01-> NRZ  
1->10-> NRZ

Hay codificaciones generales xByB, como 4B5B-> FDI y 5B6B en FAST-ETH. El resultado se transmite como NRZ.

### Ejemplo de 4B5B

0000→00100	De las transiciones de 5 bits (32), cogeremos sólo las que tengan 1 y 0 por medio
0001→00110	
0010→01001	
.... ..	
1110	
1111	

Vemos ahora algunos algoritmos ternarios (tres niveles de tensión: +, 0 y-).

---

## 4.1.5 Pseudo-ternario

---

1-> 0 volt.  
0-> Alterna + y -

El bit 1 se representa por la ausencia de señal, y el 0 mediante pulsos de polaridad alternante. No hay ventajas particulares de esta codificación respecto de AMI, si bien es la base de muchas aplicaciones.

## 4.1.6 AMI (Alternate Mark Inversion)

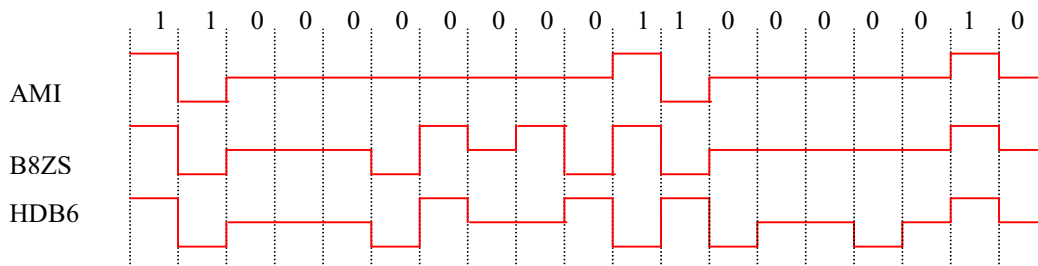
0->0 volt.

1-> alterna + y -

Un 0 binario se representa por ausencia de señal y el 1 binario se representa como un pulso positivo o negativo. Los pulsos correspondientes a los 1 deben tener una polaridad alternante.

Ventajas de los ternarios: Este tipo de esquema tiene las siguientes ventajas. En primer lugar, no habrá problemas de sincronización en el caso de que haya una cadena larga de 1. Cada 1 fuerza una transición por lo que el receptor se puede sincronizar en dicha transición. Una cadena larga de ceros, todavía es un problema. En segundo lugar, ya que los elementos de señal correspondientes a 1 alternan el nivel de tensión, no hay componente continua. Además el ancho de banda de la señal resultante es considerablemente menor que el correspondiente a NRZ. Por último, la alternancia entre los pulsos proporciona una forma sencilla de detectar errores. Cualquier error aislado, tanto si elimina como si introduce un pulso, significa un incumplimiento de dicha propiedad.

Inconvenientes de los ternarios: Si tenemos una cadena larga de 0 en AMI o de 1's en el otro, tendremos durante mucho tiempo el mismo nivel, teniendo problemas de sincronismo. Para solventar estos problemas existen 2 variantes que veremos a continuación: B8ZS (USA), HDB3 (EUR, JPN).



## 4.1.7 B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution)

Se basa en AMI bipolar. Ya sabemos que la presencia de una secuencia larga de ceros puede dar lugar a una pérdida de sincronización. Para evitar este problema se realiza una codificación de acuerdo con las siguientes reglas:

- Si aparece un octeto todo ceros (ocho ceros) y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue positivo, codificar dicho octeto como 000+-0-+.
- Si aparece un octeto con todo ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue negativo, codificar dicho octeto como 000+0+-.

Con este procedimiento se fuerzan dos violaciones de código del código AMI, lo cual es muy improbable que haya sido causado por ruido u otros defectos en la

transmisión. El receptor identificará ese patrón y lo interpretará convenientemente como un octeto todo ceros.

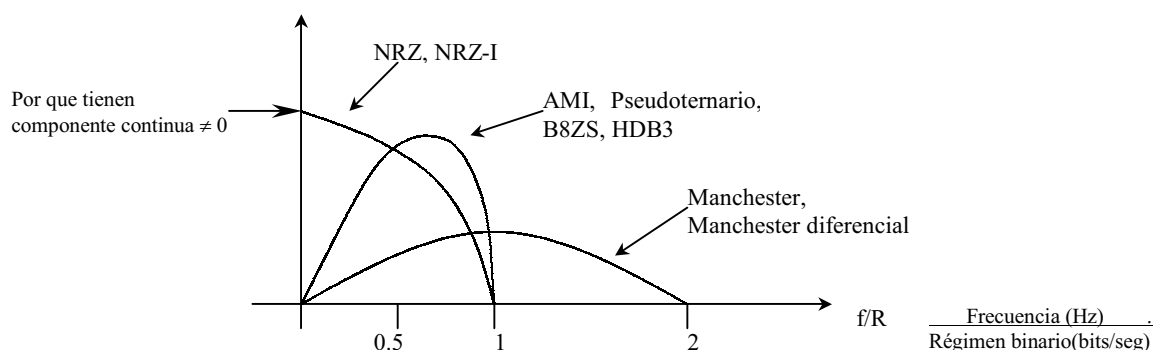
### 4.1.8 HDB3 (“High Density Bipolar-3 Zeros”)

Este esquema se utiliza en Europa y Japón. Al igual que el anterior, se basa en la codificación AMI. En este esquema se reemplazan las cadenas de cuatro ceros por cadenas que contienen uno o dos pulsos. En este caso, el cuarto cero se sustituye por un estado de señal no permitido en el código, este procedimiento se denomina violación del código. En este código se sigue el siguiente esquema de sustitución:

Polaridad del pulso anterior	Numero de pulsos bipolares (unos) desde la última sustitución	
	Impar	Par
-	000-	+00+
+	000+	-00-

### 4.1.9 Forma de onda de estas codificaciones

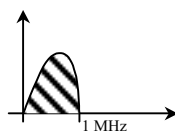
Veamos la densidad espectral de potencia:



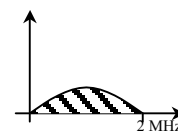
Si quiero transmitir 1 MB/seg:



Con NRZ, NRZ-I



Con AMI, pseudoternario



Con Manchester

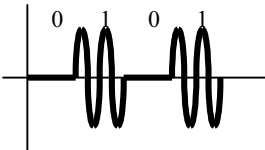
## 4.2 Datos digitales a señal analógica

Se suele emplear el modem para la conversión.

0100110..... → MODEM → Señal analógica

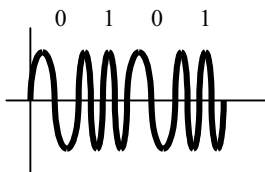
Disponemos de varios tipos de codificación:

## 4.2.1 Desplazamiento en amplitud (ASK Amplitud-Shift Keying)

$$s(t) = \begin{cases} 1 \rightarrow A \cdot \sin(2\pi f t) \\ 0 \rightarrow 0 \end{cases}$$


The waveform shows a sine wave for the bit '1' and a flat line at zero for the bit '0'. The sequence of bits shown is 0, 1, 0, 1.

## 4.2.2 Desplazamiento en frecuencia (FSK)

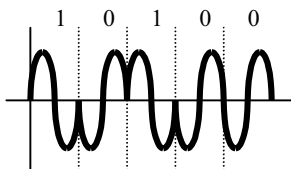
$$s(t) = \begin{cases} 1 \rightarrow A \cdot \sin(2\pi f_1 t) \\ 0 \rightarrow A \cdot \sin(2\pi f_2 t) \end{cases}$$


The waveform shows two different sine wave frequencies for the bits '1' and '0'. The sequence of bits shown is 0, 1, 0, 1.

Sólo se cambia la

frecuencia de la onda seno.

## 4.2.3 Desplazamiento en fase (PSK)

$$s(t) = \begin{cases} 1 \rightarrow A \cdot \sin(2\pi f t) \\ 0 \rightarrow A \cdot \sin(2\pi f t + \pi) \end{cases}$$


The waveform shows two sine wave phases for the bits '1' and '0'. The sequence of bits shown is 1, 0, 1, 0, 0.

Misma frecuencia pero desplazada en fase

Se suele emplear una combinación de los 3 esquemas.

Las normas V22 (1200 bps), V22 bis (2400 bps), V32 (9600 bps), V32 bis (14400 bps), V34 (28800 bps), V90 (56600 bps) se basan en combinaciones de fase, frecuencia y amplitud.

## 4.3 Datos analógicos a señales digitales

Datos analógicos → Datos digitales → Señales digitales

La voz, audio, video o imágenes se transforman a datos binarios mediante la digitalización, que permite pasar datos analógicos a digitales.

Algunos algoritmos de digitalización son para video, MPEG o para audio MP3.

Hace algunos años, en la comunicación telefónica se comenzó a transmitir digitalmente. Es lo que se llama modulación por impulsos codificados (MIC o PCM en inglés de Pulse Code Modulation).

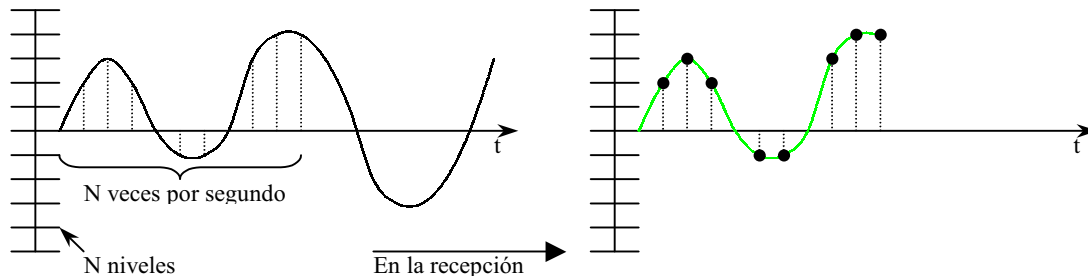


### 4.3.1 Modulación por impulsos codificados

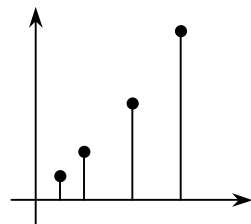
Consiste en transformar un canal telefónico o de voz en una secuencia de bits. Se hace mediante 2 procesos: Muestreo y cuantificación.

Mediante la vibración de la membrana del micrófono, se crea una onda eléctrica, una señal. Para digitalizar esa onda, primero se muestrea, o sea, se mide el valor de esa onda  $n$  veces por segundo. Se tendrán también  $n$  niveles de tensión. Cada uno de esos valores se aproxima al valor más cercano, eso es la cuantificación.

En la recepción se tienen muestras (valores sueltos). Se recupera la señal midiendo todos esos puntos.

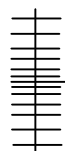


Tomando muchas muestras por segundo y teniendo muchos niveles, la señal que se recompone en el destino se parecerá mucho a la original. Para voz es suficiente tomar 8000 muestras por segundo. Los niveles no están espaciados pues la recepción del oído depende de las amplitudes de las frecuencias.



Aún habiendo más diferencia, el oído lo percibe peor (cree que se parecen los sonidos).

8000 muestras/seg cuantificadas con 8 bits (en Europa) son 64 Kb/seg. En USA serían 56 Kb/seg.



Ley m: 128 niveles (7 bits) en USA.  
Ley A: 256 niveles (8 bits) en Europa

### 4.4 Datos analógicos a señal analógica

Hay varios tipos:

- Modulación de amplitud:  $s(t) = A \cdot x(t) \cdot \text{sen}(2\pi f t)$  (En radio es AM)
- Modulación de fase:  $s(t) = \text{sen}(2\pi f t + A \cdot x(t))$
- Modulación de frecuencia:  $s(t) = \text{sen}(2\pi f t + A \cdot f \cdot x(t))$  (En radio es FM)

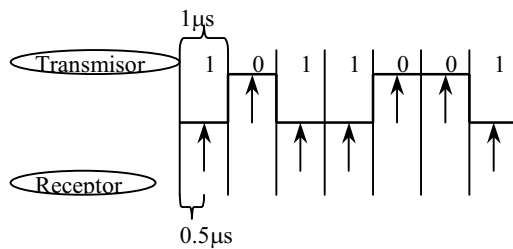
## 5 Interfaces de capa física

### 5.1 Conceptos

#### 5.1.1 Transmisión síncrona y asíncrona

Al enviar y recibir datos, debe haber una temporización entre emisor y receptor: los dos tienen que estar de acuerdo en donde empieza y acaba cada bit, cuanto dura la transmisión, etc...

Suponiendo que empleamos codificación NRZ y enviando 1 Mb/seg (1 bit cada micro segundo):



El receptor, usto en el punto medio (cuando pasan 0,5μs) debería ver que nivel hay para deducir el bit correspondiente.

¿Qué pasa si hay un error del 1% entre los relojes del transmisor y del receptor? (cada 10 μs el otro ha contado 99μs).

Tras 50 bits, el receptor estará haciendo el muestreo en la transición de un nivel a otro. La solución síncrona es más rudimentaria y antigua, y la síncrona es mejor y más moderna.

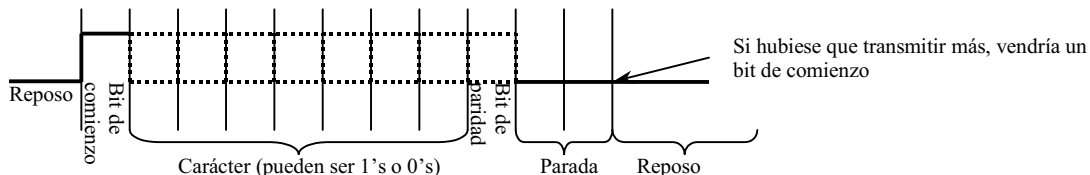
##### 5.1.1.1 Transmisión asíncrona

En sus orígenes había que remontarse al telégrafo. Aún hoy se emplea en comunicaciones puerto serie.

Transmitimos siempre grupos pequeños de bit (por evitar el fallo tras unos cuantos bits). La transmisión se realiza carácter a carácter, donde un carácter es un grupo de bits (en 5 y 8 bits dependiendo del sistema (ASCII con 7 bits, EBCDIC con 8 bits)).

