

Comunicaciones

Clase 1

Conceptos básicos

LAS TELECOMUNICACIONES

Telecomunicaciones: *tele* (lejano o a distancia)
communicatio (comunicación)

Son las técnicas que permiten comunicarnos más allá de la simple presencia de las personas.

Telégrafo: Envío de mensajes escritos a distancia.

Telefonía: Envío de la voz a distancia

Televisión: Envío de imágenes a distancia

Trasmisión de datos: Comunicación entre computadoras

SIGLO 19

Transmisor y receptor unidos por un conductor metálico.

1832: Morse concibe la idea del telégrafo sobre hilos

1837: primer telégrafo comercial en el Reino Unido

1857: primer enlace telegráfico en Buenos Aires

1876: Bell patenta el primer teléfono

1878: primera comunicación telefónica en Buenos Aires

SIGLO 20

Enlaces inalámbricos mediante radio

1899: comunicación telegráfica entre Francia e Inglaterra

1906: aparece la válvula electrónica y los amplificadores

1910: Argentina comunicada con Europa

1930: comienza la televisión

1945: primeras computadoras electrónicas

1948: aparece el transistor

1950: enlaces de microondas

1964: satélites de comunicaciones

1970: fibra óptica

1980: computadora personal

TELEINFORMATICA

Teleinformática es el vínculo entre telecomunicaciones e informática

- Permite el procesamiento distribuido

- Permite el procesamiento digital de las señales

- Aparecen nuevos servicios como telefonía IP, TV/IP

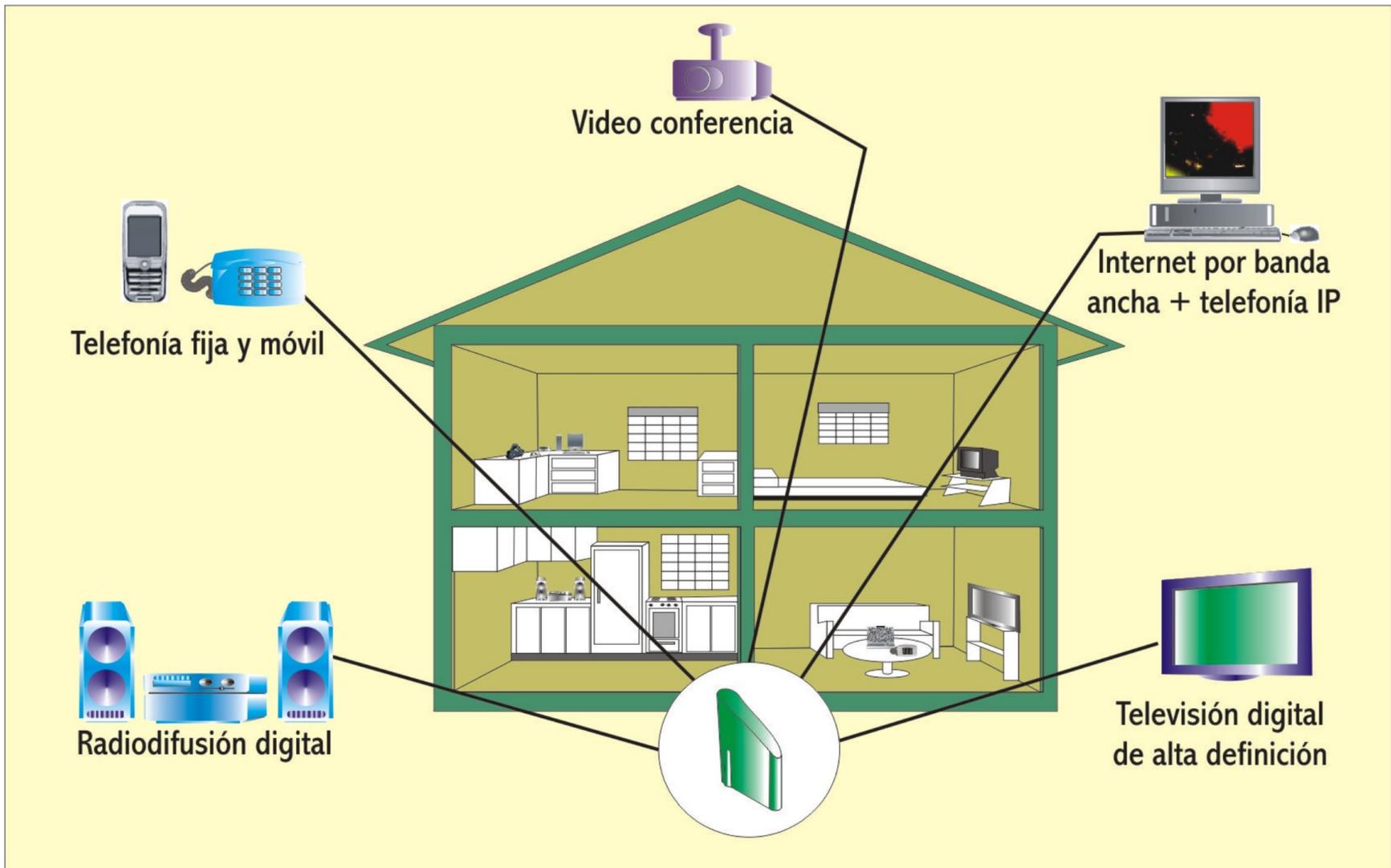
- Aparece la convergencia de servicios:

- todas las señales se transmiten por la misma red

- un solo proveedor de servicios (3play, 4play, etc.)

- Permite la globalización

- Pasó de los monopolios a la desregulación



Redes de telecomunicaciones

INTRODUCCION

- Las redes incluyen los elementos de hardware y software que permiten intercambiar información entre dos puntos geográficos remotos.
- Antes las redes eran analógicas, ahora están digitalizadas.
- Antes había redes separadas para voz, video y datos, ahora están unificadas

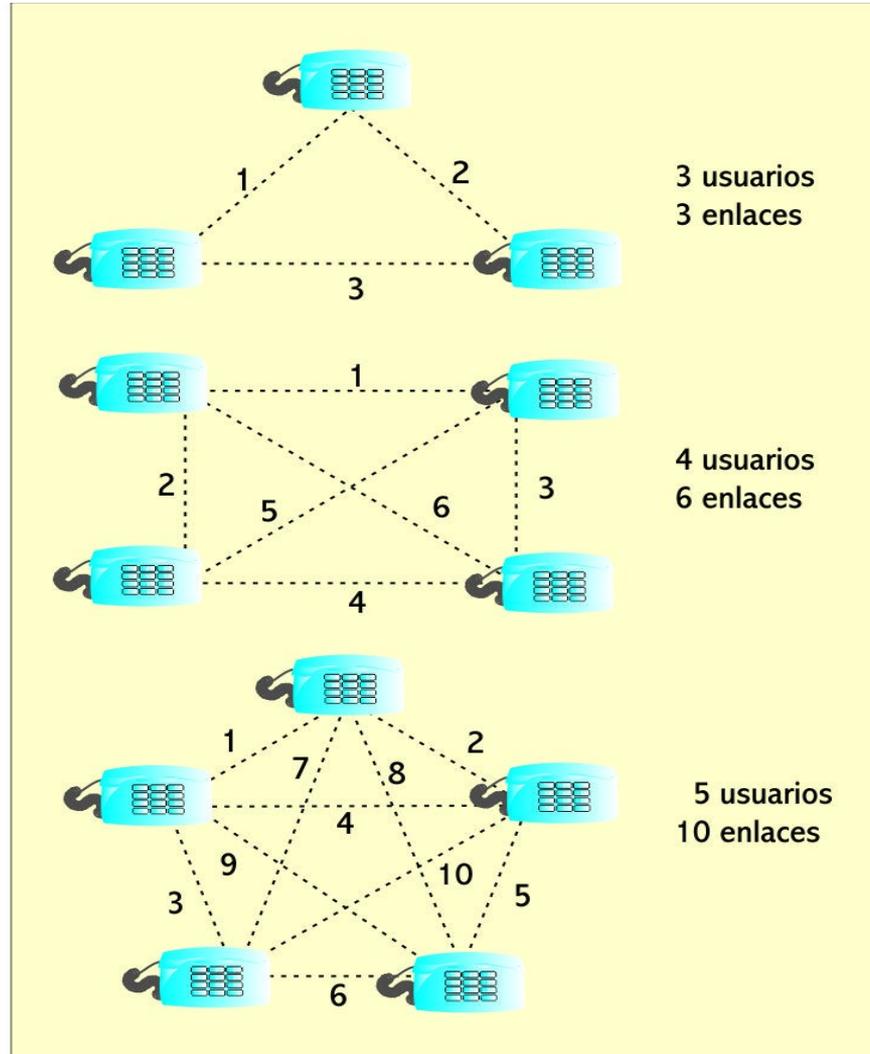
ELEMENTOS DE UNA RED

NODO: punto de una red al que concurren dos o mas vínculos de comunicaciones, y tienen facilidades para la conmutación.

VINCULOS: medios físicos que unen dos nodos de una red.

TERMINAL: equipo electrónico que ingresa o extrae señales de una red.

Si la red no tuviera nodos de conmutación, se requeriría un número elevado de enlaces (desde cada terminal, uno a cada terminal).



TOPOLOGIA DE UNA RED

Es la manera en que están conectados los nodos y los vínculos de una red.

Las topologías básicas son:

- Estrella.
- Malla.
- Anillo.
- Barra o bus.

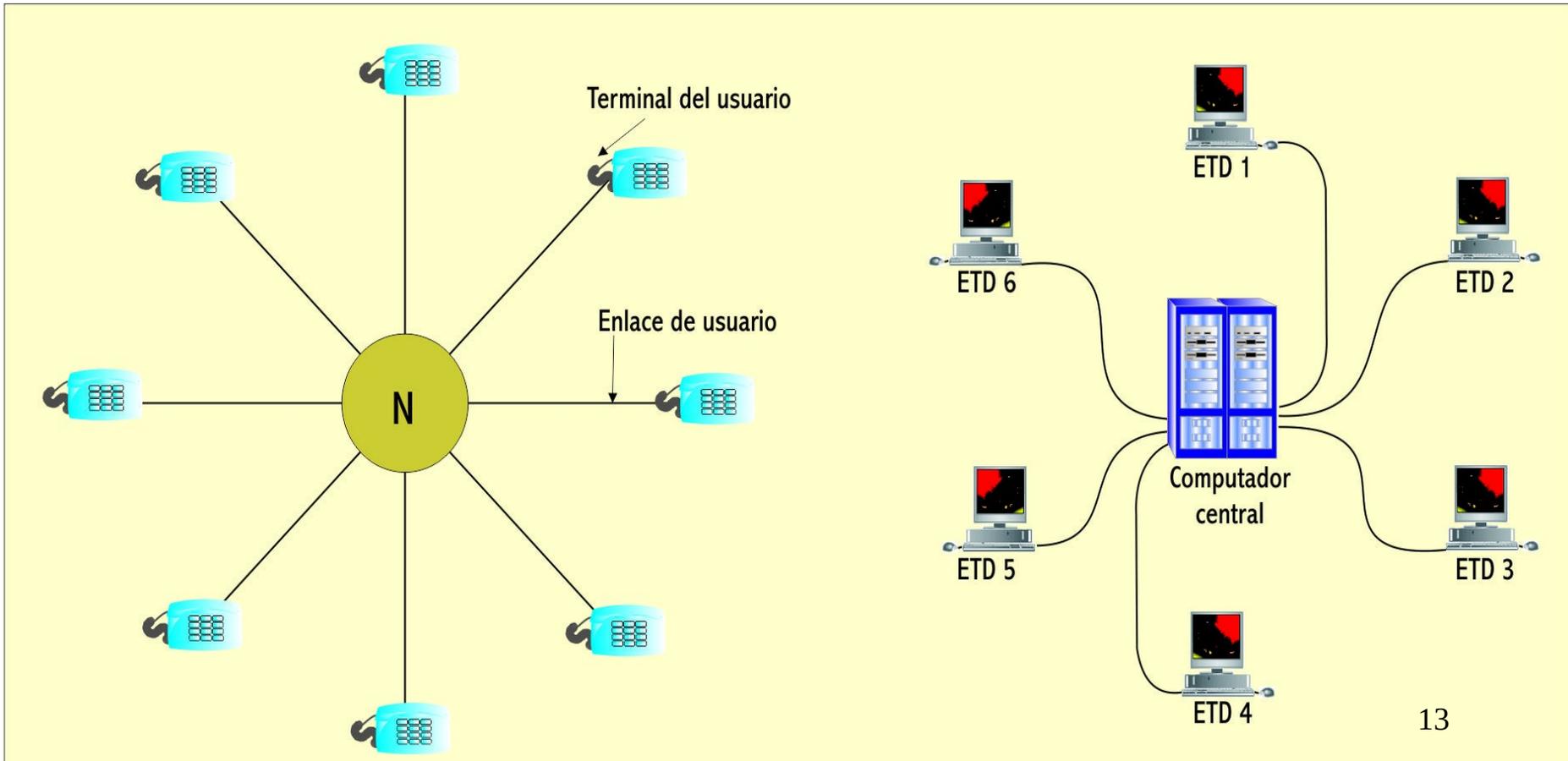
Mediante combinación de éstas se logran topologías mixtas o híbridas.

La topología a usar dependerá de:

- La topografía del lugar.
- El costo de los vínculos.
- La flexibilidad para incorporar nuevos usuarios.
- La *performance* que desee obtener de la red.

TOPOLOGIA ESTRELLA

Hay un nodo central que concentra y distribuye todo el tráfico, al que están conectados todos los equipos terminales.

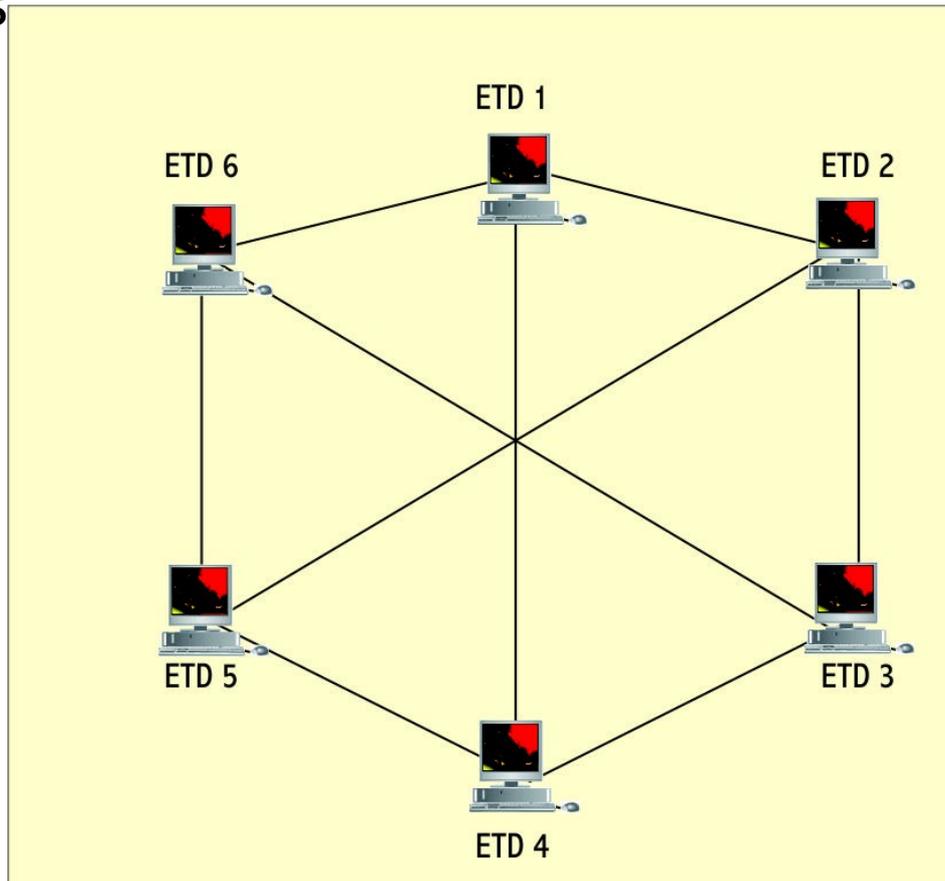


TOPOLOGIA MALLA

No hay un nodo central, todos están conectados entre sí.

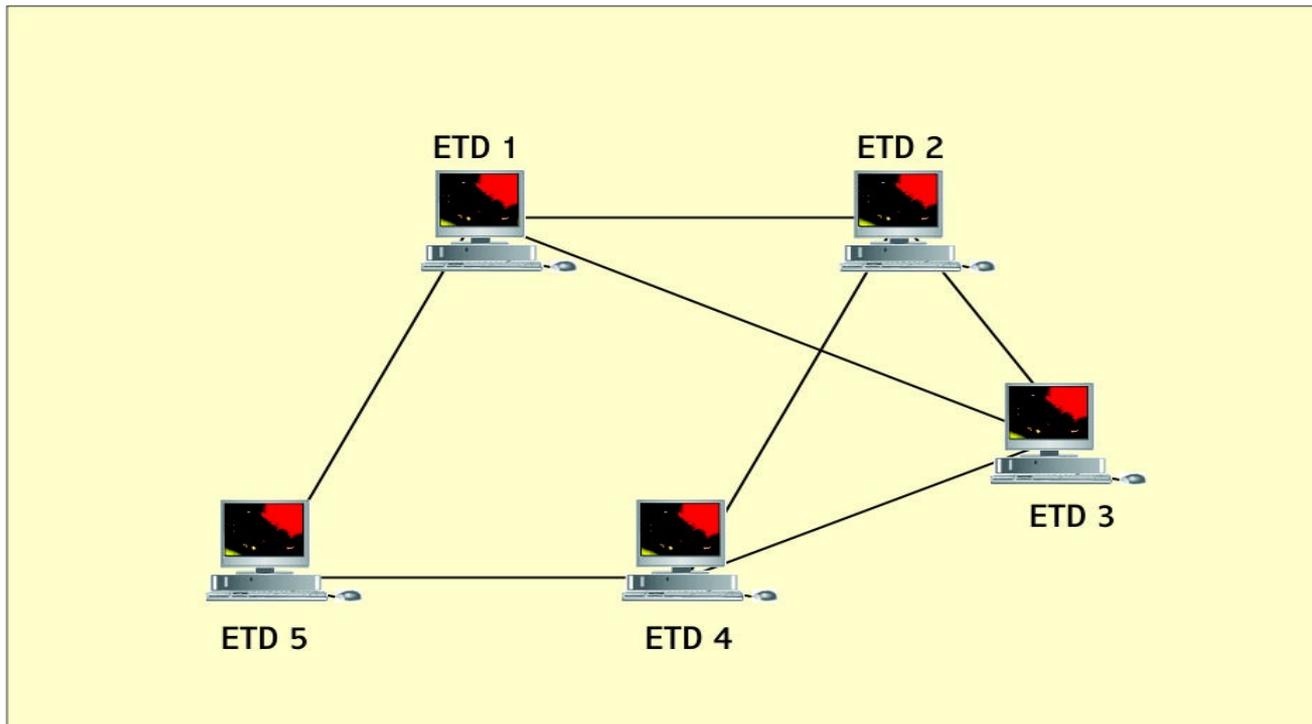
Puede haber vínculos entre nodos no adyacentes.

Pueden organizarse con equipos terminales solamente en lugar de nodos



Características:

- Baja eficiencia de los vínculos, debido a la existencia de redundancia.
- La redundancia de vínculos posibilitar caminos alternativos y aumenta la confiabilidad de la red.
- Como cada estación esta unida a todas las demás, existe independencia respecto de la anterior.



TOPOLOGIA EN ANILLO

Cada equipo terminal esta conectado a los dos que tiene adyacentes, hasta formar entre todos ellos un círculo.

Se usa en Redes de Área Local (LAN) donde los nodos y los terminales son:

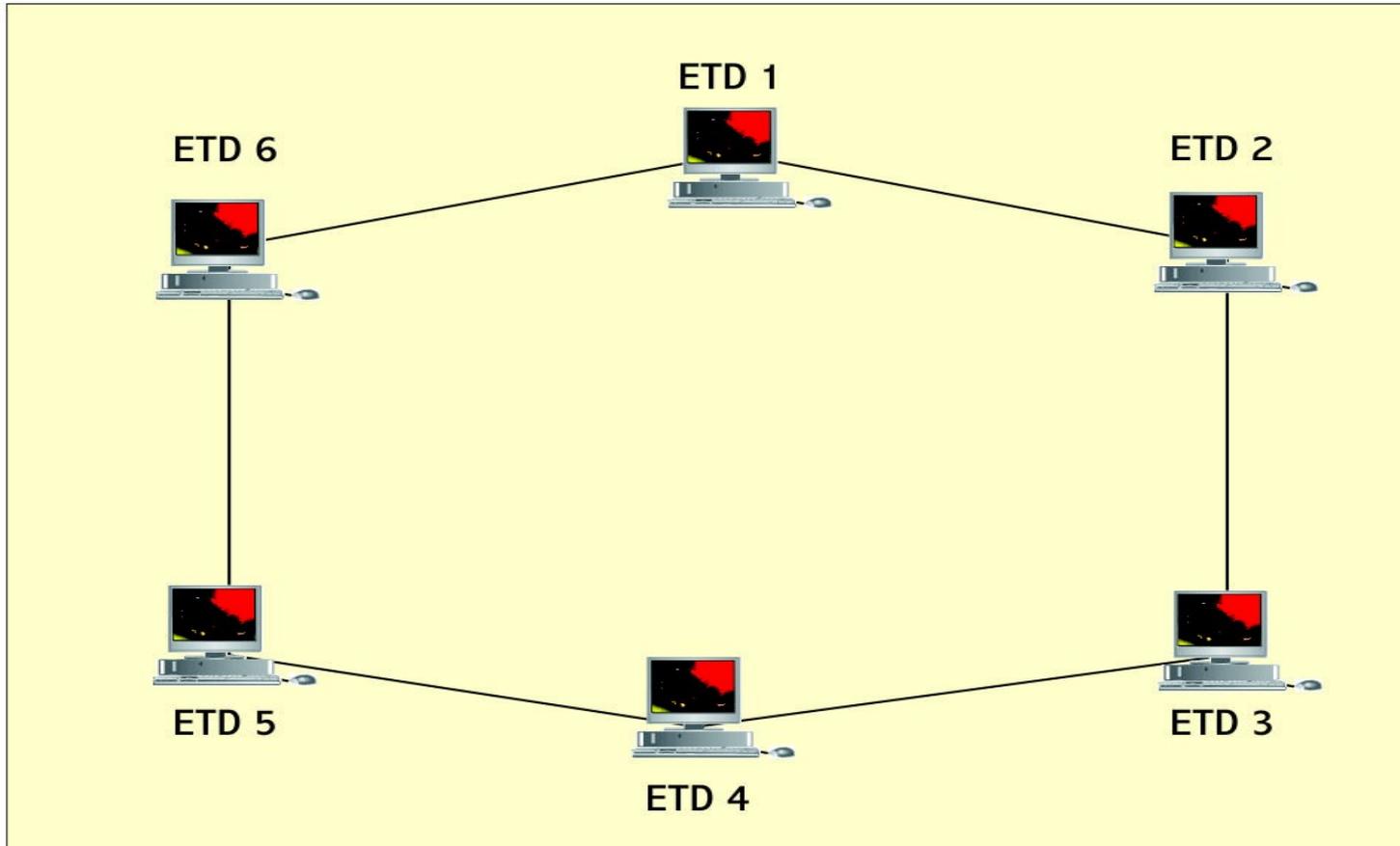
- Estación de Trabajo (*Workstation*)
- Servidor de Archivos (*File Server*).

Anillo con control distribuido

Cada estación está conectada solo a otras dos

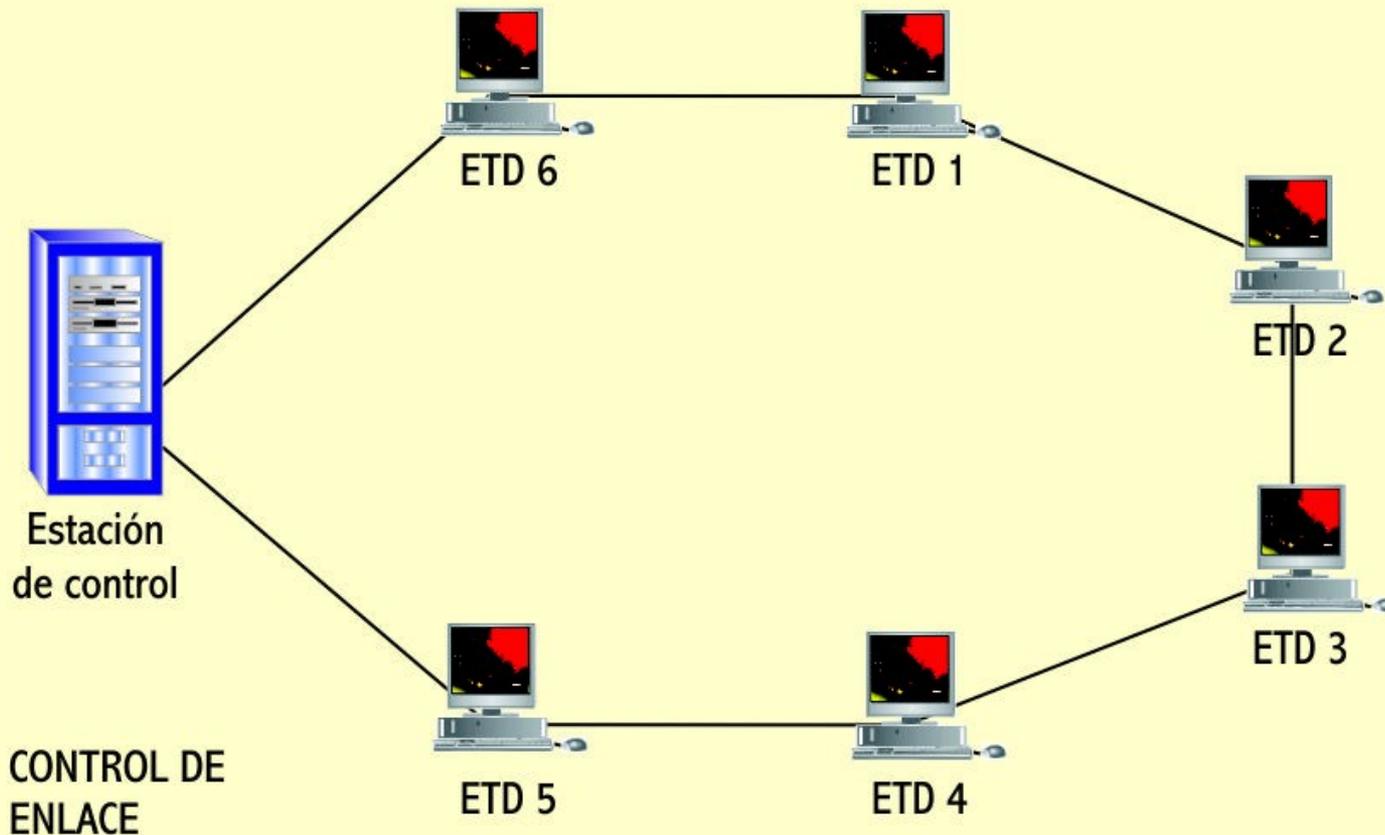
-los datos pasan de un nodo de la red al siguiente mediante repetidores

-la conexión es secuencial hasta cerrar un círculo o anillo.



Anillo con control centralizado

- Uno de los nodos posee mayores atributos que el resto
- Tiene la responsabilidad de controlar las comunicaciones.

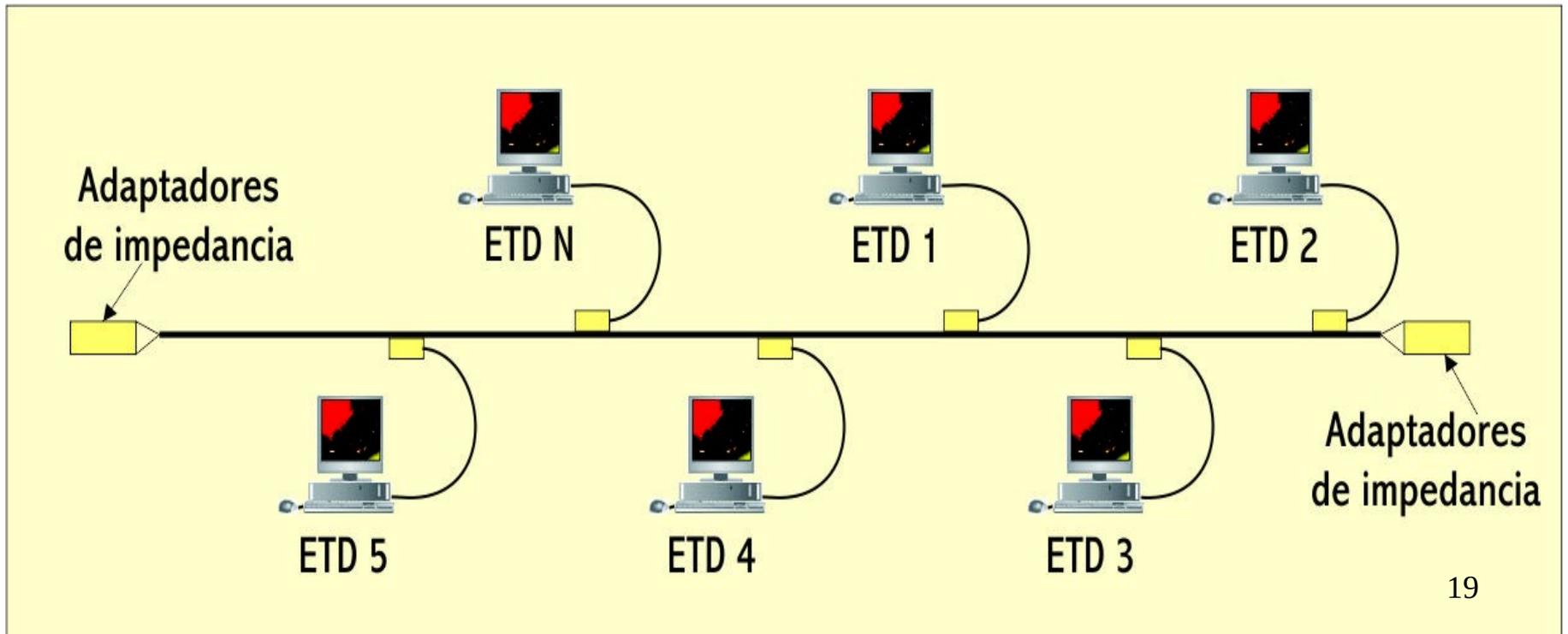


TOPOLOGIA EN BUS O BARRA

Todos los equipos terminales se conectan a un canal.

- la información circula por todos los terminales
- debe haber un procedimiento para el uso del canal.

Usada en las Redes de Área Local (LAN) IEEE 802.3/Ethernet.



COMPARACION ENTRE TOPOLOGIAS

CARACTERISTICA	ESTRELLA	MALLA	ANILLO	BUS
Número de nodos	*Bajo / Medio	Alto	Medio / Alta	Medio / Alta
Confiabilidad	Media	Media	Baja	Media
Facilidad de reconfiguración de la red	Baja	Alta	Baja	Alta
Facilidad de localización de las fallas	Alta	Baja	Alta	Baja
Cantidad de enlaces necesarios	Alta	Alta	Baja	Baja

TOPOLOGIAS HIBRIDAS

Combinación de las topologías básicas (estrella, malla, anillo y bus) que permiten superar algunas limitaciones:

- Incompatibilidad con el medio de transmisión
- Limitación en el número de estaciones
- Limitación en el alcance de las redes
- Dificultades de operación y/o mantenimiento
- Baja disponibilidad

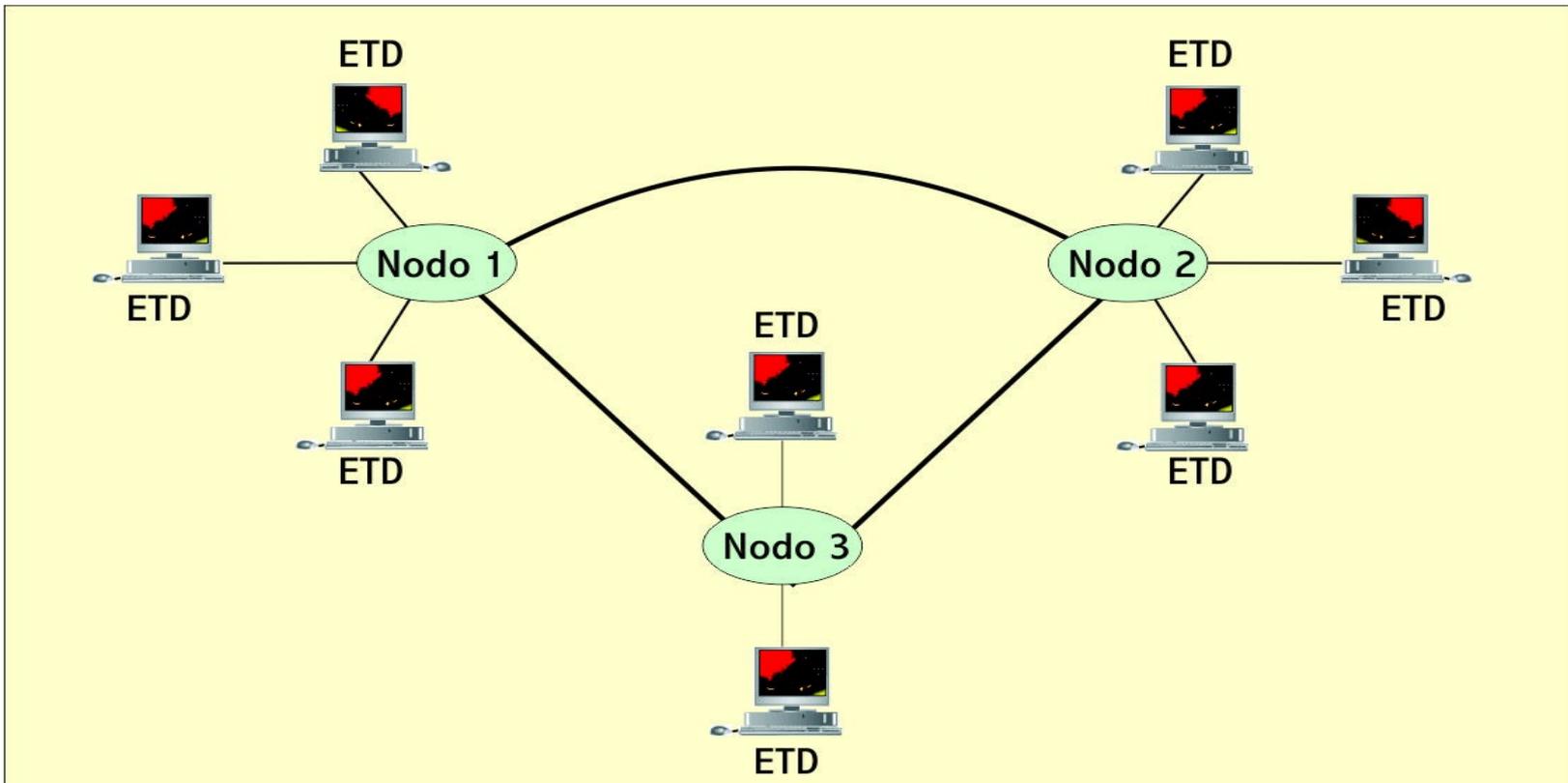
Topología estrella/malla

Presentan características de ambas topologías.

Un ejemplo es la red telefónica conmutada

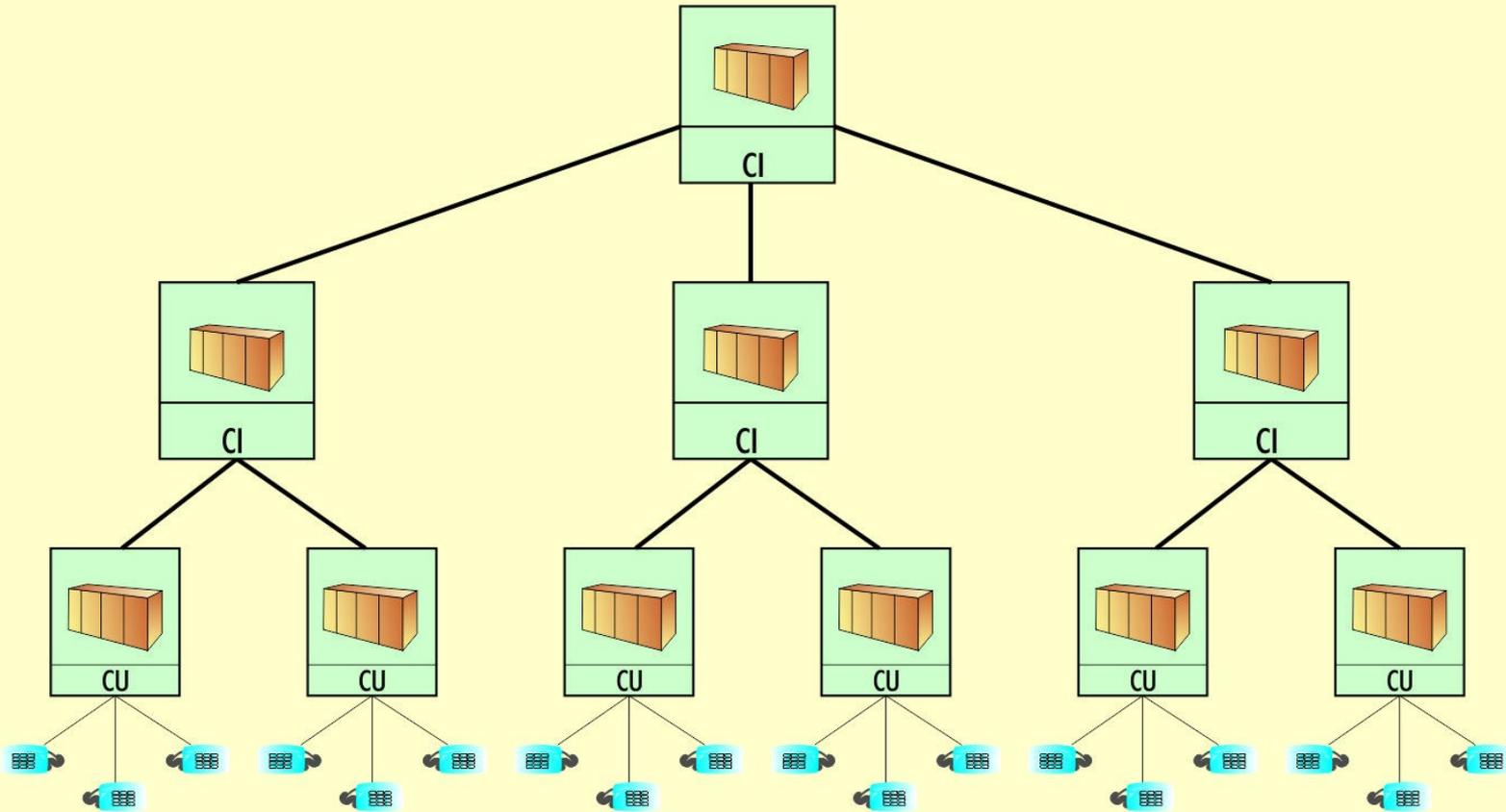
-las centrales con los abonados constituyen una red estrella

-las centrales están conectadas entre si en malla irregular.



Topología jerárquica (árbol o estrella/estrella)

Ciertos nodos son tributarios de otros de mayor jerarquía.

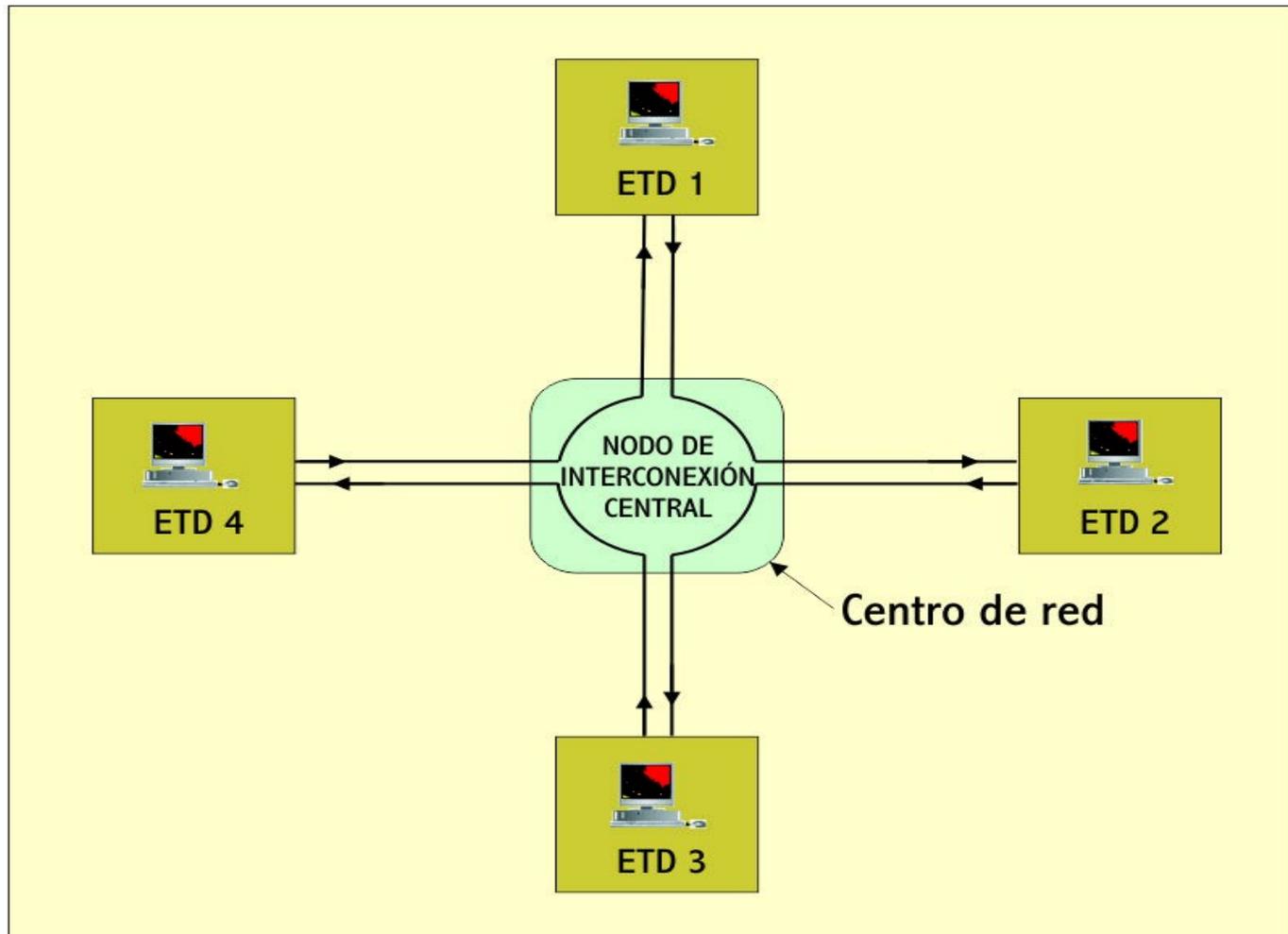


CI : Central Interurbana
CU: Central Urbana

Topología anillo/estrella

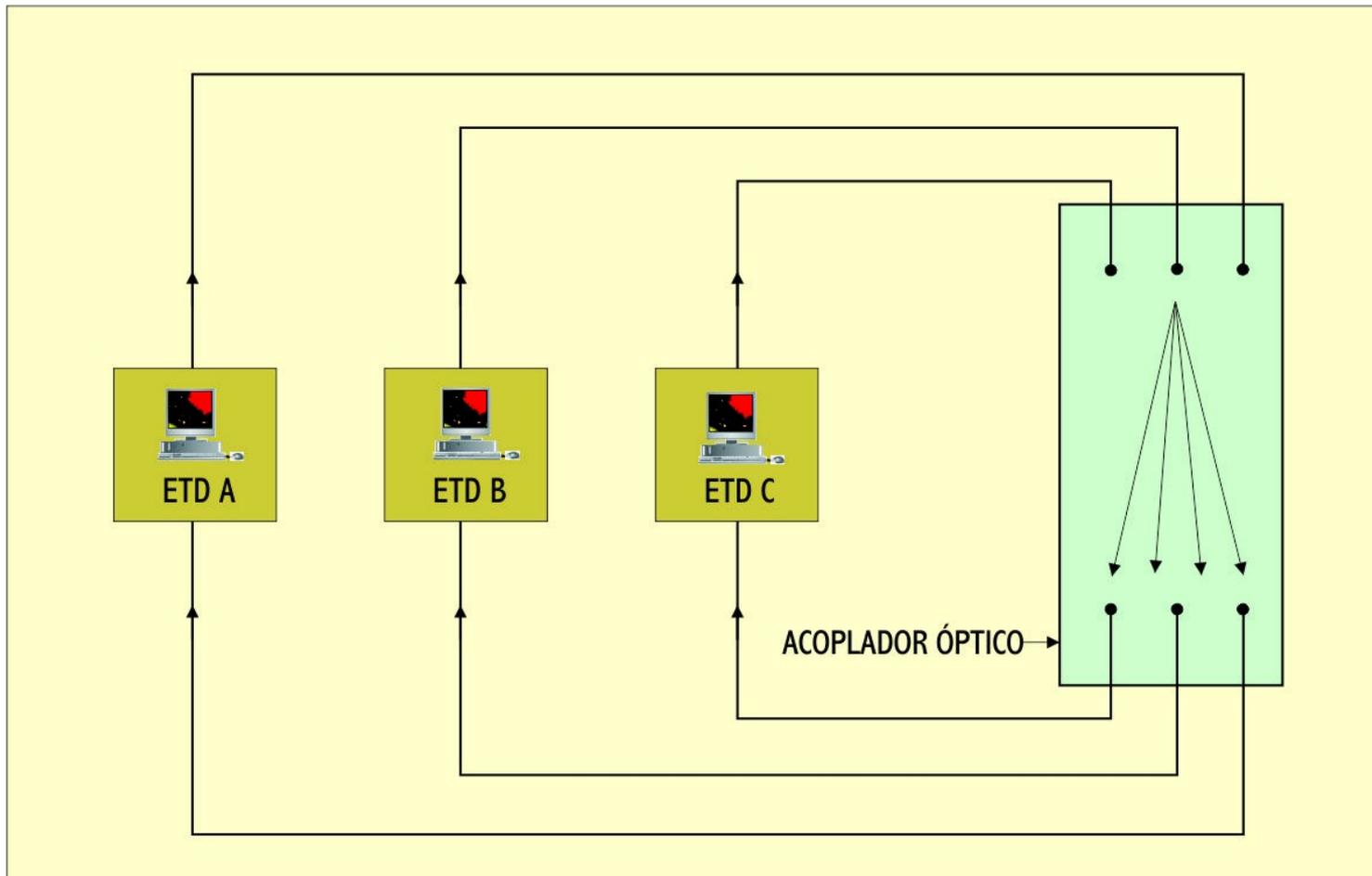
Topología lógica de anillo con disposición física de estrella.

Utilizada cuando el mantenimiento del anillo es dificultoso, por haber muchos nodos, o por un tendido físico complicado.



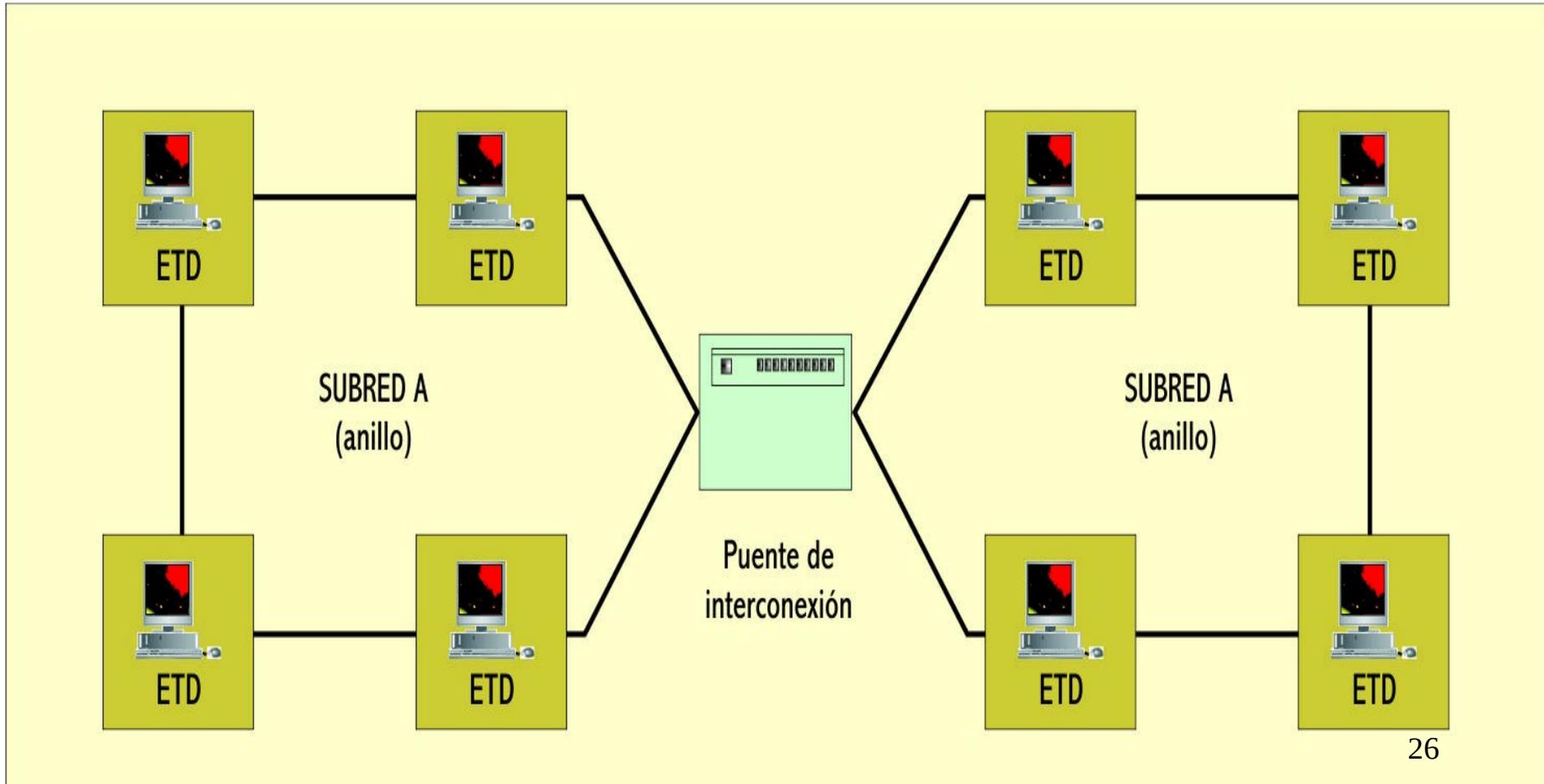
Topología bus/estrella

Conexionado lógicamente de bus, conectados físicamente en estrella.
Utilizadas cuando el medio es fibra óptica (tiene dificultades para implementar un enlace punto/multipunto como en bus).



Topología estrella/anillo

Conecta varias subredes entre sí, aumentando la confiabilidad ante posibles fallas.



ARQUITECTURAS DE COMUNICACIONES

Conectividad es la posibilidad de interconectar equipos de diferentes marcas y proveedores, integrándolos en redes armónicas con normas comunes.

Las redes de telecomunicaciones necesitan:

- establecer una comunicación
- controlar el flujo de datos entre las estaciones
- cuando el dialogo finalizao, liberarla.

La arquitectura de la red es:

- un modelo de interconexión
- un conjunto de reglas para comunicar los terminales.

ARQUITECTURAS PROPIETARIAS

SNA (*Systems Network Architecture*)

Desarrollada por IBM para la interconexión de redes de computadoras con una fuerte centralización:

- un procesador central importante (mainframe)
- computadores medianos
- estaciones bobas (terminales de entrada/salida de texto).

DNA (*Distributed Network Architecture*)

Desarrollada por Digital, basada en siete capas similares a la arquitectura OSI.

ARQUITECTURAS ABIERTAS

OSI (Open Systems Interconnection)

Modelo de referencia diseñado en Europa por la Organización Internacional para las Normalizaciones (ISO) y por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T).

DARPA (Defense Advanced Research Project Agency)

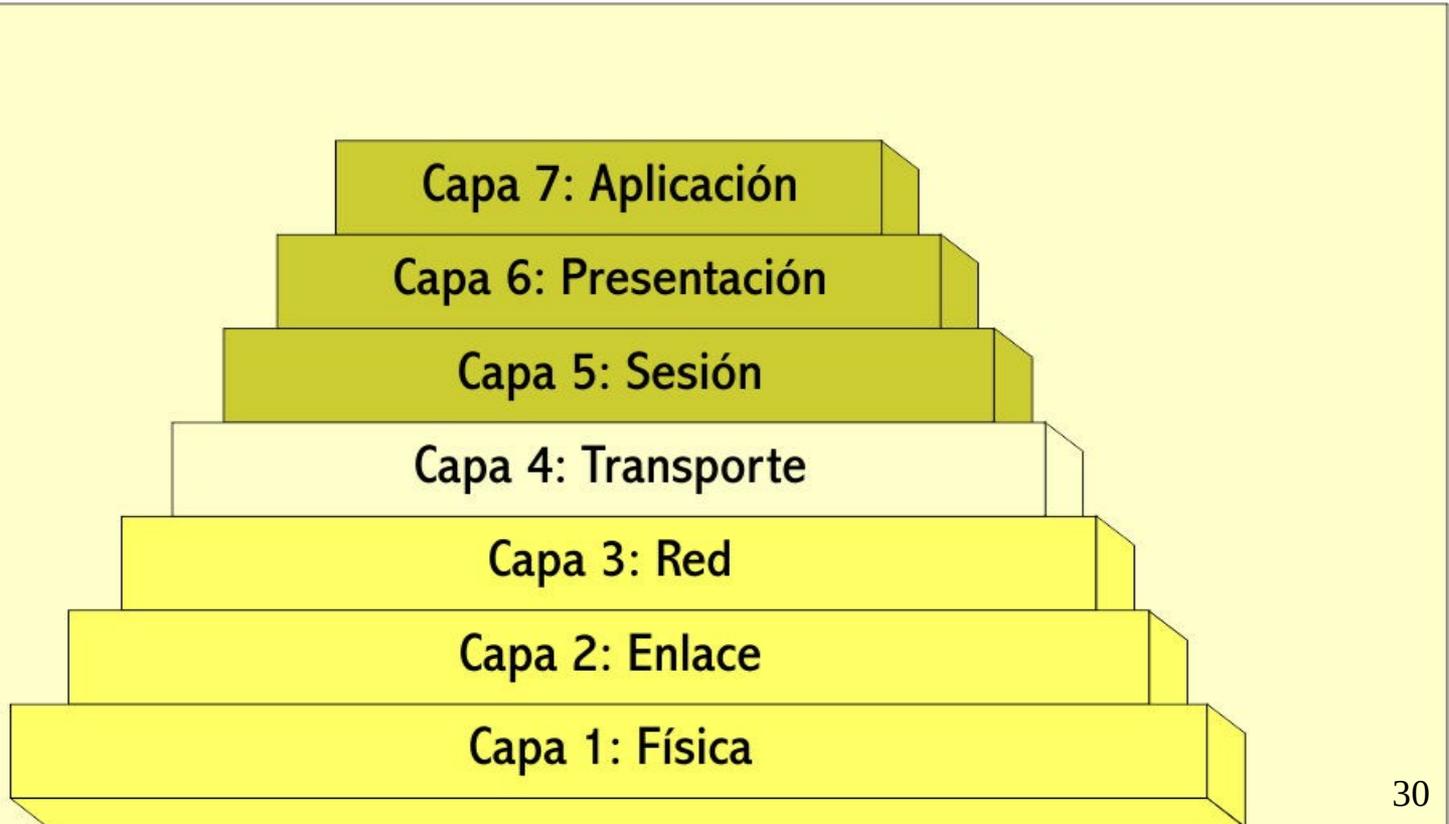
Desarrollado por Estados Unidos.

Incluye los protocolos conocidos como TCP/IP.

MODELO ISO/OSI

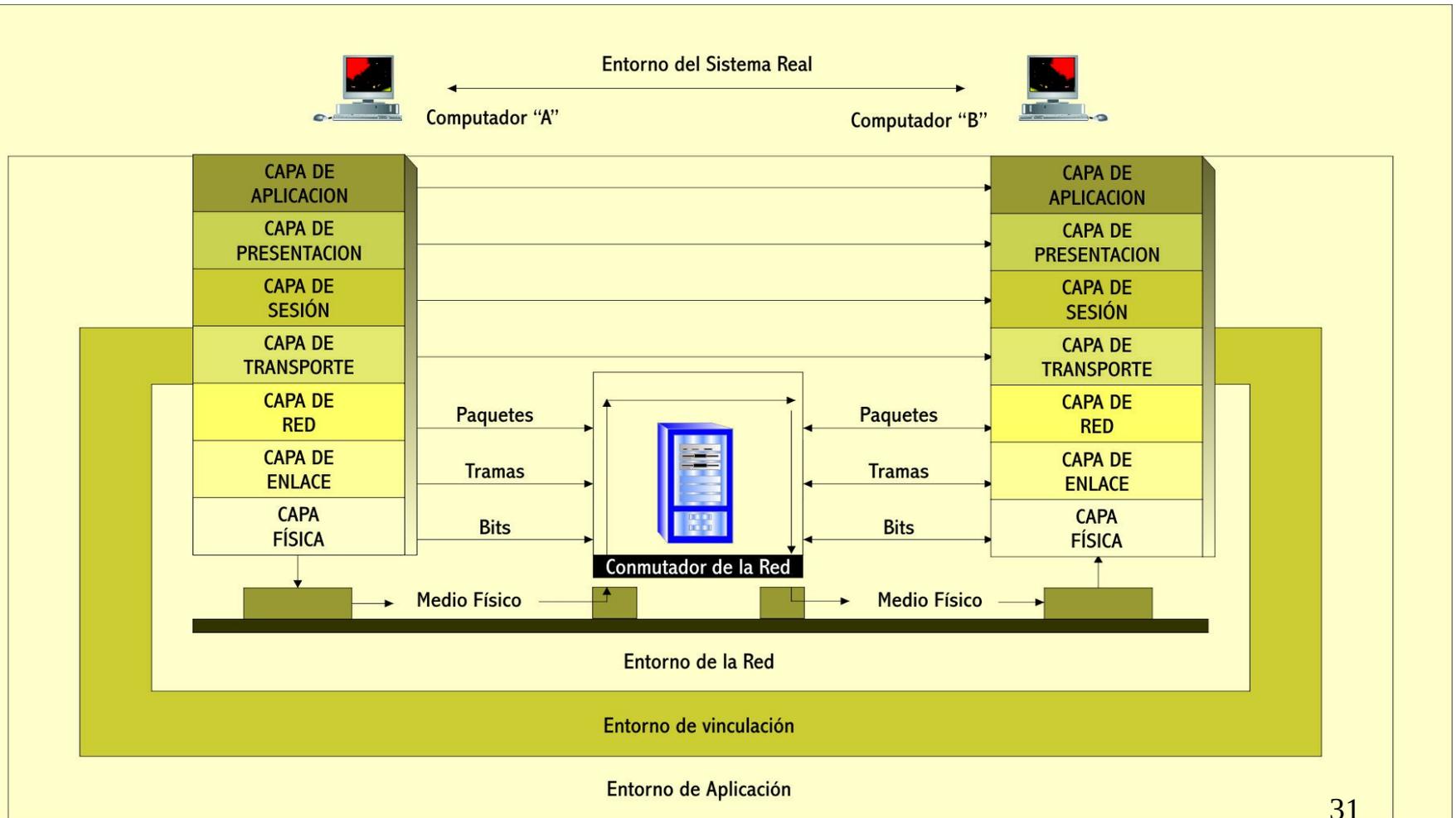
Compuesto por siete capas, cada una con un protocolo.

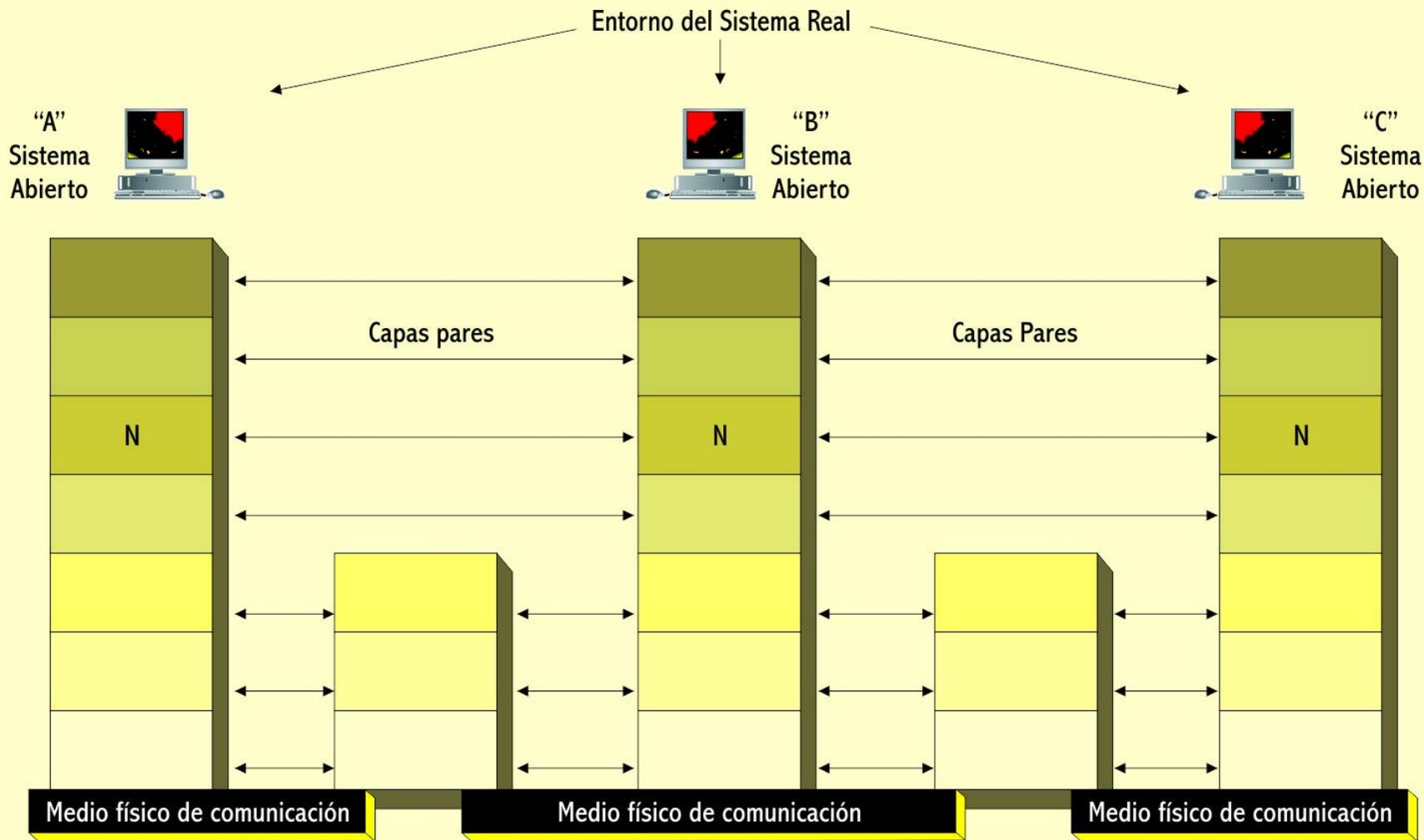
El modelo distribuye entre las capas las funciones que se necesitan cumplir para lograr una comunicación segura y eficiente.



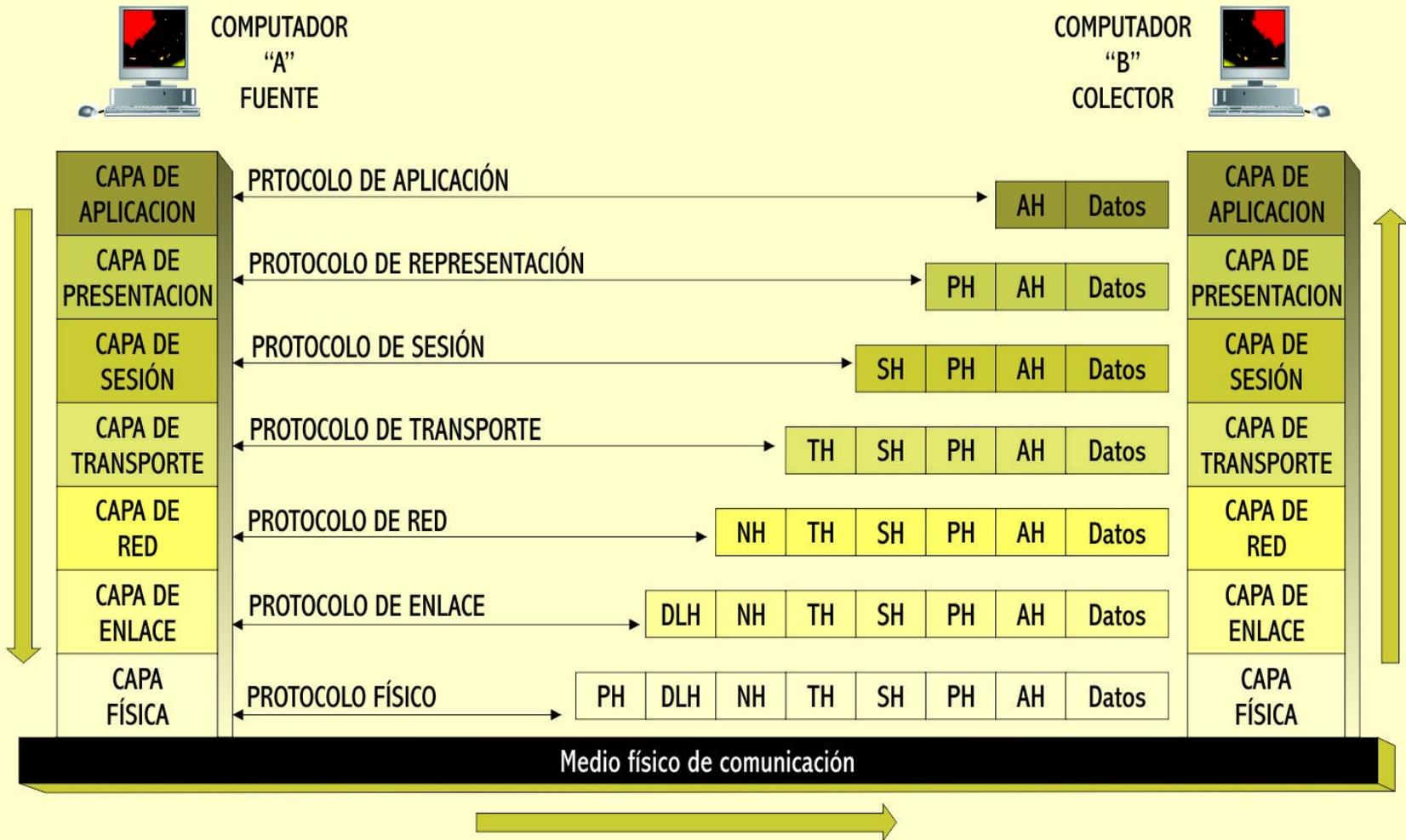
Relaciones entre las distintas capas

Los protocolos de cada capa deben proporcionar servicios a la capa inmediata superior mediante funciones.





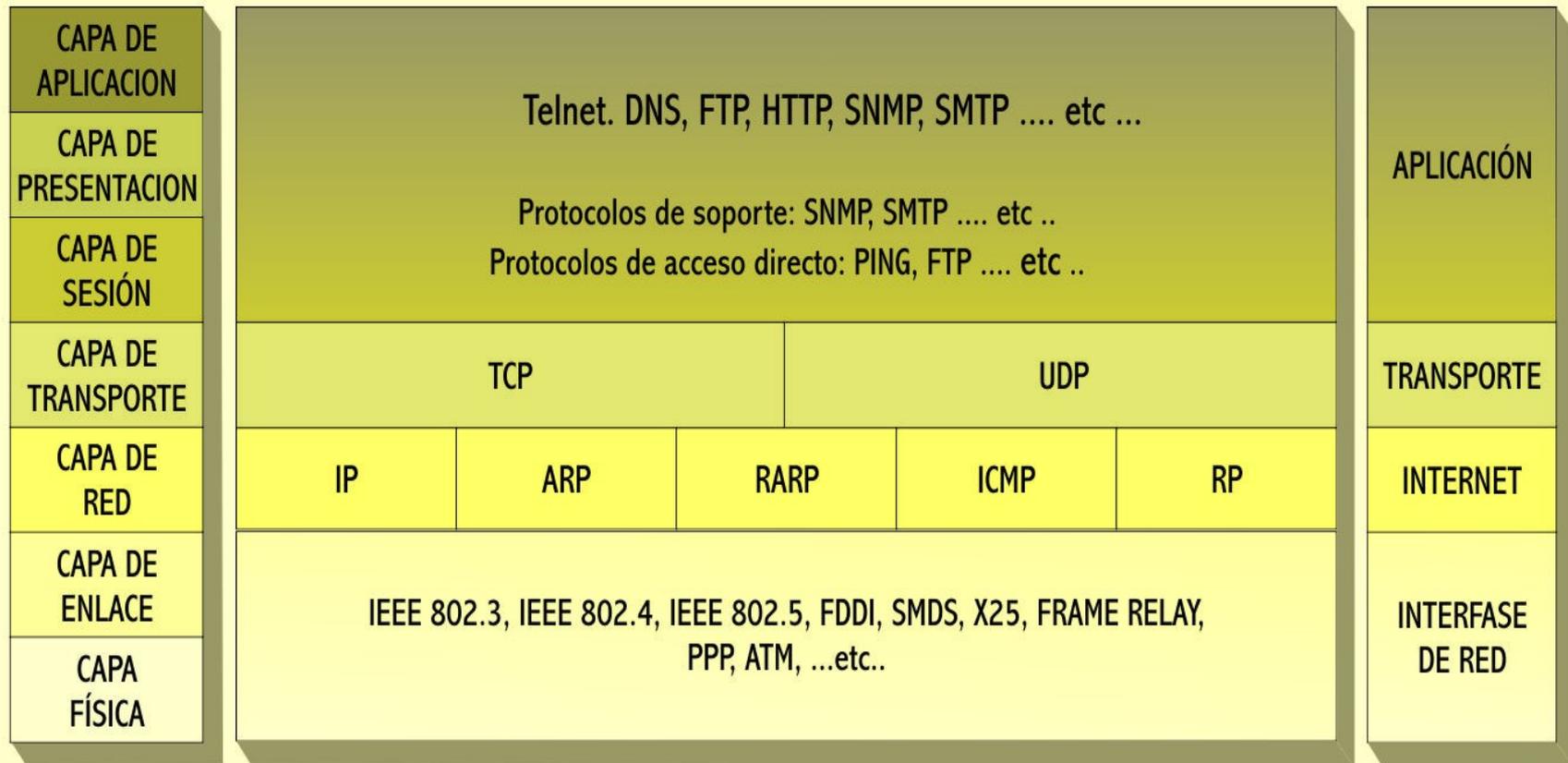
Cada capa agrega un encabezamiento a los datos recibidos



Comparación entre modelos

MODELO OSI

ARQUITECTURA TCP/ IP



Capa Física

- Conecta al computador con el medio de comunicaciones
- Permite que los *bits* sean transferidos desde este hacia la red y viceversa (comunicación con conmutación) o hacia otro computador (comunicación punto a punto, sin conmutación).
- Establece las especificaciones mecánicas, eléctricas y lógicas para ejecutar los procedimientos necesarios para comenzar, mantener y finalizar la conexión física

Capa de enlace

- Establece, mantiene y libera el enlace entre terminales.
- Permite la transferencia ordenada de las tramas transmitidas.
- Facilita el flujo de información
- Detecta y corrige los errores
- Contiene la dirección de destino.

Esta capa y la capa física son las mínimas necesarias para transferir datos.

Capa de red

- Permite direccionar el trafico de paquetes mediante mecanismos de conmutación.
- Establece el camino que deben seguir usando la dirección física del receptor.
- Encamina los paquetes hacia su destino de la manera mas eficiente.

Capa de transporte

- Permite mantener la integridad de los datos de extremo a extremo (fuente a colector).
- Facilita el enrutamiento, la segmentación y la unión en el mensaje original.
- Si es necesario, recupera errores.
- Efectúa la transferencia transparente de datos
- Optimizar el uso del servicio de red disponible
- Ofrece la calidad de funcionamiento que necesita cada ente a un costo mínimo.

Capa de sesión

- Maneja las disponibilidades de la red.
- Controla las memorias intermedias
- Verifica que la capacidad de procesamiento no se vea saturada
- Sincroniza los equipos terminales
- Verifica la autenticidad del usuario y el tipo de dialogo (símplex, semidúplex o dúplex).

Capa de presentación

Se ocupa de:

- la sintaxis de los datos
- la conversión de códigos (transcodificación)
- la encriptación o desencriptación (seguridad)
- la compresión y descompresión de la información (para disminuir los tiempos de transmisión)

Capa de aplicación

- No es el programa de aplicación que necesita comunicaciones sino la interfaz de la red que lo atiende
- Controla y ejecuta las actividades que requiere una determinada aplicación desde y hacia el extremo remoto.
- Facilita la transferencia de archivos y de mensajes de correo
- Emula terminales virtuales
- Permite el acceso a bases de datos remotas
- Permite el gerenciamiento de la red.

FUNCIONES EJECUTADAS POR LAS REDES

Las funciones básicas son:

- Conmutación.
- Transmisión.

En algunas redes es necesario contar con la función de señalización (red telefónica).

Conmutación

Consiste en seleccionar un camino entre muchos posibles para enlazar dos equipos terminales utilizando vínculos.

Ejemplos de conmutadores:

- centrales telefónicas
- *router*
- *switch*, etc.

Técnicas básicas de conmutación :

- de circuitos
- de mensajes
- de paquetes.

Conmutación de circuitos

Los conmutadores establecen un camino físico determinado para cada comunicación.

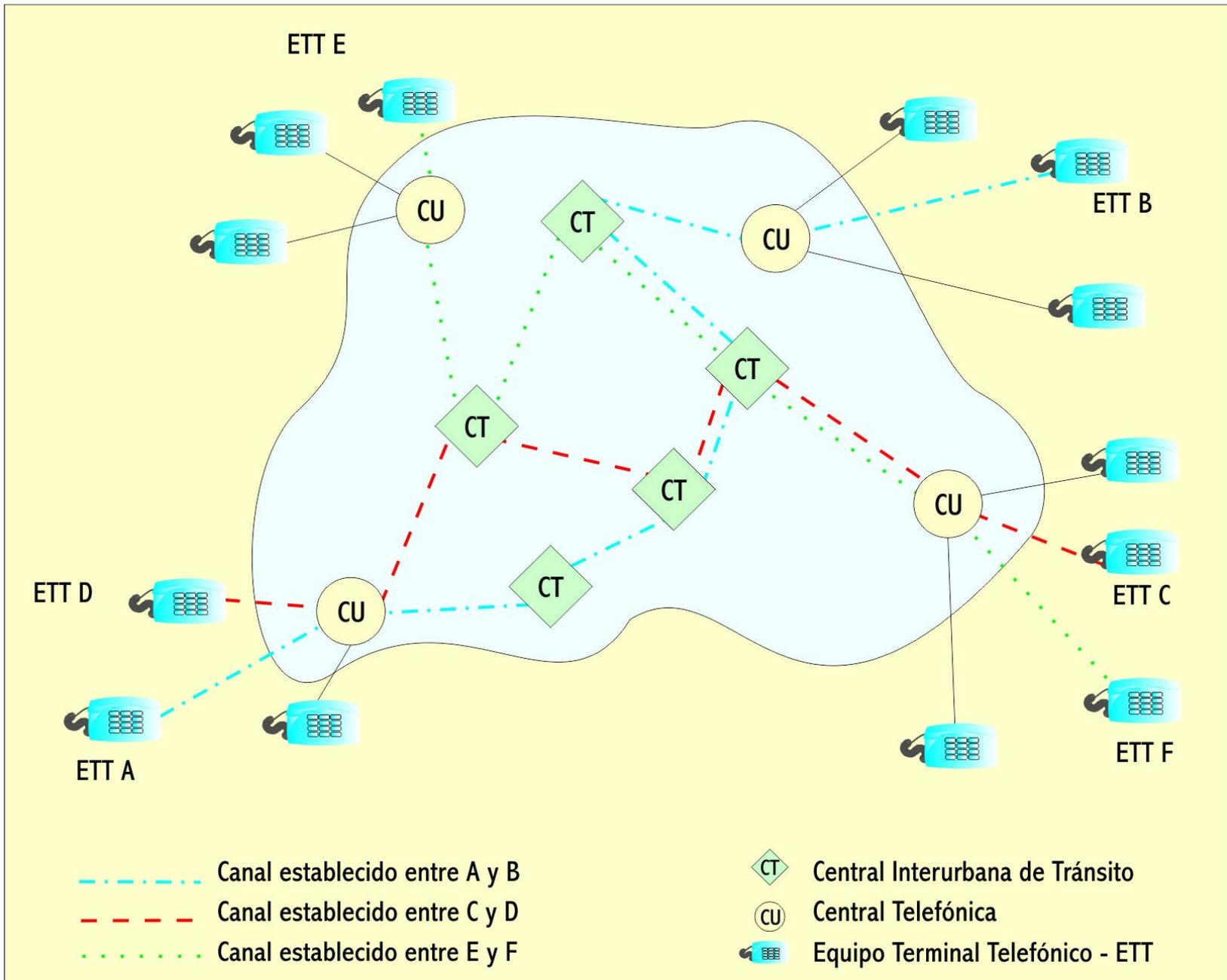
Los recursos están disponibles durante todo el tiempo que dura la comunicación.

Hay tres fases:

- Establecimiento de la comunicación.
- Transferencia de la información.
- Desconexión de la comunicación.

Los equipos se denominan llamante y llamado.

Para establecer el circuito se da intervención a los conmutadores de la red.



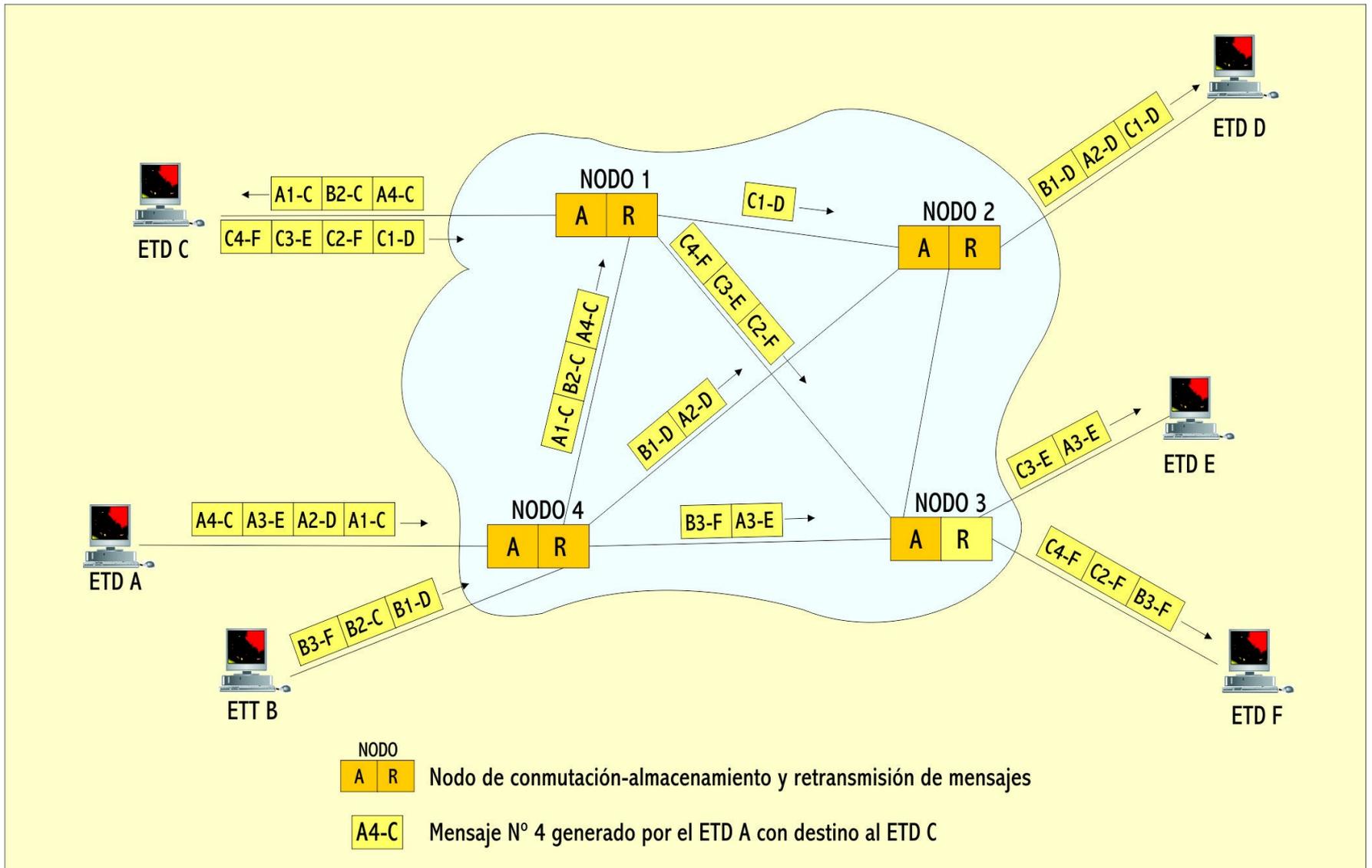
Conmutación de mensajes

Permite la transmisión de bloques de información digitalizada. Cada uno de ellos debe contener la dirección origen y la de destino.

Hay procesos de almacenamiento y retransmisión de la información.

Se basa en el almacenamiento de los mensajes en los nodos, donde son encolados a la espera del momento más oportuno para ser retransmitidos.

Similar a la conmutación de paquetes no orientada a la conexión.