Si no hay nada que transmitir, se envía una señal de reposo, que se corresponde con un 1 binario (nivel bajo de tensión).

Si hay que transmitir algo se envía un bit de comienzo (0 binario, nivel alto), a continuación el carácter codificado con NRZ (0 nivel alto, 1 nivel bajo), después un bit de paridad (1 o 0 dependiendo del nº total de "1": paridad par: número par de 1 entre el carácter y el bit de paridad, Impar, nº impar de unos entre el carácter y el bit de paridad). Al final se envía un elemento de parada (1 binario de duración 1, 1.5 o 2 bits).



- Bit de comienzo
- Carácter NRZ
- Bit paridad (1 o 0)
- Elemento de parada -> 1 de duración 1, 1.5 o 2 bits dependiendo del sistema.

### Ventajas de la transmisión asíncrona

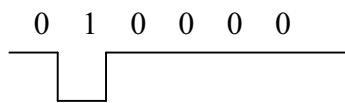
- Es muy sencilla
- Poco exigente en cuanto a la sincronización (al transmitirse pocos bits se tolera un error de hasta el 20%)

### Inconvenientes

- Es poco eficiente: Por cada 7 bits que queremos transmitir, transmitimos 11 en realidad.

## 5.1.1.2 Transmisión síncrona

Cuando el receptor puede recuperar el sincronismo del transmisor. Con NRZ, esta secuencia:



No se permite al receptor sincronizarse, saber cuando se pasa de un bit al otro, pues está mucho tiempo en el mismo nivel de tensión.

El problema es saber cuando termina un envío y comienza otro. Por ello la información se encapsula en Xframes.

TRAMA → 

PREÁMBULO	CONTROL	DATOS	CONTROL	PREÁMBULO	CONTROL	etc...
-----------	---------	-------	---------	-----------	---------	--------

En los protocolos de transmisión síncrona (DIC por ejemplo) estos campos nunca exceden de los 10 bits (en DIC son 48 bits) mientras que los datos pueden ser muchos bits.

Mucha eficiencia: Transmitimos miles de bits con solo 48 de cabecera.

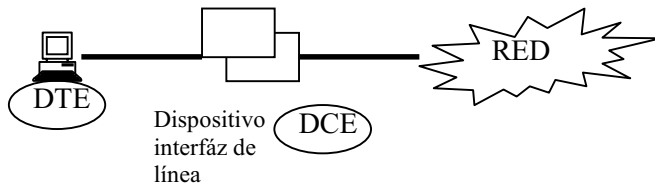
## 5.2 Interfaces

Cuando un ordenador se conecta a una red, llamamos interfaz a la especificación de características mecánicas, eléctricas, funcionales y de procedimiento de conexión.

- Características mecánicas: Tamaño del conector, pines, distancia entre estos, etc...
- Características eléctricas: Que codificación se usa (NRZ, Manchester, etc, ...), que niveles de tensión, que régimen binario (bits/seg), distancia que puede medir el cable.
- Características funcionales: Cada uno de los pines o hilos del cable que señal lleva (+5 v, tierra, reloj, etc...).
- Características de procedimiento: Por realizarse la comunicación en que orden han de intercambiarse las señales por ese interfaz.

A veces utilizamos un equipo intermedio (MODEM, por ejemplo). Aquí nos encontramos 2 interfaces: ordenador-MODEM y MODEM-red. Esto presenta las siguientes ventajas: Nuestro ordenador puede tener una interfaz muy común (RS232 o USB), al que conectamos el equipo intermedio. El ordenador sigue con el mismo interfaz, y solo cambiamos cuando es necesario el equipo intermedio.

El equipo que es el transmisor/receptor de datos, se llama DTE (Data Terminal Equipment).



El equipo intermedio se denomina DCE (Data Circuit-terminating Equipment).

Hay un interfaz muy importante entre DTE y DCE,

llamado RS-232.

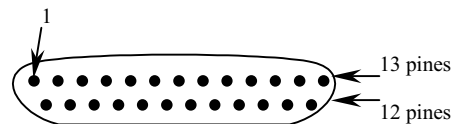
## 5.2.1 RS-232

Es el puerto serie. El nombre actual es EIA-232-E. Esta norma especifica los 4 tipos de características de la conexión.

- Mecánica: ISO 2110
- Eléctricas: ITU-T V.28
- Funcionales y procedimentales: ITU-T V.24

Es el interfaz que emplean los modems, entre otros.

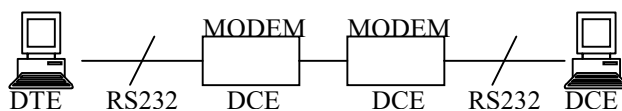
- Mecánicas: Conector de 25 pines. Se suelen utilizar como mucho 9 pines.



- Eléctricas: Se emplea código NRZ. 0 → +3v. Y 1 → -3v. Puede alcanzar 20 Kbps a 15 metros de distancia.
- Funcionales: Especifica la señal que lleva cada pin, esas señales se pueden agrupar en:
  - Datos (4 pines): 1 para transmitir, 1 para recibir y otros 2 secundarios para funcionamientos semiduplex (para controlar errores en este tipo de conexiones).
  - Temporización (3 pines): 1 pin → DTE manda reloj a DCE, 1 pin → DCE manda reloj a DTE, y otro secundario.
  - Tierra (1 pin).
  - Control (el resto): Se establece una llamada, etc...

## 5.2.2 MODEM de distancia limitada

Sirven para conectar 2 ordenadores entre si a través de un cable.

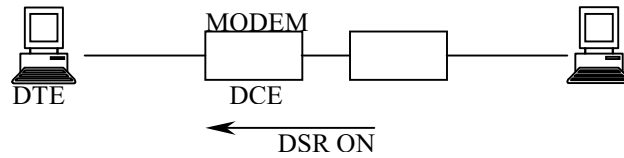


Estos modems sólo usan 7 pines:

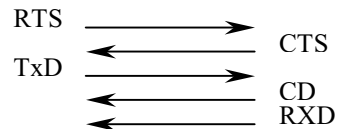
- Señal tierra (gnd): 7
- Transmisión (Tx): 2; DTE → DCE
- Recepción de datos (Rx): 3; DTE ← DCE
- Petición de envío (RTS, Request To Send): 4; DTE → DCE

- Preparado para enviar (CTS, Clear To Send): 5; DTE←DCE
- DCE preparado (DSR): 6; DTE←DCE
- Detección de señal (CD, Carrier Detect): 8; DTE←DCE

Al encenderse el MODEM pone a ON la señal DSR (pin 6) y sigue así:



Si quiero enviar algo:



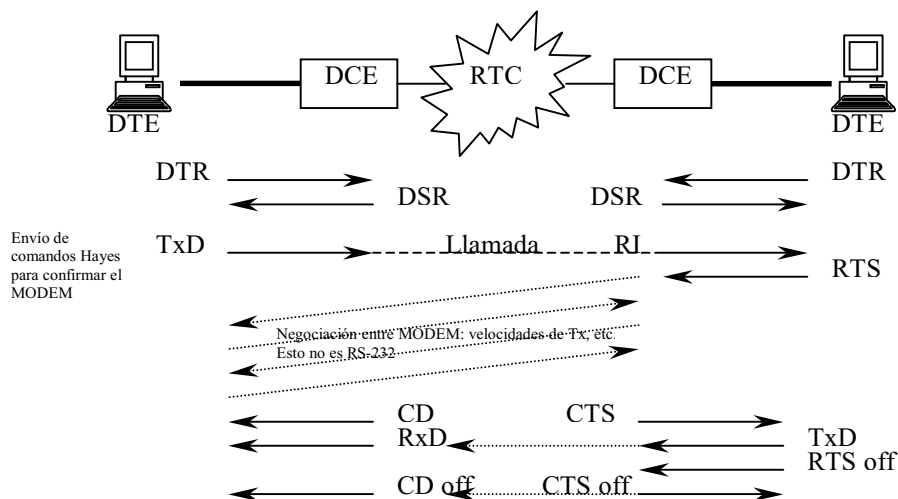
### 5.2.3 MODEM de la red telefónica



De los 25 pines, sólo se usan 9 pines, los siete del caso anterior, mas otros dos:

- DTE Preparado (DTR): 20
- Indicación de llamada (RI): 22

Suponiendo que el de la izquierda llama al de la derecha:

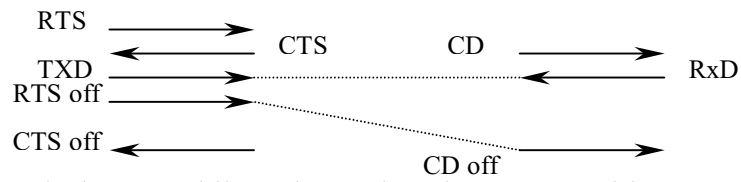


Comandos Hayes:

ATD { T (Tonos) } { P (Pulsos) } { N° al que se llama }  
XXXXXXXXXXXX

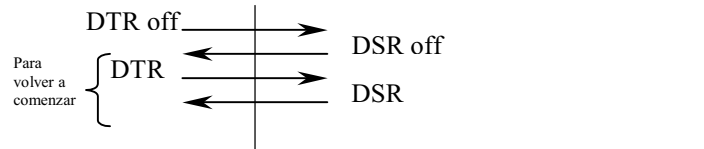
Empieza a transmitir el que recibirá los datos.

Una vez que acaba de enviar el receptor, comienza a enviar el llamante:

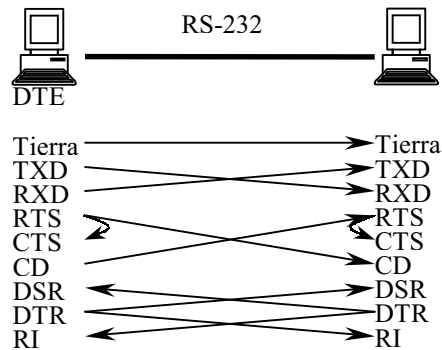


A partir de aquí, el llamado puede volver a transmitir.

Cuando nadie quiere transmitir más, para colgar se hace esto:



## 5.2.4 MODEM Nulo



## 6 Nivel de enlace

### 6.1 Introducción

Nivel físico: Transmisión de bits no fiable.

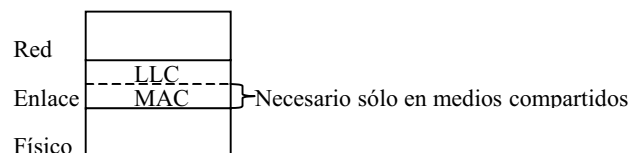
Nivel de enlace: Servicio de transferencia de bloques de bits que forman un mensaje (llamado trama), que se hace además de forma segura.

Funciones del nivel de enlace (no siempre están todas presentes):

- Entramado (sincronización de trama): Consiste en detectar en ese flujo de bits donde está el fin de una trama y el comienzo de la siguiente.
- Control de flujo: A veces, la estación receptora no es capaz de absorber o procesar los datos que recibe tan rápido como son enviados por el emisor. Esto se debe a que al recibir una trama hay que hacer algo de procesamiento (pasarlo a niveles superiores, etc...) Se van almacenando las tramas en una memoria hasta su proceso, pudiéndose desbordar. Esta función es para controlar y frenar al transmisor por parte del receptor.
- Control de errores: Al nivel físico se pueden introducir errores debidos a cuestiones de los medios de transmisión (ruidos, etc...). Hay que saber cuando se produce un error y corregirlo.
- Gestión del enlace (a veces no está presente): A veces, la comunicación entre origen u destino no es permanente, teniendo que establecer y liberar el enlace cada vez que se quiera intercambiar información. De incluir control por el inicio, mantenimiento y liberación del enlace.
- Control del acceso al medio compartido (a veces): En redes de difusión o multipunto, varias estaciones compartirán el medio de transmisión. Por ello hace falta regular el uso de ese medio para evitar que todas transmitan a la vez.
- Direccionamiento: En redes de difusión o multipunto, si recibimos una transmisión no sabemos el origen. Por ello hay que proporcionar un direccionamiento que permita identificar el origen y el destino de cada transmisión.

Las tres primeras funciones están presentes en todas las redes, y en terminología OSI se las engloba como funciones de CONTROL DEL ENLACE LÓGICO (LLC, logical link control).

Las 2 últimas funciones tienen un sentido en redes compartidas de difusión, en las que el medio es compartido por varias máquinas, englobándose con el nombre de funciones de CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC, médium access control).



En este tema 6 veremos la funciones LLC. El siguiente tema será para MAC.

### 6.2 Entramado

Consiste en identificar el comienzo y fin de trama en el flujo de bits. Esto lo hace la tarjeta de interfaz de red. Hay cuatro métodos:

1. Cuenta de caracteres: Consiste en que un campo en la cabecera de la trama nos diga cuantos bits o caracteres forman la trama. Presenta los siguientes problemas: Hay que saber dónde empieza la trama. El campo que lleva la cuenta puede contener error y perderíamos la sincronización. Por ello, este método no se emplea por sí solo (aunque sí combinándolo con otros).
2. Protocolos orientados a carácter: Se considera la trama como compuesta por un conjunto de caracteres de un determinado código o juego. Están muy orientados a la transmisión asíncrona. Algunos ejemplos son BSC [EBCDIC] (IBM), SLC [ASCII].  
Se emplean ciertos caracteres del código para indicar inicio y fin de trama.

Ej.

Código ASCII → 7 bits → 128 caracteres.

Hay 3 caracteres en el flujo de 0 a 31 (carácter de control) que se empleaba para estos fines:

- DLE (Data Link Escape).
- STX (Start of Text)
- ETX (End of Text).

Para indicar el comienzo de una trama se enviaban 2 caracteres: un Del seguido de un STX. Para finalizar la trama, DLE y ETX.

¿Qué sucede si en los propios datos van incluidos esos caracteres?: Por eso se emplea relleno de caracteres o caracteres stuffing, consistente en, cada vez que encontramos en los datos el carácter DLE, lo sustituimos por DLE DLE, duplicándolo.

DLE	STX	→	Inicio
DLE	ETX	→	Fin
DLE	DLE	→	DLE
DLE	*	←	Error

Inconveniente de esta técnica es que está muy ligada al código de caracteres.