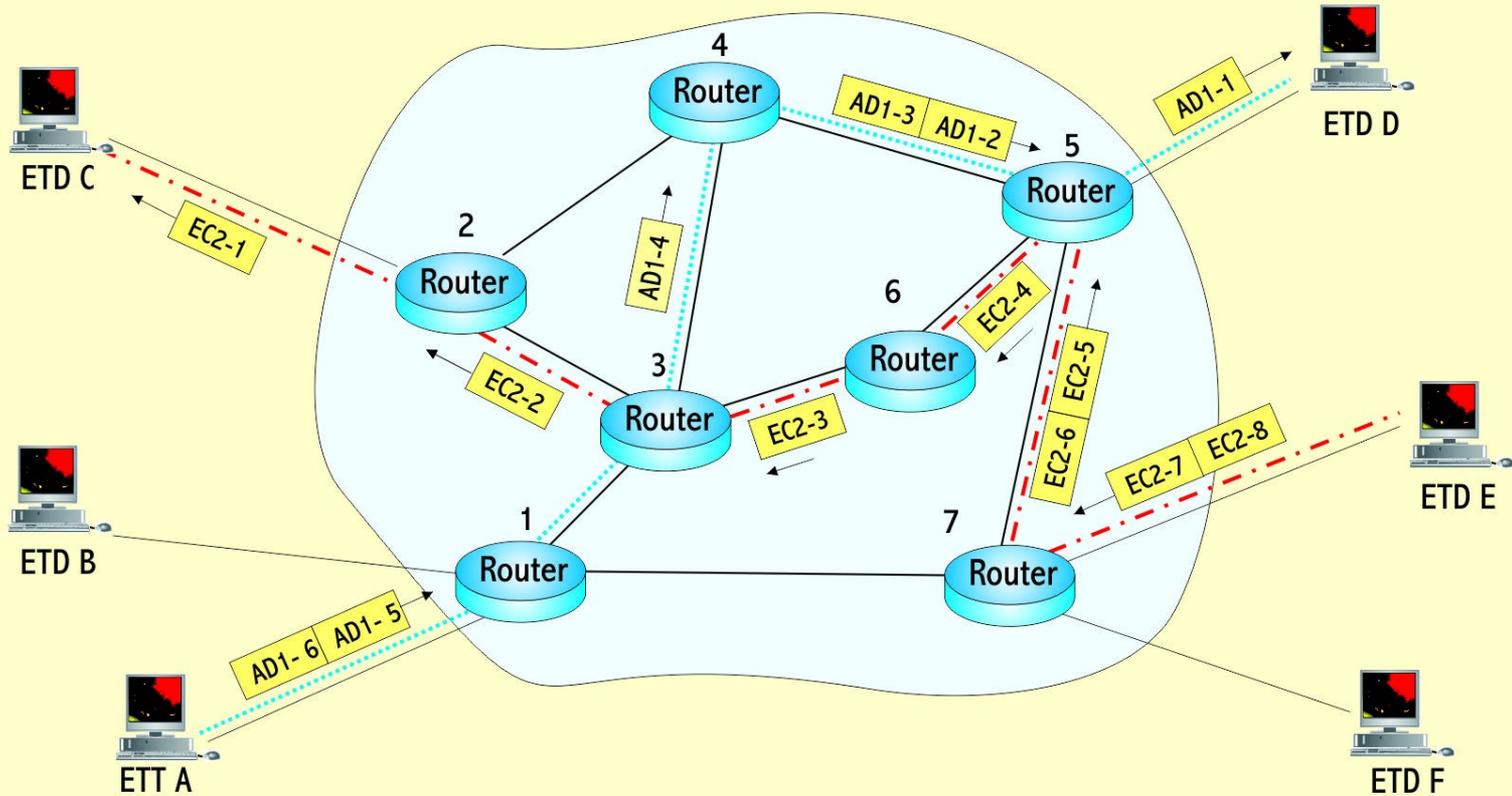
Conmutación de paquetes

La conmutación de paquetes solo puede funcionar con señales digitales.

Los mensajes (compuestos por una sucesión de bits) son divididos en el equipo transmisor en mensajes de tamaño más reducido, denominados paquetes.

A los paquetes se les adiciona toda la información necesaria para que:

- los conmutadores puedan definir la ruta adecuada
- se pueda rearmar el mensaje en el destino.



-  Router - Equipo conmutador de paquetes
-  AD1-1 Paquete AD1-1. Paquete N° 1 correspondiente al circuito virtual AD1.
-  Circuito Virtual 1 establecido entre ETD A y ETD D
-  Circuito Virtual 2 establecido entre ETD E y ETD C

La Red Internet

HISTORIA DE INTERNET

1969: se crea la red ARPANET con fines de defensa y uso académico, que utiliza la conmutación de paquetes.

1974: aparecen los protocolos TCP/IP

1984: se divide en dos redes diferentes:

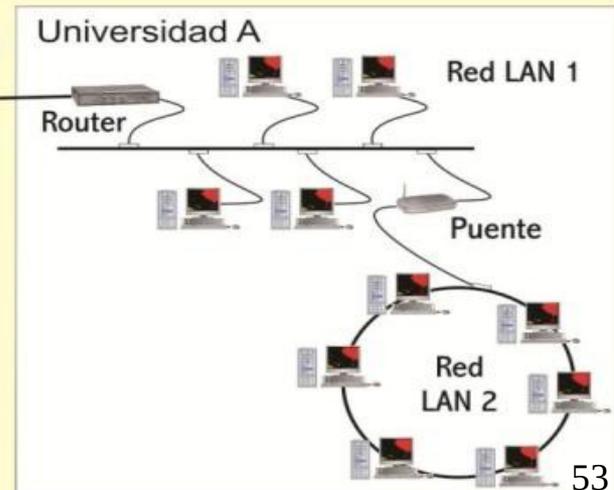
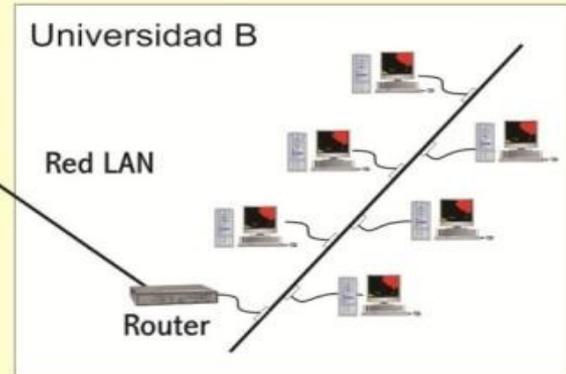
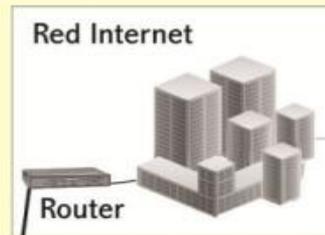
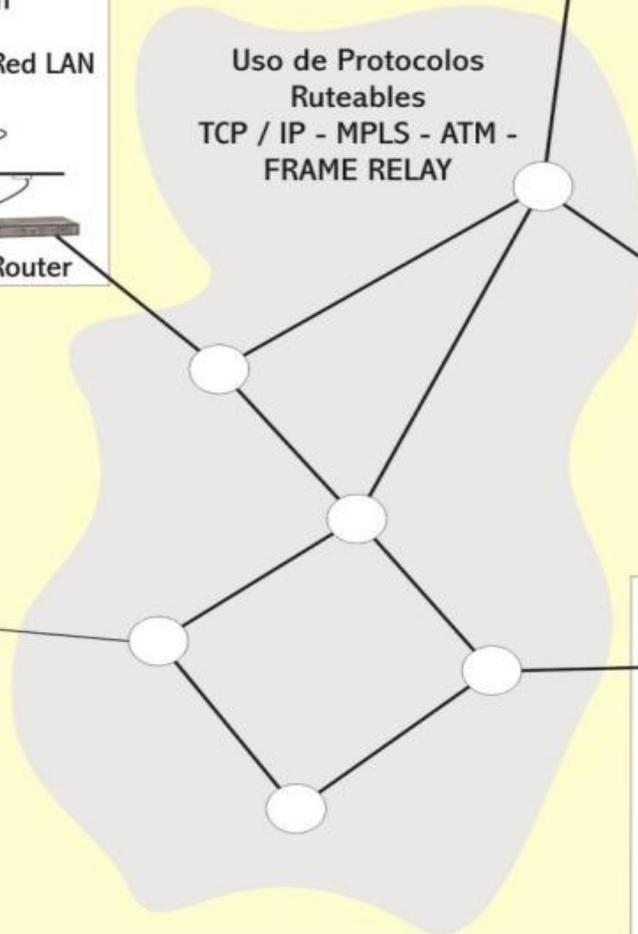
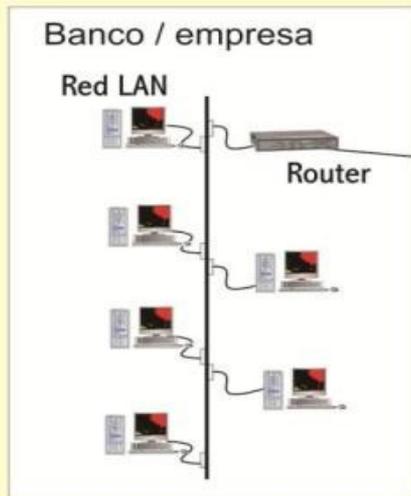
- una de uso académico que mantuvo el nombre
- otra de usos militares que se llamó MILNET.

1995: ARPANET comenzó a llamarse World Wide Internet o simplemente por su última palabra, *Internet*.

DEFINICION DE INTERNET

Red internacional formada por un conjunto de varias redes independientes

- operadas en forma autónoma
- interconectadas por medio de protocolos y procedimientos normalizados como estándares de Internet
- permiten comunicaciones entre dos equipos terminales de cualquier red si se identifican con una dirección numérica única (dirección IP).



Red Pública de Transporte
de una TELCO

NOMBRES

Para manejar las direcciones IP de manera más simple y práctica, se utilizan nombres para individualizar los host.

Los nombres se traducen en direcciones numéricas en el momento de utilizarse en la red, mediante un *servidor de resolución de nombres de dominio*.

Hay un procedimiento jerárquico que se denomina *sistema de nombres de dominio (Domain Name System/DNS)*, que utiliza nombres separados por puntos.

Hay dominios geográficos que asignan dos letras a cada país.

ccDLD	País	Ubicación	ccDLD	País	Ubicación
.ca	Canadá	América del Norte	.cu	Cuba	Caribe
.us	Estados Unidos		.do	República Dominicana	
.mx	México		.ht	Haití	
.ar	Argentina	América del Sur	.pr	Puerto Rico	
.bo	Bolivia		.ag	Antigua Barbuda	
.br	Brasil		.ai	Anguila	
.cl	Chiles		.aw	Aruba	
.co	Colombia		.bb	Barbados	
.ec	Ecuador		.bs	Bahamas	
.gy	Guyana		.dm	Dominica	
.pe	Perú		.gd	Granada	
.py	Paraguay		.jm	Jamaica	
.sr	Surinam		.kn	Saint Kitts and Nevis	
.uy	Uruguay		.ky	Islas Caimán	
.ve	Venezuela		.ic	Santa Lucía	
.gf	Guyana Francesa		.ms	Monserrat	
.es	España		Europa	.tt	Trinidad y Tobago
.pt	Portugal	.vc		San Vicente y las Granadinas	
.bz	Belice	América Central	.ni	Nicaragua	América Central
.cr	Costa Rica		.pa	Panamá	
.gt	Guatemala		.sv	El Salvador	
.hn	Honduras		.gp	Guinea Ecuatorial	África

La responsabilidad del funcionamiento es del ICANN asesorado por el *DNS Root Server System Advisory Committee*.

Hay 13 servicios de raíz distribuidos en Internet
-cada uno a cargo de un operador perfectamente identificado
-con una única dirección IP.

Servidor	Operado por	Ubicación	Direcciones IP
A	VeriSing Naming and Directory Services	Dulles, Virginia, EE.UU.	IP v 4: 198.41.0.4
B	Information Sciences Institute	Marina Del Rey, California, EE.UU.	IP v 4: 192.228.79.201 IP v 6: 001,478.65.53
C	Cogent Communications	Herndon, Virginia; Los Angeles; Nueva York y Chicago	IP v 4: 192.33.4.12
D	University of Maryland	College Park, Maryland, EE.UU.	IP v 4: 128.8.10.90
E	NASA Ames Research Center	Mountain View, California, EE.UU.	IP v 4: 192.203.230.10
F	Internet Systems Consortium, Inc.	Opera 37 sitios:Ottawa; Palo Alto; San José; Nueva York; San Francisco; Madrid; Hong Kong; Los Ángeles; Roma; Auckland; San Pablo; Beijing; Seúl; Moscú; Taipei; Dubai; París; Singapur; Brisbane; Toronto; Monterrey; Lisboa; Johannesburgo; Tel Aviv; Jakarta; Munich; Osaka; Praga; Amsterdam; Barcelona; Nairobi; Chennai; Londres; Santiago de Chile; Dhaka; Karachi y Turín.	IP v 4: 192.5.5.24 IP v 6: 2001:500:1035
G	U.S.DOD Network Information Center	Viena, Virginia, EE.UU.	192.112.36.4
H	U.S. Army Research Lab	Aberdeen, Maryland, EE.UU.	IP v 4: 128.63.2.53 IP v 6: 2001:500:1:803f:235
I	Autonomica/NORDunet	Opera 29 sitios: Estocolmo; Helsinki; Milan; Londres; Génova; Amsterdam; Oslo; Bangkok; Hong Kong; Bruselas; Frankfurt; Ankara; Bucarest; Chicago; Washington DC; Tokio; Kuala Lumpur; Palo Alto; Jakarta; Wellington; Johannesburgo; Perth; San Francisco; Nueva York; Singapur; Miami; Ashburn (EE.UU.) Mumbai y Beijing	IP v 4: 192.36.148.17
J	VeriSign Naming and Directory Services	Opera 21 sitios: Dulles, Virginia (2 locaciones); Sterling Virginia (2 locaciones); Mountain View; California; Seattle; Washington; Atlanta; Georgia; Los Ángeles; California; Sunnyvale; California; Amsterdam; Estocolmo; Londres; Tokio; Seúl; Singapur; Sidney; San Pablo; Brasilia; Toronto y Montreal	IP v 4: 192.58.128.30
K	Reseaux IP Europeens -Network Coordination Centre	Londres; Amsterdam; Frankfurt; Atenas; Doha; Milán; Reykjavik; Helsinki; Génova; Poznan; Budapest; Abu Dhabi; Tokio; Brisbane; Miami; >Delhi; Novosibirsk	IP v 4: 193.0.14.129 IP v 6: 2001: 7fd::1
L	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers	Los Ángeles, California, EE.UU.	IP v 4: 193.32.64.12
M	WIDE Project	Tokio; Seúl; París y San Francisco.	IP v 4: 202.12.27.33 IP v 6: 2001:dc3::35

ORGANIZACIÓN DE INTERNET

Internet Society (ISOC) fundada en 1991

Internet Architecture Board (IAB) comité técnico consultor

Internet Engineering Task Force (IETF) grupo técnico

Internet Engineering Steering Group (IESG) grupos técnico

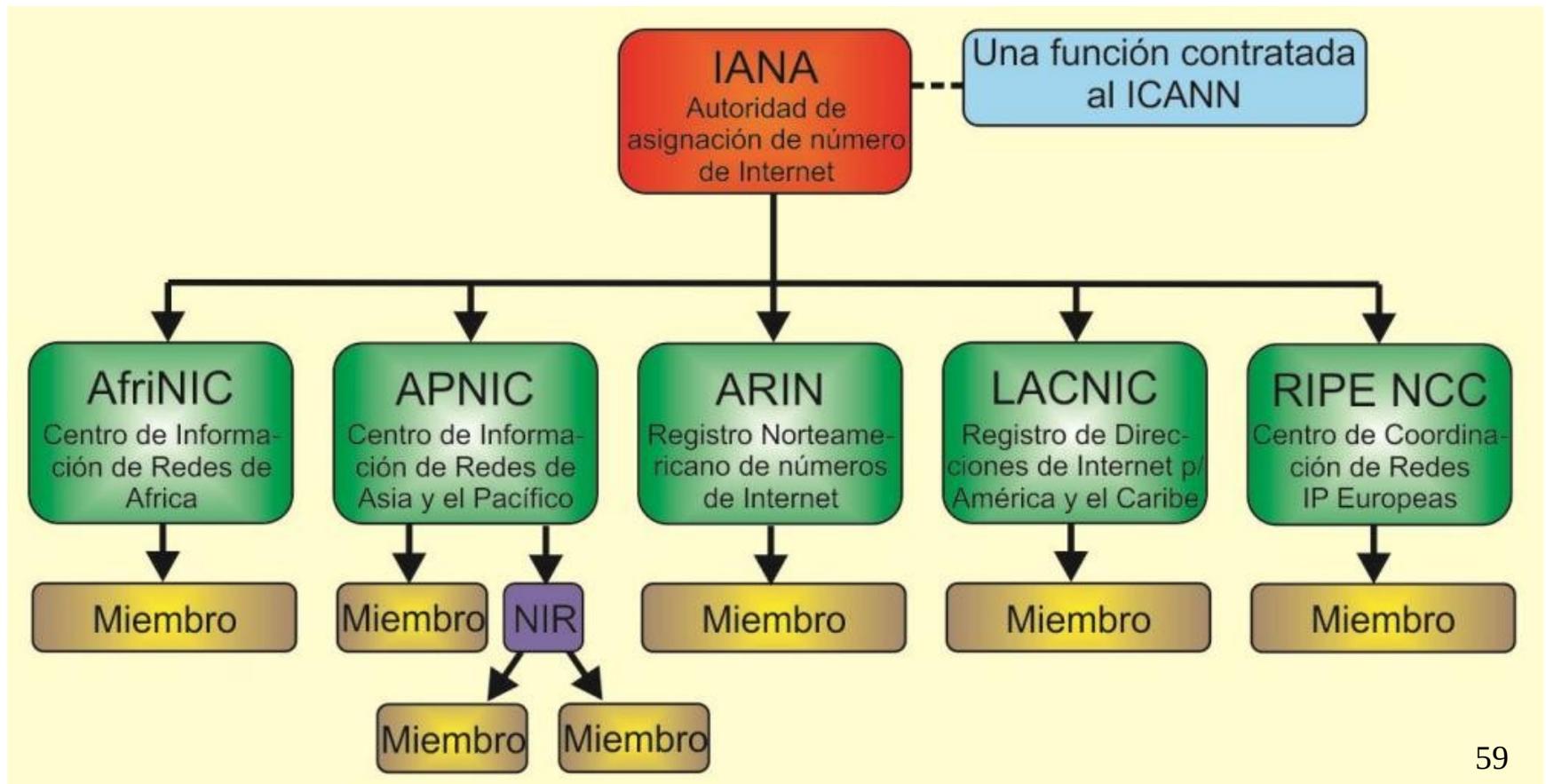
Internet Research Task Force (IRTF) grupo técnico

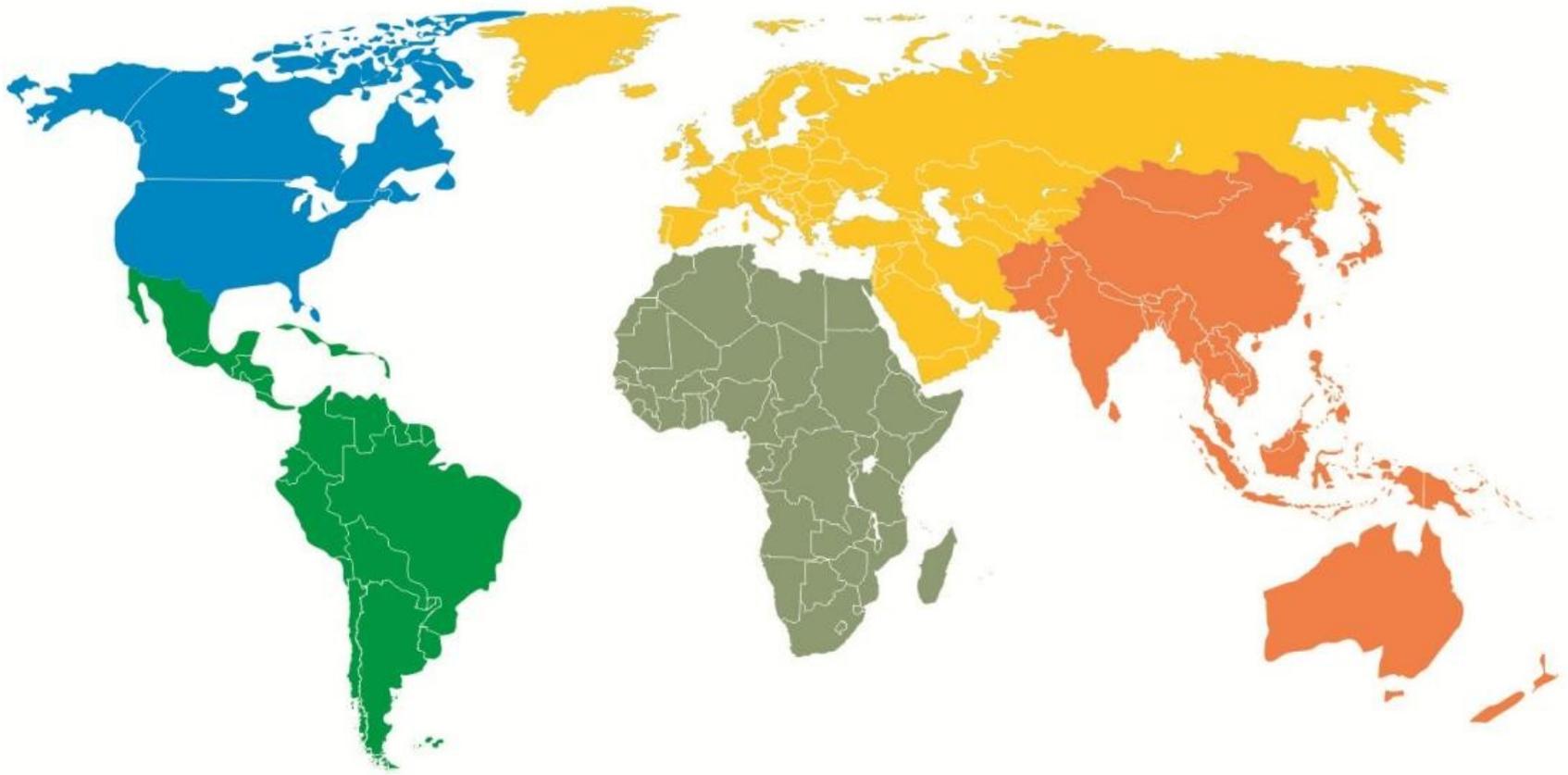
Internet Research Steering Group (IRSG) grupo técnico

RFC Editor: dedicado a la documentación

Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)

Los Registros Regionales de Internet distribuyen las direcciones IP en cinco agencias según la zona geográfica que corresponda por delegación del IANA.





AfrinIC



APNIC



ARIN



LACNIC



RIPE NCC

NORMAS Y RECOMENDACIONES DE INTERNET

El responsable primario es la Internet Society, pero delega la administración y la organización en:

- Internet Architecture Board (IAB)
- Internet Engineering Task Group (IETG).

Los borradores de trabajo comienzan a circular como RFC (Request for comment) y cuando están probados se transforman en STD (standard).

Niveles de requerimiento de una especificación técnica:

- *Requerido (required).*
- *Recomendado (recommended).*
- *Electivo (elective).*
- *De uso limitado (limited use).*
- *No recomendado su uso (not recommended)*

NORMALIZACION EN COMUNICACIONES

La estandarización o elaboración de normas permite la interoperabilidad y el intercambio de las partes, facilita el comercio y el manejo y la transferencia de la tecnología.

Hay cuatro organismos principales:

- *Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)* Naciones Unidas fundada en 1865
- *Organización Internacional de Estándares (ISO)* Naciones Unidas
- *Sociedad Internet (ISOC)*
- *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)*

Otros organismos

American National Standards Institute (ANSI)

Electronic Industries Alliance (EIA)

ADSL Forum

MFA Forum une foros de tecnologías nuevas: - -
Multiprotocol Label Switching (MPLS),
-Frame Relay
-Asynchronous Transference Mode (ATM).

Comunicaciones

Clase 2

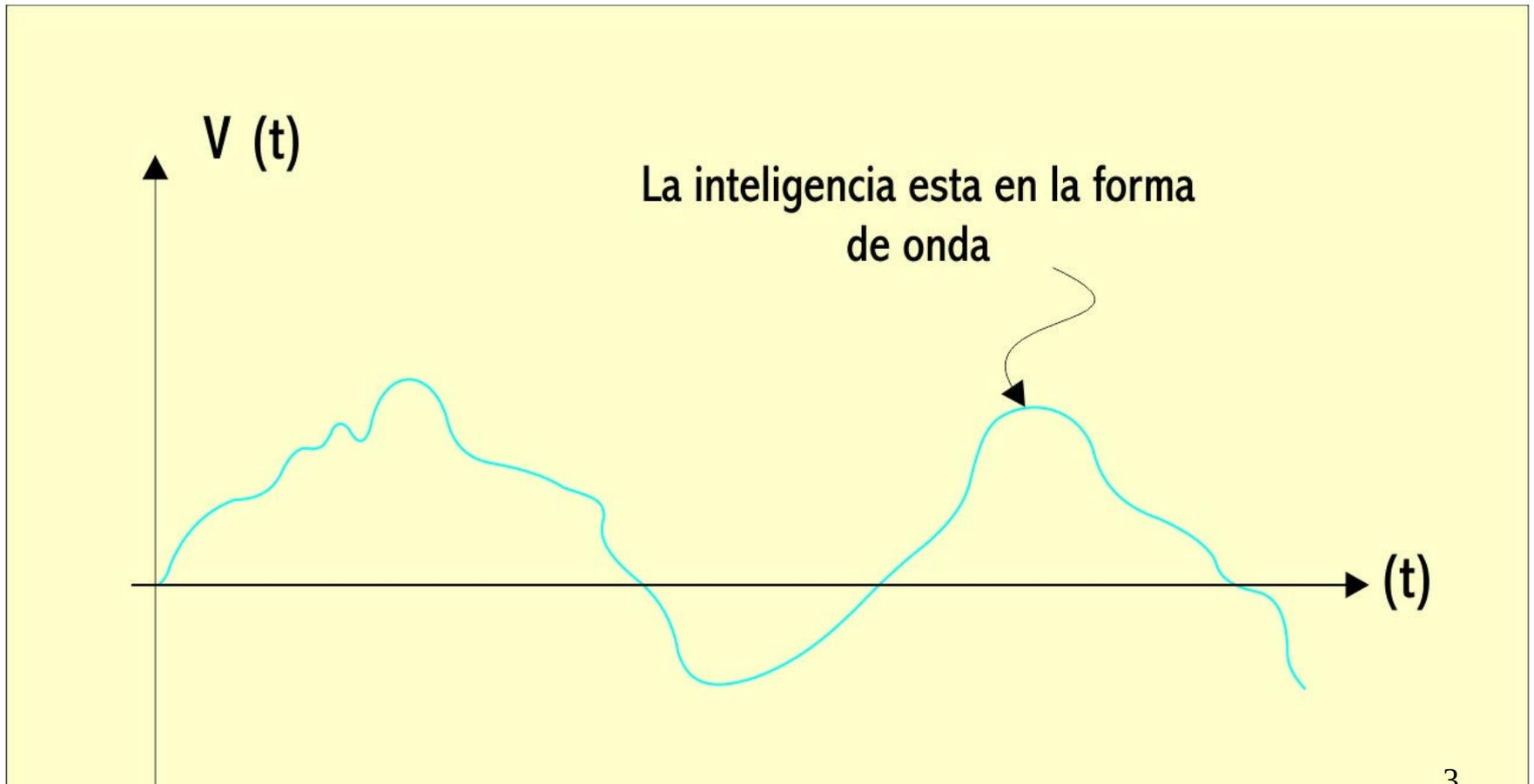
Trasmisión de señales

SEÑALES

- Las redes de telecomunicaciones deben transmitir todo tipo de informaciones inteligentes, como voz, audio, datos, textos, imágenes y video.
- Las informaciones se codifican en la fuente y se transforman en señales **analógicas o digitales** que puedan ser transmitidas por las redes.
- Según el codificador que se utilice, las señales pueden ser de varios tipos:
 - o eléctrico
 - o óptico
 - o electromagnético.

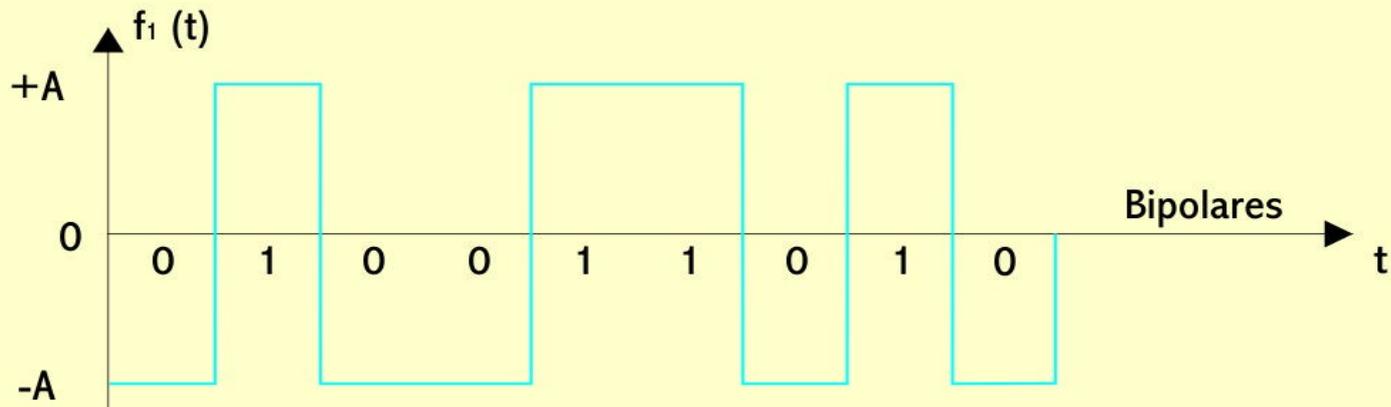
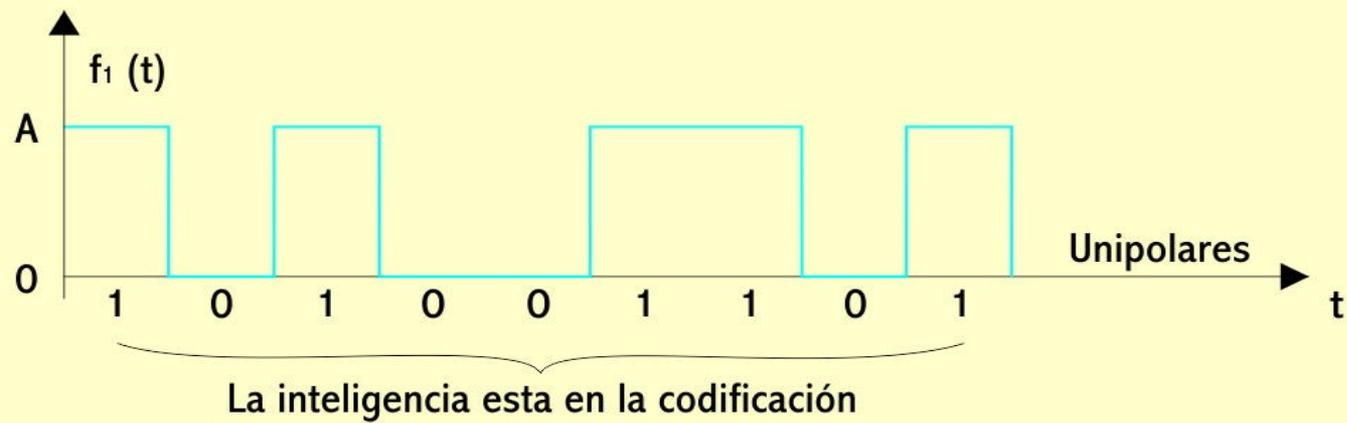
SEÑALES ANALÓGICAS

Pueden ser representadas por funciones que toman un número infinito de valores en cualquier intervalo de la variable



SEÑALES DIGITALES

Pueden ser representadas por funciones que toman un número finito de valores en cualquier intervalo de la variable



TRASMISION DE SEÑALES ANALOGICAS Y DIGITALES

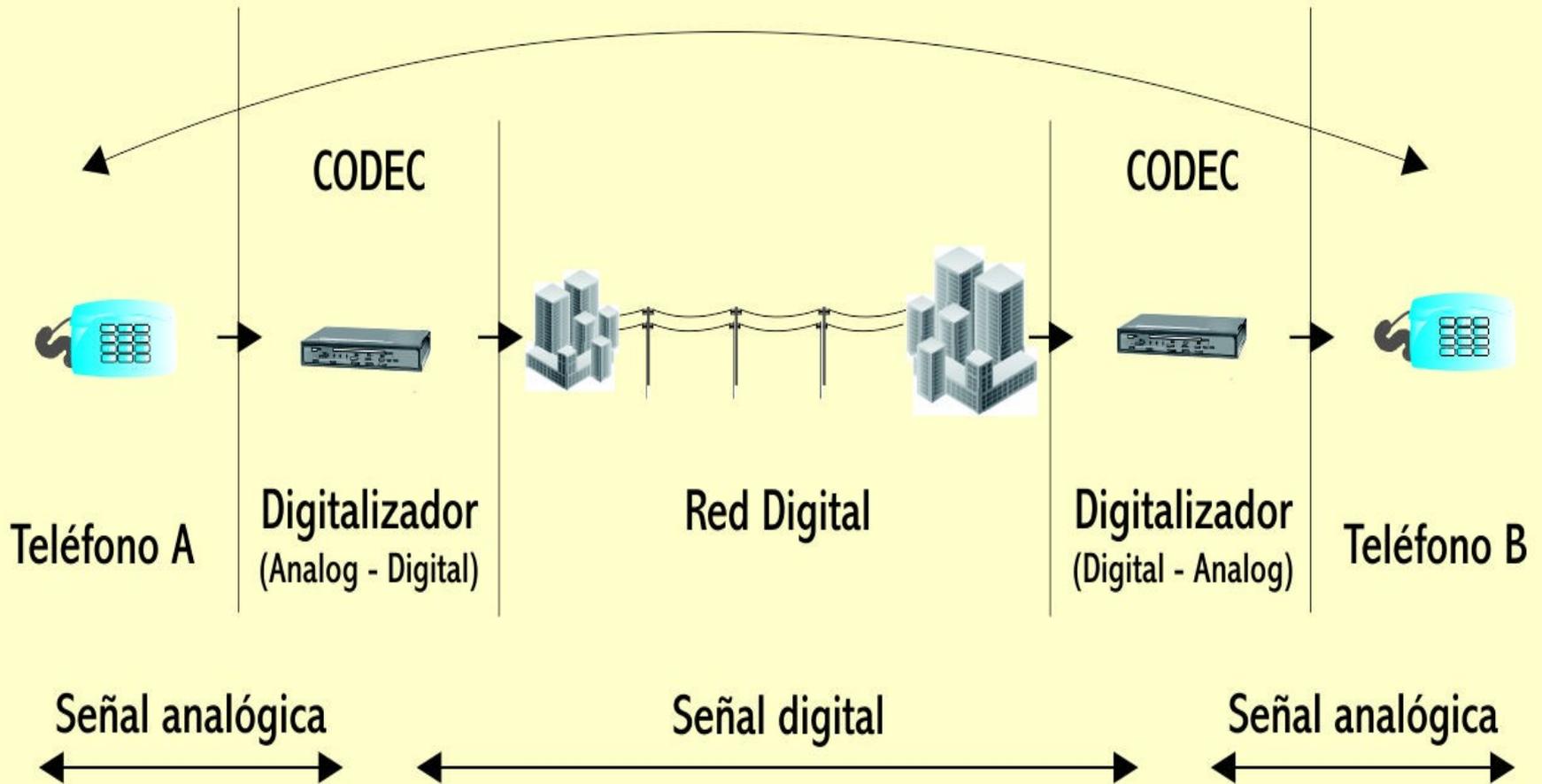
Las señales analógicas se transmiten por redes analógicas.

Para transmitir una señal analógica por una red digital, la misma debe ser digitalizada mediante un equipo **codec** (codificador y decodificador).

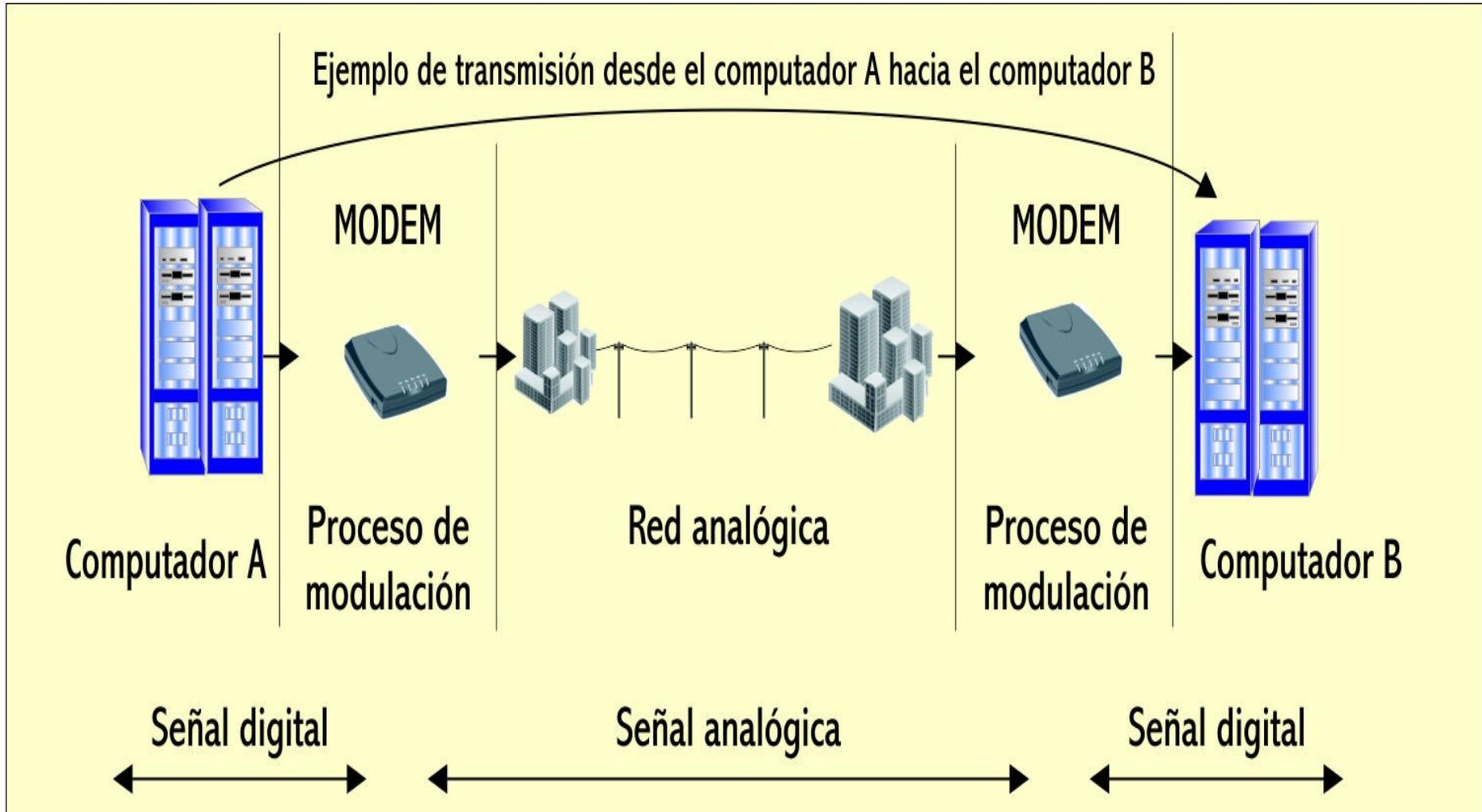
Las señales digitales se transmiten por redes digitales.

Para transmitir una señal digital por una red analógica, la misma debe ser modulada mediante un equipo **modem** (modulador y demodulador).

Terminales analógicos conectadas por red digital.



Terminales digitales conectadas por red analógica



TRASMISION DE SEÑALES

Telecomunicaciones: conjunto de tecnologías que permiten la trasmisión a distancia de señales de información.

Medio o canal de comunicaciones: permite que las señales generadas en el transductor de la fuente lleguen al transductor del sumidero.

Componentes de un sistema de comunicaciones:

- Una fuente y un sumidero o colector.
- Un medio o canal de comunicaciones.
- Un transductor en la fuente y otro en el sumidero.

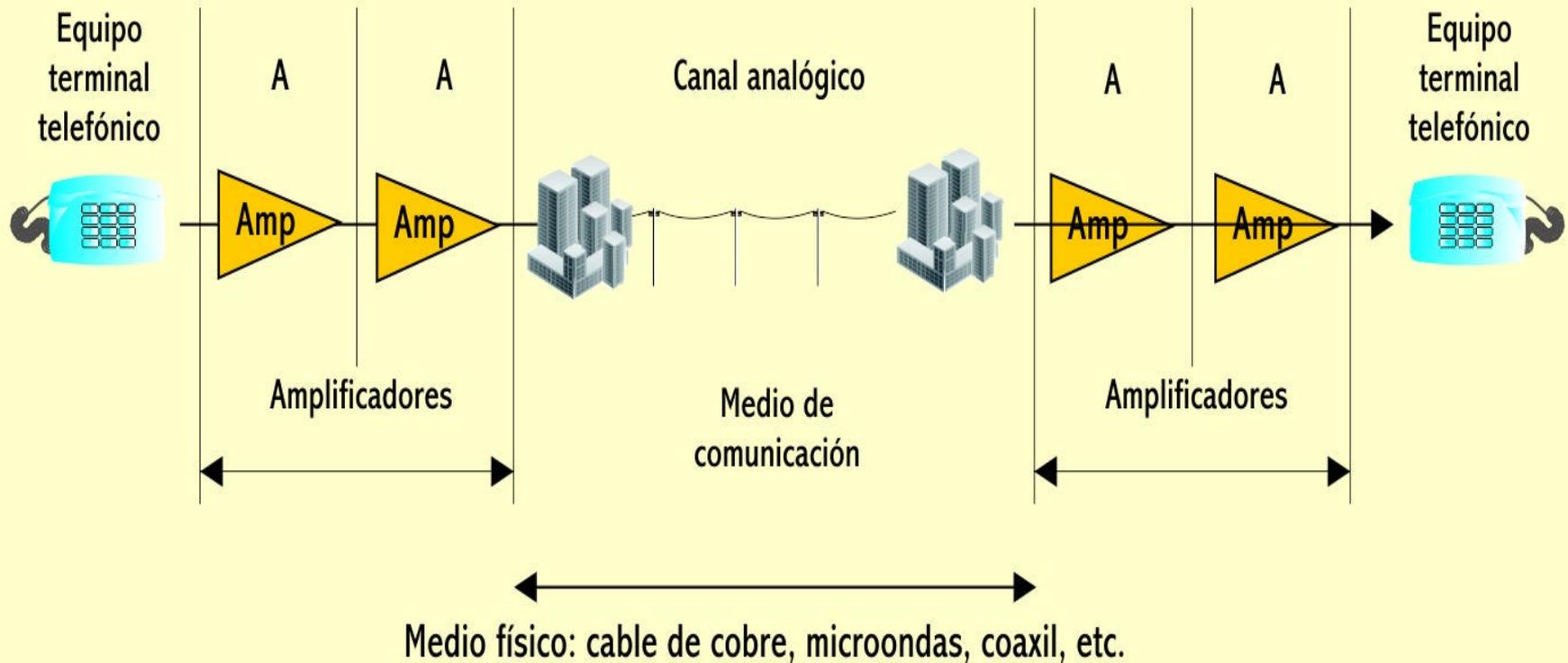
No existen canales ideales y las señales son modificadas.

El medio de comunicación debe transmitir la información con la mayor fidelidad posible.

En el medio hay fenómenos que afectan a las señales:

- Atenuación.
- Distorsión.
- Ruido.
- Retardos

En los canales analógicos el transductor de la fuente es el micrófono, mientras que el del sumidero es el altavoz.
Cada dispositivo opera dentro de un rango de señales.

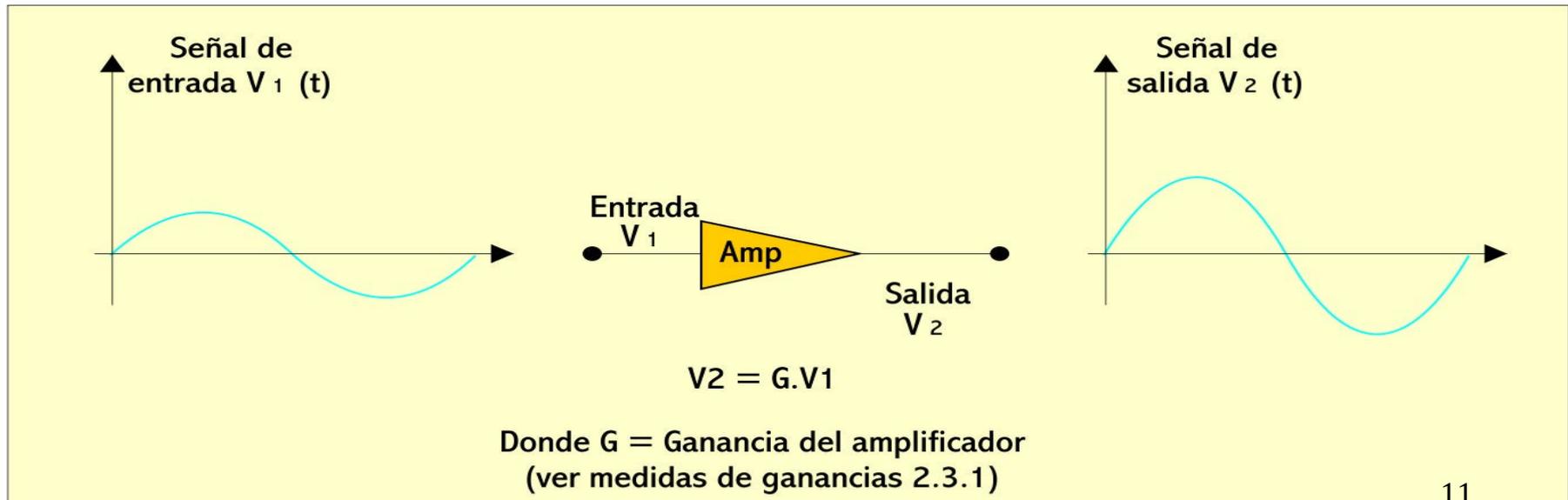


AMPLIFICADORES

Las señales analógicas sufren atenuación a lo largo del canal.

Las señales deben tener un nivel conveniente para que puedan ser detectadas e interpretadas correctamente por cada dispositivo.

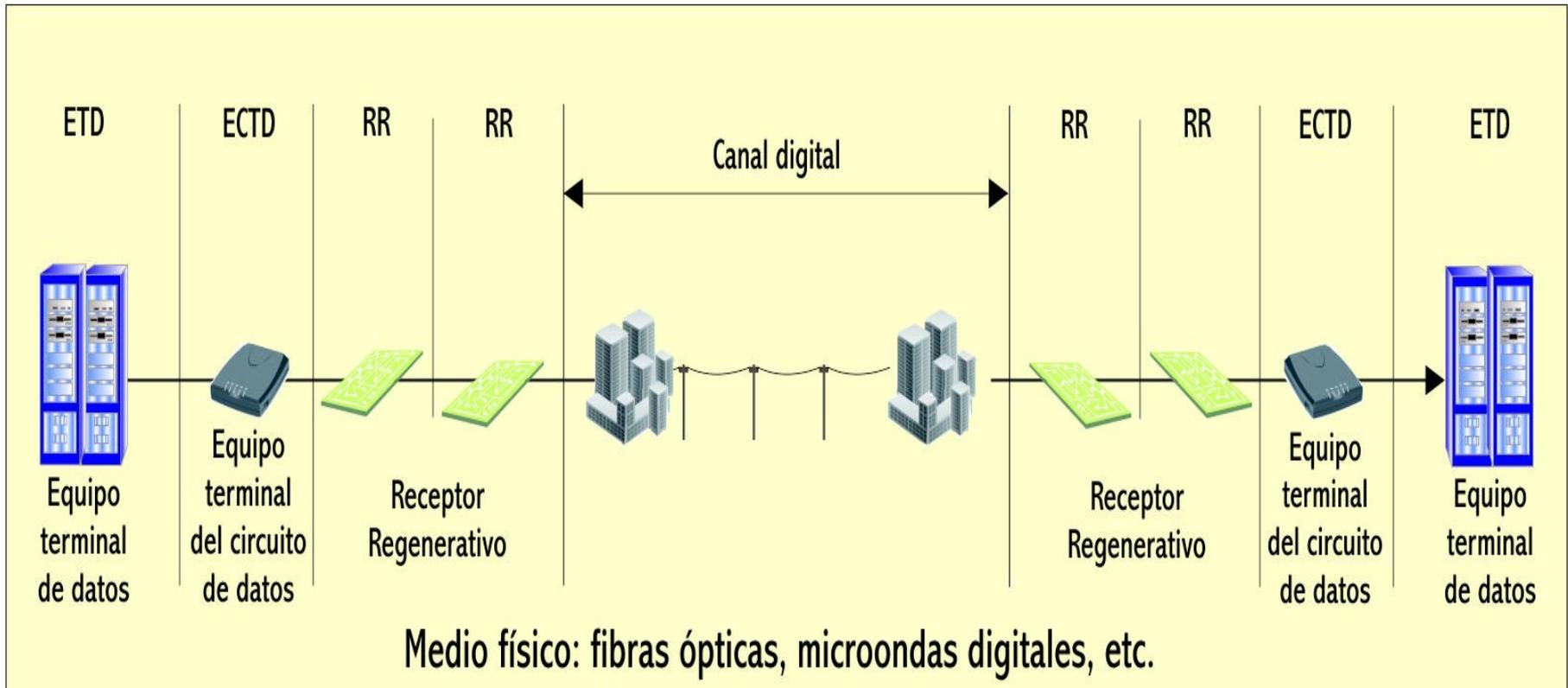
Debemos intercalar amplificadores para recuperar el nivel de señal.



REPETIDORES REGENERATIVOS

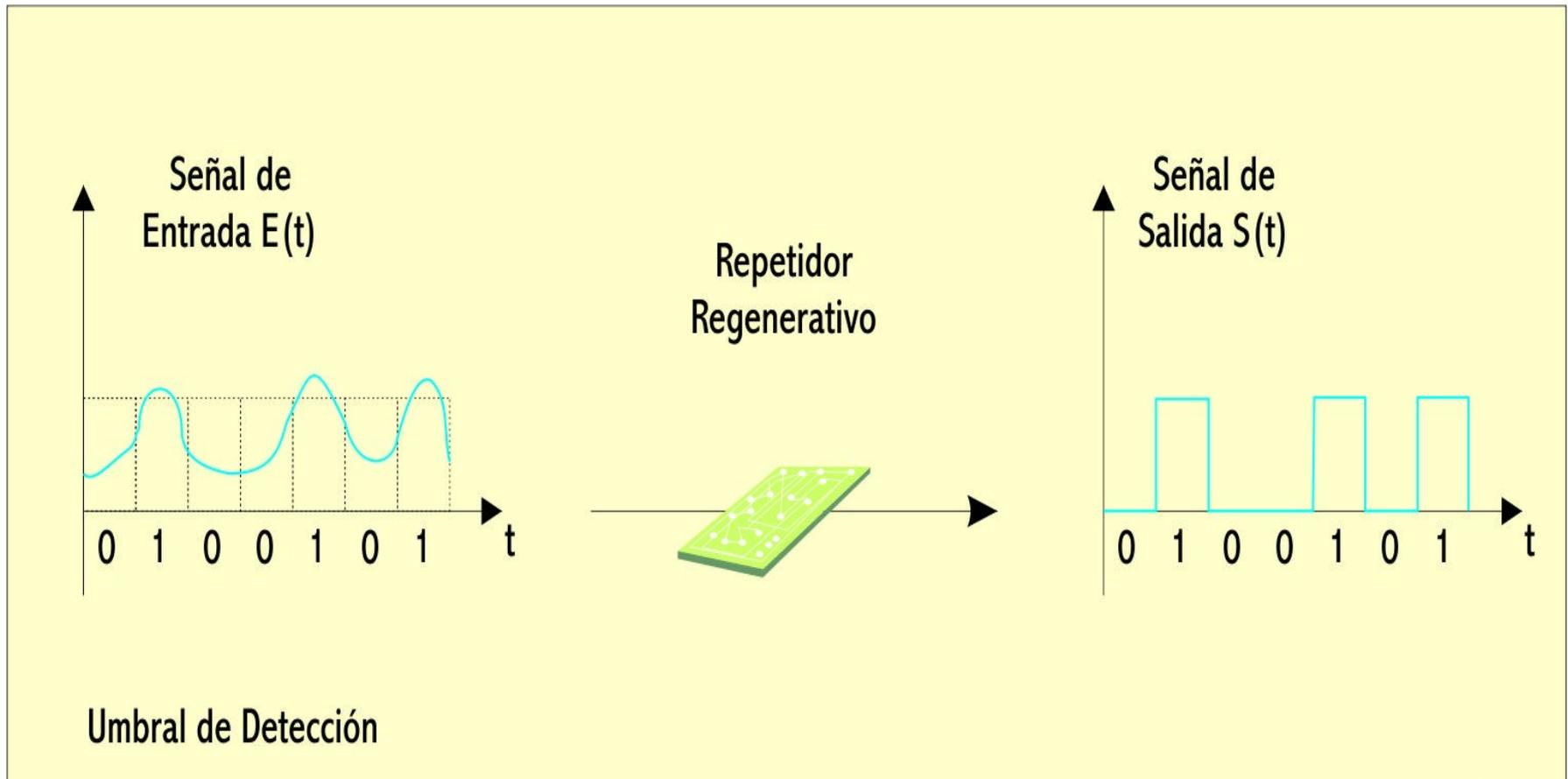
Las señales digitales se deforman a lo largo del canal.

Para aumentar el alcance se debe repetir y regenerar los pulsos en puntos intermedias.



Las señales que arriban al repetidor están distorsionadas y con ruido.

Las señales que salen tienen la forma original y sin ruido.



CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES

Las señales inteligentes tiene forma variable y son aleatorias.

Sus características pueden estudiarse tomando señales periódicas como referencia:

- la función senoidal armónica simple como ejemplo de una señal analógica
- la onda cuadrada como ejemplo de una señal digital.

Estas señales pueden ser generadas por un instrumento para ajustar los canales de comunicaciones.

FUNCION PERIÓDICA

Una función $f(t)$ es periódica cuando se verifica que:

$$f(t) = f(t + T)$$

y

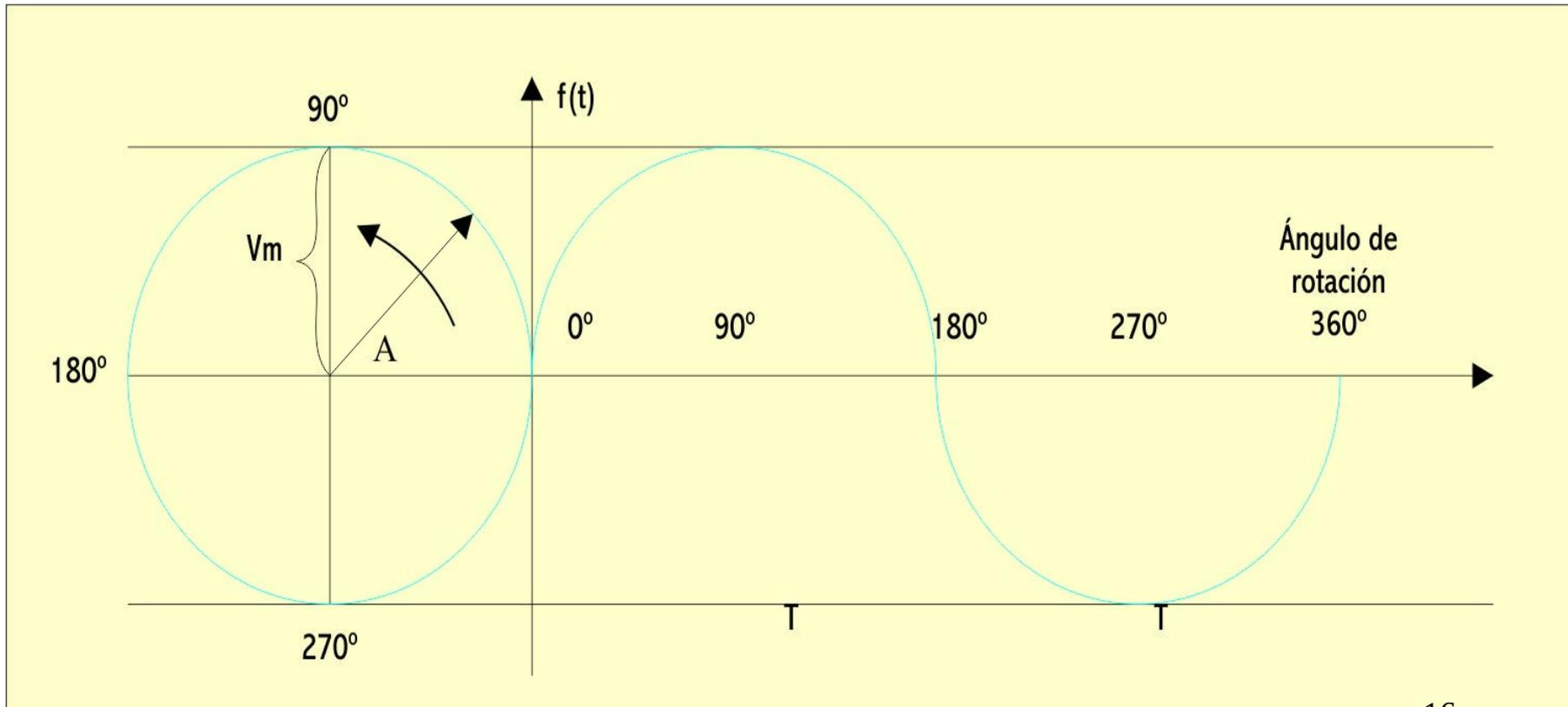
$$\frac{\partial f(t)}{\partial t} = \frac{\partial f(t + T)}{\partial t}$$

T es el período de la función.

FUNCION SENOIDAL

Expresión general de la forma: $f(t) = A \text{ sen } (\omega t + \Phi)$

Hay tres parámetros: amplitud, frecuencia y fase.



Velocidad angular del vector: $\omega = \frac{\textit{ángulo recorrido}}{\textit{tiempo}}$

Para un ángulo recorrido de 2π radianes, se habrá tardado en recorrerlo un tiempo igual al período T .

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Frecuencia: es el número de ciclos completos por segundo.
Es la inversa del período T .

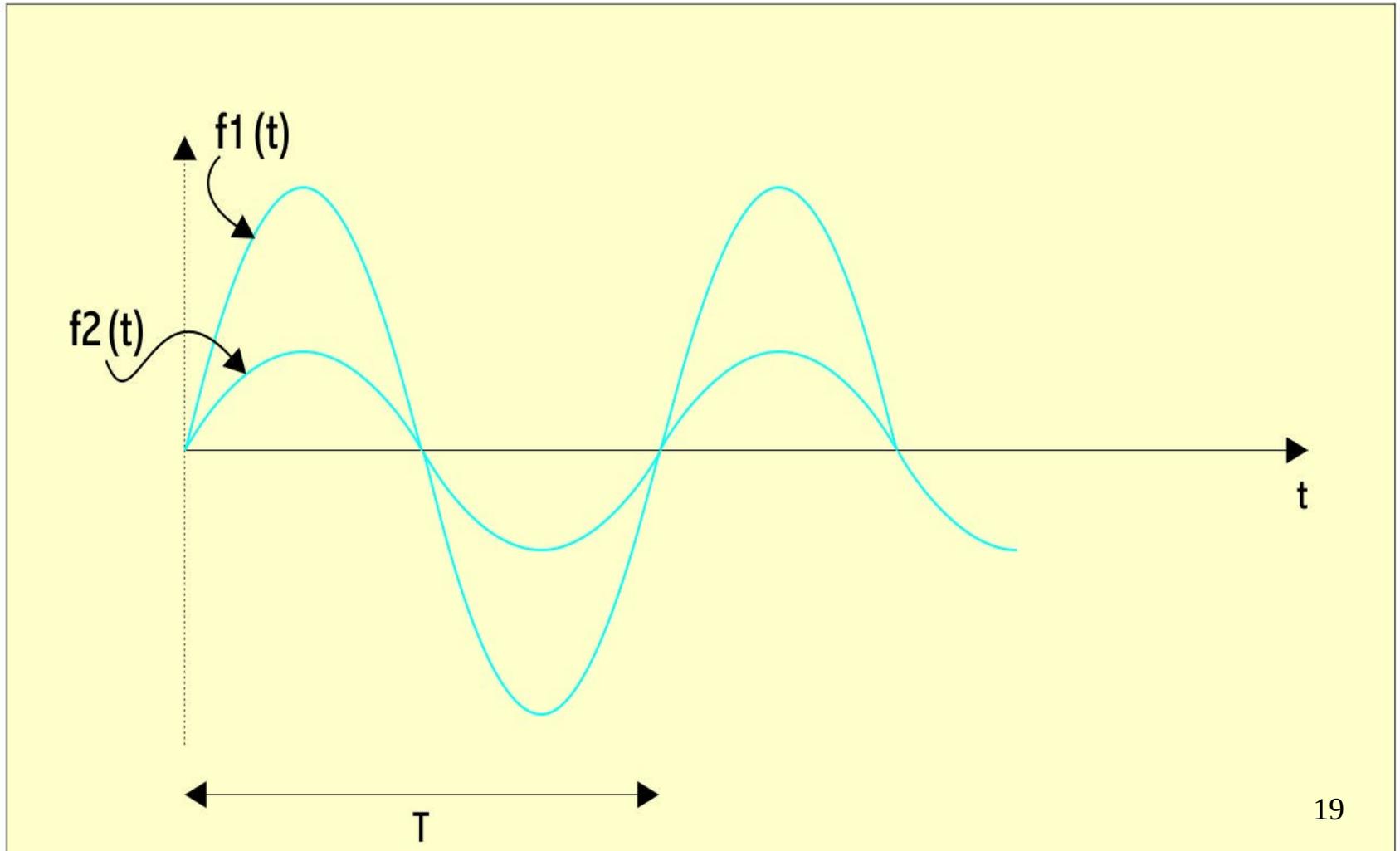
$$T = \frac{1}{f} \text{ (seg)}$$

El tiempo T se mide en segundos y la frecuencia en Hertz.

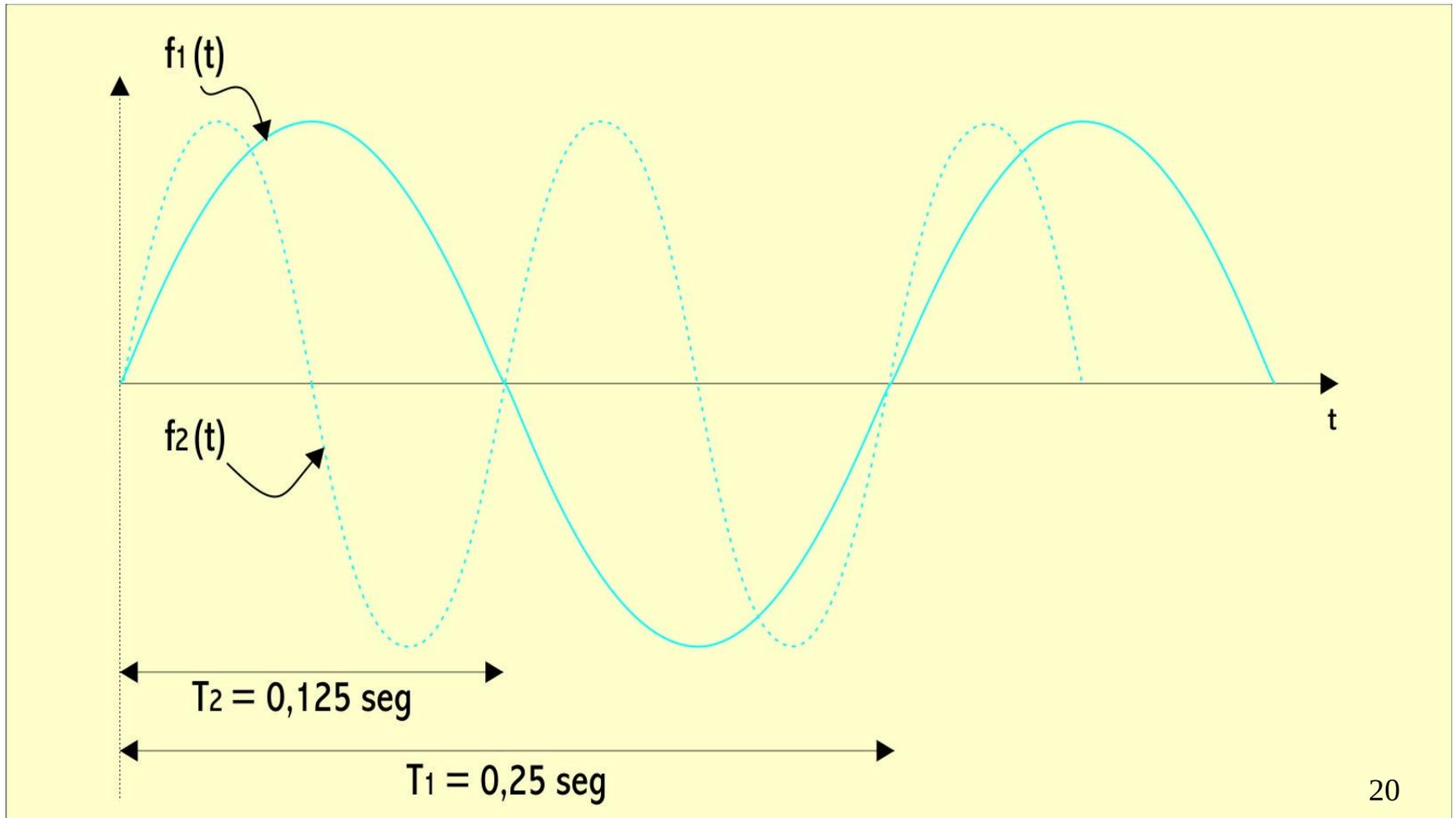
$$\omega = 2\pi f$$

$$[\text{Hertz}] = \frac{1}{\text{seg}}$$

Representación de dos funciones de igual frecuencia y fase, pero distintos valores de amplitud:



Representación de funciones senoidales de distinta frecuencia con ángulo de fase igual a cero.



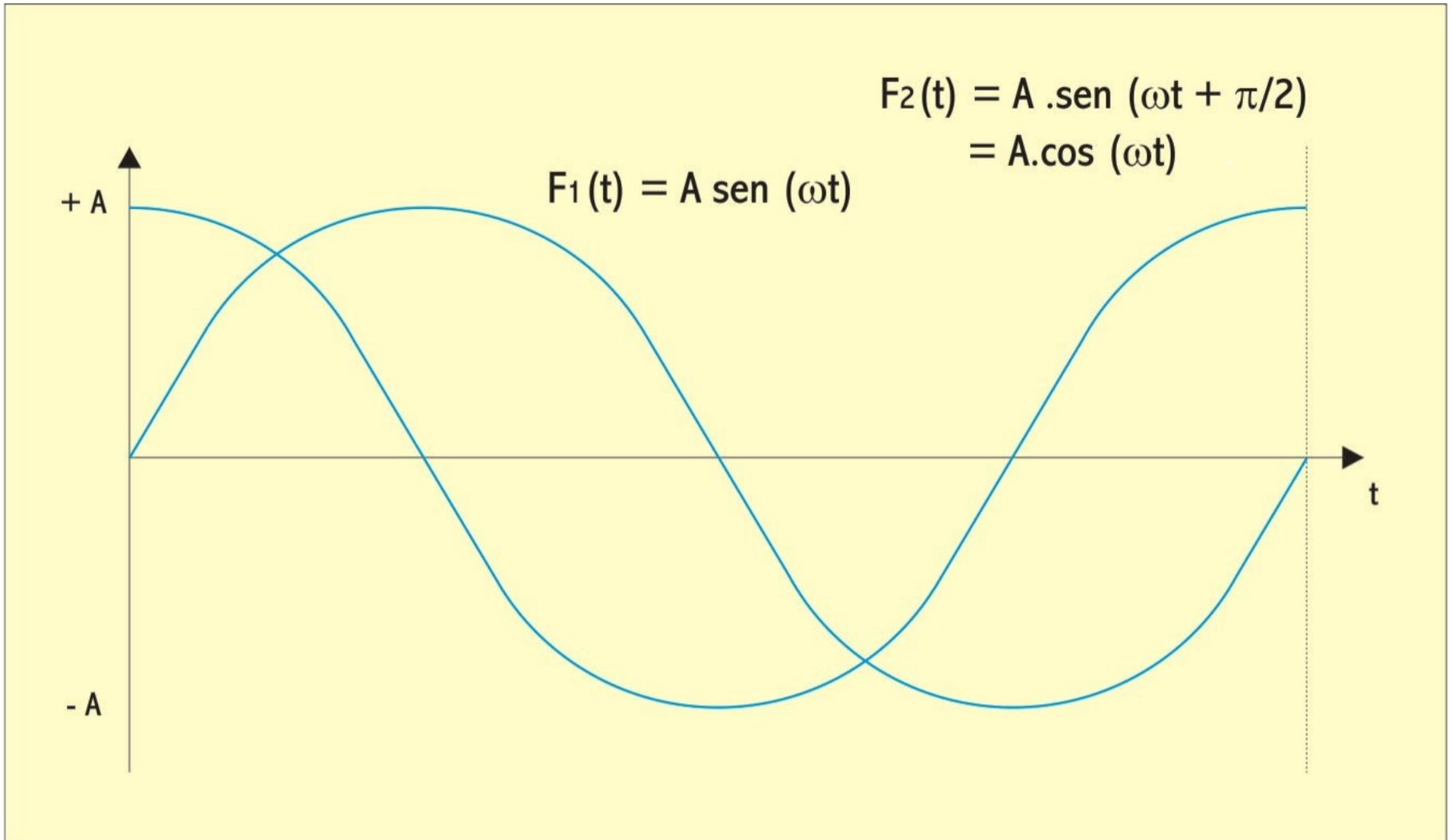
El valor de la función en el instante $t = 0$ dependerá del valor del seno del ángulo ϕ .

$$f(0) = A \operatorname{sen} \phi$$

Si $\phi = 0$ resultará $\operatorname{sen} \phi = 0$, y por lo tanto $f(0) = 0$

Si $\phi = \frac{\pi}{2}$ resultará $\operatorname{sen} \frac{\pi}{2} = 1$, y por lo tanto $f \frac{\pi}{2} = A \operatorname{sen} \frac{\pi}{2} = A$

Representación de dos funciones senoidales de igual frecuencia con ángulos de fase separados $\pi/2$



FUNCION ONDA CUADRADA

Generada por equipos generadores de pulsos, con técnicas de la electrónica digital.

Representa una señal periódica onda cuadrada o rectangular.

Definición matemática:

$$f(t) = A, \text{ para } 0 < t < \frac{T}{2}$$

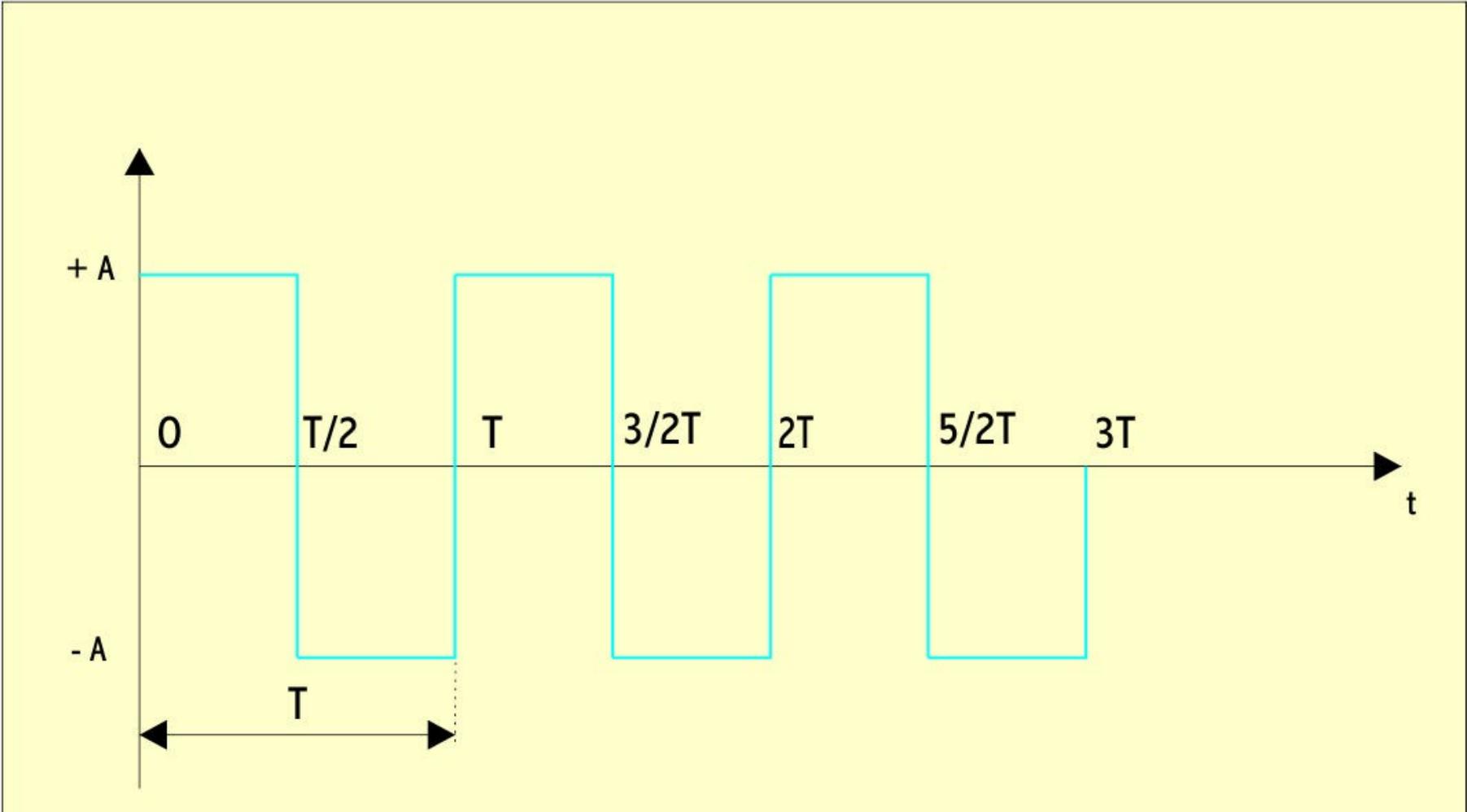
y,

$$f(t) = -A, \text{ para } \frac{T}{2} < t < T$$

y,

$$f(t) = 0, \text{ para } t = n \frac{T}{2}; \text{ donde } n = 1, 2, \dots, n$$

Función onda cuadrada



Los conceptos de amplitud, frecuencia y período tienen el mismo significado que en la función senoidal armónica simple.

La frecuencia también se denomina frecuencia de repetición de pulsos (FRP):

$$FRP = \frac{1}{T} \text{ (PPS)}$$

La unidad es PPS (pulsos por segundo)

En el estudio de las señales digitales aparece un parámetro, muy importante, denominado ancho de pulso (τ).

VALOR MEDIO Y VALOR EFICAZ

Se define como valor medio de la función $f(t)$: $Y_m = \int f(t) dt / T$

Se define como valor eficaz de la función $f(t)$:

$$Y_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt}$$

El factor de forma es la relación entre valores eficaz y medio:

$$FF = Y_e / Y_m$$

DEFINICIONES DE INFORMATICA

Bit: (dígito binario) es la unidad de información en un sistema

Byte: conjunto de bits utilizados para representar un carácter en un sistema de codificación dado.

Palabra: conjunto de bytes que una computadora trata como una unidad cuando los procesa o transfiere.

Bloque: conjunto de bits que se trata como una unidad para la transmisión de datos.

VELOCIDAD DE MODULACION

Es la inversa de la medida del intervalo de tiempo nominal más corto entre dos instantes significativos sucesivos de la señal modulada.

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

Donde

T = duración del ancho del pulso (más corto).

En unidades resultará:

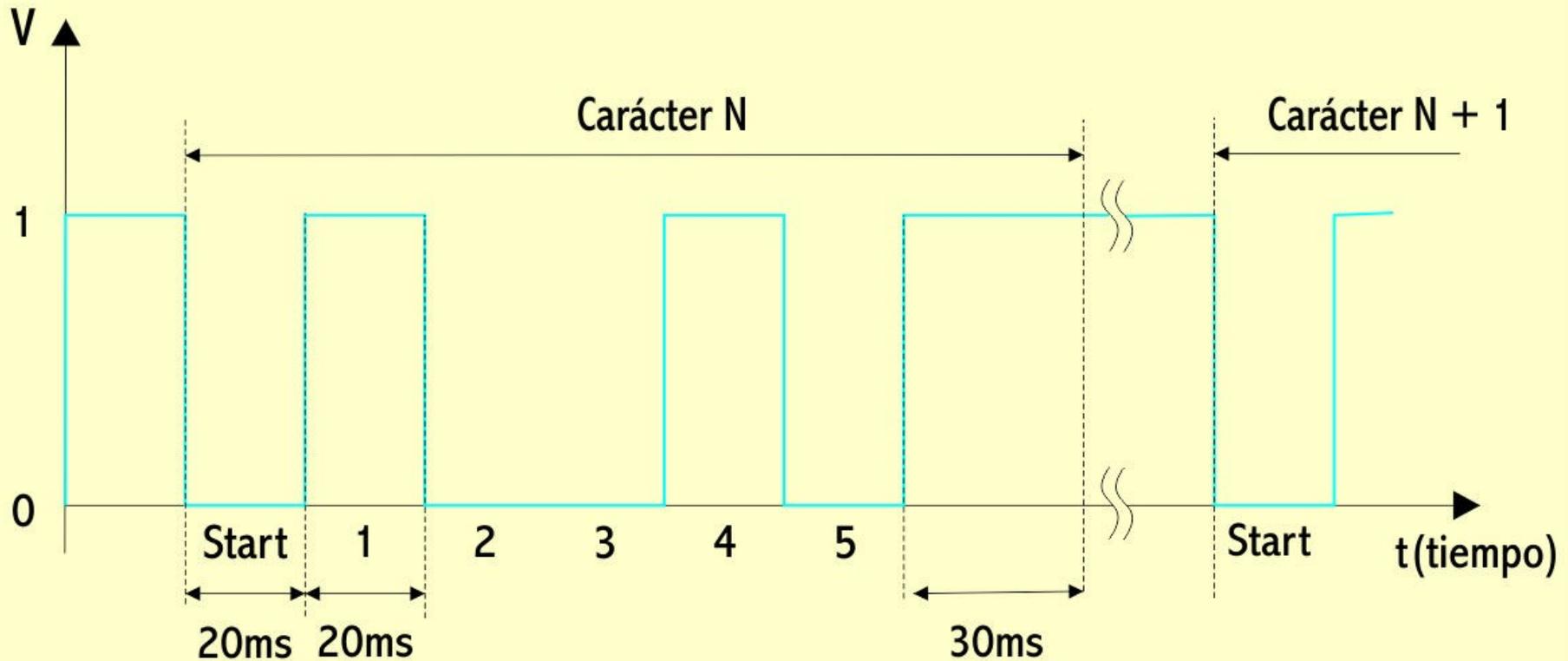
$$[V_m] = \frac{1}{[\text{seg}]} = [\text{Baudio}]$$

Esta velocidad se relaciona con la línea de transmisión. 28

Transmisión de un carácter a través de un servicio telegráfico:

- el carácter se representa en código Baudot de 5 bits
- cada carácter tiene un bit de arranque y 1,5 de parada

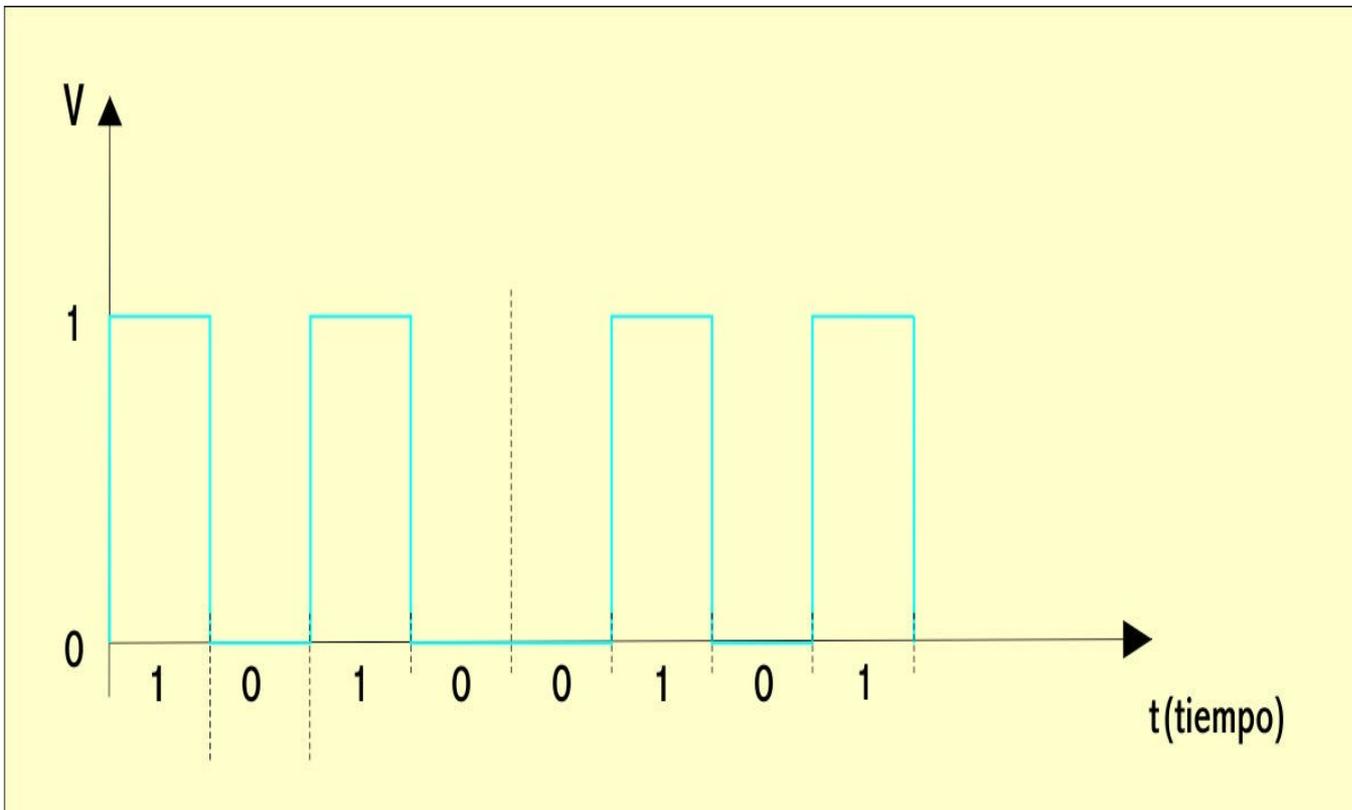
Para transmitir un carácter se requiere la duración de 7,5 bits.