3. Protocolos orientados a bit: Son protocolos para transmisión síncrona, donde transmitimos un continuo de bits. Dentro de ese flujo se indica el comienzo y final de la trama con una cadena especial de bits llamado INDICADOR.

01111110 → Indicador.

Donde encontremos ese patrón, finalizará una trama y comenzará la siguiente.

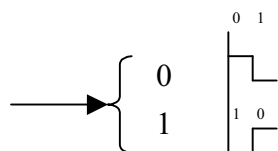
Si en los datos aparece el patrón, corregiremos el problema con relleno de bits (bit stuffing), consistente en que cada vez que tenemos en emisión un 0 seguido de 5 unos, insertamos un cero antes de seguir con el envío de datos.

En recepción, si se recibe un 0 seguido de 5 unos, si a continuación viene un 0, se ignora (es de relleno); si viene un 1 y un 0 es un indicador (fin / inicio de trama), y si llegan 2 unos es un error. Algunos protocolos con este mecanismo son: DIC (de la familia de DLC (IBM), LAAPB), PPP.

4. Violación de código: El principio y final de trama se marca con códigos del nivel físico no válidos. Ejemplo:



Manchester 1B2B  
[1 bit con 2 bits]



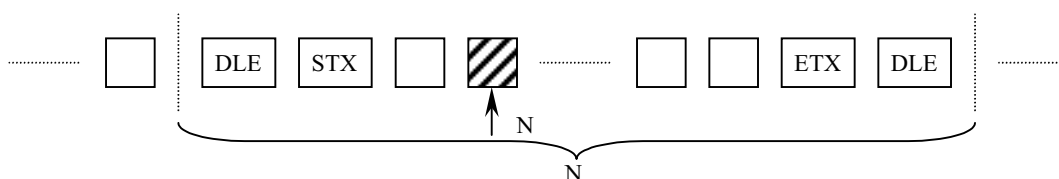
Dos códigos no válidos de Manchester serán dos ceros seguidos (00, llamado J en algunas redes), y 11 (código K).

En general, en combinaciones

4B5B por ejemplo, , combinaciones de 4 bits se codifican con 5, habría 16 violaciones de código.

Un ejemplo de uso lo encontramos en las redes TOKEN RING, FDD, etc... La ventaja es que no tenemos que hacer stuffing (relleno).

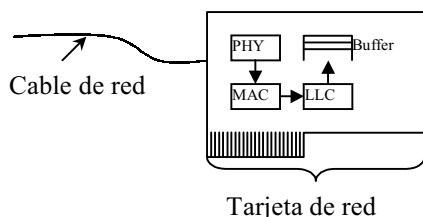
Muchas redes emplean la combinación de los 4 métodos vistos anteriormente. Por ejemplo: pueden usar protocolos orientados a carácter y una cuenta de caracteres.



Esto se hace por redundancia.

## 6.3 Control de flujo

Consiste en que el transmisor no envía tramas más rápido que lo que es capaz de procesar el receptor.



La tarjeta de red realiza las funciones del nivel físico y de enlace. Una vez procesada la trama (control de errores, etc...) la trama pasa al buffer y la tarjeta lanza una interrupción que atenderá el procesador (IRQ).

La rutina adecuada atraparé la interrupción y copiará la trama a la RAM para procesarla.

El buffer suele ser pequeño (16 Kb, 32 Kb). Podrá almacenar entre 10 y 30 tramas (como mucho). Cuando se llena el buffer, tira las tramas. Y aquí es donde entra el control de flujo.

Este control de flujo consiste en que el receptor tenga algún mecanismo de retroalimentación hacia el emisor para decirle que no transmita más tramas. Su misión es evitar que se llene el buffer.

Los mecanismos para el control de flujo son los siguientes:

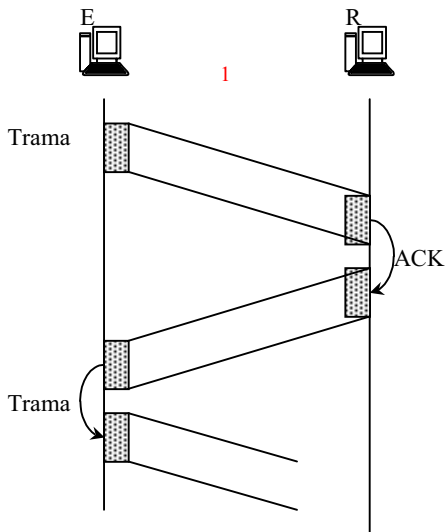
### 6.3.1 Parada y espera

Consiste en que el emisor, al transmitir una trama debe esperar una confirmación del receptor antes de transmitir una segunda trama. Se manda la confirmación al sacar la trama del buffer (no al terminar de procesarla en la memoria). La confirmación se llama ACK o asentimiento.

Suponiendo que no existen errores tenemos el caso 1.

Si hay una trama que no llega (error en la transmisión), el receptor no manda el ACK y el emisor se queda esperando eternamente.

El protocolo de parada y espera incorpora para solventar esto un temporizador. Si tras un tiempo  $T$



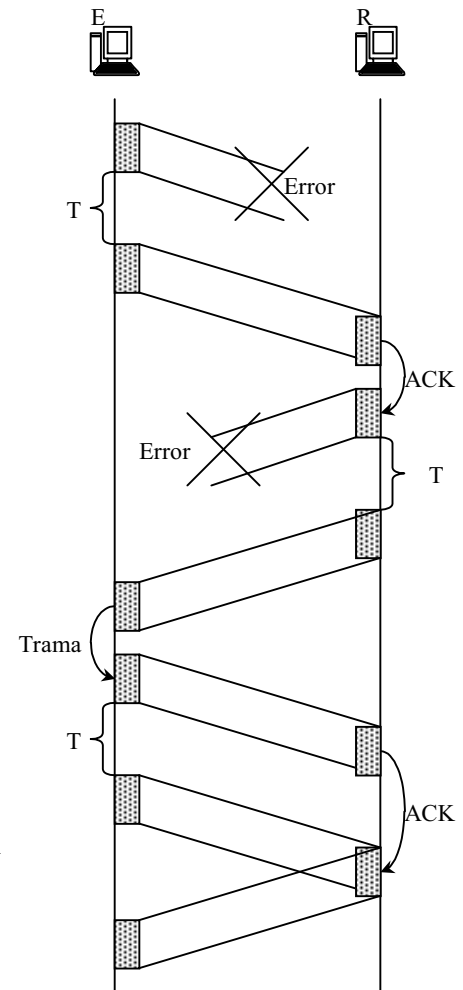
El tiempo  $T$  ha de ser lo suficientemente grande como para que le de a la trama tiempo a llegar. Lo mismo podría ocurrir con el ACK, con lo cual, el receptor, al acabar el temporizador, reenviaría el ACK.

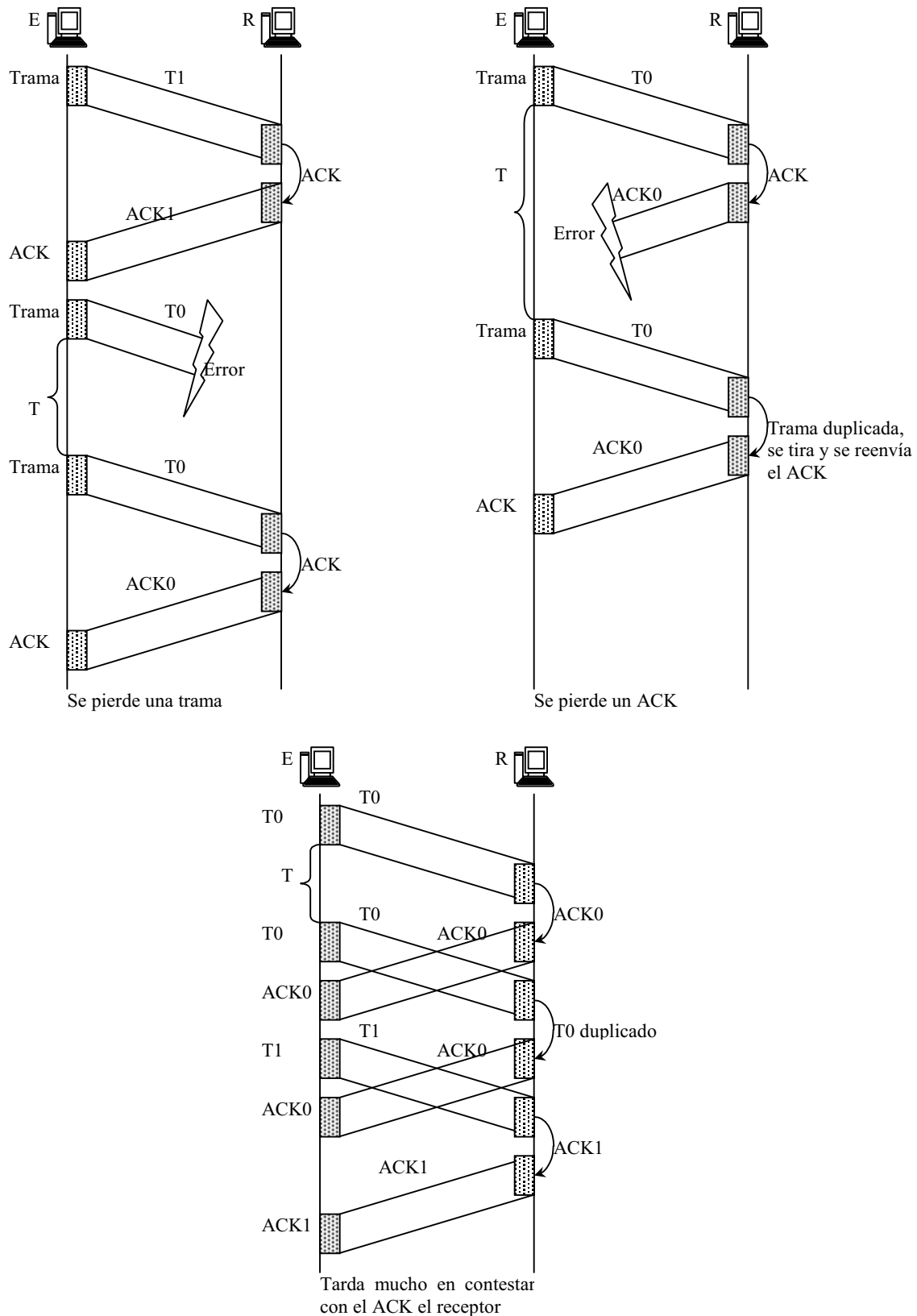
La máquina  
emisora manda la  
trama, llega, pero el  
emisor tarda en mandar  
el ACK por que la

máquina receptora está muy cargada y tarda en procesar la interrupción. El temporizador expira antes de llegar el ACK, con lo cual se retransmite y llega un duplicado. Puede ocurrir el caso contrario también, o sea, que suceda lo mismo con el ACK.

Para distinguir qué tramas llegan repetidas, existe lo que se llama BIT ALTERNANTE. Es un bit en la cabecera de la trama que vale 0 y 1 alternativamente en cada envío de trama. Lo mismo para el ACK.

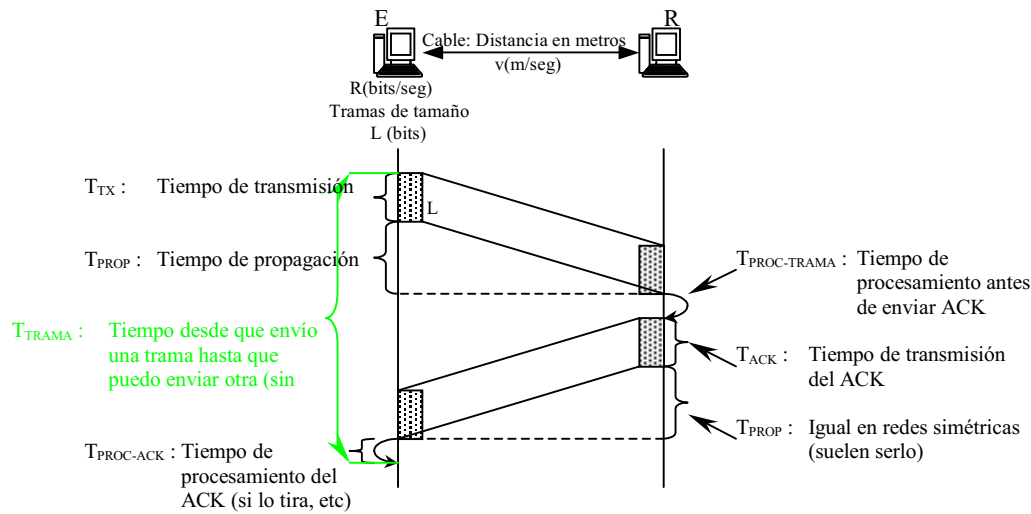
Parada y espera  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{ACK} \\ - \text{TEMPORIZADOR} \\ - \text{BIT ALTERNANTE} \end{array} \right.$





El gran inconveniente de parada y espera es que se pasa mucho tiempo el emisor y el receptor esperando el ACK, y muy poco tiempo enviando datos.

### 6.3.1.1 Análisis de prestaciones



$$T_{TRAMA} = T_{TX} + T_{PROP} + T_{PROC-TRAMA} + T_{ACK} + T_{PROP} + T_{PROC-ACK}$$

Salvo indicación en contra, los tiempos de procesamiento  $T_{PROC-TRAMA}$  y  $T_{PROC-ACK}$  se consideran despreciables. La trama de asentimiento (ACK) es muy pequeña respecto a una trama, por lo que asumiremos también (salvo indicación en contra) despreciable su tiempo. La formula quedaría así:

$$T_{TRAMA} = T_{TX} + 2 \cdot T_{PROP}$$

Definición:

$$\text{Factor } \underline{a} \text{ de un enlace: } FACTOR \ a = \frac{T_{prop}}{T_{TX}} = \frac{d/v}{L/R} = \frac{dR}{Lv}$$

$$\text{Con lo que: } T_{TRAMA} = T_{TX} + T_{PROP}$$

La eficiencia va medida por “U”, que es el tiempo que realmente se está transmitiendo. El resto del tiempo esperamos por el ACK.

$$U = \frac{T_{TX}}{T_{TRAMA}} = \frac{T_{TX}}{T_{TX} + 2 \cdot T_{PROP}} = \frac{1}{1 + 2a}$$

$$U = \frac{1}{1 + 2a}$$

Lo ideal sería una utilización  $U = 1$  (100 %). Será mejor la utilización cuanto más pequeña sea  $a$ .