Transmisión de un carácter ASCII a través de un canal asincrónico:

- el carácter se representa en código de 8 bits
- cada carácter tiene un bit de arranque y uno de parada
- puede haber un bit de paridad

Para transmitir un carácter se requiere la duración de 11 bits.



VELOCIDAD DE TRASMISION

La velocidad binaria es la velocidad de transmisión expresada en bits por segundo.

Es la cantidad de dígitos binarios transmitidos en la unidad de tiempo, independientemente de que lleven información.

$$V_t = \frac{1}{T} \log n$$

$$[V_t] = [bps]$$

VELOCIDAD DE SEÑALES MULTINIVEL

Hemos visto señales donde hay dos estados lógicos (uno y cero) y dos estados eléctricos posibles (alto y bajo).

Cuando las señales son multinivel hay varios estados eléctricos, y cada pulso transmitido puede contener más de un bit de información.

Aumenta la velocidad de información sin incrementar la velocidad de modulación.

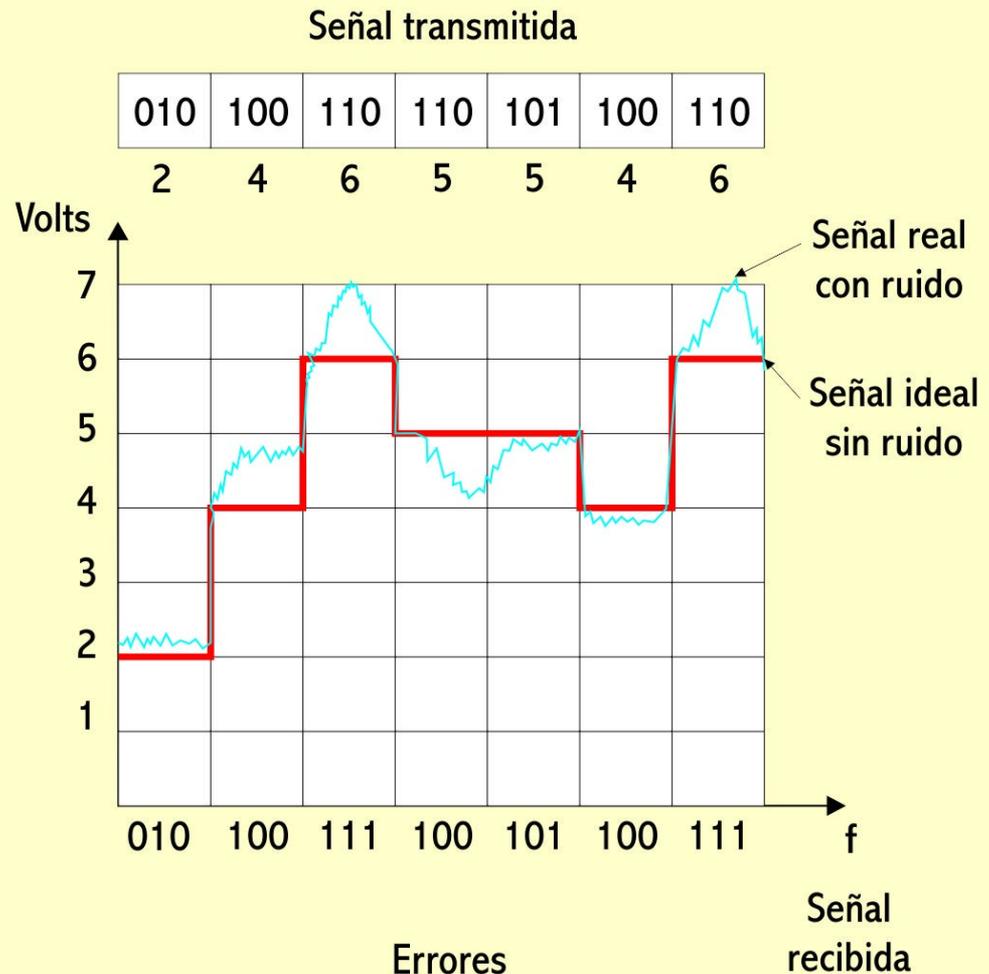
La cantidad de niveles posibles (n) está relacionada con la cantidad de bits (M) que representan cada nivel:

$$n = 2^M$$

Al disponer de varios niveles posibles, cada pulso puede transportar varios estados lógicos

TRIBITS

Dígitos Binarios	Nivel de señal
000	0 volt
001	1 volt
010	2 volts
011	3 volts
100	4 volts
101	5 volts
110	6 volts
111	7 volts



VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE DATOS

Es el número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten:

$$V_{td} = \frac{\text{número de bits transmitidos}}{\text{tiempo empleado}}$$

Se mide en *bps* (bits por segundo).

Si en lugar de bits se consideran bytes, caracteres, palabras o bloques, y en lugar de medir el tiempo en segundos se emplearan minutos u horas. se tendrían valores del tipo:

$$V_{td} = \frac{\text{byte}}{\text{seg}} \text{ o } V_{td} = \frac{\text{bloque}}{\text{hora}} .$$

TASA DE ERROR

Un canal de comunicaciones puede agregar errores de transmisión.

La transmisión puede efectuarse por medios analógicos o digitales, pero la tasa de errores está referida siempre a la recepción en forma digital de los datos.

La tasa de errores se suele expresar mediante la sigla BER.

Tasa de errores (*bit error rate*) es la relación entre los bits recibidos de manera errónea respecto de la cantidad total de bits transmitidos.

$$BER = \frac{\text{Cantidad de bits con errores}}{\text{Cantidad de bits transmitidos}}$$

VELOCIDAD REAL DE TRANSMISION DE DATOS

También llamada velocidad efectiva, es el número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten y que el receptor los acepta como válidos.

$$V_{\text{real}} = \frac{\text{número de bits transmitidos y aceptados como válidos}}{\text{tiempo empleado}}$$

EFICIENCIA O RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE TRASMISION DE DATOS

El administrador de un sistema necesita calcular el tiempo real que tardarán determinadas operaciones.

El tiempo a emplear para transmitir un archivo sale de:

$$\textit{Tiempo a emplear [seg]} = \textit{Long.del archivo [bit]} / V_{\textit{rtd}} [\textit{bps}]$$

Se pueden hacer distintas pruebas a varias horas del día, con archivos de longitud conocida, midiendo el tiempo que se demora en su transmisión.

$$V_{\textit{rtd}} = \frac{\textit{Longitud de un archivo conocido}}{\textit{Tiempo empleado en recibido}}$$

Comunicaciones

Clase 3

Trasmisión de señales

REPRESENTACIONES DE SEÑALES ARMONICAS

SERIE DE FOURIER

La serie de Fourier permite analizar el comportamiento de las señales digitales que atraviesan un canal analógico.

La señal digital se representa por una suma (serie) de señales armónicas (analógicas) calculadas por Fourier.

Toda función periódica admite su desarrollo en serie de Fourier si cumple con las denominadas condiciones de **Dirichlet**.

CONDICIONES DE DIRICHLET

Son necesarias y suficientes para que una función $f(t)$ pueda ser desarrollada en serie de Fourier:

- La función $f(t)$ debe ser periódica, de período T .
- La función $f(t)$ debe ser definida y univalente, salvo un número finito de puntos, en el intervalo de integración.
- La función $f(t)$ y su derivada $f'(t)$ deben ser seccionalmente continuas en el intervalo de integración (o continuas por secciones).

DESARROLLO DE LA SERIE DE FOURIER.

Toda función que cumpla con las condiciones de Dirichlet admite ser representada por una serie de la forma:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \operatorname{sen}(n\omega t)$$

Donde: $\omega = \frac{2\pi}{T}$

T es el período de la función f(t).

Los coeficientes de la serie de Fourier se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots$$

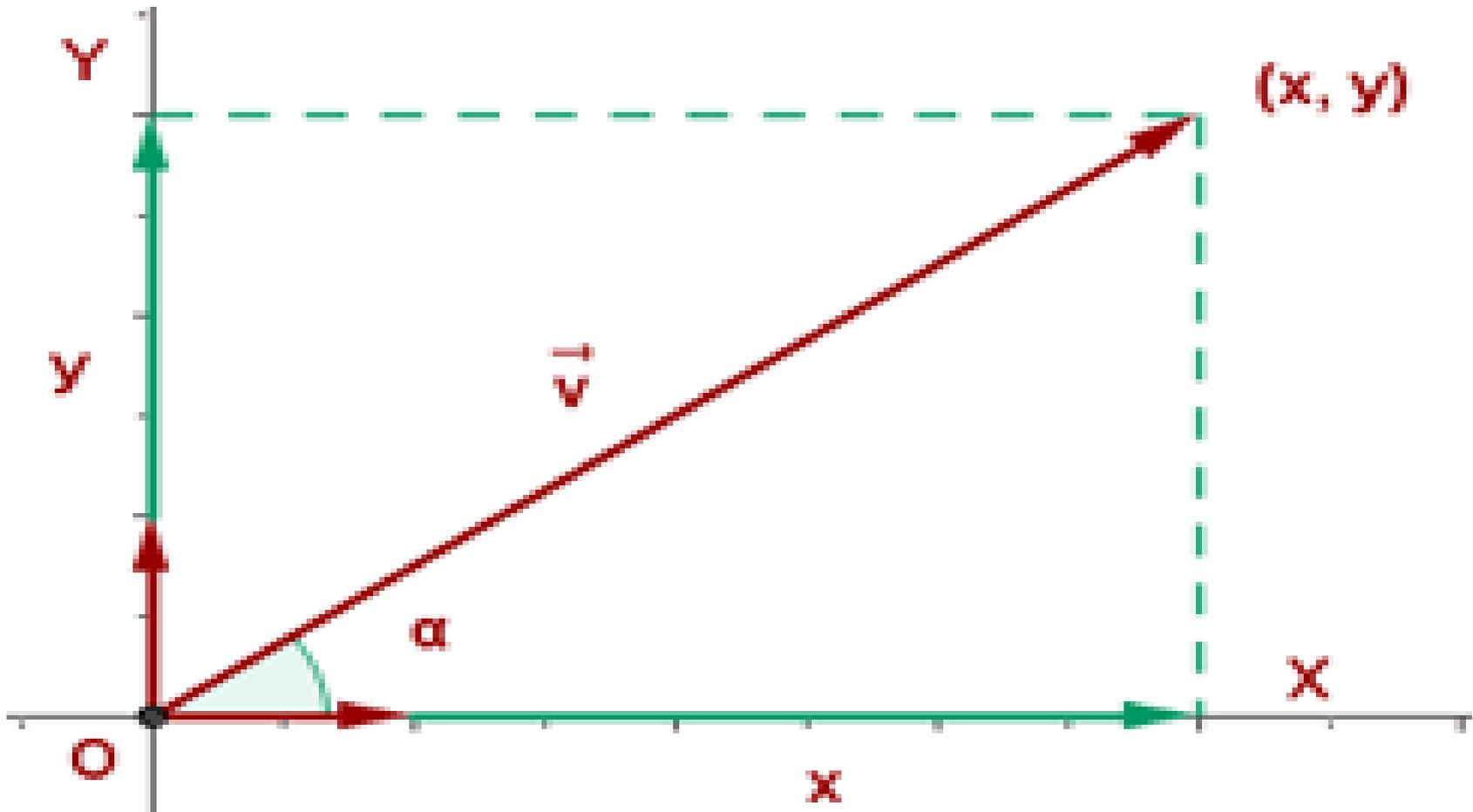
$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \text{sen}(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots$$

EXPRESION POLAR

Es equivalente tratar con vectores en un plano ortogonal o en un plano polar, donde:

$$x = v \cdot \cos \alpha$$

$$y = v \cdot \text{sen } \alpha$$



ESPECTRO DE AMPLITUD Y FASE DE UNA SEÑAL PERIODICA

- Las funciones periódicas en el dominio del tiempo se representan por otras funciones en el dominio de la frecuencia.
- El espectro de la señal tiene una amplitud y fase que se calcula con los coeficientes:
$$|C_n| = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$
- Amplitud del espectro
- Fase del espectro:
$$\phi_n = \arctan \frac{b_n}{a_n}$$

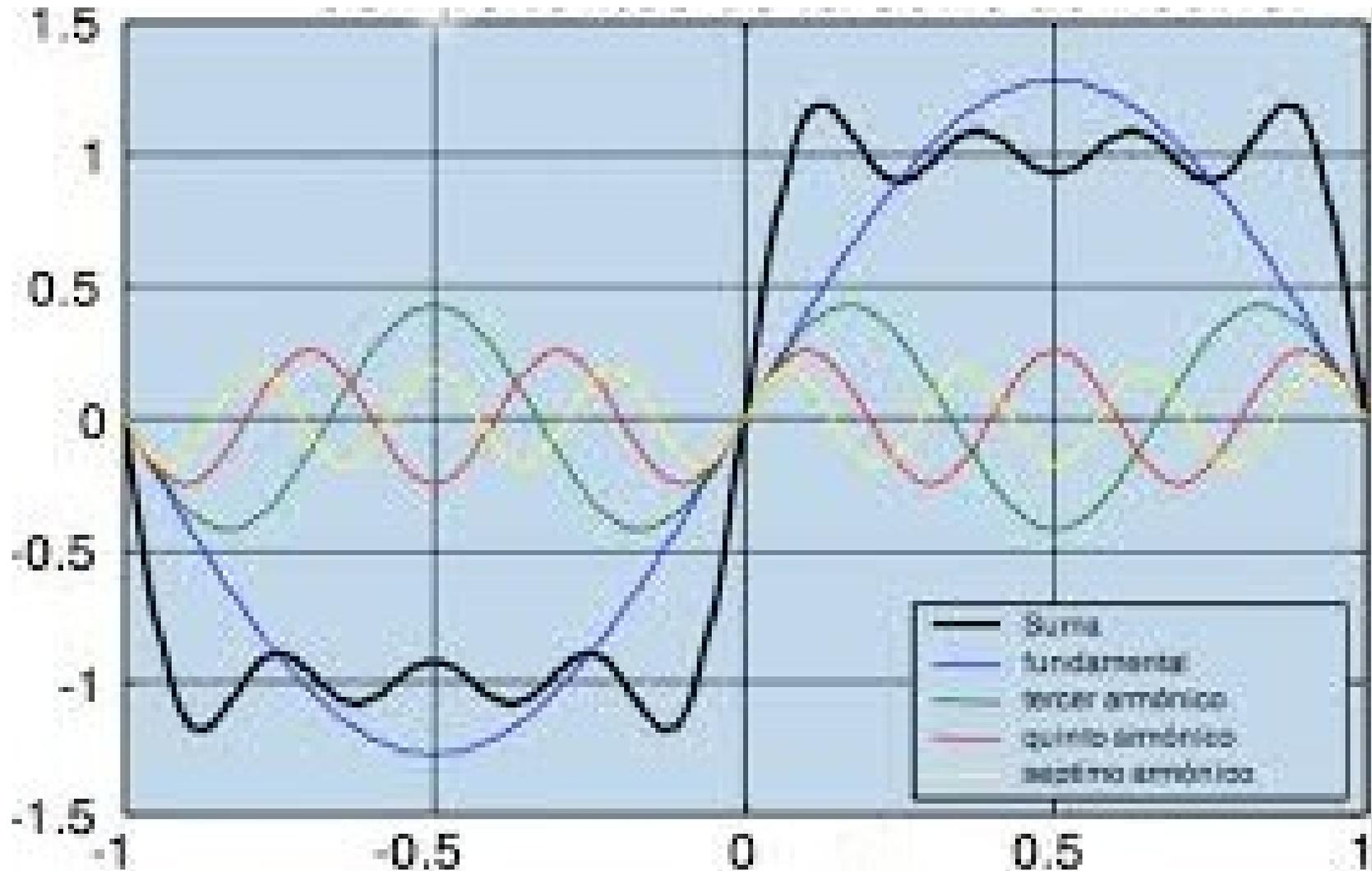
EXPRESION COMPLEJA

Como $e^{j\alpha} = (\cos \alpha + j.\text{sen } \alpha)$ en algunos casos conviene usar la expresión compleja del desarrollo en serie de Fourier:

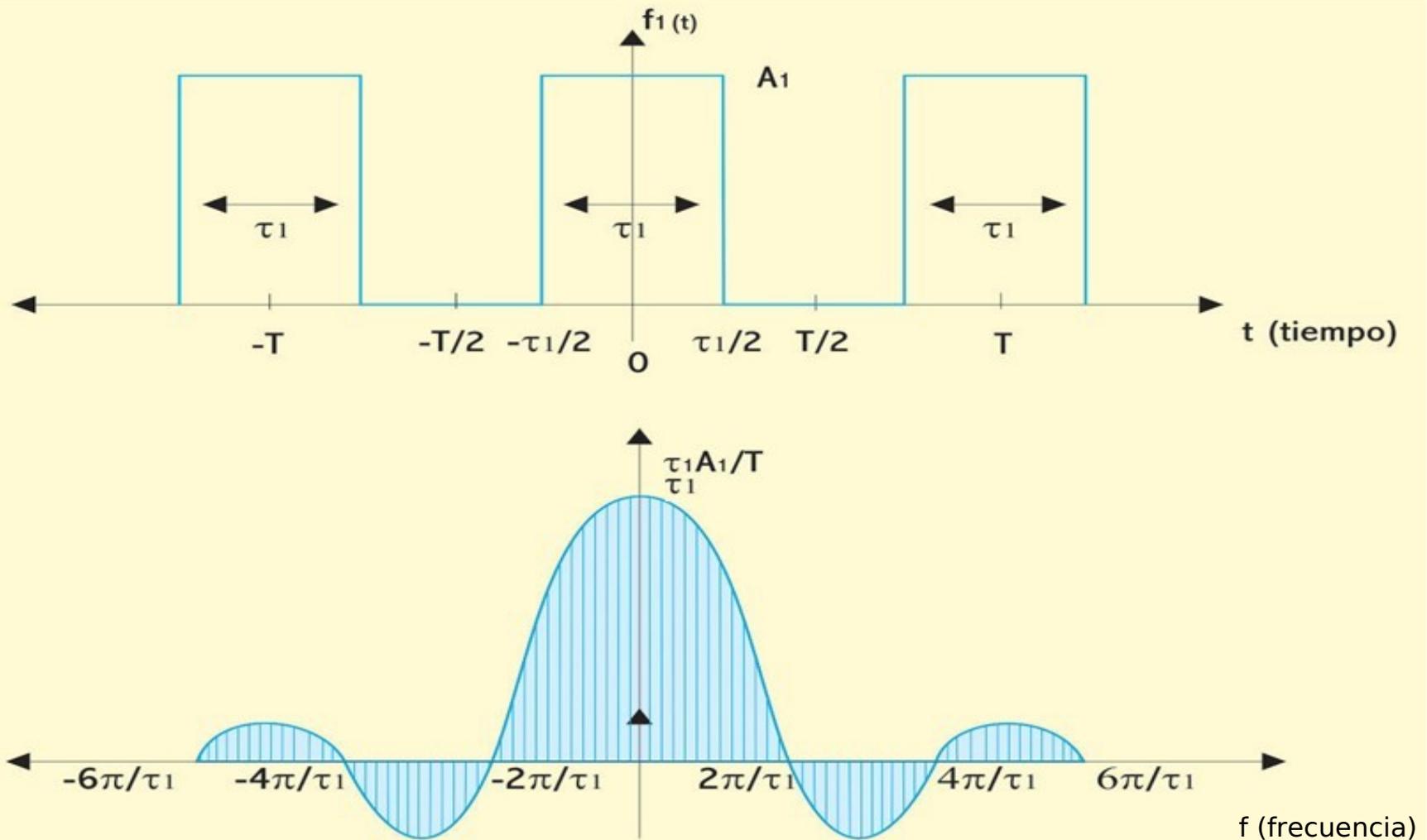
$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} C_n e^{in\omega t}$$

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} f(t) e^{-in\omega t} dt$$

A medida que la cantidad de armónicas se aproxima a infinito, la suma de ellas se va aproximando a la forma de la señal digital que representan.



ESPECTRO DE SEÑAL RECTANGULAR



τ_1 = ancho de pulso
 T_1 = período del tren de pulsos
 A_1 = amplitud del pulso

Los parámetros del espectro de la señal en el dominio de la frecuencia dependen de los parámetros de la señal en el dominio del tiempo.

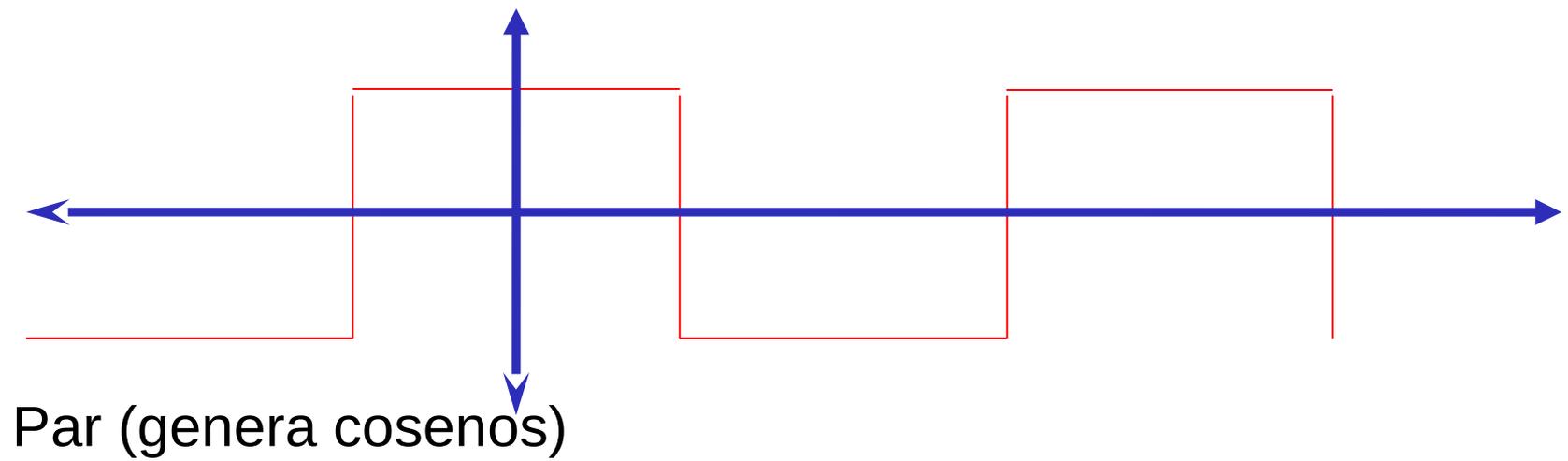
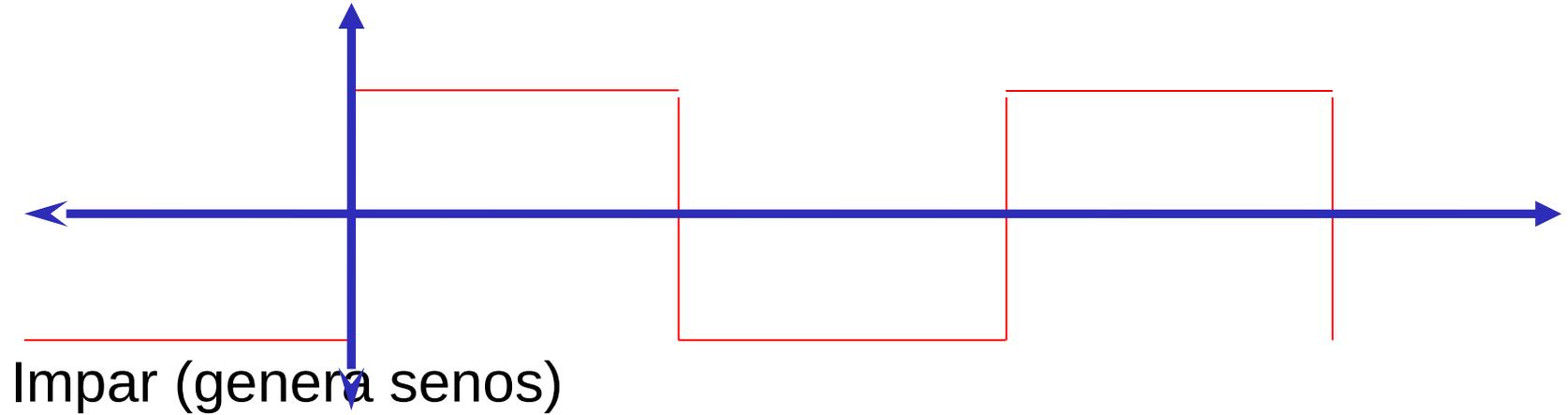
- La separación entre dos componentes discretas adyacentes es inversamente proporcional al período ($= 2.\pi/T$)
- La envolvente de los máximos es una función del tipo $\text{sen}(x)/x$, donde $x = n.\omega\tau/2$
- La máxima amplitud de las componentes depende de la amplitud, del ancho y del período del pulso ($= A.\tau/T$)
- La primer frecuencia a la cual la amplitud de las componentes es cero, es inversamente proporcional al ancho del pulso ($= 2.\pi/\tau$)

SIMETRIAS

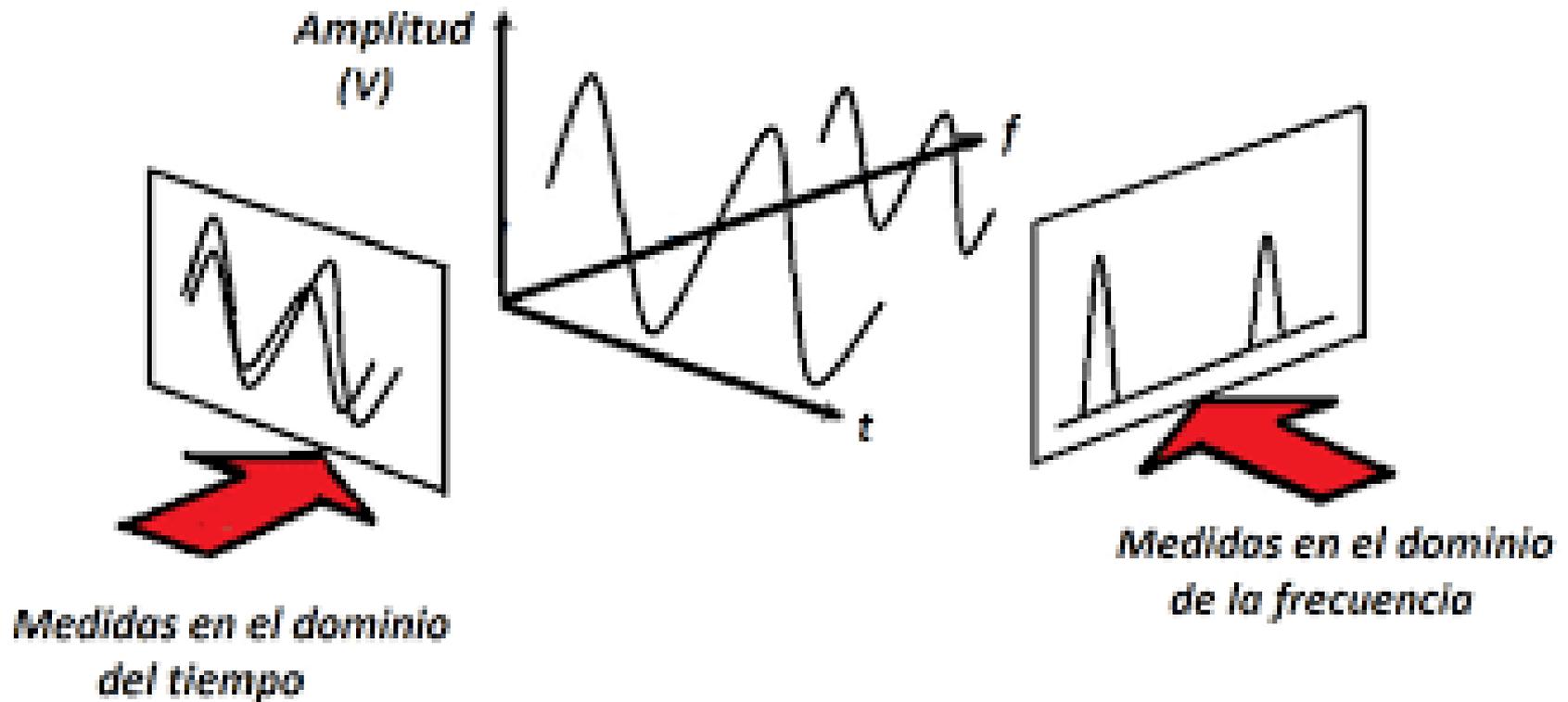
Para la señal digital periódica de entrada, la elección arbitraria del punto de referencia para el eje vertical, simplifica la expresión matemática de la serie de Fourier de salida.

- Si la referencia coincide con el instante en el cual la onda cuadrada pasa por cero, la simetría es impar, y las componentes serán funciones seno.
- Si la referencia coincide con el instante en el cual la onda cuadrada tiene máxima amplitud, la simetría es par, y las componentes serán funciones coseno.

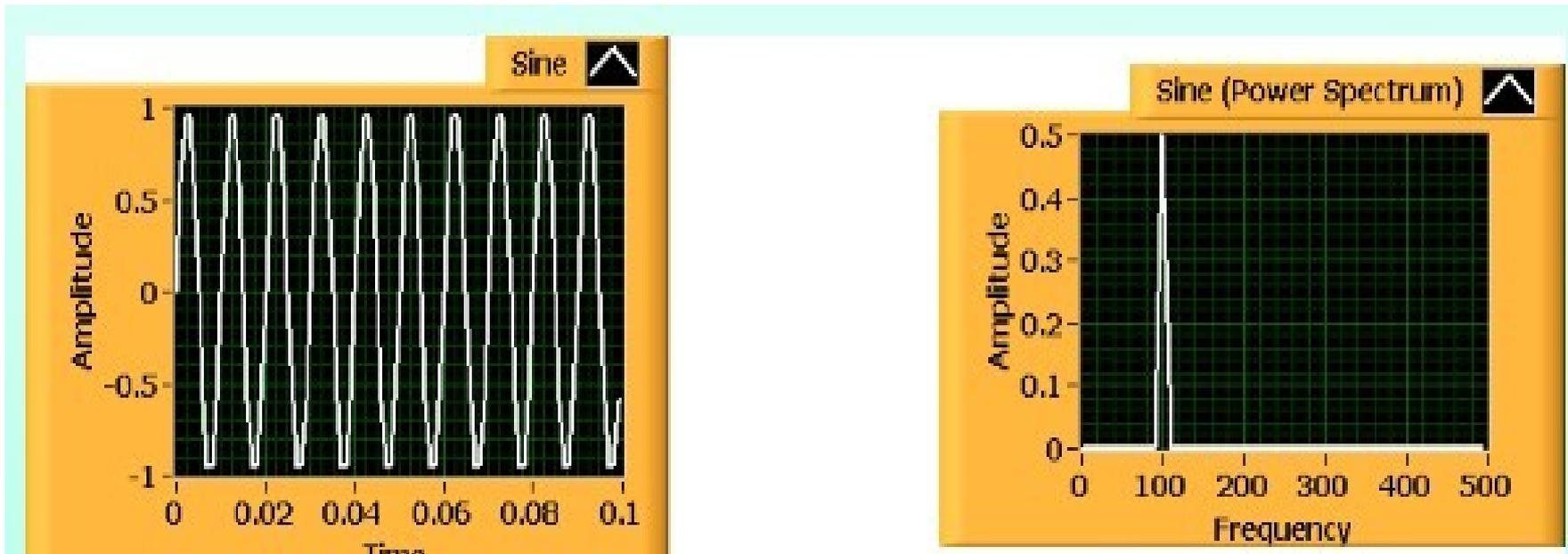
SIMETRIAS



El dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia son dos mundos separados, pero uno es reflejo del otro.



Las señal en el dominio del tiempo se observan con un osciloscopio y las señales en dominio de la frecuencia se observan con un analizador de espectro.



ANCHO DE BANDA

Es el intervalo de frecuencias $\Delta f = f_2 - f_1$, en el cual se concentra la mayor parte de su energía.

Existe una relación inversa entre el ancho de un pulso τ y el ancho de banda Δf cubierto por el espectro de frecuencia.

La mayor parte de la energía estará concentrada entre las frecuencias tal que:

$$0 < f < \frac{1}{\tau}$$

El primer valor para el cual la componente espectral C_n se anula puede considerarse como una medida aproximada del ancho de banda.

- contiene la mayor parte de la energía de la señal
- sirve para diseñar el sistema de comunicaciones.

Este valor resulta igual a:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

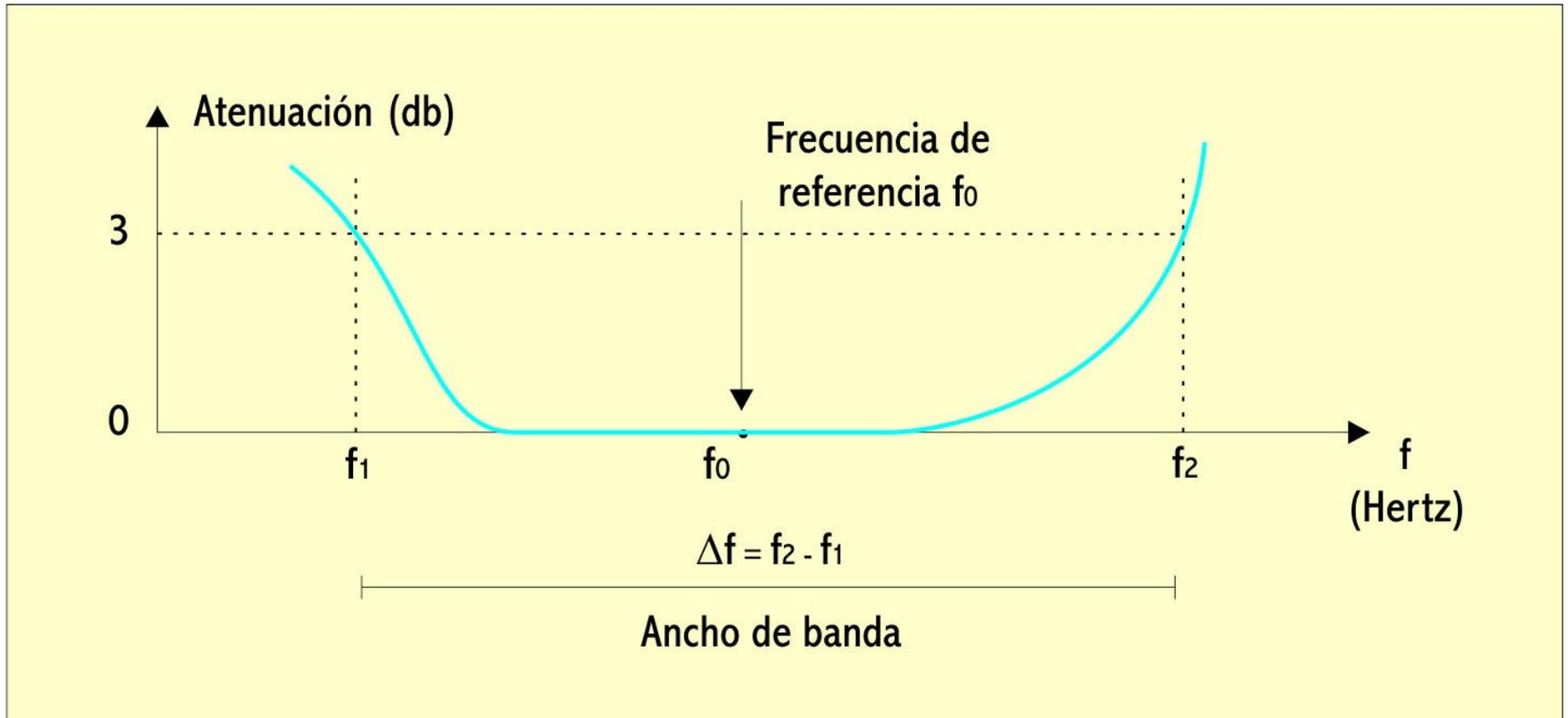
ANCHO DE BANDA DE UN CANAL

Es el intervalo de frecuencias para las cuales la atenuación y la distorsión lineal permanecen limitadas y constantes.

Los límites son arbitrarios, generalmente se definen donde la atenuación disminuye el valor de la señal a la mitad del centro del canal.

Los valores de f_1 y f_2 se denominan límites inferior y superior del ancho de banda de una señal.

Atenuación de un canal analógico en función de la frecuencia.



EFFECTOS DEL ANCHO DE BANDA

La limitación más importante para el funcionamiento de un sistema de comunicaciones es el ancho de banda del canal.

El ancho de banda está directamente relacionado con la cantidad de información que puede pasar a través del intervalo de frecuencias que define.

A medida que aumenta la velocidad del transmisor, la señal disminuye el ancho del pulso y se expande el espectro, por lo que habrá armónicas que caerán fuera del ancho de banda y no llegarán al receptor.

En un canal ideal el ancho de banda es infinito, pasan todas las componentes armónicas sin atenuación y la señal recibida es igual a la transmitida.

En un canal real se pierden algunas armónicas.

Al recomponer la señal a partir de las armónicas que llegaron, faltan algunas componentes originales y el resultado será distinto de la señal origen, observando una distorsión.

CAPACIDAD DE UN CANAL

- La capacidad de un canal es la cantidad de información generada en la fuente que puede atravesar el canal para llegar al sumidero.
- **El ancho de banda se aplica a canales analógicos y se mide en Hertz o sus múltiplos (kHz, MHz).**
- **La capacidad se aplica a canales digitales y se mide en bps o sus múltiplos (kbps, Mbps).**
- El IEEE usa la unidad bps, pero el UIT-T usa la unidad bit/s.
- En la práctica es común confundir los términos y se habla del ancho de banda de los canales digitales en bps.

Ancho de banda requerido por distintos servicios

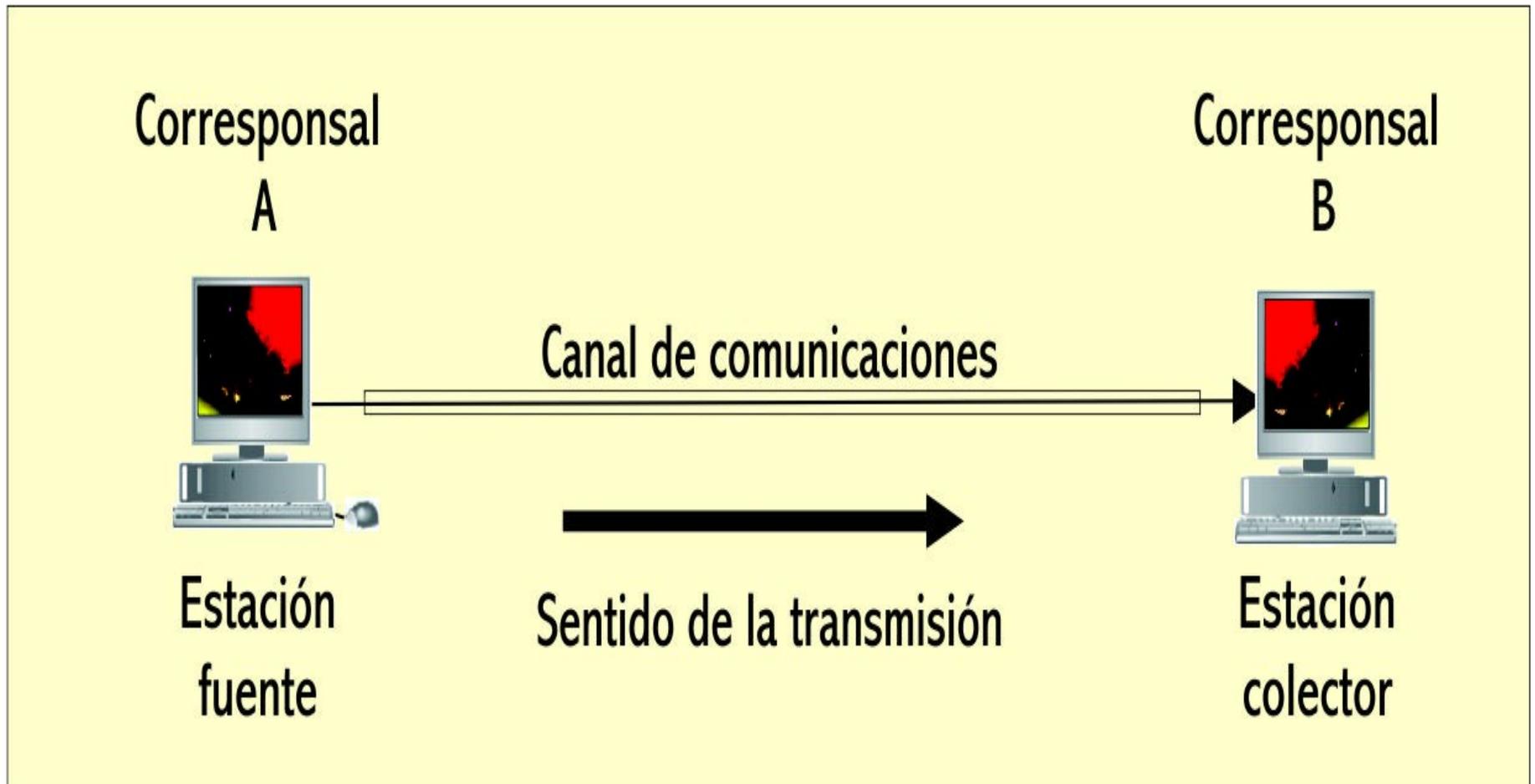
Nº	Formas de información	Ancho de Banda [KHZ]
1	Canal telefónico de voz (par de abonado)	3,1
2	Canal de voz analógico por onda portadora	4
3	Música de alta fidelidad (HI FI)	16
4	Disco compacto (CD)	22
5	Canal de voz digital	64 / 65
6	Canal de radio FM	200
7	Canal de televisión (CATV)	6000
8	Teleconferencia (a través de redes digitales ISDN)	128 / 256

RELACION ENTRE ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE MODULACION

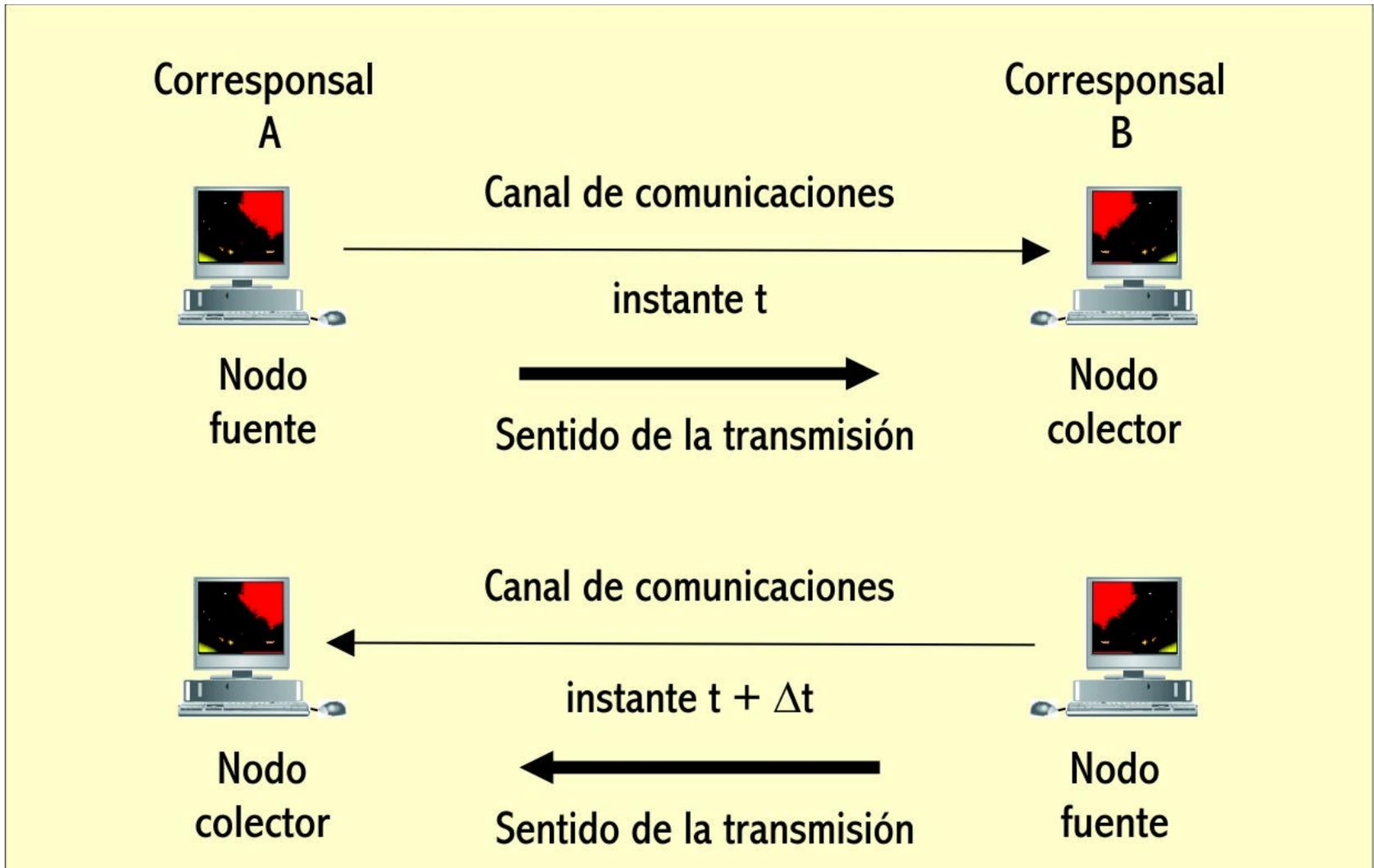
- Cuanto mayor es la velocidad de modulación menor es el ancho del pulso transmitido.
- Este pulso encuentra dificultades al cruzar el canal, ya que la energía almacenada en el sistema eléctrico se opone al cambio brusco de la polaridad que se produce en cada pulso transmitido.
- Si la velocidad de modulación es mayor que el ancho de banda disponible, el canal aumentando la tasa de errores.
- Para cada canal hay tres parámetros que están muy relacionados entre sí:
 - Ancho de banda.
 - Tasa de errores.
 - Velocidad de modulación.

TIPOS DE TRASMISION

SIMPLEX: una estación siempre actúa como fuente y la otra siempre como colector.



SEMIDUPLEX: Una estación es fuente y otra estación es colector durante un periodo, pero luego intercambian su función.



DUPLEX: dos estaciones actúan a la vez como fuente y colector, transmiten y reciben en forma simultánea.

Los servicios dúplex requieren tres condiciones:

- Medio físico capaz de transmitir en ambos sentidos.
- Sistema de transmisión capaz de enviar y recibir a la vez.
- Protocolo de comunicaciones que lo permita.



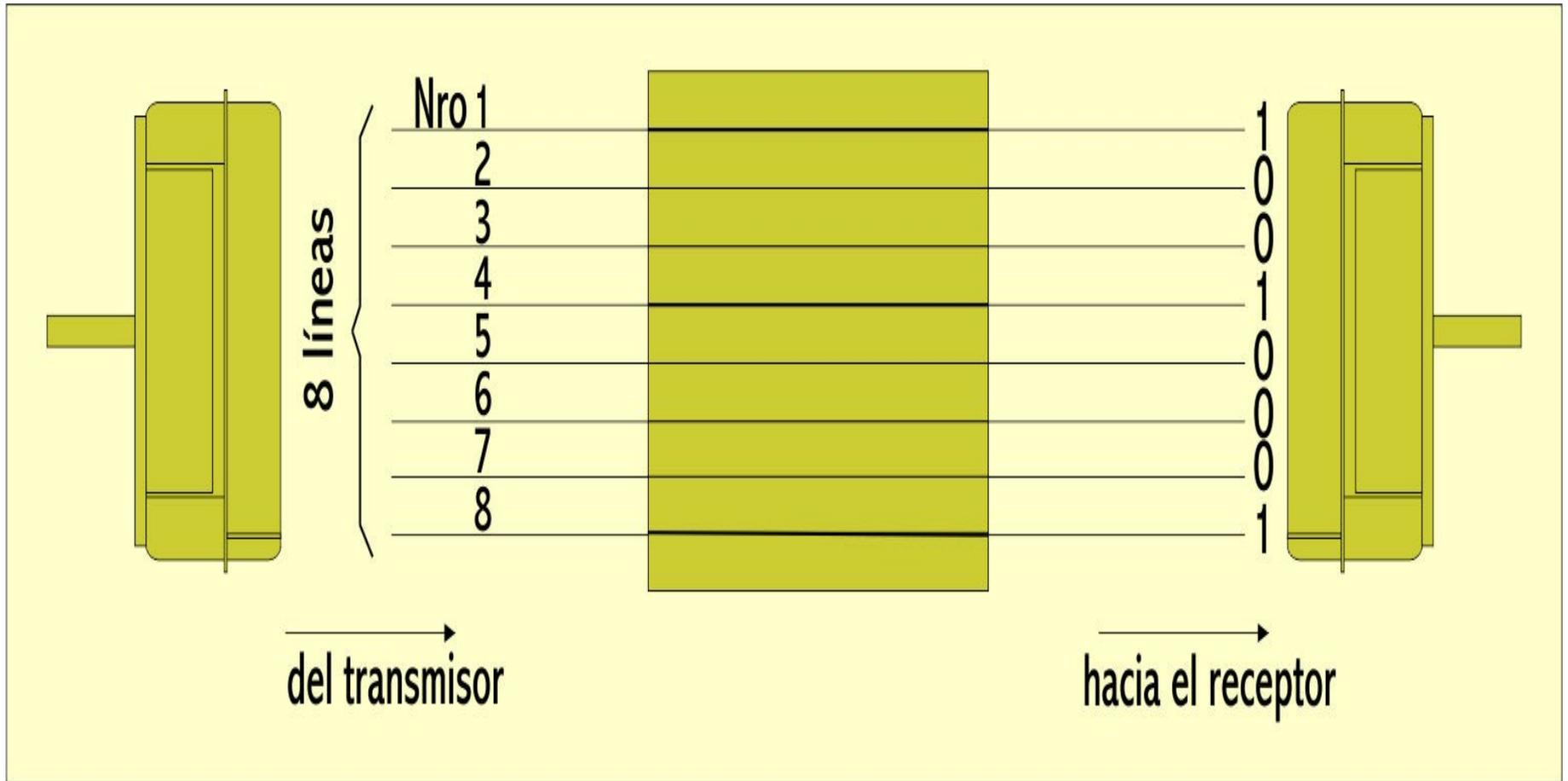
MODOS DE TRASMISION

Se necesitan procedimientos muy precisos para enviar y recibir información, para saber exactamente dónde comienza y dónde finaliza cada conjunto de bits que componen los campos que constituyen los paquetes transmitidos.

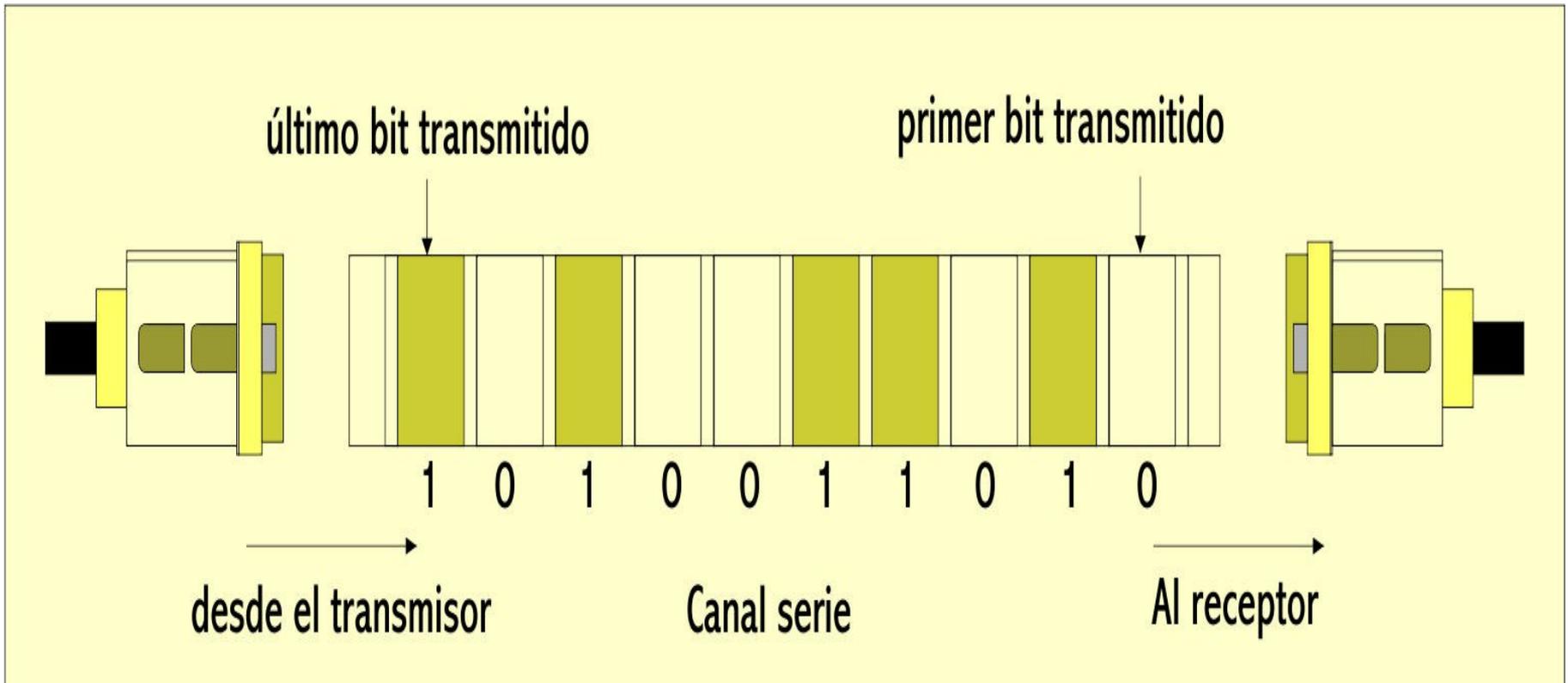
TRASMISION EN PARALELO: Los n bits que componen cada byte o carácter se transmiten a la vez en un solo ciclo de reloj.

- Se usa en las computadoras para realizar la transferencia interna de los datos.
- Códigos de 8 bits por byte: en cada ciclo se transfieren los 8 bits de cada carácter simultáneamente.
- Se usa para transmitir muchos bytes por segundo en cortas distancias porque varía el tiempo de llegada de los bits.

Transmisión en modo paralelo



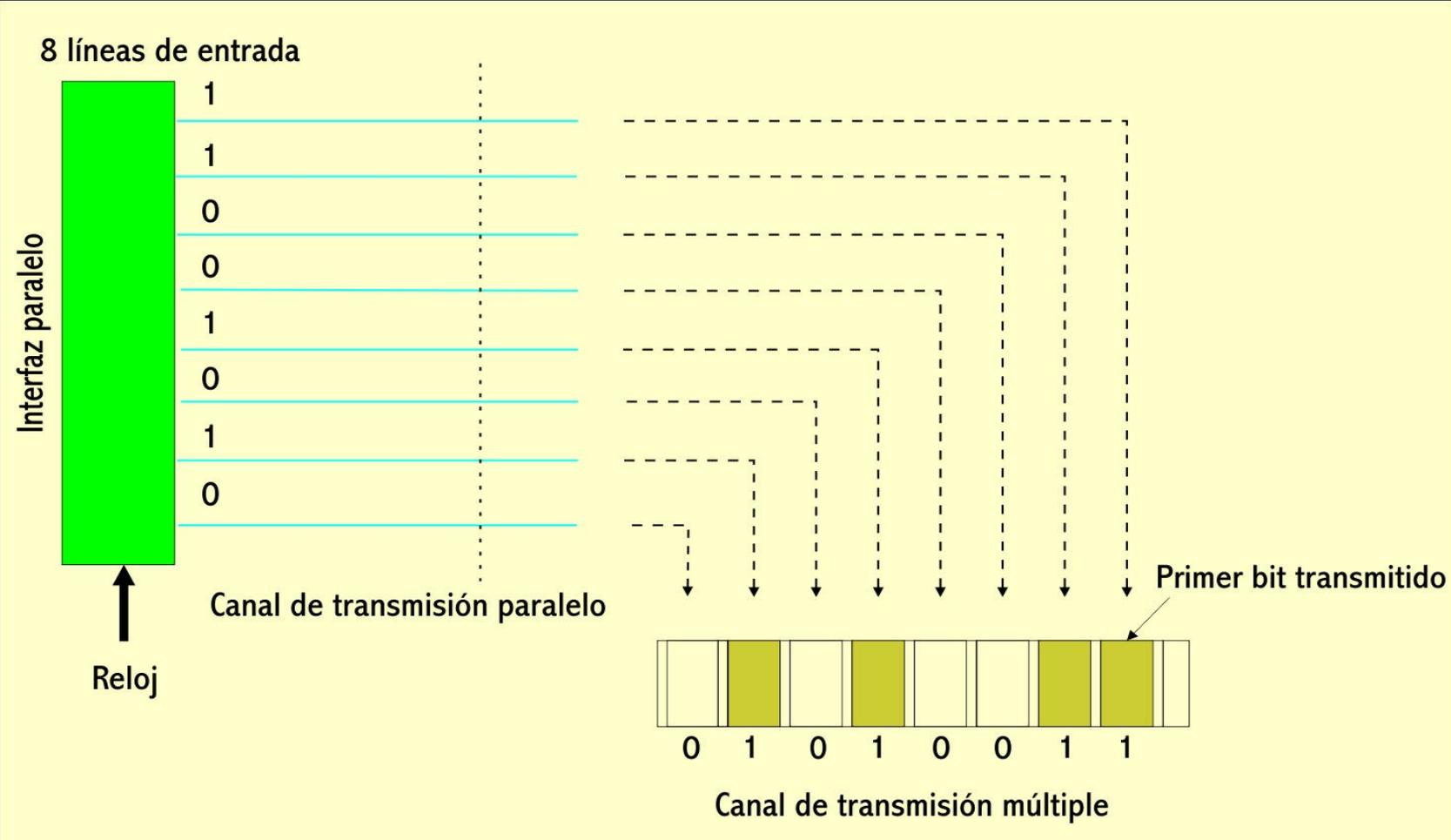
TRASMISION EN MODO SERIE: Los bits que componen cada carácter se transmiten uno detrás del otro con cada ciclo de reloj, a razón de un bit por ciclo.



SERIALIZACION Y DESERIALIZACION

- El modo serie es típico de los sistemas de comunicaciones.
- El modo paralelo es típico de los sistemas informáticos.
- Las señales se transforman del modo paralelo al modo serie por serialización y al revés por deserialización.
- La secuencia de los bits transmitidos se efectúa siempre por orden de pesos crecientes ($n1, n2, \dots, n8$), al revés de como se escriben las cifras en el sistema de numeración binario.
- Cuando se transmite con bit de paridad, va siempre en último término.

Serialización de los datos



Comunicacione s

Clase 4

Unidades de medición y cálculo de enlaces

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Es la base de la ingeniería y es la versión moderna del sistema métrico decimal.

Define unidades básicas y derivadas, múltiplos y submúltiplos, reglas para la escritura de las magnitudes, etc.

Las unidades básicas son siete:

- longitud: metro (m)
- tiempo: segundo (s)
- masa: kilogramo (kg)
- corriente eléctrica: amperio (A)
- temperatura termodinámica: kelvin (K)
- cantidad de sustancia: mol (mol)
- intensidad luminosa: candela (cd)

MÚLTIPLOS y SUBMÚLTIPLOS

- Están definidos los múltiplos hasta 10^{24} y los submúltiplos hasta 10^{-24} .
- Los múltiplos más usados son:
 - 10^3 kilo (k)
 - 10^6 mega (M)
 - 10^9 giga (G)
 - 10^{12} tera (T)
- Los submúltiplos más usados son:
 - 10^{-3} mili (m)
 - 10^{-6} micro (μ)
 - 10^{-9} nano (n)
 - 10^{-12} pico (p)

SEÑALES DE COMUNICACIONES

La transmisión de señales a través de medios de comunicaciones:

- sufre atenuaciones o pérdidas
- se amplifica a través de elementos pasivos o activos

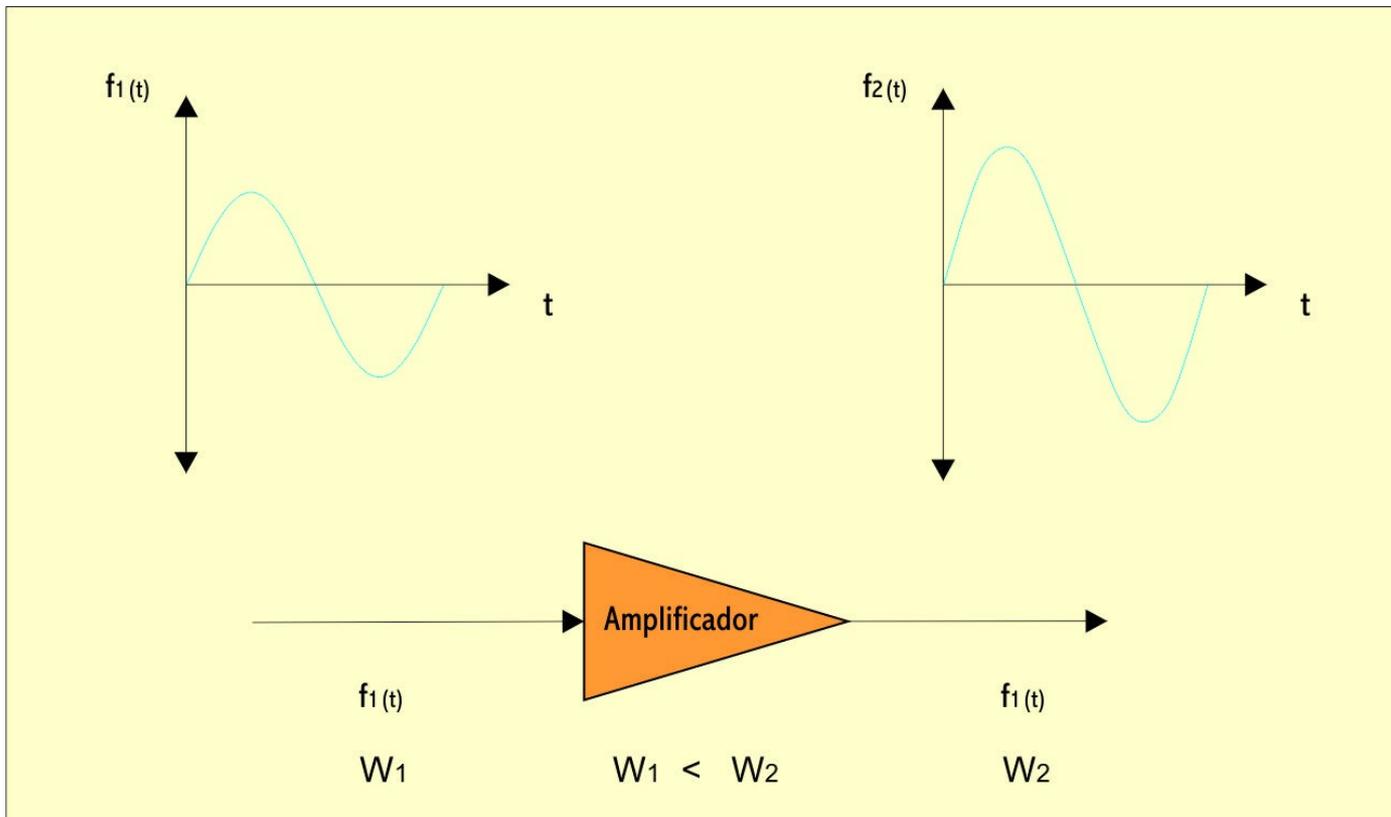
La potencia de la señal útil debe mantenerse en valores:

- que permitan su interpretación y decodificación en el receptor.
- lo suficientemente altos para estar separados del nivel del ruido
- lo suficientemente bajos como para que la señal no sufra distorsiones que la tornen inutilizable.

UNIDADES DE MEDICION

La potencia de la señal de un transmisor se mide en watts (W).

La ganancia de un amplificador es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada y se mide en veces (>1).

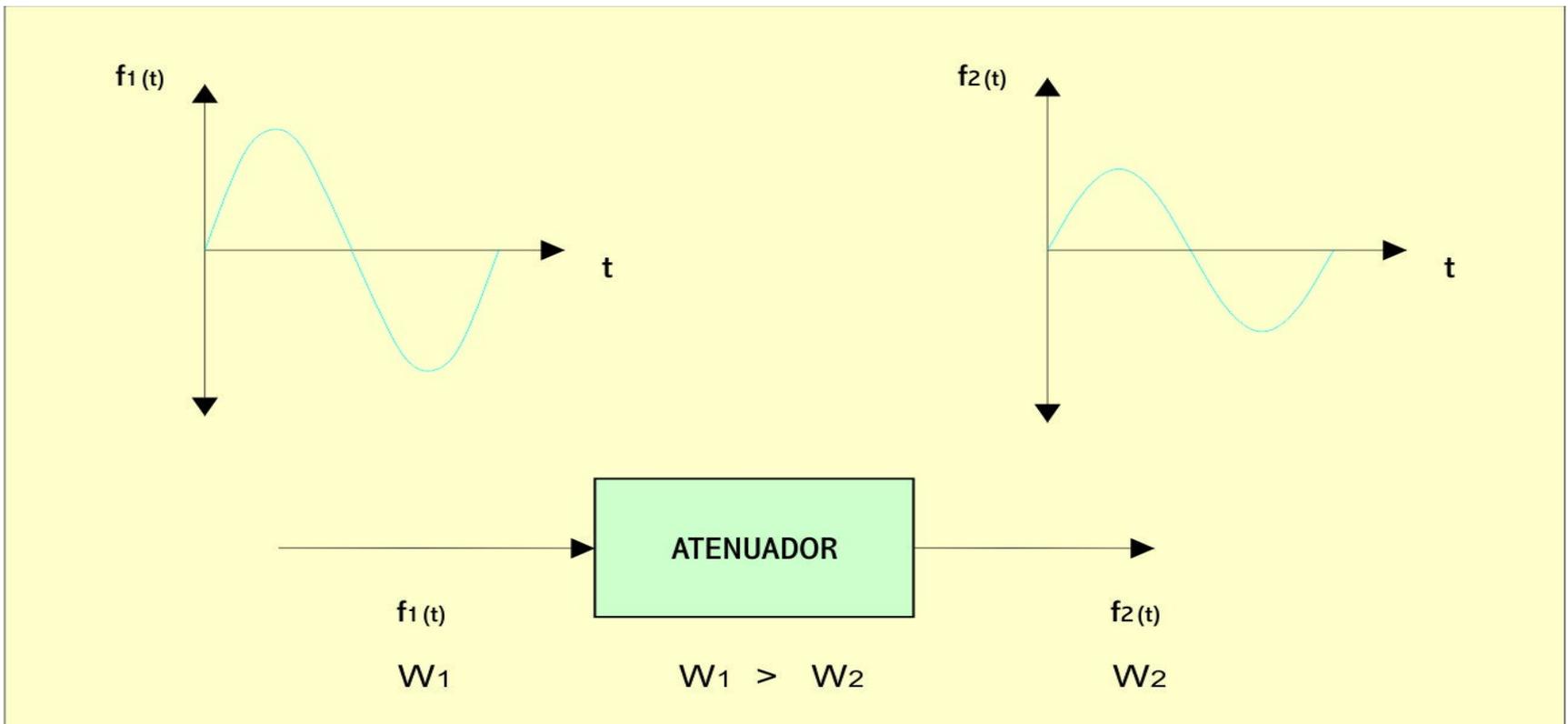


$$G = \frac{P_S}{P_E}$$

PERDIDAS

A medida que la señal se va propagando va perdiendo potencia, como cuando se intercala un atenuador.

Pérdida es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada y se mide en veces (<1).



AMPLIFICADORES EN CASCADA

Dos amplificadores conectados en cascada están uno a continuación del otro.

La potencia de entrada del amplificador A_2 será la potencia de salida del amplificador A_1 .

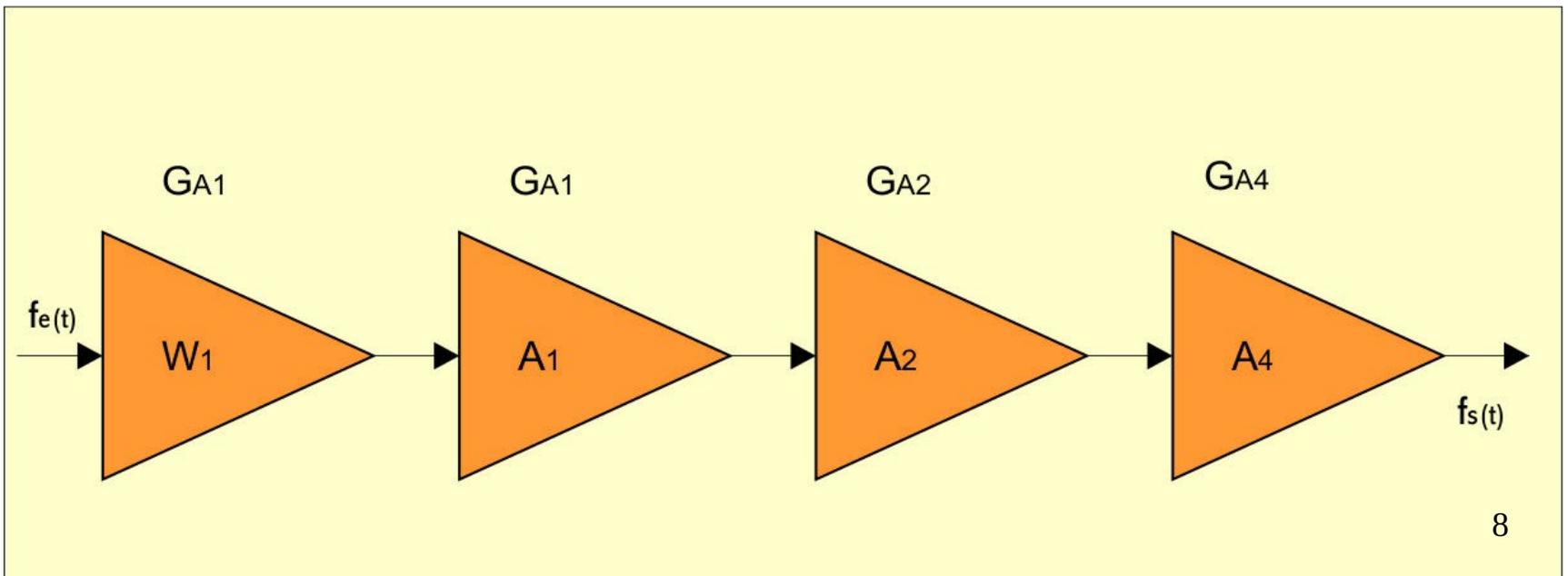
La ganancia de ambos será el producto de la ganancia de cada uno.

$$G_{A1} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}}$$

$$G_{A2} = \frac{P_{S2}}{P_{S1}}$$

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \cdot \frac{P_{S2}}{P_{S1}}$$

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S2}}{P_{E1}}$$



UNIDADES LOGARITMICAS

La ganancia expresada en veces da valores poco prácticos, sin relación con el comportamiento de la naturaleza.

El oído humano es analógico y logarítmico.

Para las mediciones se prefiere usar el decibel, que es una unidad logarítmica.

Ganancia en decibeleles:

$$G(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

Pérdida en decibeleles:

$$Perd(dB) = -10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

NIVEL DE POTENCIA

A diferencia del dB , que es una unidad de medida relativa, el dBm es una unidad de nivel absoluto de una potencia conocida en W .
Mide la potencia en un punto respecto de un valor de referencia de 1 mW :

$$dBm = 10 \log \frac{P_s \text{ [W]}}{1 \text{ mW}}$$

Cuando la potencia es menor a 1 mW , el resultado es negativo.
Para potencias grandes se toma como referencia 1 W y en ese caso la unidad se denomina dBW .

NIVEL DE TENSION

El dBu es una unidad de nivel absoluto usada para comparar la tensión en un punto respecto de un valor referencia de 0,775 V.

$$dBu = 20 \log \frac{V_s [\text{Volt}]}{0,775 \text{ Volt}}$$

Esta unidad es muy usada en la telefonía analógica.

El valor de 0,775 V es la tensión que resulta de aplicar una señal de una potencia normalizada de 1 mW sobre una impedancia de 600 Ω , que es la normalizada en los circuitos telefónicos.

Ejemplos de las ventajas de usar logaritmos

Para un amplificador donde hay una señal de entrada de 1 W vemos la relación entre los valores de la potencia de salida en W y la ganancia en dB:

P_{salida} (Watt)	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000	100.000.000
Ganancia en db	10	20	30	40	50	60	70	80

Multiplicar por 10 la potencia equivale a sumar 10 dB al nivel.

Dividir por 10 la potencia equivale a restar 10 dB al nivel.

Como $\log 2 = 0,3$ y $\log 1/n = -\log n$ entonces:

- duplicar la potencia equivale a sumar 3 dB al nivel
- dividir la potencia a la mitad equivale a restar 3 dB al nivel

RELACION ENTRE dBm Y dBu

$$dBm = 10 \log \frac{P_s [W]}{1 \text{ mW}} \quad W = \frac{V^2}{Z} \quad 1 \text{ mW} = \frac{0,775V^2}{600}$$

Reemplazando: $dBm = 10 \log \frac{V^2 / Z}{(0,775V)^2 / 600}$

Entonces: $dBm = 10 \log \frac{V^2}{(0,775V)^2} + 10 \log \frac{600}{Z}$

$$dBm = 20 \log \frac{V}{0,775V} + 10 \log \frac{600}{Z}$$

$$dBm = dBu + 10 \log \frac{600}{Z}$$

El factor de c $dBm = dBu + \text{Factor de Corrección}$ a impedancia es distinta del valor de referencia de 600 Ω .

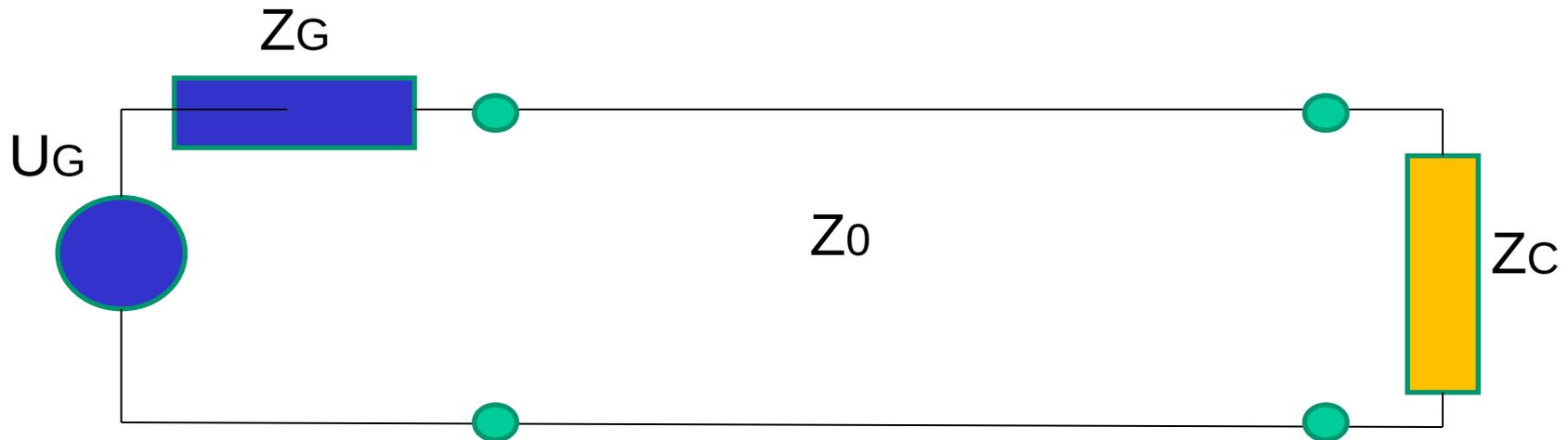
MODELO DE UNA LINEA DE TRASMISION

La línea sirve para unir el generador a una carga.

Un generador se caracteriza por una tensión, una frecuencia y una impedancia de salida.

Una línea se caracteriza por una impedancia característica y un ancho de banda.

La carga se caracteriza por una impedancia.



ADAPTACION

La máxima transferencia de potencia del generador a la carga se produce cuando hay adaptación de impedancias:

$$Z_G = Z_0 = Z_C$$

Si despreciamos la línea y conectamos el generador a la carga, debe ser $Z_G = Z_C$

Si la carga cambia su impedancia se produce una pérdida por desadaptación que se puede calcular con el factor de corrección ya visto: $FC = 10 \times \log (Z_C/Z_G)$

Para $Z_G = 600$ ohms, si $Z_C =$ 600 ohms el $FC =$ 0 dB

300 -3

75 -9

50 -10,8

NIVELES DE REFERENCIA

La elección del nivel de referencia depende de la tecnología usada.

- En telefonía las señales están en el orden de los mW, por eso se tomó como referencia 1mW para expresar nivel de potencia en dBm.
- En transmisores de radio las señales están en el orden de los W, por eso se tomó como referencia 1 W para expresar nivel de potencia en dBW.
- En sistemas de TV por cable las señales están en el orden de los mV, por eso se tomó como referencia a 1mV para expresar nivel de tensión en dBmV.

UNIDADES ALEMANAS

El Neper es una unidad relativa usada antiguamente como alternativa al dB.

La base de los logaritmos usados es el número e (2,7172), en lugar de 10.

$$\text{Neper (n)} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_s}{P_E}$$

Relaciones entre el *dB* y el *Neper*:

$$1 \text{ Neper} = 8,686 \text{ dB}$$

$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Neper}$$

CALCULO DE ENLACES

Es una metodología que permite dimensionar un sistema de comunicaciones formado por tres elementos:

- transmisor
- medio
- receptor

Cada uno tiene características específicas que deben ser adaptadas a cada caso

CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS

Trasmisor: - frecuencia de trabajo (Hz)
- potencia de salida (W)

Medio: - atenuación a la frecuencia de trabajo (dB)

Receptor: - frecuencia de trabajo (Hz)
- sensibilidad: es el umbral por debajo del cual no se detecta la señal
(se puede expresar en V, W, dBm)

ECUACION DEL ENLACE

$$P - A > S$$

Es la condición para que el enlace sea posible.

Vale en unidades logarítmicas, donde:

P: potencia del transmisor

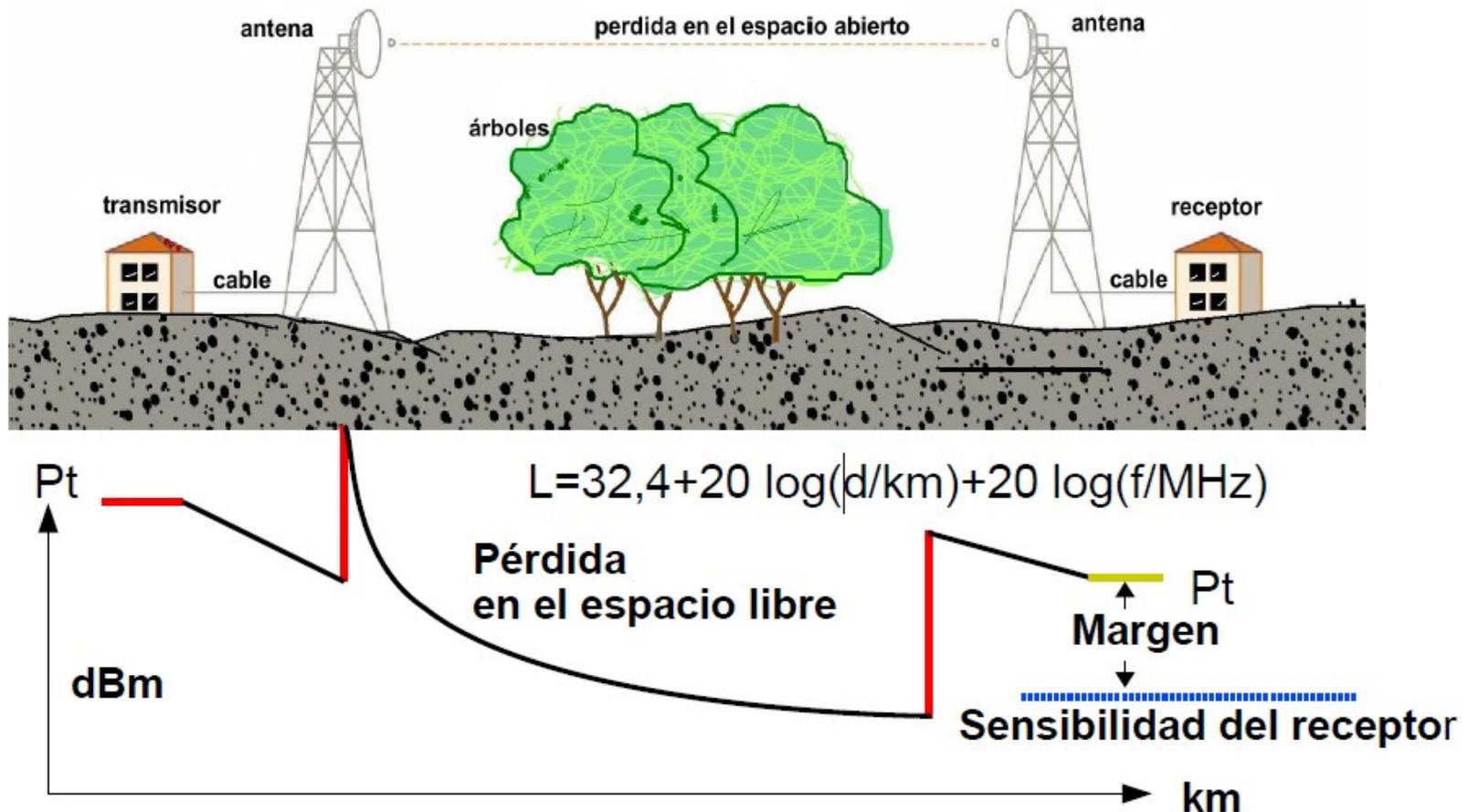
A: suma de las atenuaciones del medio

S: sensibilidad del receptor

Si la ecuación no se verifica, se debe:

- aumentar la potencia de transmisión
- cambiar el receptor por otro más sensible
- cambiar el medio por otro con menor atenuación
- agregar elementos que compensen las pérdidas

En un enlace a la potencia de salida se le suman las ganancias de antenas y se le restan las pérdidas para calcular la potencia recibida.