$a$  será pequeña si  $d \cdot R$  es muy grande, parada y espera resulta poco eficiente.  $a = \frac{d \cdot R}{L \cdot v}$

La distancia entre las estaciones y el régimen binario, lo más pequeño y la trama, cuanto más grande mejor (la  $v$  no podemos alterarla).

Se transmiten  $R$  bits por segundo, pero el usuario sólo ve que transmite  $L$  bits cada  $T_{TRAMA}$  segundos (se puede esperando por ACK).

$$\frac{L(\text{bit})}{T_{TRAMA}(\text{seg})} = C_{ef} \quad \text{Caudal eficaz: Régimen binario medio que consigue el usuario.}$$

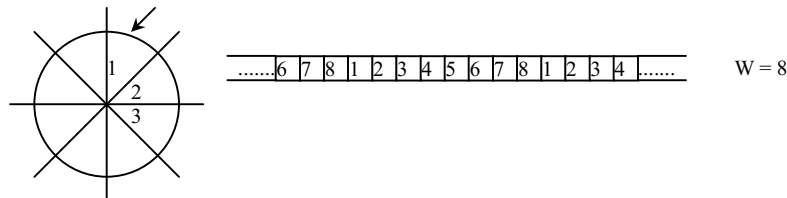
Se demuestra que :  $C_{ef} = R \cdot U$

## 6.4 Ventana deslizante

La idea es poder transmitir más de una trama antes de recibir el asentimiento de la primera. Para ello se necesita un buffer o memoria de varias tramas tanto en el receptor como en el emisor. En el emisor sirve para guardar las tramas aún no confirmadas por si se necesita retransmisión. Esos buffers se llaman ventana de transmisión y ventana de recepción. En la primera se copian las tramas enviadas a la espera de ACK. En la ventana de recepción se guardan las tramas que se reciben mientras no se pasen al nivel superior y se envíe el ACK correspondiente.

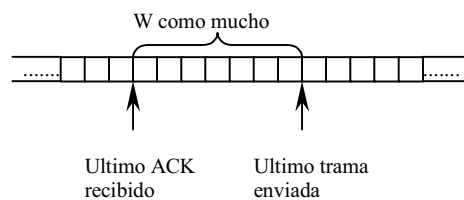
El emisor y el receptor tienen que acordar un tamaño de ventana (configurado por defecto o negociado). Se llamará  $W$ . Sólo se pueden enviar  $W$  tramas sin recibir confirmación. Por ello, el receptor tendrá más de 2 tramas esperando a ser pasadas al nivel superior.

El buffer es circular, y se puede representar así:



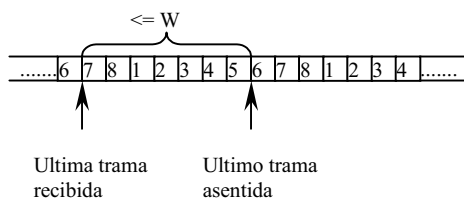
En el emisor, cada trama que se transmite se guarda en el buffer. Cada trama se transmite indicando en un campo un número llamado secuencia de transmisión, indicando su posición en el buffer (N(s)).

Al transmitir una trama tras haber enviado  $W$  tramas, volvemos a comenzar con el número 1. Al llegar un ACK, el emisor cambia un puntero que tiene a la posición de la última trama de la que recibió su ACK. También tiene un puntero a la última trama enviada. La distancia entre estos punteros no puede ser mayor de  $W$ .



Además, el transmisor asocia un temporizador a las tramas, retransmitiéndolas en caso de que no se reciba el ACK en el tiempo establecido para la trama.

En el receptor, las tramas recibidas se van guardando en un buffer. Hay un puntero a la última trama asentida, y otro a la última trama recibida.

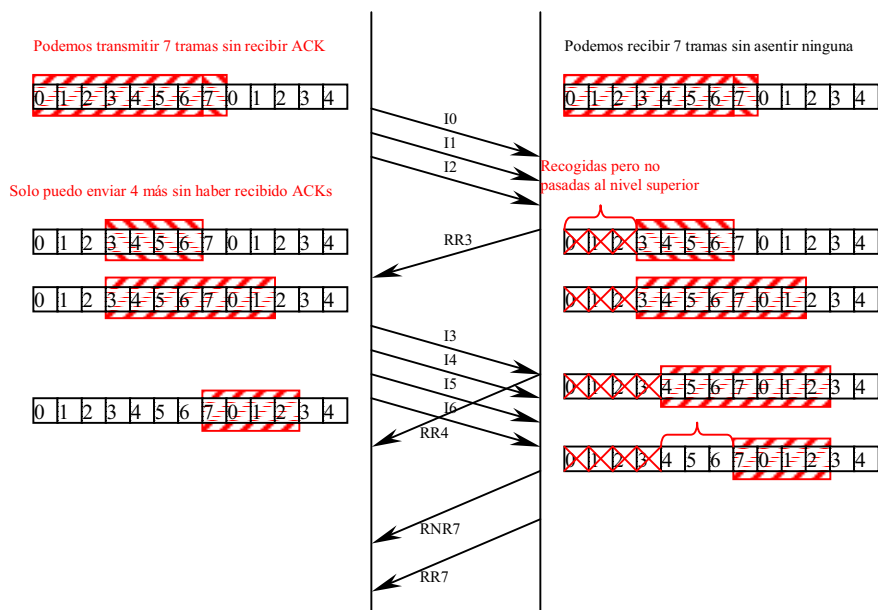


Si se confirma una trama, se confirman todas las anteriores.

Podemos seguir recibiendo tramas mientras la distancia entre los punteros sea menor o igual que  $W$ .

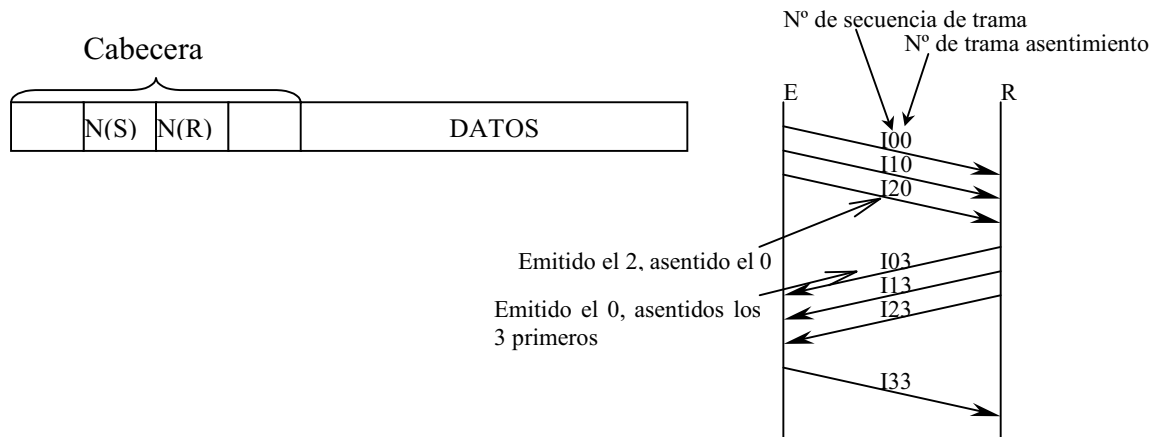
Ejemplo:

Nº de bits = 3,  $W = 7$ .



Existe otro tipo de asentimiento (RNR, Receiver Not Ready), para cuando el receptor está muy cargado. Para que el emisor no piense que se perdió y retransmita, se envía esta señal. Así dice que han llegado las tramas pero no ha liberado el buffer. No tiene efectos desde el punto de vista de las ventanas.

Como suele haber tráfico bidireccional, las tramas de datos (en la cabecera) disponen de 2 campos: n° de secuencia de transmisión y n° de secuencia de recepción.



Para el caso:  $n = 3$ ;  $W \leq 2^n - 1 \leq 7$ .

Si  $W$  fuese 8:

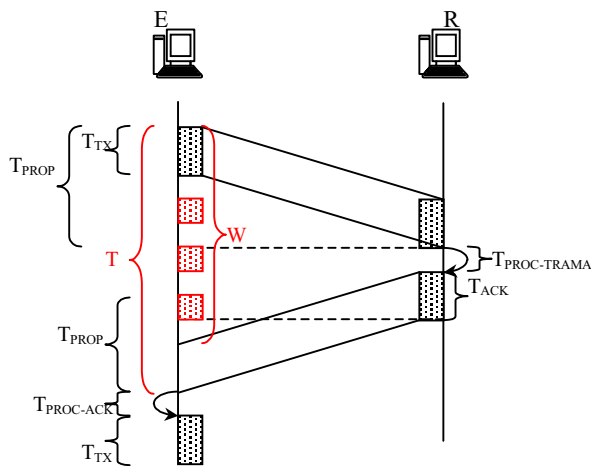


Podría parecer válido (no se repiten los números de secuencia).

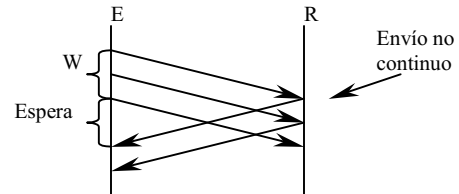
Si nos llega RR0 no sabemos si confirmar que han llegado todos o ninguno.

#### 6.4.1.1 Análisis de prestaciones

Tendremos envío continuo si antes de agotar la ventana recibimos algún ACK.



Si la ventana es pequeña, gastaremos la ventana y tendremos que esperar algún asentimiento para poder seguir enviando.



¿Condición del envío continuo?

$$W \cdot T_{TX} \geq T$$

$$W \cdot T_{TX} \geq T_X + 2T_{PROP}$$

$$W \geq 1 + 2a$$

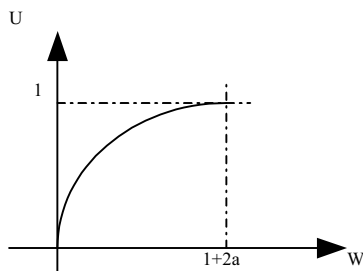


Nos da el 100 % la  $U = 1$

$W < 1 + 2a \rightarrow$  Envío no continuo.

$$U = \frac{W \cdot T_{TX}}{T} \rightarrow \text{Uso de la red.}$$

$$U = \frac{W \cdot T_{TX}}{T_{TX} + 2 \cdot T_{PROP}} = \frac{W}{1 + 2a} \quad \boxed{U = \frac{W}{1 + 2a}}$$



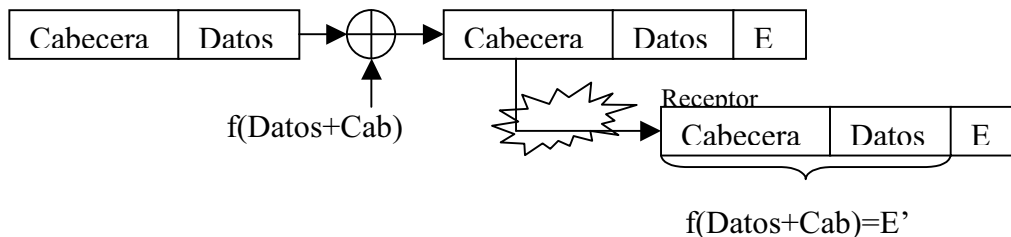
## 6.5 Control de errores

Se encarga de detectar cuando hay errores en los bits que forman una trama y recuperarse de esos errores.

La recuperación de errores se puede hacer de 2 formas: corrigiéndolos o tirando la trama y pidiendo retransmisión. La primera forma se llama REC (Forward Error Control), la segunda ARQ (Automatic Repeat Request).

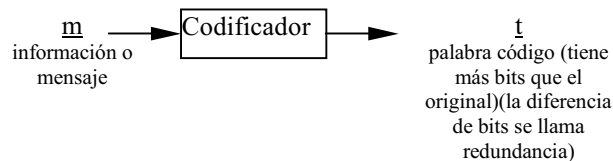
## 6.5.1 Códigos de protección frente a errores

La idea es que en el emisor se recibirán del nivel superior (normalmente el nivel de red) los datos a retransmitir. El nivel de enlace le añadirá una cabecera donde, entre otras cosas, meterá el número de secuencia de transmisión y el de asentimiento, además de las direcciones origen y destino si es una trama ETH, etc... Además de esa cabecera, a toda la información le pasará una función que da como resultado su código de protección contra errores, llamado E. En la cola del mensaje es donde va el código E, que generalmente es una función de los datos.

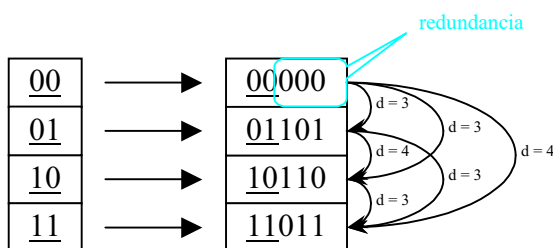


En el receptor se calcula la función sobre la cabecera y los datos, obteniéndose  $E'$ . Entonces comparamos  $E'$  con  $E$ , y si son iguales, todo ha ido bien. Si son distintos, algo ha fallado, pidiéndose la retransmisión. Otros códigos incluso son capaces de averiguar dónde está el error y corregirlo. Hay una probabilidad de que no se haya detectado error y lo haya e incluso de que lo detecte y lo corrija mal.

Cuanto más bits sea capaz de corregir, más bits conseguirá detectar.



A cada mensaje se le asigna una palabra código distinta. Ejemplo:



Dado un código, se define la DISTANCIA de ese código (o distancia Hamming) como el mínimo número de bits en que se diferencian 2 palabras código de ese código ( $d$ ). Viendo el código anterior, la mínima es  $d = 3$ . Con lo que este código tendrá distancia Hamming de 3.