LA TRASMISION EN CABLES DE COBRE

- Se usan cables de cobre con distintos materiales y diseño.
- La magnitud relacionada con la capacidad que tiene de conducir la corriente eléctrica se denomina conductancia (G) que es la inversa de la resistencia eléctrica (R).
- La conductancia se mide en Siemens y la resistencia en Ohms.
- La ley de Ohm relaciona tensión (causa), corriente (efecto) con impedancia (características del medio):

$$\mathbf{V [Volt] = I [Ampere] \cdot Z [Ohm]}$$

V [Volt] = tensión

I [Ampere] = corriente

Z [Ohm] = impedancia

La impedancia se puede expresar:

$$\mathbf{Z = R + j (XL - XC)}$$

Donde: $R =$ *resistencia óhmica*

$j =$ *unidad imaginaria*

$XL =$ *reactancia inductiva*

$XC =$ *reactancia capacitiva*

Hay dos términos:

- uno real que es la resistencia óhmica, que no depende de la frecuencia,
- otro imaginario, compuesto por las reactancias inductiva y capacitiva.

Para los cables de cobre la atenuación es función de las características de cada cable y de la frecuencia de la señal transmitida.

La resistencia de un conductor se calcula como:

$$R = \rho \cdot l / S$$

Donde R: resistencia óhmica [Ω]

ρ : resistividad del metal [$\Omega \cdot m$]

l: longitud del cable [m]

S: sección del conductor [m^2]

EFECTO PELICULAR

Otro factor que aumenta la atenuación de los cables es la frecuencia.

Hay un “efecto pelicular” ya que la corriente tiende a circular por la periferia del conductor a medida que aumenta la frecuencia.

La profundidad a la que penetra la corriente se calcula:

$$\delta = \sqrt{2 / (\omega \mu \sigma)}$$

Donde:

δ = profundidad de penetración [*metro*].

σ = conductividad eléctrica del metal [*S m⁻¹*]

μ = permeabilidad magnética [*Henry m⁻¹*]

f = frecuencia [*Hertz*]

ATENUACION DE UN CABLE DE COBRE

La atenuación unitaria de un cable de cobre se calcula:

$$P \text{ (dB/m)} = \alpha \cdot \sqrt{f}$$

donde: f es la frecuencia

α es una constante para cada material y geometría

El fabricante publica una tabla o una curva para cada cable, generalmente en dB cada 100 m.

Un valor típico es de 3 dB cada 100 m para 1 MHz.

ATENUACION DE OTROS MEDIOS

Más adelante veremos la atenuación unitaria de una fibra óptica, que depende de la longitud de onda (frecuencia).

Un valor típico es de 0,2 dB/km

También veremos la atenuación del espacio libre en la propagación de la señal de radio, que tiene tres componentes:

- una fija
- una que depende la frecuencia
- otra que depende de la distancia.

Comunicaciones

Clase 5

Transmisión en banda base

APLICACION

La técnica de transmisión en banda base se aplica a señales digitales que se envían mediante cables de cobre.

Las primeras redes de datos se montaron sobre las redes telefónicas con cables de cobre.

Se desarrollaron técnicas que adecuaron la señal digital a un medio que había sido diseñado para transmitir señales analógicas.

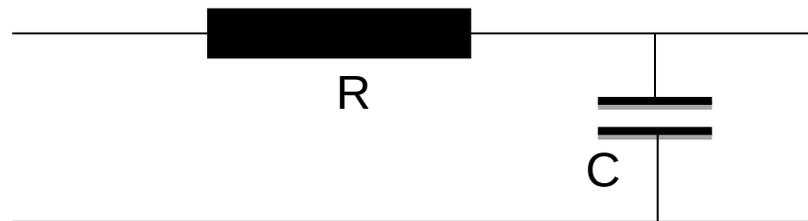
Con la aparición de las redes digitales, estas técnicas se siguen usando en las redes locales, con cables de cobre dentro de edificios.

MODELO DE UN ENLACE POR CABLES DE COBRE

Un cable tiene parámetros eléctricos distribuidos que se pueden representar mediante un modelo con parámetros concentrados.

Los parámetros eléctricos de un cable de cobre más significativos en la banda de frecuencias telefónica son:

- la resistencia del conductor, en serie con la señal
- la capacidad entre el conductor y la tierra, en derivación

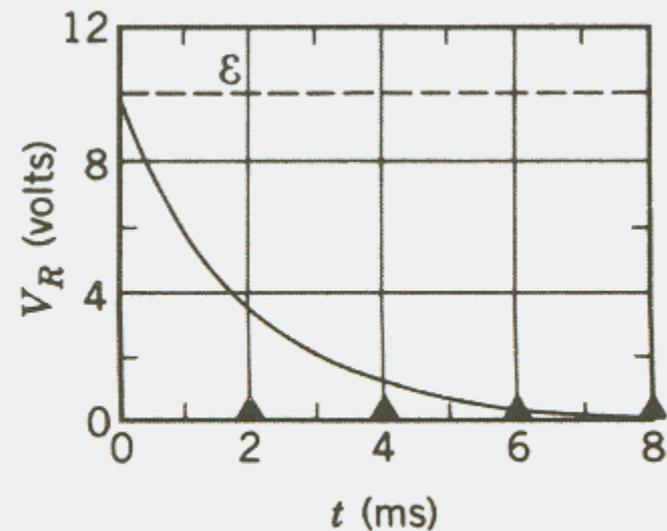
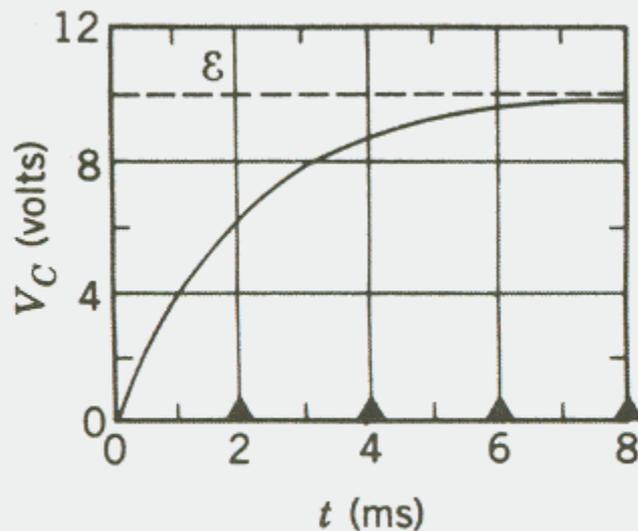


RESPUESTA DEL CABLE DE COBRE A LA SEÑAL DIGITAL

Un cable inicialmente tiene descargado el capacitor.

Cuando se aplica a la entrada una tensión fija comienza un proceso de carga hasta que a la salida aparece el valor de la entrada.

Cuando la tensión de entrada pasa a cero comienza a descargarse el capacitor hasta que la tensión de salida llega a cero.



Los procesos de carga y descarga tienen una duración que depende del producto entre R y C.

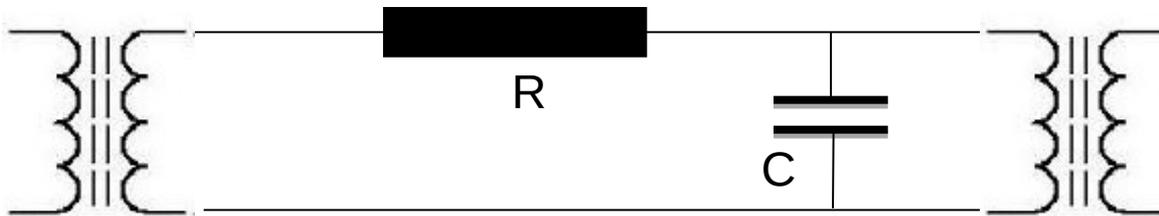
Si las transiciones de la señal de entrada son lentas, el proceso de carga y descarga se completa y la señal de salida es parecida a la de entrada.

Si las transiciones de la señal de entrada son muy rápidas, el proceso de carga y descarga no se completa y la señal de salida se distorsiona.

Las transiciones de la entrada están dadas por el ancho del pulso de la fuente, que debe ser mayor al producto RC del medio.

CABLE CON TRANSFORMADOR

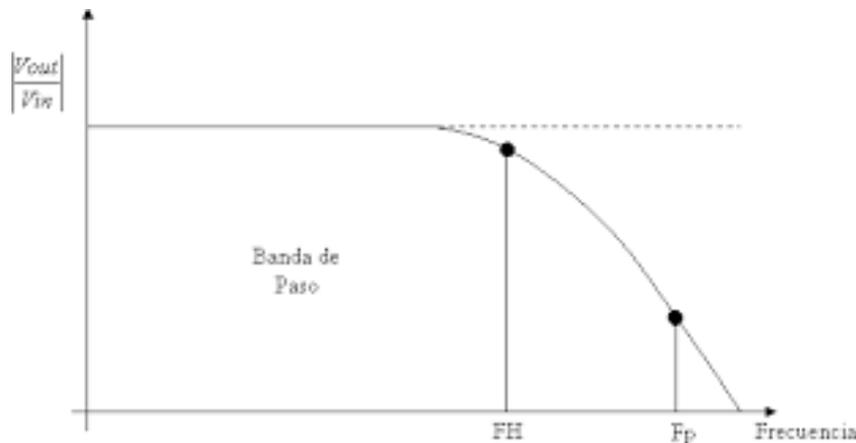
Para proteger las instalaciones unidas por cables largos se debe mantener la aislación de la corriente continua, por lo que se intercalan transformadores de relación 1:1 en ambos extremos.



RESPUESTA EN FRECUENCIA

El comportamiento de un cable en función de la frecuencia depende de su configuración.

- El cable de cobre se comporta como un filtro pasabajos, dejando pasar las señales hasta una frecuencia de corte.
- El cable de cobre con transformadores se comporta como un filtro pasabanda dejando pasar las señales dentro de un intervalo de frecuencias.



TIPOS DE SEÑAL DIGITAL

Cuidado: las definiciones de los códigos no están totalmente normalizados, hay variantes (tomaremos como referencia al libro de la materia)

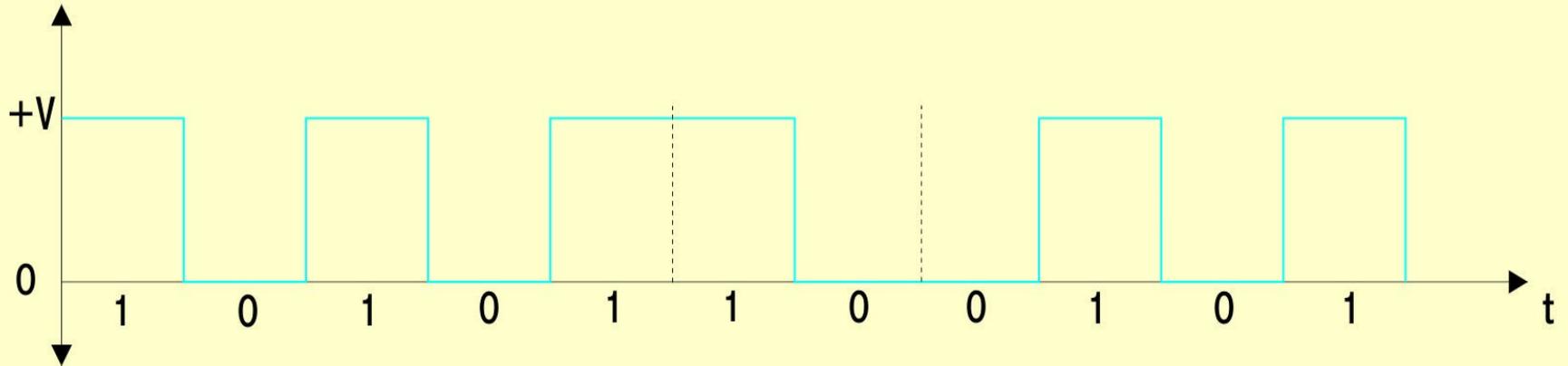
Señal unipolar

El valor que representa a un determinado dígito binario, sea éste un cero o un uno, toma siempre la misma polaridad, positiva o negativa, mientras que el otro dígito toma el valor cero.

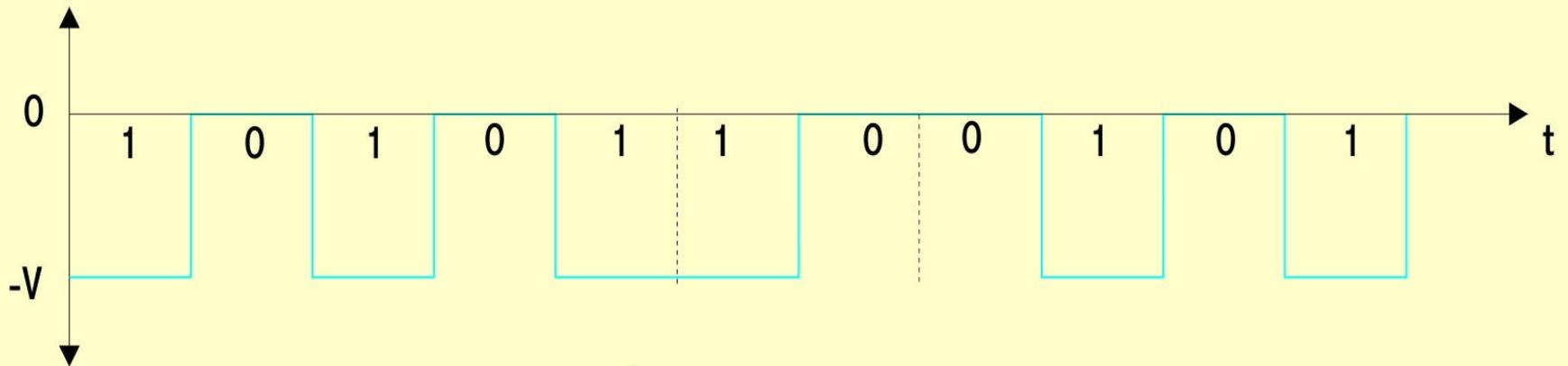
Dependiendo de la polaridad, se tendrán señales unipolares positivas o negativas.

Se puede representar un 1 o un 0 por el encendido o el apagado de una luz.

Señales unipolares positiva y negativa.



SEÑAL UNIPOLAR POSITIVA



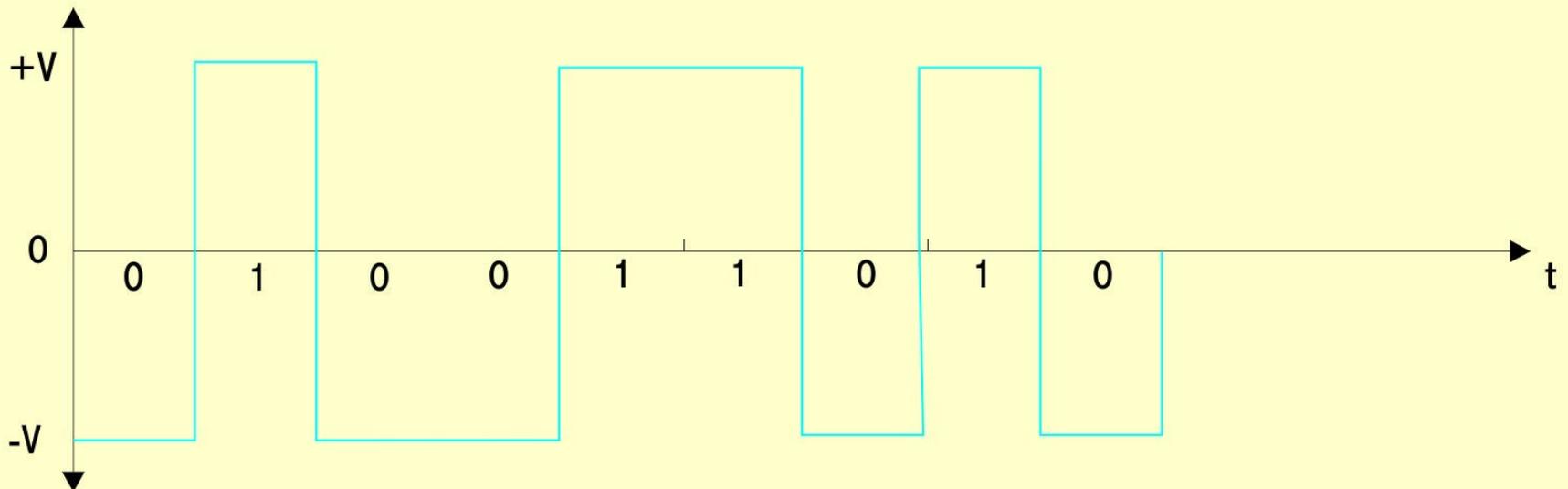
SEÑAL UNIPOLAR NEGATIVA

Señal polar

Los dígitos binarios 1 y 0 se representan por un valor positivo de tensión V_1 y otro negativo $-V_1$.

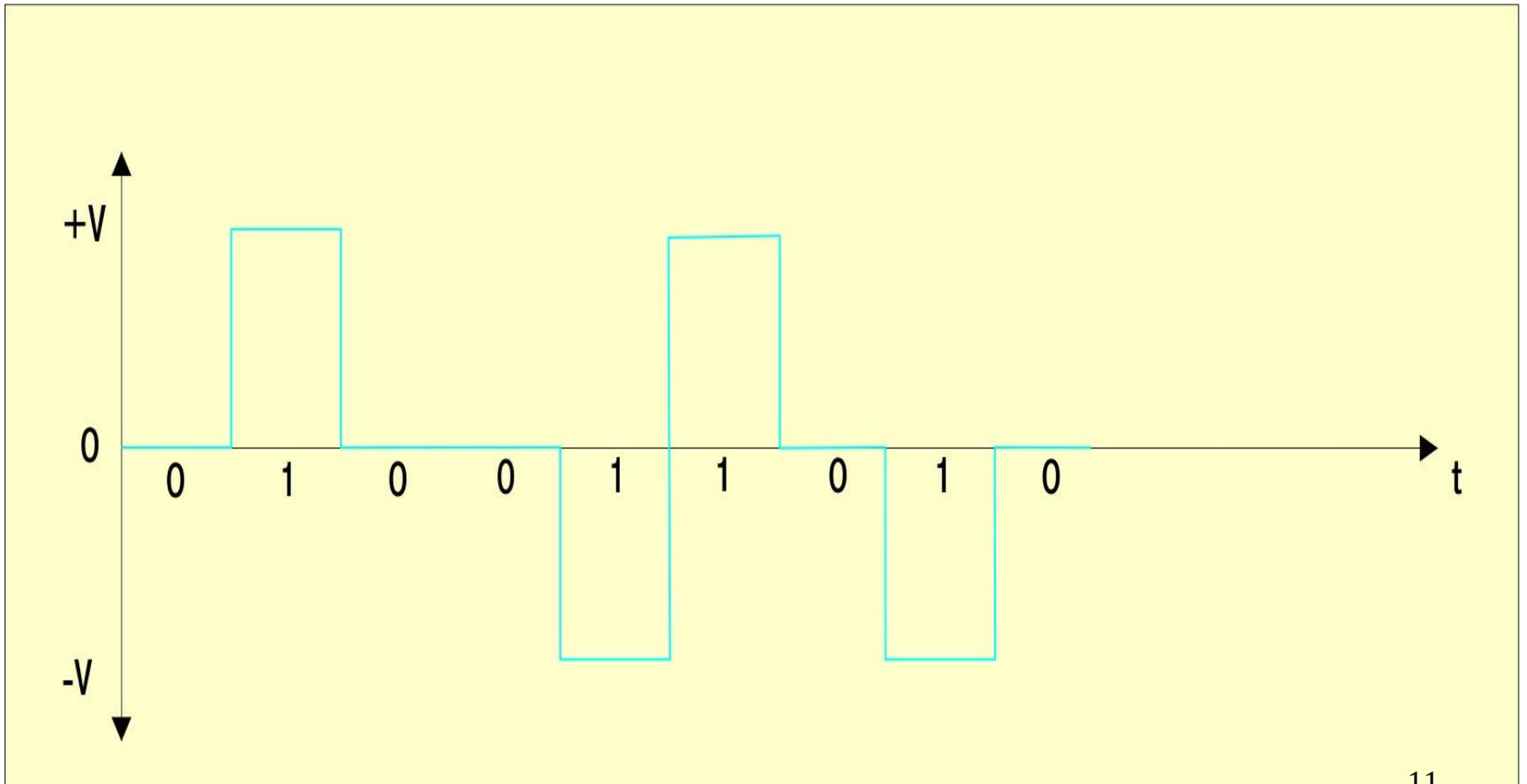
Un valor binario cualquiera tendrá siempre una polaridad determinada, mientras que el otro binario presentará polaridad inversa.

La señal en la línea nunca toma el valor cero.



Señal bipolar

Un determinado dígito va tomando valores alternados de polaridad, y el otro dígito adopta siempre el valor cero.



TRASMISION EN BANDA BASE

El uso de transmisiones en banda base es frecuente porque:

- el costo de los equipos usados es más bajo que los modems
- permite extender el alcance de las interfaces digitales.

La señal original es codificada para:

- Eliminar o disminuir la componente continua de la señal
- Transmitir una señal de sincronismo desde el transmisor hacia el receptor.
- Detectar la presencia de la señal en la línea.
- Acomodar el espectro de la señal dentro de la banda pasante del medio.

No se puede lograr todo a la vez, depende del contexto.

SEÑAL NRZ (no retorno a cero)

Es la señal más simple que se transmite:

- la señal no retorna a cero durante todo el ancho de pulso
- la transmisión del uno es la emisión de un pulso
- la transmisión del cero es la no emisión de un pulso.

Es unipolar porque:

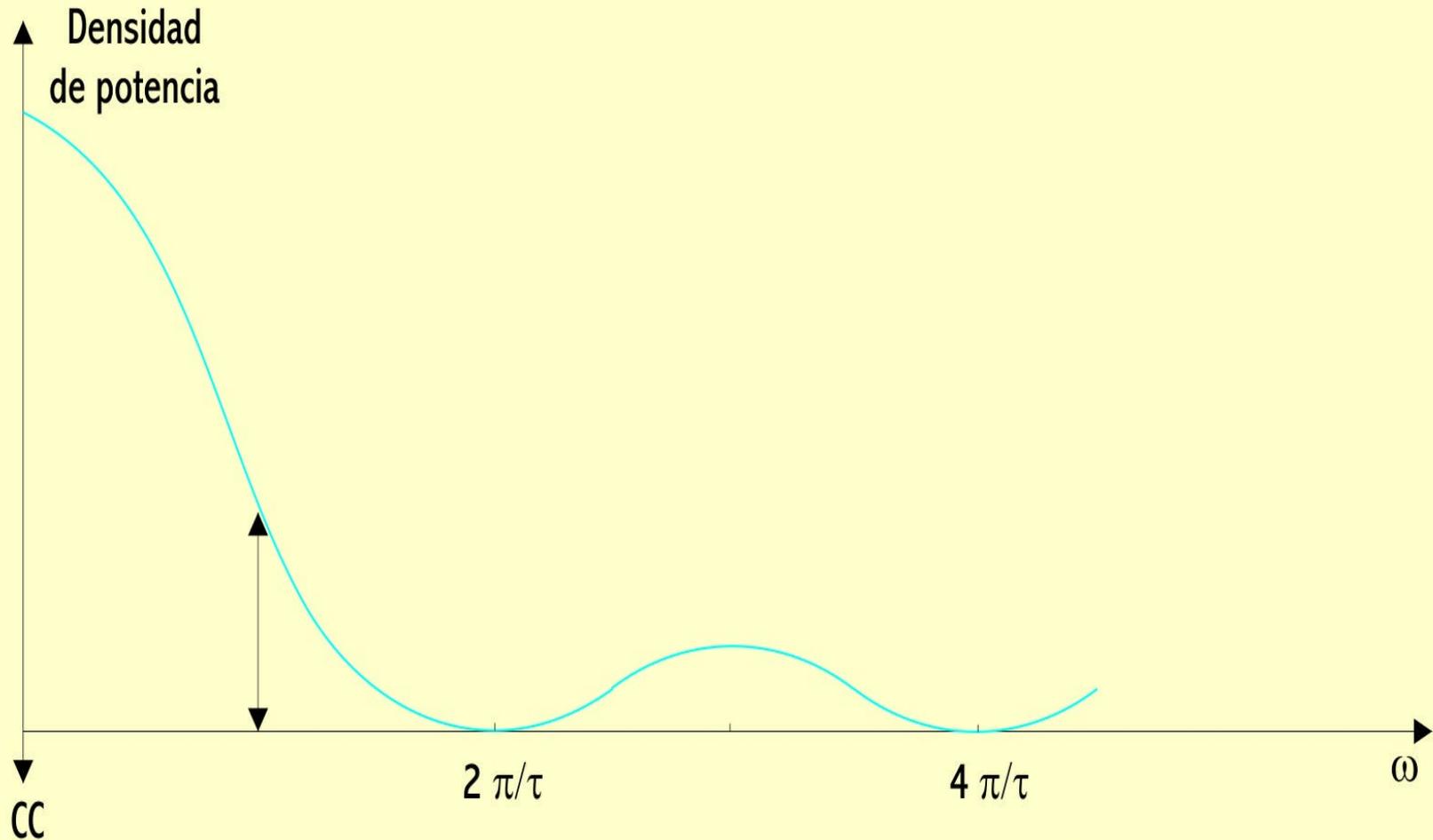
- el 1 toma siempre la misma polaridad (positiva o negativa)
- el 0 no tiene polaridad.

A este tipo de señal se la conoce también como señal ON/OFF.

Características

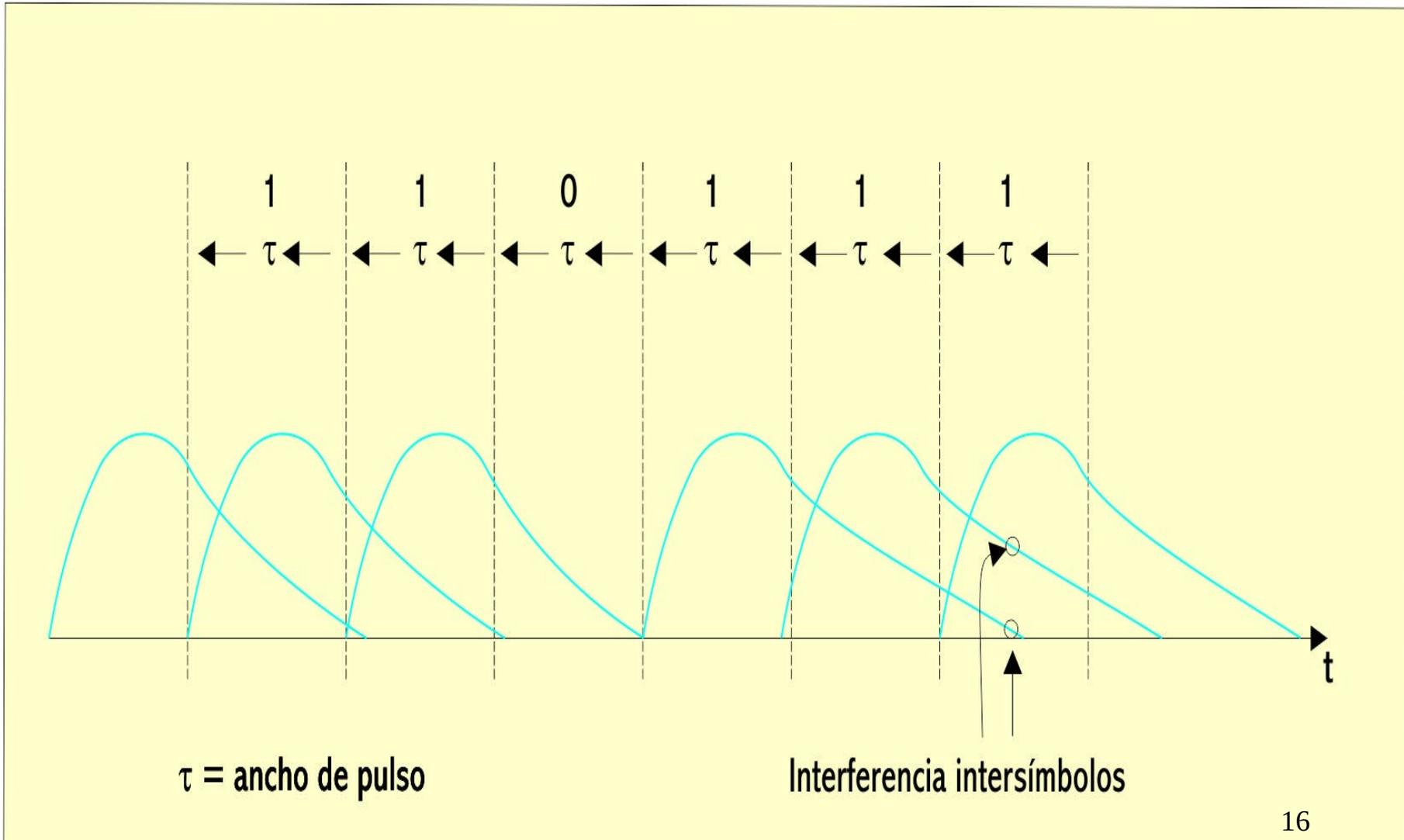
- La señal ON/OFF en el dominio del tiempo no tiene suficientes transiciones para excitar un circuito recuperador de la señal de reloj.
- Los métodos de codificación en banda base adaptan la señal ON/OFF para las condiciones de la línea de transmisión.
- Actuando sobre la forma de la señal eléctrica que representa los bits, se consigue alterar convenientemente el espectro de potencia de la señal transmitida.

Espectro de amplitud de un tren de pulsos transmitidos



ESPECTRO DE AMPLITUD DE UN TREN DE PULSOS DE ANCHO τ

Secuencia de pulsos recibido en el dominio del tiempo

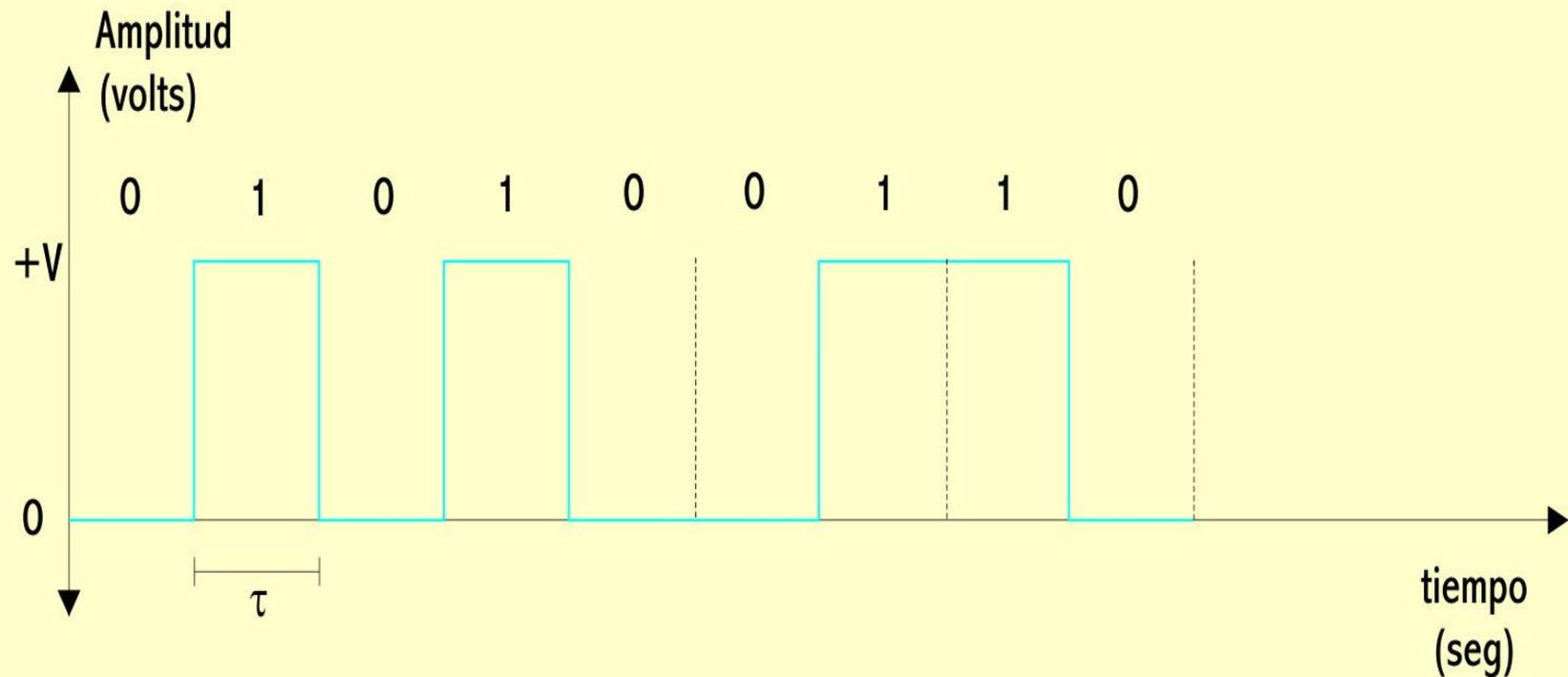


CLASIFICACION DE SEÑALES DE BANDA BASE

Según el ancho de pulso

- Señales NRZ (no retorno a cero): los bits están representados por pulsos que ocupan la totalidad del intervalo significativo (ancho de pulso).
- Señales RZ (retorno a cero): los bits se representan por pulsos que ocupan una parte (la mitad) del intervalo significativo.

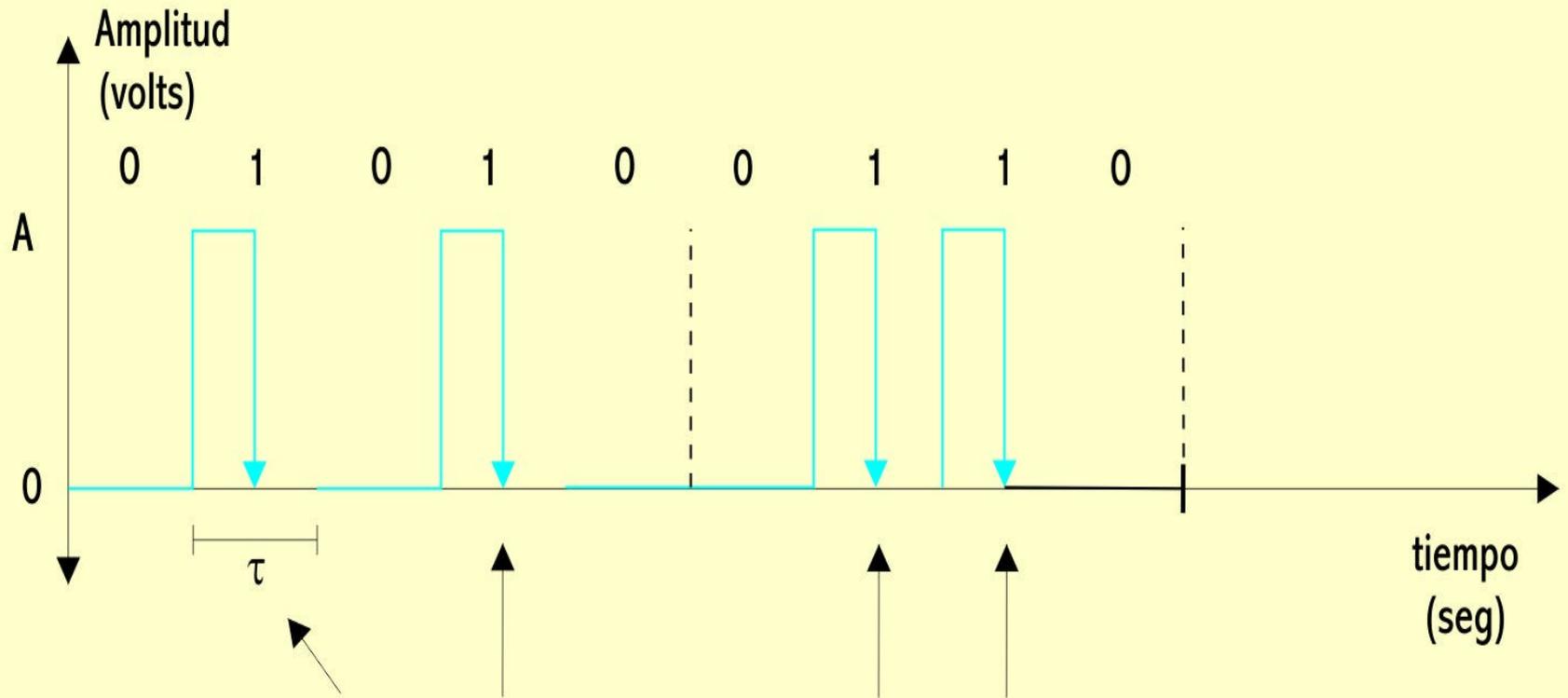
Señal NRZ



LA SEÑAL PERMANECE EN ESTADO ACTIVO (" +A" VOLTS) O EN ESTADO PASIVO ("0" VOLTS)
DURANTE TODO EL ANCHO DE PULSO τ

Señal RZ

UNIPOLAR +



LA SEÑAL RETORNA A CERO ANTES QUE FINALICE EL ANCHO DE PULSO τ

Según la polaridad

Unipolares: la señal tiene dos niveles, uno es cero.

Hay dos combinaciones: 0 y + : unipolar positiva

0 y - : unipolar negativa

Polar: la señal tiene dos niveles de diferente polaridad (+ y -).

La codificación polar utiliza el nivel cero para representar el cero lógico y polaridad alternativa [+] y [-], al uno lógico.

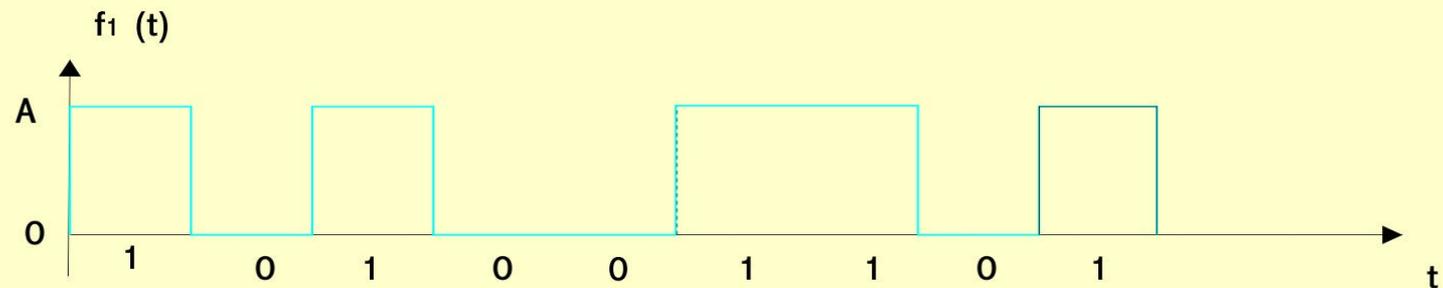
Bipolar: la señal tiene tres niveles de amplitud (+, 0 y -).