De la distancia de un código dependen sus propiedades detectoras y correctoras de errores.

Si un código tiene una distancia  $d$ :

- Puede detectar, como máximo  $d-1$  errores
- Puede corregir  $\frac{(d-1)}{2}$  errores
- Si queremos detectar y corregir a la vez (detectar 'x' y corregir 'y'), la distancia tiene que cumplir que:  $d \geq x+y+1$

Si queremos detectar 5 errores, necesitamos un código con  $d \geq 6$ .

Si queremos corregir 5 errores, necesitamos un código con  $d \geq 11$ .

Si queremos detectar errores de hasta 6 bits y corregir los de 3 bits o menos, hace falta un código con  $d \geq 10$ .

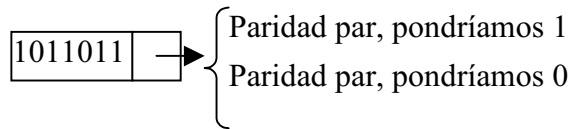


### 6.5.1.1 Protección de errores: tipos

#### 6.5.1.1.1 Paridad

Consiste en añadir un bit en los mensajes (bit de paridad). Cuando hay paridad par, contando ese bit y el resto han de completar un número par de '1'. Para la paridad impar, es justo lo mismo, pero tiene que haber un número impar de '1'.

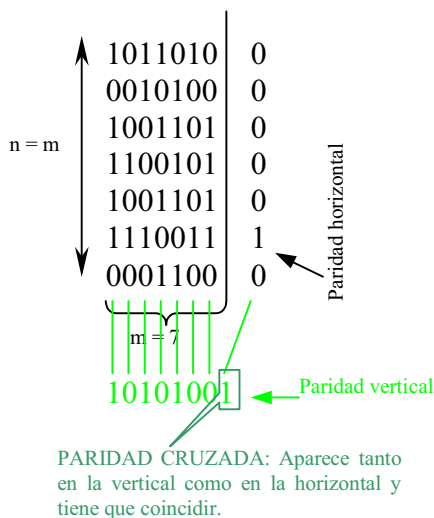
ASCII 7bit + 1 bit paridad



La mayor parte de los protocolos asíncronos emplean paridad impar, y la mayoría de los síncronos paridad par, y no por ningún motivo especial. La distancia  $d=2$  permite detectar 1 error (sólo uno). No tiene potencia para corregirlo.

#### 6.5.1.1.2 Paridad bloque o multidimensional

Consiste en dividir el bloque de bits a enviar en trozos de 5, 6, 7 o  $m$  bits (da igual). Calculamos el bit de paridad por cada uno de los bloques de  $m$  bits (por ejemplo, paridad par):



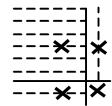
Calculamos las paridades verticales también. Transmitiremos el bloque enviando bits de izquierda a derecha y de arriba abajo (como se lee).

Los bloques no tienen por que ser cuadrados.

¿Cuál sería la distancia de este código?

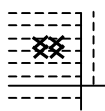
Si cambiamos sólo un bit, cambiamos 3 bits de paridad. O sea, que la distancia es  $d = 4$ .

Se detectan hasta 3 errores. Si se producen más, puede que se detecte puede que no.



Se demuestra también que detecta hasta

4 errores si no cambian los 4 bits que forman un cuadrado.



Esto que hemos visto es paridad bidimensional. Hay más procedimientos para calcular la paridad tridimensional,  $n$ -dimensional, etc...

No es fácil corregir errores con este método.

#### 6.5.1.1.3 Código Hamming

Es un código de paridad con distancia  $d = 3$ . Por cada  $m$  bits de mensaje, añade  $r$  bits de redundancia, de forma que se cumpla que  $2^r \geq m + r + 1$ .  $r$  será el mínimo valor que cumpla esto.

Los bits de paridad no se colocan al final de cada mensaje, sino en posiciones que son potencia de 2.

Cada bit del mensaje va a aparecer en la paridad de 2 o más de esos  $r$  bits, los cuales calculan la paridad de un subconjunto de  $m$ . No va a haber 2 bits de  $m$  que aparezcan en los mismos  $r$ , en la paridad del mismo conjunto.

No puede haber en 2 conjuntos la misma secuencia de bits. Si en 4 aparecen 5, 6 y 7, no puede haber otro conjunto con 5, 6 y 7, pues no sabríamos más tarde que conjunto ha fallado.

Ej.

Codificar mediante Hamming el mensaje: 1011001

$m = 7$  bits.

$r$  mínimo tal que  $2^r \geq m+r+1$

Probamos con  $r = 3 \rightarrow 2^3 \geq 7+3+1$  **NO**

$r = 4 \rightarrow 2^4 \geq 7+3+1$  **SI**

Por lo tanto, el mensaje tendrá 11 bits ( $m+r$ ):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1		0	1	1		0	0	1
$2^0$	$2^1$		$2^2$				$2^3$			

Las posiciones que no son potencia de 2 se ponen como suma de potencias de 2:

$$3 = 2 + 1$$

$$5 = 4 + 1$$

$$6 = 4 + 2$$

$$7 = 4 + 2 + 1$$

$$9 = 8 + 1$$

$$10 = 8 + 2$$

$$11 = 8 + 2 + 1$$

2:

Ahora miramos en cuáles de ellas aparecen las potencias de 2:

1: 3,5,7,9,11 → 1

2: 3,6,7,10,11 → 0

4: 5,6,7 → 0

8: 9,10,11 → 1

Con esto hemos conseguido que los bits de mensaje aparezcan en 3 conjuntos diferentes, etc...

Una vez que tenemos todo esto, sólo queda componer el

mensaje como se va a transmitir, para ello hay que insertar en las posiciones potencia de 2 los bits de paridad que acabamos de obtener:

10100111001

Veamos ahora que sucede al recibir los datos:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

Diagram showing parity checks for the received data:

- 1:3,5,7,9,11 OK
- 2:3,6,7,10,11 OK
- 4:5,6,7 OK
- 8:9,10,11 OK

Como es Hamming, los bits de redundancia están en las posiciones  $2^x$ . Se ha recibido correctamente la cadena: 0100011.

Otro ejemplo de cadena recibida es:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1

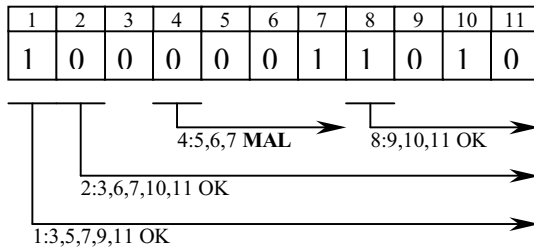
Diagram showing parity checks for the received data:

- 1:3,5,7,9,11 MAL
- 2:3,6,7,10,11 MAL
- 4:5,6,7 MAL
- 8:9,10,11 OK

Hamming sólo corrige 1 error. Si se emplea como corrector, sólo detecta 1. Si solo se usa como detector, hasta 2.

Si suponemos que ha habido un error, el culpable es el bit 7, pues aparece en el grupo del 1, el 2 y el 4. O sea, que sumando los bits que fallan (1, 2 y 4) nos da la posición errónea.

Otro ejemplo:



Los bits 5, 6 y 7 no pueden ser erróneos (sino serían erróneos los grupos en que aparecen). Por ello es el propio bit de paridad el que falló.

Una forma de codificación más sencilla es la siguiente:

1011001  
m = 7; r = 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	X	1	X	0	1	1	X	0	0	1

Cogemos las posiciones que tienen valor 1 (3, 6, 7 y 11) y las escribimos en binario con tantos bits como salga (4 bits).

3 = 0011  
 6 = 0110  
 7 = 0111  
 11 = 1011  
 -----  
 1001

↑ Primer bit de paridad (1)  
 ↑ Segundo bit de paridad (2)  
 ↑ Tercer bit de paridad (4)  
 ↑ Cuarto bit de paridad (8)

La suma se realiza sin acarreo.

Una vez realizada la suma, los bits obtenidos se colocan en las posiciones que faltan en la cadena anterior, comenzando por el bit más a la derecha en la posición uno y continuando hacia la izquierda en orden.

Resultando la cadena: 10100111001

¿Qué se hace en el receptor?

que

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1

binario y se suman.

Si el resultado es 0, no hay error (la suma se hace sin acarreo).

Cogemos las posiciones de los bits valen 1 y se ponen en

4 = 0100  
 5 = 0101  
 10 = 1010  
 11 = 1011  
 -----  
 0000

Otro ejemplo:  
01100010011

No es 0000, con lo que tenemos algún error, y el bit erróneo es el que indica la suma en decimal (el 7).

2 = 0010  
 3 = 0011  
 7 = 0111  
 10 = 1010  
 11 = 1011  
 -----  
 0111

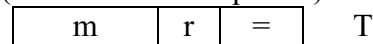
Los códigos correctores se emplean cuando es muy difícil, costoso, ineficiente, etc... pedir retransmisiones. Hacer un código corrector es muy complicado y precisa de mucha redundancia, con lo que se prefiere códigos detectores (que pueden detectar muchos fallos con poca redundancia) y al detectar fallo pedir retransmisión.

Se suelen emplear en enlaces satélite, pues el retardo es muy grande y en redes de un solo sentido (televisión digital).

#### 6.5.1.1.4 CRC

Códigos de redundancia cíclica o polinómicos.

Tendremos un mensaje  $M$  de  $m$  bits, al que se le añadirán  $r$  bits de redundancia que forman el CRC o FCS (Frame Check Séquense). El total es una trama  $T$



Estos códigos se basan en un patrón de bits  $(r+1)$  llamado  $P$  (polinomio generador).

En emisión,  $r = m \cdot 2^r \% p$  (resto).

En recepción no hay error si la trama  $(T)$  dividido por  $P$  da resto 0.

$P: r+1$  bits

Se representan como un polinomio de grado  $r$  (de ahí su nombre):

$$P(X) = X^7 + X^4 + X^3 + 1 = 1 \cdot X^7 + 0 \cdot X^6 + 0 \cdot X^5 + 1 \cdot X^4 + 1 \cdot X^3 + 0 \cdot X^2 + 0 \cdot X^1 + 1 \cdot X^0 = 10011001$$

#### Ejemplo

Determinar el resultado de codificar este dato de 7 bits: 1001100 mediante CRC y un polinomio generador  $P(X) = X^3 + X^2 + 1$

$P \rightarrow 1101$  ( $r+1$ )      Si el grado de  $P$  es 3,  $r = 3$

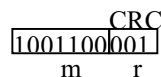
$$\frac{M \cdot 2^r}{P} \leftarrow \text{añadir } r \text{ ceros al polinomio.}$$

$$\begin{array}{r}
 \overbrace{1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0}^m \quad \overbrace{0\ 0\ 0}^r \quad 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \underline{1\ 1\ 0\ 1} \\
 1\ 0\ 0\ 1 \\
 \underline{1\ 1\ 0\ 1} \\
 1\ 0\ 0\ 0 \\
 \underline{1\ 1\ 0\ 1} \\
 1\ 0\ 1\ 0 \\
 \underline{1\ 1\ 0\ 1} \\
 1\ 1\ 1\ 0 \\
 \underline{1\ 1\ 0\ 1} \\
 0\ 1\ 1\ 0\ 0 \\
 \underline{1\ 1\ 0\ 1} \\
 0\ 0\ 1
 \end{array}$$

División binaria OR exclusivo si empieza por 1, el cociente empieza por 1 y 0 si empieza por 0 (en este caso bajamos el siguiente)

El resto debe tener  $r$  bits

Se transmitirá:



En recepción, se divide lo recibido entre  $P$  y miramos el resto. Si el resto da 0 significa que no ha habido errores de transmisión, En caso contrario, significa que ha habido algún error en la transmisión, pero no nos dice como podemos localizarlo.

Si se elige adecuadamente el polinomio, se pueden detectar muchos errores. Todos los códigos CRC detectan todos los errores de 1 bit.

Si  $P(X)$  tiene al menos 3 unos, se detectan todos los errores de 2 bits. Si  $P(X)/(X+1) \{1101/11\}$  da resto 0, detecta cualquier  $n^\circ$  impar de errores. Siempre detecta todas las ráfagas de hasta  $r$  errores consecutivos.

## 6.5.2 Técnicas de corrección de errores

- ARQ: (Automatic Repeat Request): Si detectamos fallo (por CRC, etc...) se pide retransmisión de esa trama.
- FEC(Forward Error Control)

ARQ está muy ligado al control de flujo (recordemos parada-espera y ventana deslizante).

Hay 3 variantes de ARQ:

- ARQ de parada y espera
- ARQ de rechazo simple
- ARQ de rechazo selectivo

### 6.5.2.1 ARQ

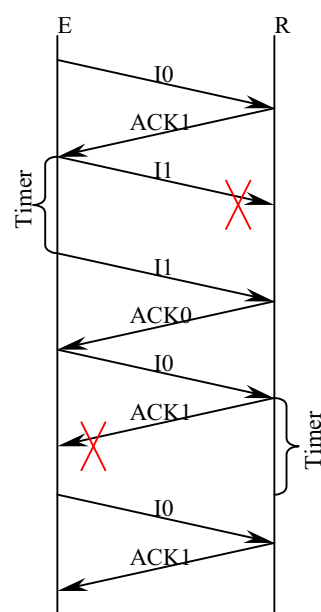
#### 6.5.2.1.1 ARQ de parada y espera

O ARQ simple. Se basa en el control de flujo de parada y espera, y también se basa en ACK al recibir una trama correctamente. También puede emplear un temporizador, y si en el tiempo establecido no se recibe la trama, se retransmite. También se usa el bit alternante para las tramas consecutivas.

¿Cómo se recupera el receptor de errores gracias a estos 4 puntos?

Al recibir una trama 0, el ACK se envía con 1 (el siguiente que se espera). Si la trama se pierde o llega errónea (X), al acabar el tiempo del temporizador, se reenvía. Si el asentimiento llega mal, al finalizar el temporizador se reenvía.

En este último caso, dado que el receptor ya tiene la trama que el emisor acaba de enviar, simplemente la tira y asiente su llegada con un nuevo ACK.



Ventajas: Es un método muy sencillo.

Inconvenientes: Sus prestaciones son pobres (hay que esperar a los temporizadores si algo falla).

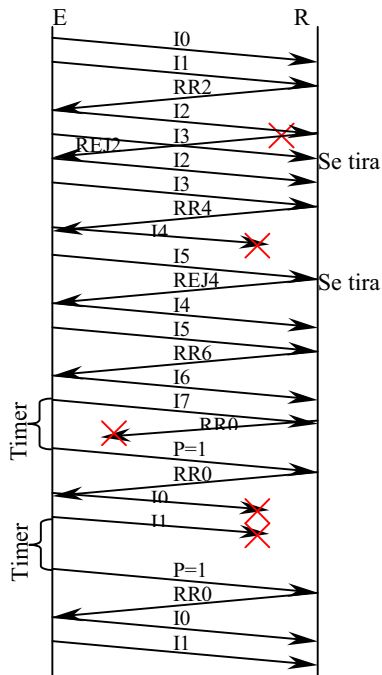
#### 6.5.2.1.2 ARQ de rechazo simple

O ARQ de rechazo continuo. Se basa en el control de flujo de ventana deslizante. También se le suele llamar “ARQ de vuelta atrás (n)”. Se emplean también

confirmaciones (RR y RNR), aparte de las usuales, se emplea otro tipo de confirmaciones (confirmación negativa: Rechazo simple (REJ)).

También, al igual que antes, se emplearán temporizadores. Se emplean números de secuencia, y en ocasiones se emplea el llamado bit P (polling).

Cuando se pierde o el n° de secuencia no es el esperado, el receptor genera una trama negativa, (REJ), que es un rechazo (reject). Este rechazo se llama simple, por que indica al emisor que tiene que retransmitir esa trama y todas las posteriores: o sea, un rechazo indica que se deben reenviar todas las tramas a partir de la trama rechazada.



$N = 3$  ; 3 bits para indicar el n° de secuencia  
 $W \leq 2^N - 1$ ;  $W \leq 7$  (supondremos  $W = 2$  para este ejemplo).

(no puede enviar más de 2 tramas sin haber recibido confirmación).

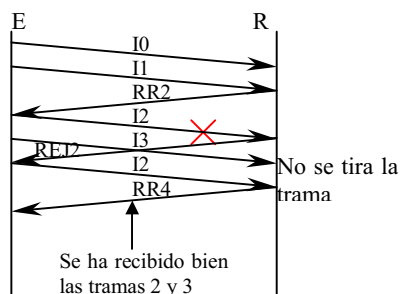
El bit “P” suele ir a 0, poniéndose a 1 cuando queremos obligar al otro extremo a mandarnos su estado. No todos los protocolos admiten o emplean el bit P; suele pedir la retransmisión de todas las tramas desde la que falló en adelante.

Si rechazamos la 1 (por cualquier fallo) eso implica asentar la 0 (suponiendo que el fallo se produce en la 2ª trama, llegando bien a la primera).

El receptor podría enviar y recibir ACK en vez de esperar. Lo normal es esperar para asentar varias tramas.

#### 6.5.2.1.3 ARQ de rechazo selectivo

O ARQ con rechazo continuo. Se basa en el control de flujo de ventana deslizante. Es como el anterior, pero en vez de emplear una trama de rechazo REJ, se emplea una trama de rechazo selectivo (SREJ). Cuando se rechaza una trama, sólo se rechaza esa trama, y sólo hay que reenviar esa trama. Es más eficiente, pues sólo hay que retransmitir las tramas defectuosas, pero a cambio obliga a más complejidad en el receptor.



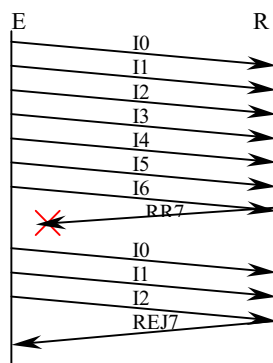
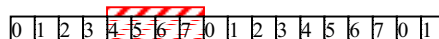
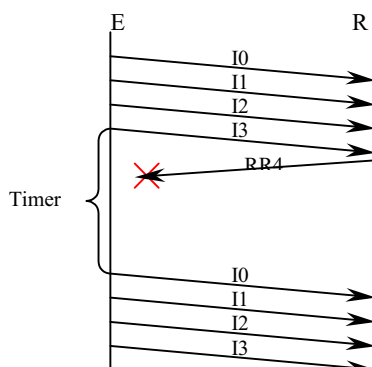
Ventajas: Sólo se retransmite la trama rechazada.

Inconvenientes: Obliga en el receptor a reordenar las tramas (y esto no es sencillo).

Aunque parece mejor que el rechazo simple, se emplea menos, pues es un gran problema el reordenamiento de tramas.

Se ha recibido bien las tramas 2 y 3	Con rechazo selectivo, si no se usa el bit “P”, el tamaño de ventana tiene que ser más pequeño ( $W = 2^{N-1}$ ) para que no haya problemas de ambigüedades.
--------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ej.

Si  $N = 3$  y  $W = 7$ Para evitar esto,  $W \leq 2^{N-1}$ Veamos que con  $N = 3$  y  $W = 4$  no hay ese problema:

No se confunde con tramas futuras

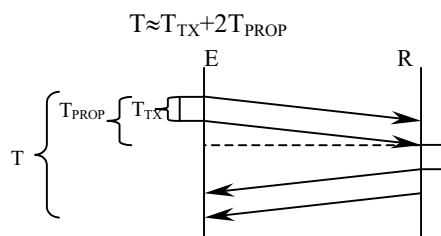
#### 6.5.2.1.4 Prestaciones de ARQ

$P \rightarrow$  Probabilidad de error de bit, independientemente y uniformemente distribuida.

$P_{EB} \rightarrow$  Probabilidad de error de trama Trama = bloque de  $n$  bits.

$$P_{EB} = 1 - (1 - P)^n$$

##### 6.5.2.1.4.1 Arq de parada y espera



$N_T = n^\circ$  medio de transmisiones que hay que nacer de una trama hasta que llega sin errores.

$$T = N_T (T_{TX} + 2T_{PROP})$$

Nº de transmisiones	Prob
1	$1 - P_{EB}$
2	$P_{EB} (1 - P_{EB})$
3	$P_{EB} \cdot P_{EB} (1 - P_{EB}) = P_{EB}^2 (1 - P_{EB})$
.....	.....
i	$P_{EB}^{(i-1)} (1 - P_{EB})$

Suponemos que no hay error en los asentimientos.

$$N_T = 1(1 - P_{EB}) + 2(P_{EB}(1 - P_{EB})) + 3(P_{EB}^2(1 - P_{EB})) + \dots$$

$$N_T = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_{EB}^{i-1} (1 - P_{EB}) = (1 - P_{EB}) \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot P_{EB}^{i-1} = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot X^{i-1} = \frac{1}{(1 - X)^2}$$

$$N_T = \frac{1}{(1 - P_{EB})^2}$$

$$U = \frac{T_{TX}}{T} = \frac{T_{TX}}{N_T (T_{TX} + 2T_{PROP})} \quad \text{Utilización del caso ideal (sin errores)} = \frac{1}{1 + 2a} \quad \text{siendo } a = \frac{T_{PROP}}{(1 - X)^2}$$

$$U = \frac{U_{ideal}}{N_T} = \frac{1 - P_{EB}}{1 + 2a}$$

$$U = \frac{1 - P_{EB}}{1 + 2a}$$

#### 6.5.2.1.4.2 ARQ con rechazo simple y selectivo

También se cumple que  $U_{errores} = \frac{U_{ideal}}{N_T} \rightarrow U$  de la ventana deslizante (ver antes)

- $N_T$  en rechazo selectivo es igual que parada y espera:  $N_T = \frac{1}{1 - P_{EB}}$
- $N_T$  en rechazo simple vale:  $N_T = \frac{1 + 2a \cdot P_{EB}}{1 - P_{EB}}$

#### 6.5.2.2 FEC (Forward Error Control)

Código de control de errores con propiedades correctoras sin pedir retransmisión. Se emplean cuando pedir una retransmisión es muy costoso (o imposible): emisiones de televisión o radio digital, cuando hay un retardo muy grande (transmisiones vía satélite), envío de audio/video en tiempo real.

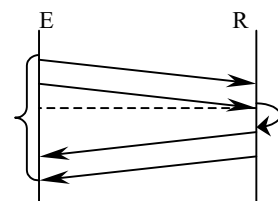
Un ejemplo es el código *Hamming*. Son bastante complejos.

Presentan una serie de inconvenientes:

- Se necesita mucha redundancia, para obtener cierta fiabilidad es preciso enviar muchos bits de código.
- Son algoritmos muy complejos, siendo su implementación muy costosa, tanto en el emisor como en el receptor.
- Están orientados a ciertos errores: algunos funcionan mejor para errores consecutivos, otros para errores dispersos, etc...

También presentan una serie de ventajas frente a ARQ:

- No se necesita un canal de retorno (de receptor a emisor).
- El caudal eficaz y el retardo son constantes: en ARQ, desde que mandas un paquete hasta que recibes otro es variable (te lo pueden rechazar, pedirte retransmisión). En FEC no es así.





### 6.5.2.3 Técnicas mixtas

#### 6.5.2.3.1 FEC + FEC

Emplean 2 FEC, uno para solventar errores dispersos y el otro para errores seguidos.

#### 6.5.2.3.2 ARQ + FEC

Emplean un código en principio corrector, pero si en X tramas consecutivas el algoritmo tiene que corregir errores, asume que en esas condiciones hay mucho ruido y se pone en funcionamiento en modo detector. Si recibe X tramas correctas consecutivamente, asume que la situación de ruido ha finalizado y vuelve al modo corrector.

## 6.6 Protocolos de nivel de enlace

Ejemplos de protocolos de nivel de enlace son SLIP, PPP y HDLC.

---

### 6.6.1 SLIP (Serial Link IP)

---

Pensado para mandar por una línea serie, punto a punto, entre 2 ordenadores paquetes IP.

SLIP, de todas las funciones del nivel de enlace, sólo hace la de entramado (donde acaba un paquete IP y comienza el siguiente). Es un protocolo orientado a carácter (byte).

Si el separador aparece dentro del paquete, se sustituye por otro patrón.

No tiene control de flujo, se un ordenador es más rápido enviando, el otro no podrá procesar los datos y los paquetes se perderán. Se confía en que un nivel superior lo detecta y pide la retransmisión.

Tampoco hay control de errores, se deja para niveles superiores. Tampoco se hace nada sobre la gestión de enlace.

---

### 6.6.2 PPP (Point to Point Protocol)

---

Pensado para comunicaciones punto a punto entre 2 máquinas. No es un protocolo ligado al nivel de red (se puede emplear IP o cualquier otro, es independiente del nivel de red).

Es un protocolo orientado a bit, pues el delimitador de comienzo y fin es:

01111110	DATOS	FCS	01111110
----------	-------	-----	----------

FCS son 16 bits de corrección de errores.

Si se repite el patrón en los datos, se hace bit stuffing. Los datos tienen que ser un número entero de bytes (número de bits múltiplo de 8). Tiene detección de errores y puede pedir retransmisión. Lo más importante es que incluye gestión del enlace.

Cuando 2 máquinas comienzan a comunicarse con PPP, emplean el protocolo LCP (Link Central Protocol), consistente en un intercambio de mensajes para ponerse de acuerdo en el protocolo del nivel de red a emplear (tipo de datos a transportar), qué tipo de control de flujo van a hacer, si los datos se van a comprimir o no, etc... Al acabar la negociación, se pasa a otra fase, llamada NCP (Network Control Protocol), que depende del protocolo de nivel de red escogido anteriormente, se encarga de que el usuario mande un login y un password, además de asignarnos una dirección IP.

---

### 6.6.3 HDLC (High level Data Link Control)

---

Bastante antiguo, pero muy importante, pues de él se han derivado muchos protocolos, más que derivarse, es que HDLC tiene muchas variaciones u opciones de funcionamiento. Hay muchos protocolos que en el nivel de enlace emplean HDLC con ciertas opciones.

En RDSI (ISDN) se emplean 2 protocolos de nivel de enlace, LAP-B y LAP-D, que son particularizaciones de HDLC.

En los Frame-Relay, se emplea LAP-F, y en los LAN es LLC.

Es un protocolo orientado a bit, y su formato de trama es:

8	8 a 16	16	8
01111110	CONTROL	DATOS	CRC 01111110

El control lleva:

- Tipo de trama: Datos, si es un RR, RNR, REJ, SREJ,...
- N° de secuencia (de trama y de asentimiento)
- Bit P

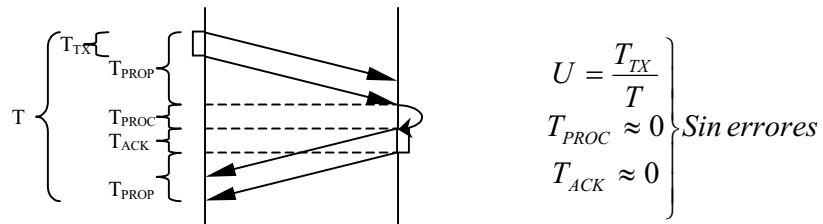
HDLC también tiene gestión del enlace: al principio se negocia en qué nodo funcionará el enlace (ARQ de parada y espera, rechazo simple, etc...).

## 6.7 Problemas

Realice un estudio compartido del canal eficaz por las técnicas ARQ de parada y espera, rechazo simple y rechazo selectivo, considerando los siguientes datos:

- N° de bits de información en trama de datos: 1000 bits.
- N° de bits de control en tramas de datos: 48 bits.
- N° de bits en tramas ACK: 48 bits.
- Velocidad de transmisión: 1200 bits/seg.
- Probabilidad de error de bit:  $5 \cdot 10^{-6}$ .
- Retardo de propagación: 100 ms.

**ARQ con parada y espera:**



Suponemos que los errores se producen en la trama

$$T_{TX} = \frac{L_{TX} \leftarrow \text{Longitud de trama}}{R \leftarrow \text{Régimen binario}} = \frac{1048 \text{ bits}}{1300 \text{ bits/seg}} = 0.8773 \text{ seg}$$

$$T_{PROP} = \text{dado en el enunciado} = 100 \text{ ms} = 0.1 \text{ seg.}$$

$$T_{ACK} = \frac{L_{ACK} \leftarrow \text{longitud bits ACK}}{R \leftarrow \text{Régimen binario}} = \frac{48 \text{ bit}}{1200 \text{ bit/seg}} \Rightarrow \text{Flujo más pequeño de transmisión, so no}$$

lo despreciamos tendríamos que contar los errores producidos en el envío de ACK. No lo consideramos:  $T_{ACK} \approx 0$

$$a = \frac{T_{PROP}}{T_{TX}} = \frac{0.1}{0.8733} = 0.1145$$

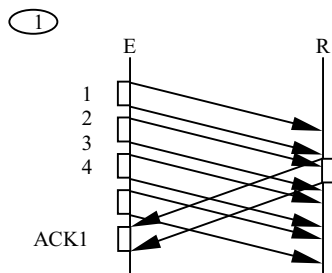
$$P_{eb} = 1 - (1 - P)^{L_{TX}} = 0.0052$$

Probabilidad de error de bloque.

### ARQ con parada y espera

$U = \frac{1 - P_{eb}}{1 + 2a} = 0.809$  Utilización del 80% de los 1200 bits empleados. El otro 20% se pierde en retransmisiones o esperas de ACK.

El régimen binario o **caudal eficaz** (Cef) es:  $1200 \cdot 80.9\% = 971 \text{ bits/seg.}$



Se emplearían estas formulas si no existe envío continuo.

Envío continuo, si al llegar el ACK de la primera trama, la ventana no se ha agotado y no nos hemos tenido que parar.

$$U = \frac{1 - P_{eb}}{1 + 2aP_{eb}} = 0.993 \quad (99.3\%)$$

$$Cef = 1192 \text{ bits/seg}$$

En el ARQ de rechazo selectivo (sólo se reenvía la trama errónea):

$$U = 1 - P_{eb} = 0.9948$$

$$Cef = 1193.76 \text{ bits/seg}$$

La utilización de ARQ de parada y espera es muy grande, por que vimos que si la duración de la trama es mucho más grande que el retardo es menos malo.

Con los otros dos mecanismos, se obtienen mejores resultados que con parada y espera, siendo mucho más complejos.

¿Por qué no hay mucha diferencia entre rechazo simple y selectivo? Por que el tamaño de trama es muy grande y el error de bit es muy pequeño.

Si hubiésemos escogido la 2ª aproximación, la fórmula de a sería:

$$a = \frac{T_{TX} + T_{ACK}}{T_{PROP}}$$

## PROBLEMA

Supongamos 2 estaciones terrestres que se comunican vía satélite. La capacidad del canal del satélite es de 64 Kbits/seg., pero se divide en 2 canales de 32 Kbits/seg (uno para cada sentido). Se decide utilizar control de flujo por ventana deslizante con “piggybacking” (aprovechar el asentimiento para enviar información adicional por el otro canal se envía la trama y el asentimiento de la última recibida).

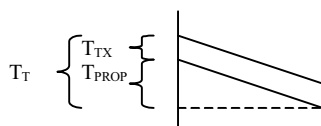
Suponemos que ambas estaciones siempre tienen tramas que enviar. El tiempo de propagación entre tierra y satélite es 135 ms. Y que la longitud de la trama n es de 17 bytes.

Se pide calcular los siguientes parámetros:

a)  $T_{TX}$  :

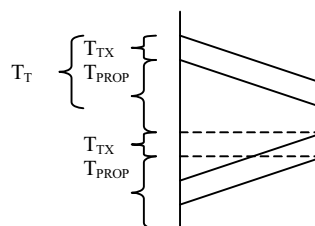
$$T_{TX} = \frac{L}{R} = \frac{17 \cdot 8 \text{ bits}}{32000 \text{ bits/seg}} = 4.25 \text{ ms}$$

b) Tiempo desde la transmisión del 1º bit de una trama hasta la recepción del último:



$$T = T_{TX} + T_{PROP} = 4.25 + 2 \cdot 135 = 274.25 \text{ ms}$$

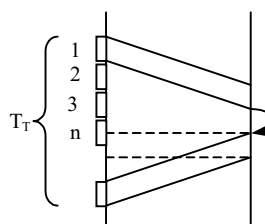
c) Tiempo de la transmisión desde el 1º bit de una trama hasta el último bit de la trama de asentimiento:



$$T = 2 T_{TX} = 548.5 \text{ ms}$$

17 bytes (por el piggybacking manda también información)

d) tamaño de ventana óptimo



$$W \cdot T_{TX} \geq 548.3 \text{ ms}$$

$$W \geq 129.2$$

$$W > 130 \rightarrow \text{necesitamos 8 bits por el número de secuencia. Podemos enviar 130 tramas numeradas con codificación binaria de 8 bits.}$$

## 7 Nivel de enlace: Medio compartido

En medios compartidos, hay que regular que no todos transmitan a la vez. Meremos qué medios hay para regular el acceso al medio compartido.

### 7.1 Multiplexación

Consiste en dividir el uso del medio de transmisión de forma estática entre los usuarios.

Esa división se puede hacer de varias formas:

- Multiplexación por división en el tiempo: TDM o TDMA
- Multiplexación por división en frecuencia: FDM o FDMA
- Multiplexación por división en longitud de onda: WDM o WDMA
- Multiplexación por división de código: CDM o CDMA

---

#### 7.1.1 TDM

---

En ese medio compartido se va a asignar a cada estación un intervalo de tiempo para transmitir, de tal forma que se van pasando el turno sucesivamente.

Por el medio circula una trama periódica que comienza en un instante  $t$  y va una sucesión de bits enviados por cada estación.

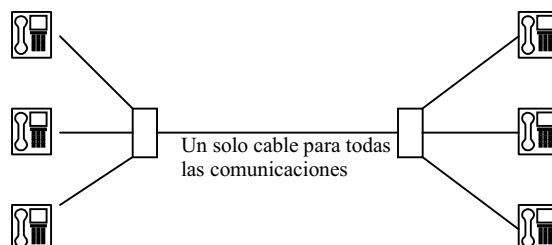
A veces hay una cabecera que es la que comienza a generar la trama. Si no existe, todas las estaciones tienen que tener un reloj común. Aún así, con cabecera, todas las estaciones escuchan la trama para sincronizarse.

Al final, en el medio, en un instante  $x$ , sólo puede transmitir uno, y si puede enviar más de  $x$  bits tiene que esperar a que le llegue de nuevo el turno.

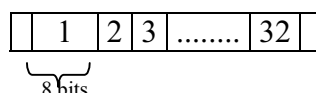
Si se transmiten  $R$  bits/seg por el medio, cada estación puede enviar  $R/N$  bits/seg. (algo menos, por que también hay cabeceras).

Se emplean desde hace mucho en la red telefónica.

- Europa: voz a 64 Kbits/seg.
- USA: voz a 54 Kbits/seg.



En Europa hay un sistema TDM (el E1, de 2,048 Mbits/seg) que consiste en una trama de 32 canales de 8 bits.



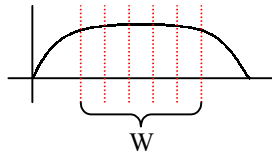
Se repite cada 125  $\mu$ seg. Se repiten 32 canales a 64 Kbits/seg, dando lugar a los 2 Mbits/seg.

---

## 7.1.2 FDM

---

Este divide el ancho de banda del medio de transmisión.



Se asigna una porción a cada estación. A la estación 3 por ejemplo, la obligamos a modular su señal para que su transmisión se encuentre justo entre la banda de frecuencias que se le ha asignado.

El régimen binario es  $W = 2W \log_2 M$

El régimen binario que puede obtener esa estación es  $R/N$  (puesto que  $W/N$ ). Con FDM transmiten todos a la vez, pero por bandas de frecuencia distintas, y a menor velocidad ( $R/N$  bits/seg).

En FDM, dada estación transmite a velocidad  $R$ , pero sólo durante un pequeño tiempo. En media transmite a  $R/N$ , pero puntualmente a  $R$ .

Se usa menos en redes digitales, aunque se usa en redes de telefonía (es previo a TDM y se una menos que éste).

---

## 7.1.3 WDM

---

Es lo mismo que FDM, sólo que es cuando hablemos de frecuencias muy altas (en el espectro de la luz). La idea es la misma. Se utiliza en fibra óptica, mandando por esta pulsos de luz de diferente frecuencia (o longitud de onda), o sea, como mandar luz de diferentes colores.

---

## 7.1.4 CDM

---

Son técnicas de espectro ensanchado pensadas para entornos con mucho ruido. Por su complejidad no los veremos. En telefonía móvil se emplean CDM con FDM.

Ventajas de la multiplexación: Son métodos sencillos, y cada usuario tiene un rango o gama por emitir por el, teniendo cada usuario su porción de ancho de banda.

Inconvenientes: Es poca flexible, pues a cada usuario se le asigna permanentemente su porción independientemente de si transmite o no. Para asignaciones dinámicas hay otros mecanismos.

---

## 7.2 Protocolo ALOHA

---

---

### 7.2.1 ALOHA puro

---

Este sistema se dice que es un sistema de contienda porque los usuarios no tienen asignada una porción, sino que tienen que competir por el uso de esa red.

Fue desarrollado en los 500 en la universidad de Hawai y consiste en: se suele emplear en redes para radio o satélite. En telefonía móvil, el móvil envía una petición de llamada por el método ALOHA, compitiendo con el resto de móviles.

Cuando una estación quiere transmitir, transmite. Puede ocurrir que otra estación transmita a la vez, produciéndose una colisión.

Por cuestiones de retardo, las estaciones no escuchan el medio a ver si está ocupado.

Lo que si hace después de haber transmitido es escuchar, y si escucha una colisión, reintente el envío. El reintento se produce tras un tiempo aleatorio. Espera escuchando el tiempo máximo de retardo de la red para asegurarse que su envío no produjo colisión.

Este tipo de redes está bien para poco trafico, porque si no habría muchas colisiones, provocando retransmisiones y más colisiones.

## 7.3 Cálculo de prestaciones

Supondremos que las tramas transmitidas son de tamaño fijo (L bits). El régimen binario es R bits/seg.

Lo que se tarda en transmitir una trama (tiempo de trama t):

$$t = \frac{L}{R}$$

También se supuso que la población era muy grande (tiende a infinito).

S será el número medio de tramas nuevas que esa población quiere transmitir por el tiempo de trama

$$S = \frac{N^{\circ} \text{ tramas nuevas}}{\text{tiempo trama}}$$

S también se llama *tráfico nuevo ofrecido*. El número de tramas total:

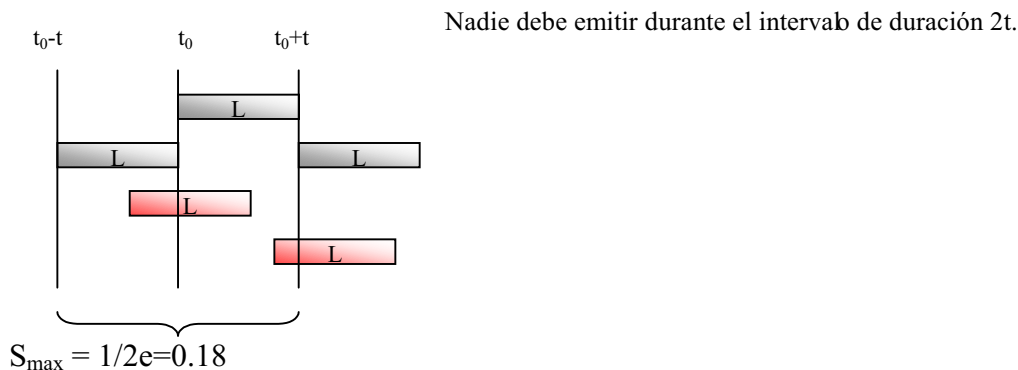
$$G = \frac{\text{nuevas} + \text{retransmisiones}}{\text{tiempo de trama}}$$

Se llama también *tráfico total ofrecido*.

¿Cuántas tramas se enviarán sin colisión?

Tráfico cursado = S porque se retransmitirá la trama tantas veces como haga falta.

$$P_0 = \text{Probabilidad de que una trama no colisiones} = \frac{S}{G} \Rightarrow S = G \cdot P_0$$



Supondremos que las tramas serán generadas por las estaciones de forma aleatoria siguiendo una distribución de poisson:  $P[k] = \frac{N^k e^{-N}}{k!}$  (con k retransmisiones), donde N

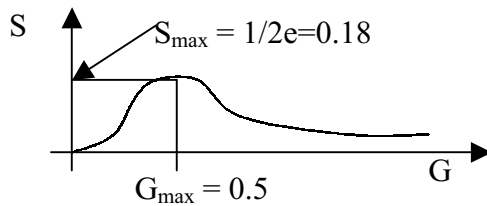
es el nº medio de transmisiones en el intervalo  $\tau$  (en tiempo).

En caso de que no queramos colisionar  $\tau = 2t$ ,  $N = 2G$  y  $k = 0$ .

$$P_0 = e^{-2G}$$

$$S = G \cdot e^{-2G}$$

La representación gráfica es la siguiente:



Estos valores máximos nos dicen que podemos enviar como tráfico nuevo el 18%. Si es una red de 100 Kbits/seg, con aloha podremos transmitir 18 Kbits/seg.

El tráfico total nuevo será del 50%, y la diferencia entre 18% y 50% serán retransmisiones.

Calculamos el número medio de intentos hasta transmitir con éxito una trama. Antes de eso tenemos que ver la posibilidad de que transmitamos en k intentos.

$$\text{Prob } k \text{ intentos} = (1-P_0)^{k-1} \cdot P_0 = (1-e^{-2G})^{k-1} \cdot e^{-2G}$$

( $1-P_0$ ) si hay colisión;  $P_0$  no colisión.

$$\text{Nº medio de transmisiones: } E = 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 + 3 \cdot P_3 + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_k = e^{-2G}$$

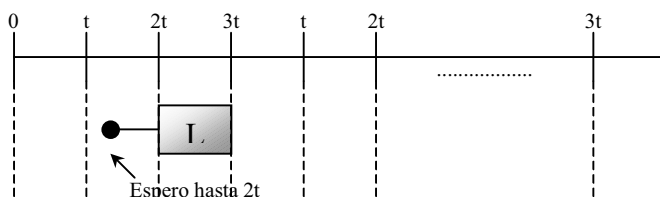
$P_1$ : Probabilidad de enviarla a la primera;  $P_2$ : probabilidad de enviarla a la segunda...

$$E = e^{2G}$$

## 7.3.1 ALOHA ranurado

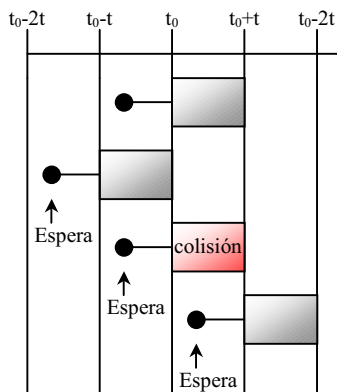
Todas las estaciones comparten un reloj, no transmitiendo cuando quieran, sino que cuando se quiere transmitir hay que esperarse al siguiente instante de tiempo múltiplo del tiempo de transmisión de trama.

$$\left. \begin{array}{l} L \text{ bit} \\ R \text{ bit / seg} \end{array} \right\} t = L/R$$



La ventaja es que se reducen las colisiones.





Sólo colisionan con nosotros las tramas que llegan entre  $t_0-t$  y  $t_0$ , siendo un periodo  $t$  (no  $2t$  como en ALOHA puro).

¿Como afecta esto a las prestaciones?

$$\tau = t$$

$$N = G \text{ (no } 2t \text{ como antes).}$$

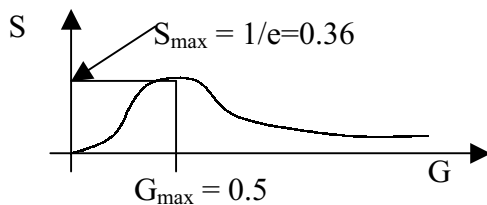
Sustituyendo en poisson:

$$P_0 = e^{-G} \Rightarrow S = G \cdot e^{-G}$$

$$E = e^G$$

E es el número medio de intentos.

Gráficamente:



Con ALOHA ranurado podemos llegar hasta el 36% en una red de 100 Kbits/s, podemos enviar hasta tramas nuevas a 36 Kbits/s, siendo el resto retransmisiones.

## 7.4 CSMA

Carrier Sense Multiple Access (Acceso múltiple con detección de portadora).

Es una variante de ALOHA para redes con un retardo de propagación bajo. En ALOHA se toleran grandes distancias, y se transmite cuando se quiere (no se escucha). Los envíos pueden tardar en llegar.

Si la red es más pequeña, la transmisión tarda menos en llegar al receptor. Al ser el retardo menor, se pueden evitar colisiones si antes de emitir escucha a ver si alguien está transmitiendo se espera hasta que el medio queda libre.

Hay diferentes variante de CSMA:

### 7.4.1 CSMA 1-persistente

Consiste en que, si al escuchar el medio está ocupado, se espera a que quede libre para transmitir. Si colisiona, se reintenta un tiempo aleatorio, por que si no colisionaría siempre.

### 7.4.2 CSMA no persistente

Si el medio está ocupado se espera un tiempo aleatorio antes de volver a intentar el envío.

### 7.4.3 CSMA p-persistente

P está entre 0 y 1 (es una probabilidad). Se escucha el medio, y si está ocupado, con probabilidad p permanezco a la escucha hasta que esté libre y envío, y con probabilidad  $1-p$  espera un tiempo aleatorio y reintento el envío.

Intuitivamente, CSMA 1-persistente consigue transmitir antes, pero es mayor la probabilidad de colisión. No es recomendable con tráfico alto: da lugar a muchas colisiones.

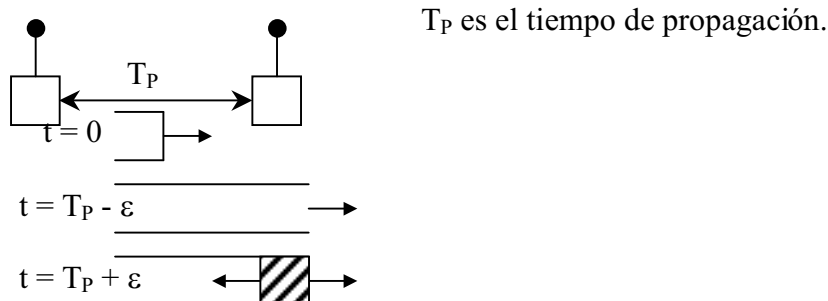
En el CSMA no persistente el retardo es mayor, pues si está ocupado no transmito cuando queda libre, sino cuando pueda y tras un periodo aleatorio de tiempo. Tiene menos colisiones.

## 7.5 CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (Acceso múltiple con detección de portadora /detección de colisión).

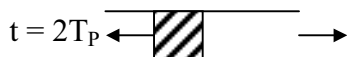
Mejora de CSMA para cuando el retardo es menor aún.

Si las distancias son muy pequeñas, sólo podrá haber colisiones en la primera parte de la trama.



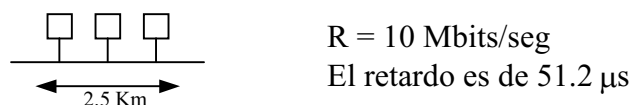
Se produce colisión si en un instante antes de  $t$  la otra estación transmite.

La colisión procede de la suma de 2 señales eléctricas, por lo que hasta que no pasa un tiempo  $2t$  no se detectará la colisión.



Después de  $t = T_P$  no puede haber colisión, pues la estación destino ya ha recibido la transmisión.

Se suele emplear en ethernet:



El peor caso de colisión se produce tras  $51.2 \mu\text{s}$ . Como transmito  $10 \text{ bits}/\mu\text{s}$  (ver R) desde que empiezo a transmitir hasta que recibo la colisión he transmitido  $512 \text{ bits}$  ( $64 \text{ bytes}$ ). El tamaño máximo de trama ethernet es  $1518 \text{ bytes}$ . Después de haber

enviado 64 bytes es imposible que haya colisión ya. Con ello concluimos que las colisiones se producen en los primeros 64 bytes.

Si colisiono tras enviar 64 bytes, es tontería seguir transmitiendo, así que se aborta la transmisión.

**En las redes CSMA/CD se impone un tamaño mínimo de trama, que en el caso de ethernet es de 64 Kbytes** igual a los bytes que se pueden propagar hasta que recibo la colisión en el peor caso. Esta imposición es para saber al transmitir si la trama llegó con éxito.

El inconveniente es que ese tamaño mínimo está relacionado con el retardo, el régimen binario, etc...

Si se quisiera diseñar una ethernet con  $R = 100$  Mbits/s con los mismos 2.5 Km de cable, el tamaño mínimo pasa a ser 650 bytes. En la práctica se han conservado el tamaño mínimo de 64 bytes, por lo que la red, para que tenga un retardo de  $5.12\mu s$  en vez de  $51.2\mu s$  se corta el cable a 250 m.

Para conseguir 1 Gbit/seg como máximo, el cable medirá 25 m.

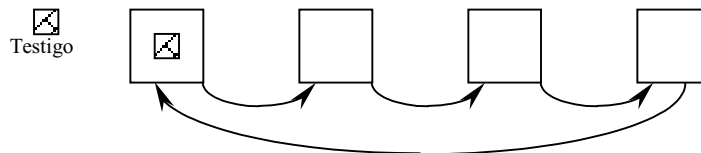
#### NOTA:

Tanto ALOHA puro, como el ranurado y todos los CSMA son técnicas de contienda porque hay colisión entre estaciones. Hay otras técnicas sin colisión, como puede ser el “paso de testigo”.

## 7.6 Paso de testigo

Una estación, para transmitir, tiene que haber recibido una trama especial llamada “Testigo”. Esa trama la tiene inicialmente una estación, y lo que hace es transmitirla a la siguiente. Todas las estaciones saben cual es la siguiente.

Para transmitir hay que esperar a tener el testigo. Al recibir el testigo se puede transmitir. Al acabar, pasa el testigo a la estación siguiente.



Una estación no puede tener el testigo siempre: puede transmitir durante un tiempo máximo. Si tras ese tiempo quiere seguir transmitiendo, tiene que esperar y soltar el testigo.

Otro problema puede llegar si la estación del testigo se cae. Debe haber una estación de mantenimiento que vigile el testigo y si hace falta ponga otro en circulación.

## 7.7 LAN

Las principales son:

---

### 7.7.1 Ethernet (IEEE 802.3)

---

Tecnología en bus con CSMA/CD.

Hay variantes a 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s. Hay sobre coaxial de diferentes tipos, fibra óptica, par trenzado, etc...

Variantes:

- 10 BASE 2 y 10 BASE 5: coaxial a 10 Mbit/s (base 2 coaxial de baja calidad, base 5 alta calidad). El 2 y el 5 (\*100, o sea 200m y 500m) dan el nº de metros que puede medir el cable. Se pueden alargar con repetidores siempre y cuando no se superen los 205 Km (51.2  $\mu$ s).
- 10 BASE T: 10Mbit/s con un cable de tipo T (par trenzado). Puede medir hasta 100m sin repetidores.
- 10 BASE F: Fibra óptica (hasta 2 Km).
- 100 BASE T
- 100 BASE F
- Gigabit Ethernet : 1 Gbit/s.

---

## 7.7.2 Token Ring (IEEE 802.5)

---

Topología en anillo, emplea el paso de testigo. Hay 4 y a 16Mbit/seg. Emplea par trenzado y fibra óptica.

---

## 7.7.3 FDDI

---

En anillo con paso de testigo. Es de 100 Mbit/s. De fibra óptica.

---

## 7.7.4 Token Bus (IEEE 802.4)

---

Tecnología de bus con paso de testigo. Se emplea en redes internas para comunicar robots en cadenas de montaje.

## 7.8 PROBLEMAS

### **PROBLEMA 1**

Un grupo de N estaciones comparten un canal ALOHA puro de  $R = 64$  Kbits/s. Cada estación manda como media una trama de  $L = 1000$  bits cada 100 segundos, incluso si la anterior no ha sido enviada.

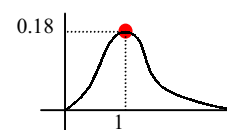
¿Cual es el nº máximo de estaciones funcionando?

**Solución:**

$$S_{MAX} = 1/2e = 0.18$$

¿Cuánto es el tiempo de trama?

$$T_{TRAMA} = L/R = 1000 \text{ bit} / 64000 \text{ bits} = 1/64 \text{ seg.}$$



¿Cuántas tramas nuevas/tiempo trama genera cada estación?

$$\frac{T_{\text{TRAMA}}}{T_{\text{TRAMA ESTACIÓN}}} = \frac{T_{\text{NUEVAS}}}{T_{\text{TRAMA ESTACIÓN}}} = \frac{1 \text{ trama}}{100 \text{ seg}} \cdot \frac{1 \text{ seg}}{64 \text{ trama}} = \frac{1}{6400} \text{ TRAMAS} / T_{\text{TRAMA}} \quad (\text{Cada estación genera esto})$$

¿Cuántas tramas nuevas se generan en total?

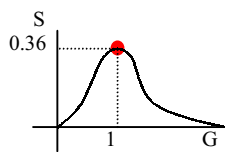
$$S = N_{\text{MAX}} \cdot \frac{1}{6400} \text{ TRAMAS} / T_{\text{TRAMA}} \quad \text{igualamos a 0.18}$$

$$N_{\text{MAX}} \cdot \frac{1}{6400} = 0.18 \Rightarrow N_{\text{MAX}} = 1177 \text{ estaciones}$$

## PROBLEMA 2

Una gran población de usuarios de ALOHA ranurado genera 50 peticiones por segundo (50 tramas/seg) incluyendo tramas nuevas y retransmisiones. El tamaño de la ranura del ALOHA es de 40 ms.

¿Cuál es la probabilidad de éxito en el primer intento?

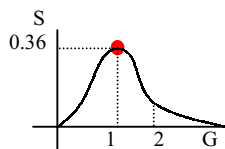


$$S = G \cdot e^{-G}$$

En Aloha ranurado transmitimos en  $t$ , con lo cual el tiempo de trama es 40 ms.

$$t = 40 \text{ ms} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ seg/trama}$$

$$G = 50 \text{ tramas/seg} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ seg/trama} = 2 \text{ Tramas} / T_{\text{TRAMA}}$$



zona mala, muchas colisiones

$P_0$  (prob. de envío sin colisiones) =  $e^{-G} = 0.135$  (sólo el 13.5% de las tramas van a la 1ª).

¿Cuál es el numero medio de intentos de transmitir necesarios?

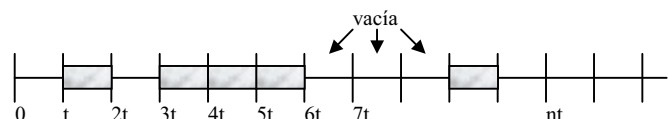
$$E = e^G = 7.38 \text{ intentos}$$

## PROBLEMA 3

Las medidas hechas en un canal Aloha ranurado con un número infinito de usuarios muestran que sólo el 10% de las ranuras están vacías.

¿Cuál es el tráfico o carga total  $G$  en esta red?

Ranura vacía es en la que nadie transmite.



$$P[k] = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!} \quad (\text{bisson})$$

$$P[0] = P_0 = e^{-G} \quad (\text{probabilidad de que no transmite nadie})$$

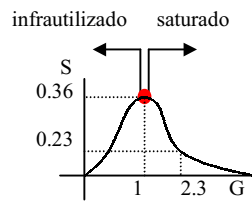
$$P_0 = 0.1$$

$$e^{-G} = 0.1 \Rightarrow G = 2.3$$

¿Cuánto es el tráfico cursado (S) de la red?

$$S = G \cdot e^{-G} = 0.23$$

¿En que condiciones está este ALOHA: sobrecargado o infrautilizado?



Está saturado.