Códigos usados para señales en banda base

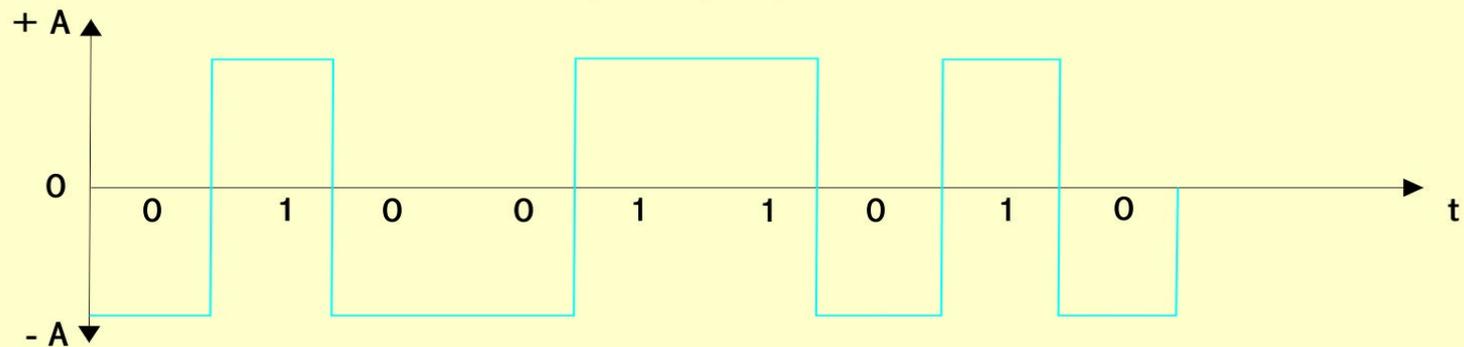
Los códigos más usuales son

- ⇒ Unipolar sin retorno a cero (NRZ).
- ⇒ Unipolar con retorno a cero (RZ).
- ⇒ Polar sin retorno a cero (NRZ).
- ⇒ Polar con retorno a cero (RZ).
- ⇒ Bipolar con retorno a cero (RZ).
- ⇒ Bipolar sin retorno a cero (NRZ).
- ⇒ Codificación diferencial.
- ⇒ Manchester.
- ⇒ Manchester Diferencial.
- ⇒ MILLER.
- ⇒ HDB - 3.
- ⇒ Código 4B3T (4 binario - 3 ternario).

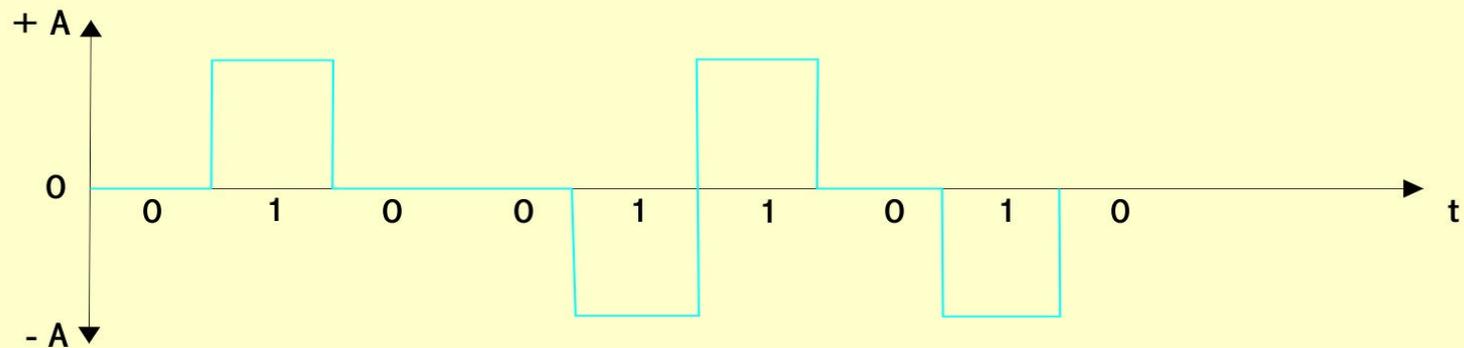
La señal NRZ tiene tres casos:



SEÑAL UNIPOLAR



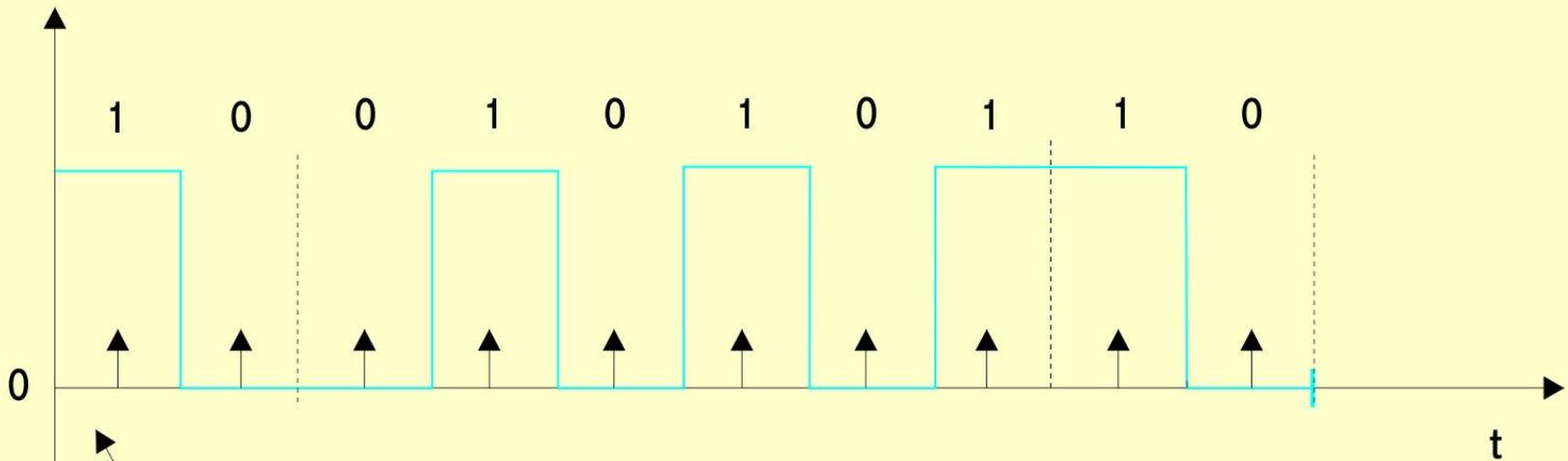
SEÑAL POLAR



SEÑAL BIPOLAR

Una corriente continua positiva y otra negativa determinan el estado de cada bit, durante todo el intervalo significativo.

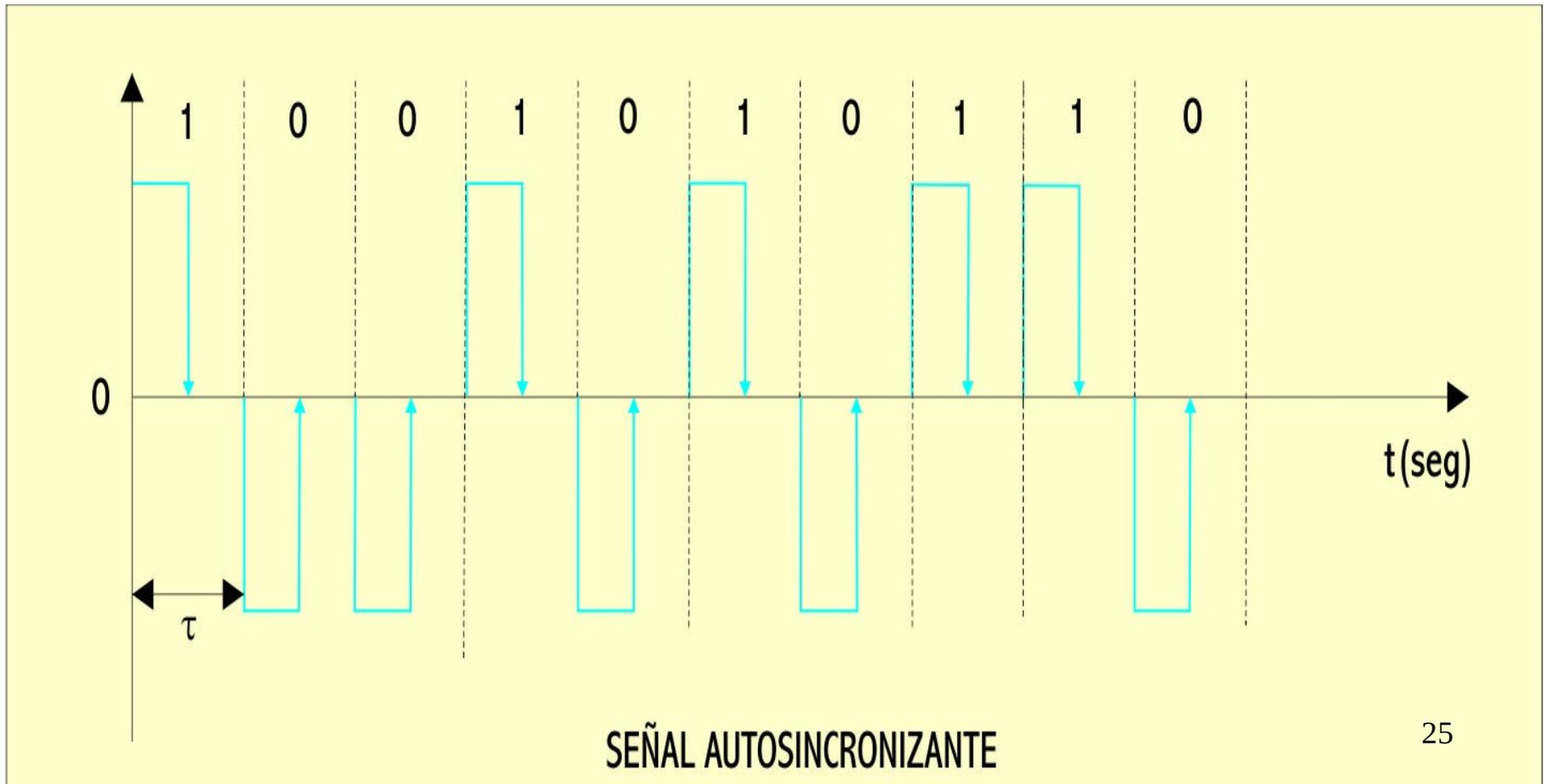
Si bien se pierde el sincronismo, se requiere menor ancho de banda, (los pulsos son más anchos que en señales polares con retorno a cero).



TREN DE PULSOS DE MUESTREO PARA DETERMINAR EL VALOR DE CADA BIT DE INFORMACIÓN

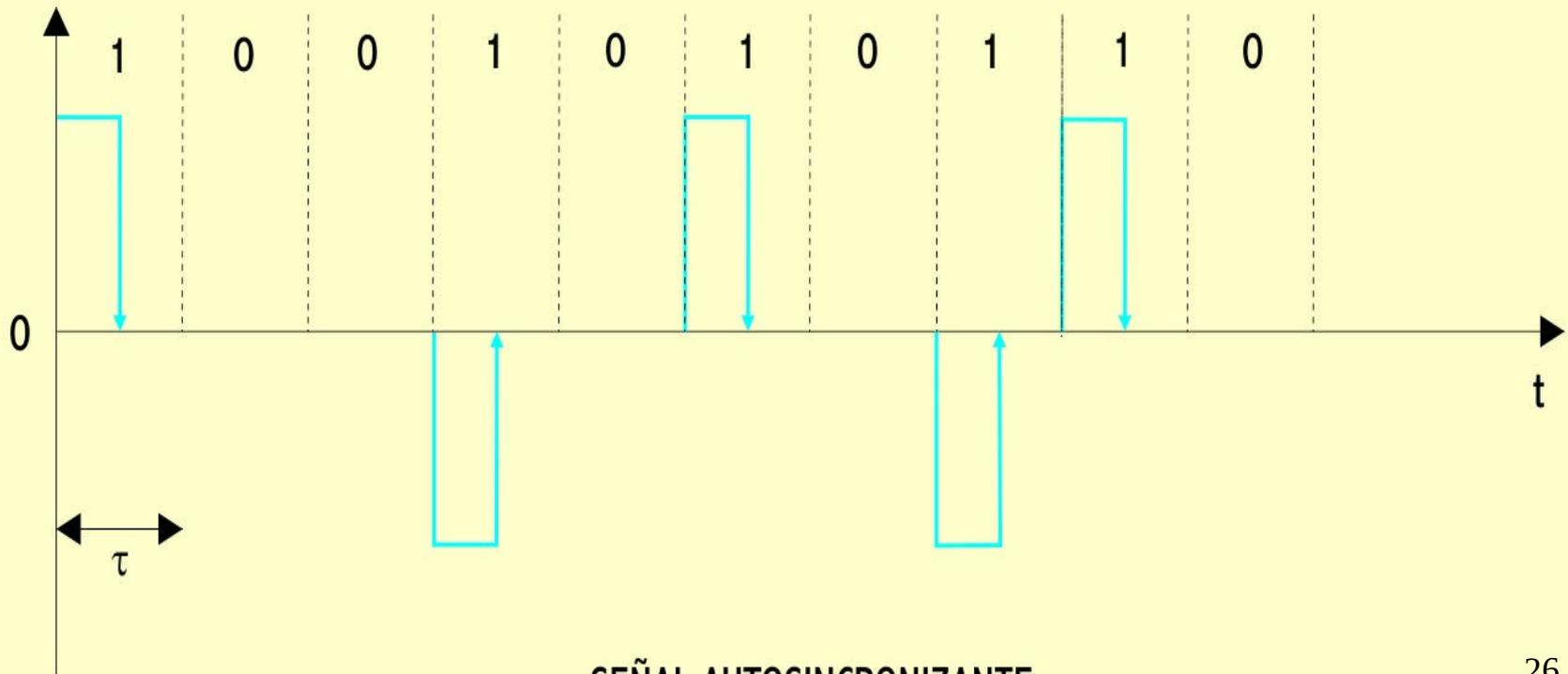
Polar con retorno a cero (RZ)

Existirá una corriente positiva breve para los bits que lleven un *1* de información y posteriormente la corriente retornará a cero, durante el tiempo que corresponde a ese bit.



Bipolar con retorno a cero (RZ)

Se utiliza la bipolaridad solamente en forma alternada y para cuando se transmiten unos. Se disminuye el ancho de los pulsos debido al retorno a cero de la señal antes de finalizado el intervalo significativo.

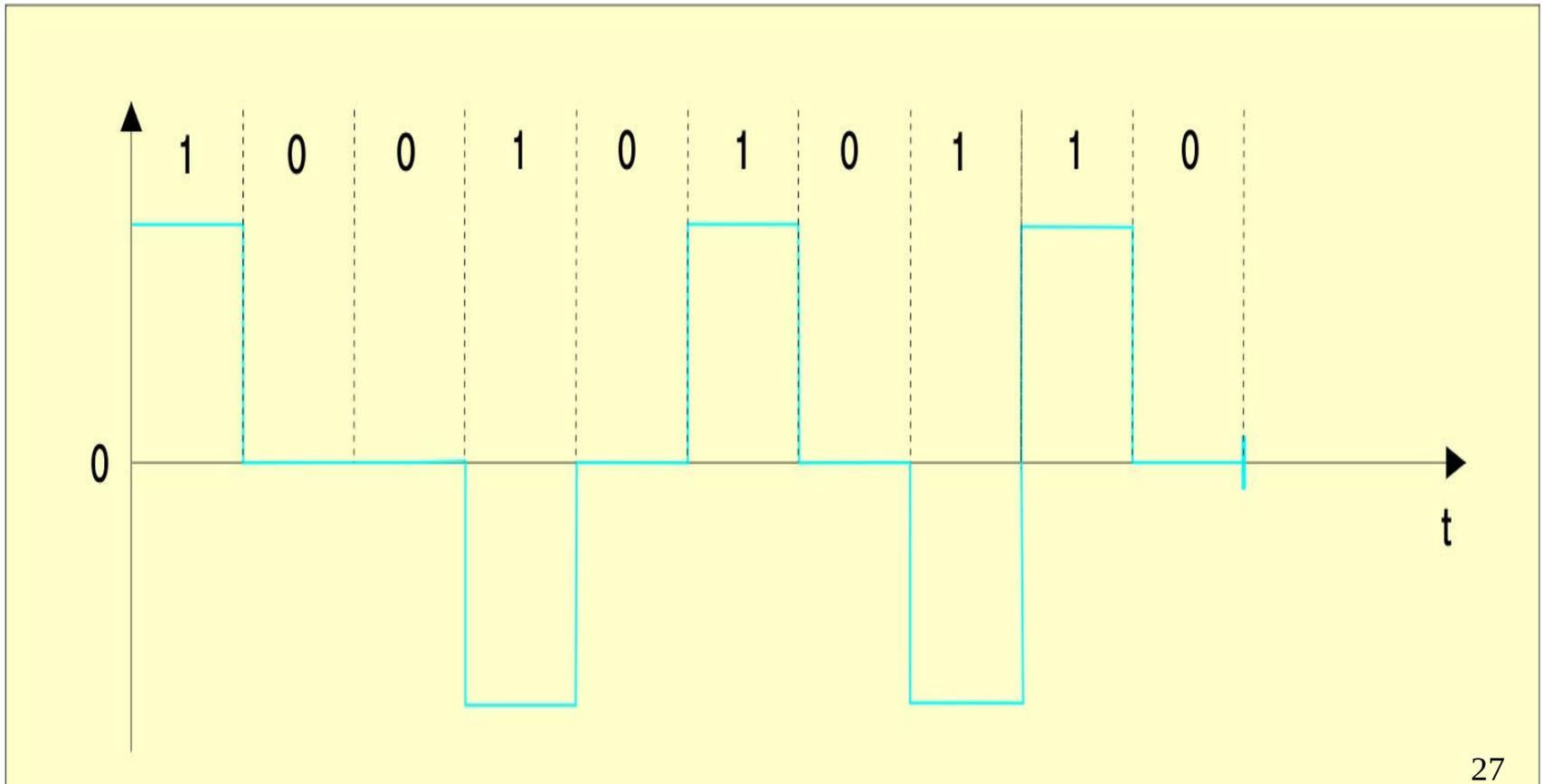


SEÑAL AUTOSINCRONIZANTE

Bipolar sin retorno a cero (NRZ) o código AMI

AMI significa Inversión Alternada de Marcas (unos).

Usa pulsos de mayor duración que los bipolares RZ, por lo que requiere menor ancho de banda.



CODIGOS AUTOSINCRONIZANTES

Son aquellos códigos en los cuales el reloj del receptor se puede sincronizar con la señal recibida.

Esta señal ofrece frecuentes transiciones aunque los datos originales sean largas secuencias de unos o ceros.

Ejemplos:

- bipolar con retorno a cer
- AMI

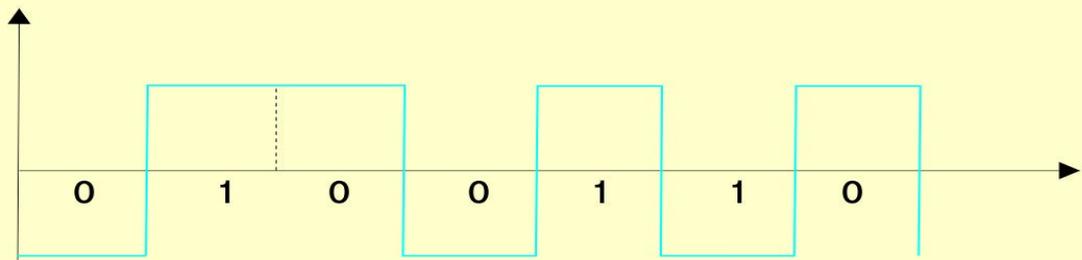
Codificación diferencial

Dos etapas:

- La primera forma una señal diferencial a ser transmitida.
- La segunda ocurre en el receptor para volver a armar la señal.

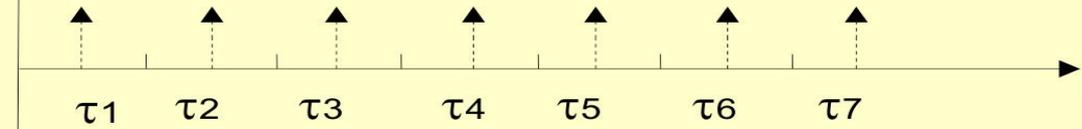
Procedimiento:

- Se muestra una señal original polar del tipo NRZ.
- En el instante del muestreo en que se detecta un 1 , se produce un cambio de estado o transición.
- Cuando lo que se detecta es un 0 , significa una no transición.
- Para recuperar la señal original se debe efectuar un nuevo muestreo de la onda recibida, comparándose la polaridad de muestras adyacentes.
- Si ha habido una transición, se está en presencia de un 1 ; caso contrario es un 0 .



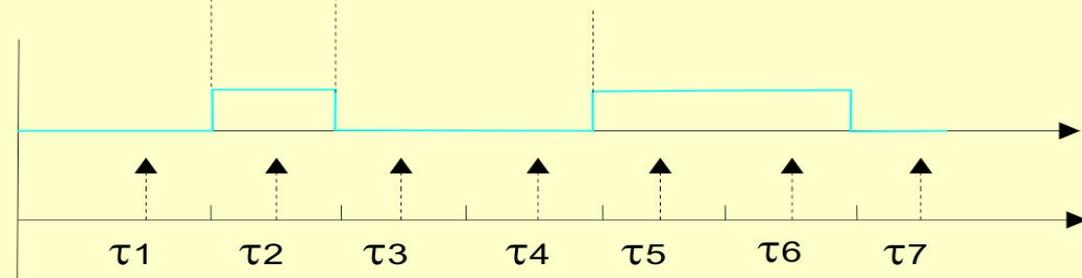
Señal original de información NRz

Proceso de muestreo

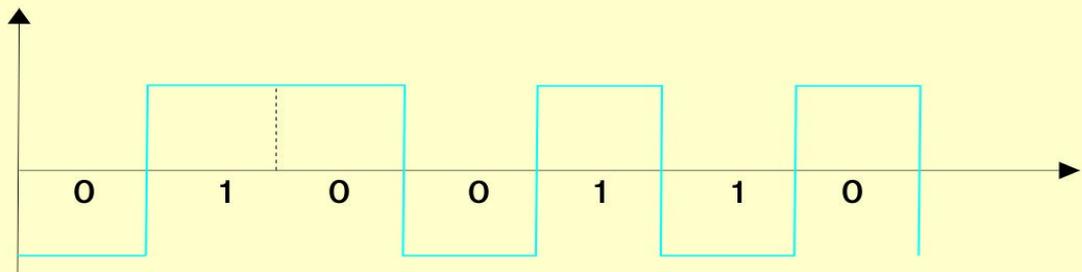


INSTANTES DE MUESTREO

Muestreo para recuperar la señal original



SEÑAL DIFERENCIAL



Señal recuperada en recepción

Código Manchester

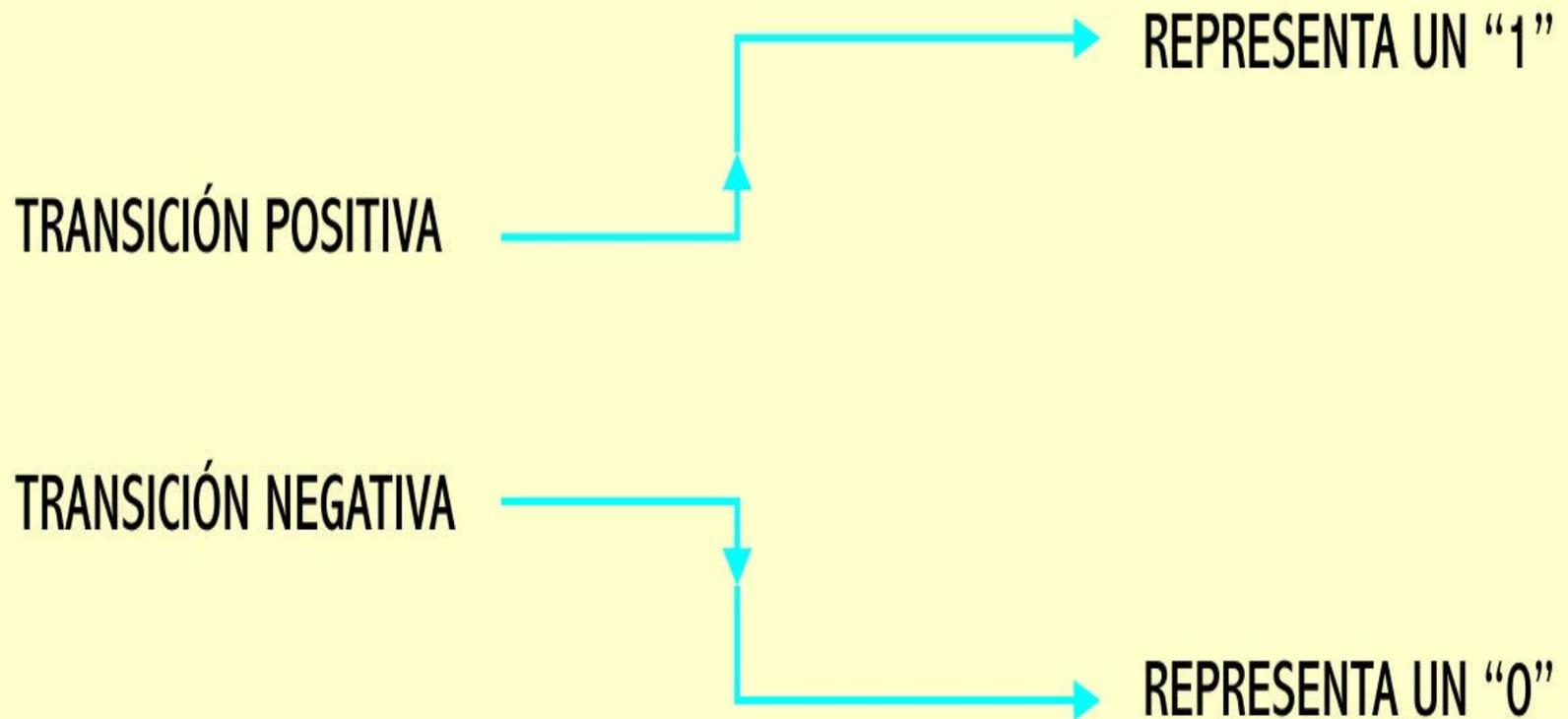
- un bit uno es una transición positiva en la mitad del intervalo significativo
- un bit cero es una transición negativa en la misma ubicación.

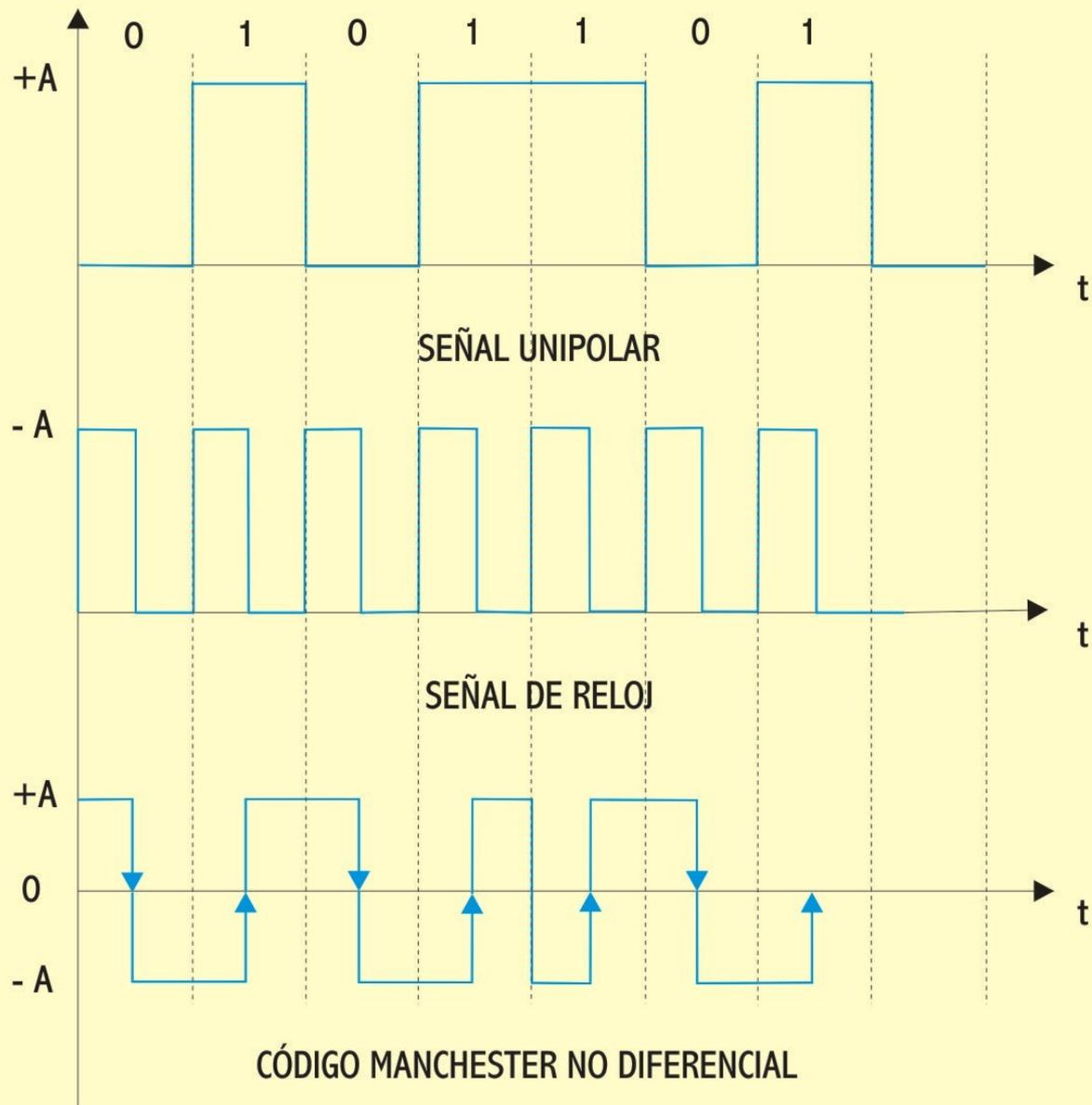
No se utiliza la diferencia de valor de los niveles para representar los bits.

Se emplean las fases positivas y negativas de los pulsos, denominadas transiciones.

Posibilita una transición por bit, simplificando la recuperación de la señal de reloj.

Código Manchester



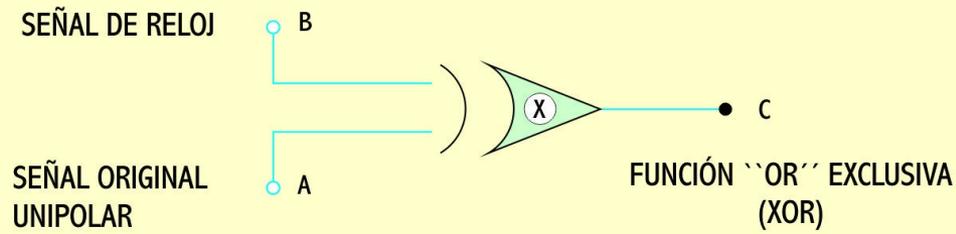


Código Manchester diferencial BIFASE

-para enviar un cero: se efectúa una transición negativa al comienzo y en la mitad del intervalo significativo

-para enviar un uno: solo hay transición en la mitad.

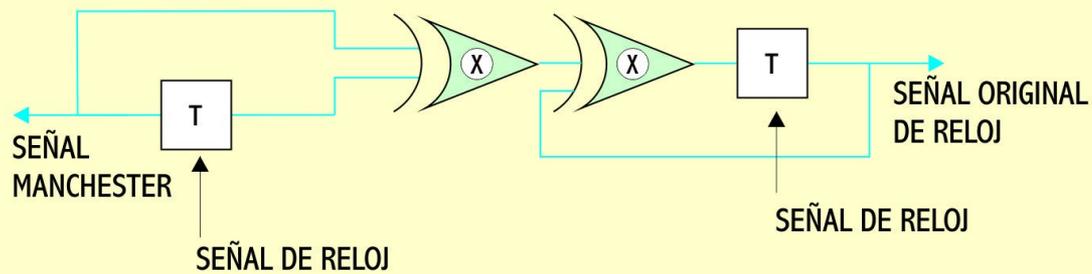
SEÑAL UNIPOLAR



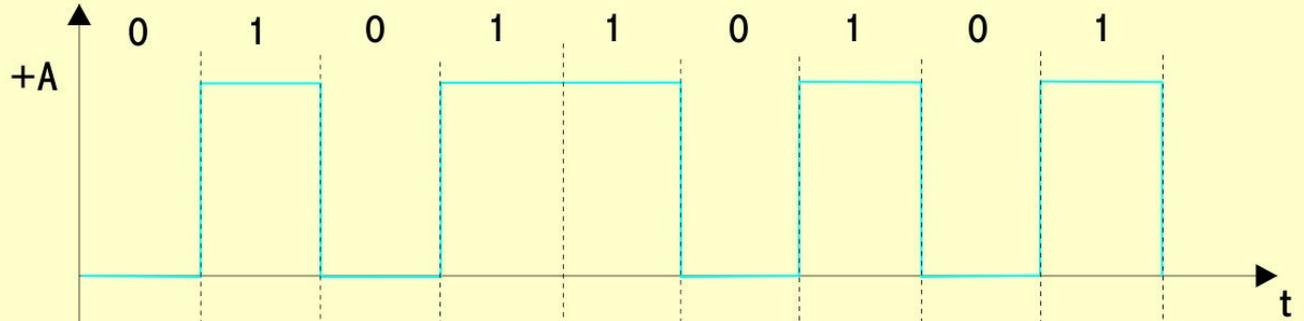
CODIFICADOR MANCHESTER

A	B	C
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

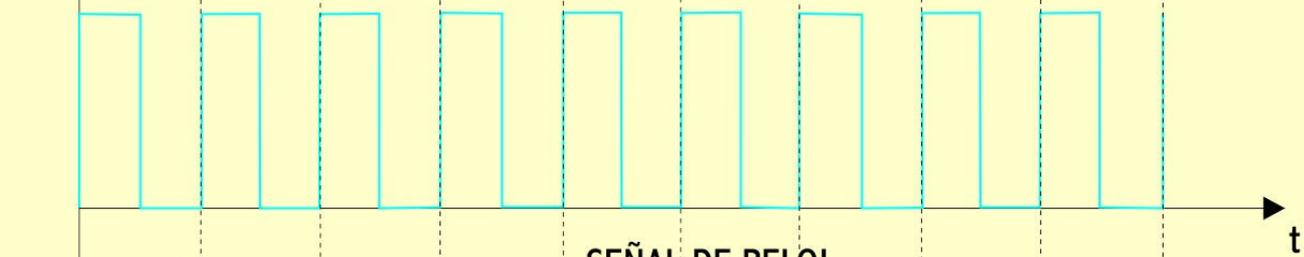
CODIFICADOR MANCHESTER



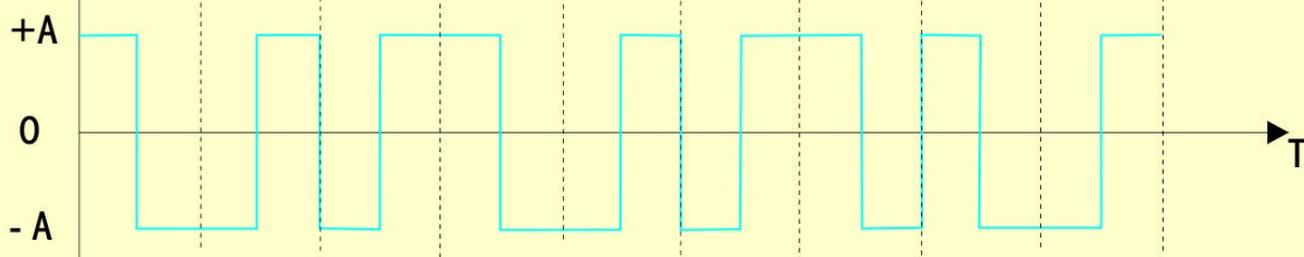
T = CIRCUITO DE RETARDO INTRODUCIDO DE VALOR IGUAL AL ANCHO DE PULSO τ



SEÑAL UNIPOLAR



SEÑAL DE RELOJ



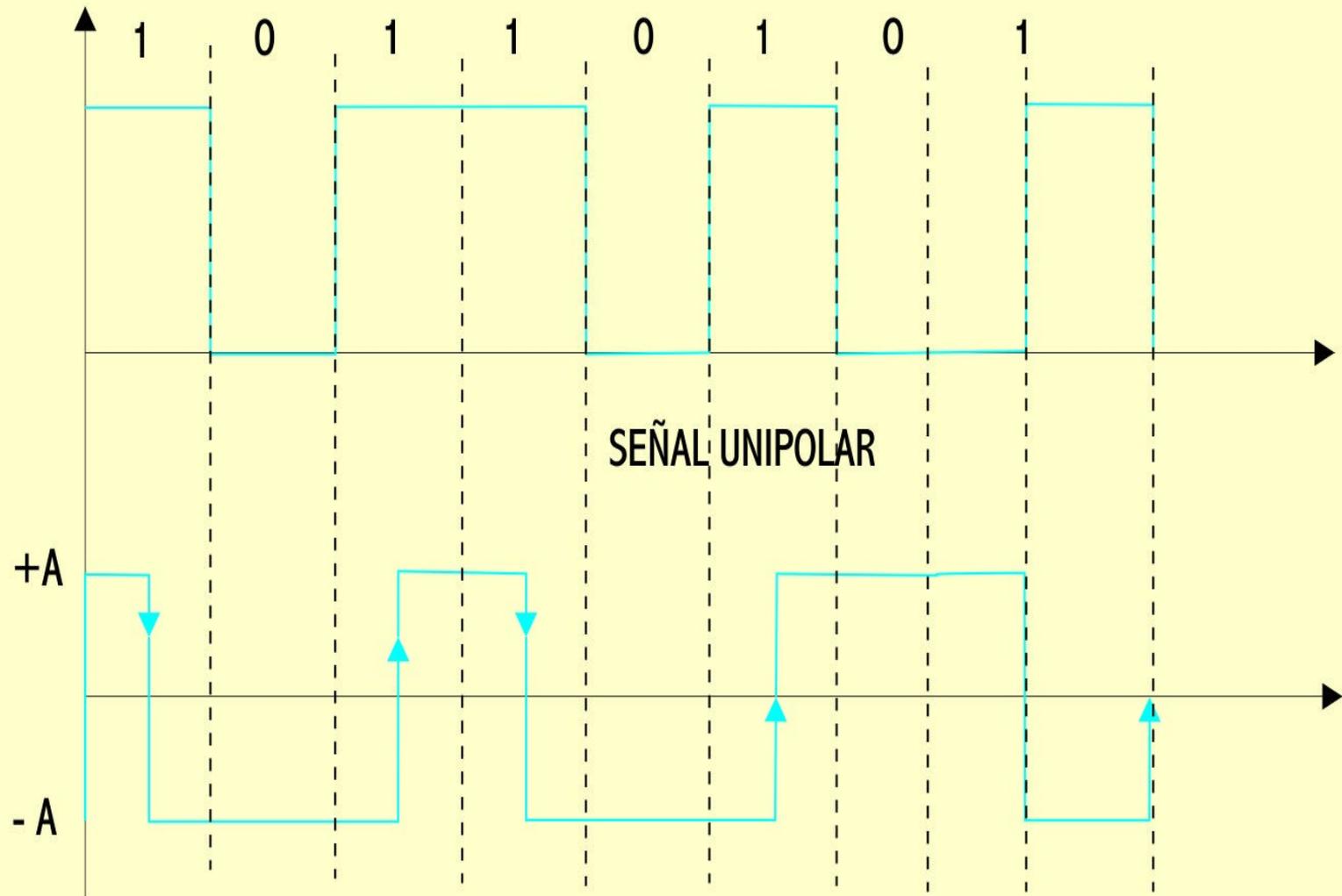
CÓDIGO MANCHESTER DIFERENCIAL

Código MILLER

- Para el uno hay una transición en la mitad del intervalo significativo.
- Para el cero hay una transición al final del intervalo si el bit siguiente es cero (en caso contrario no habrá transición).

Reduce el ancho de banda y hay menos componentes de bajas frecuencias.

La implementación del codificador y decodificador de Miller (modulador por retardo de fase) es más sencillo que el de Manchester.



SEÑAL CÓDIGO DE MILLER

Código HDB-3

- El HDB-3 se basa en el denominado código AMI.
- Es un código bipolar sin retorno a cero con tres niveles [+], [-] y [0] para representar la información binaria.
- El cero se representa siempre con polaridad cero, y el uno, con polaridad alternada [+] y [-].
- No posee componente de continua, ni bajas frecuencias.
- Cuando aparece una larga secuencia de ceros se pierde la posibilidad de recuperar la señal de reloj y se aplica un algoritmo.

Reglas de formación del código

- Para decidir qué secuencia emplear, [000V] o [R00V], se debe contar la cantidad de unos que hay entre la última violación y la actual.
 - si ese número es par, se usa [R00V]
 - si ese número es impar, se usa [000V].
- El primer pulso de violación de la serie siempre lleva la misma polaridad que el último bit uno transmitido.
- Los pulsos de violación se transmiten con polaridad alternada entre sí.

Señal binaria

Señal binaria

0000	0 -1 +1
0001	- 1 +1 0
0010	- 1 0 +1
0011	0 +1 - 1
0100	+ 1 -1 0
0101	+ 1 0 - 1
0110	+1 -1 +1
0111	0 + 1 +1
1000	0 + 1 0
1001	0 0 + 1
1010	-1 +1 +1
1011	+1 0 0
1100	+ 1 0 +1
1101	+1 +1 0
1110	+1 +1 -1
1111	+1 +1 +1

Código 4B-3T

El código HDB-3 se emplea hasta *34 Mbps* sobre cables de cobre.

Para *140 Mbps* sobre cable coaxial, se emplean otros códigos como el 4B-3T (4 binario a 3 ternario).

Es un código ternario, dado que reduce 4 bits a 3 bits, mediante el empleo de tres niveles.

Se reduce el ancho de banda necesario en un 25%.

Códigos normalizados por el UIT-T

En los sistemas multiplex digitales se usan estos códigos:

Velocidad de transmisión	Código
2 Mbps	HDB - 3
8 Mbps	HDB - 3
34 Mbps	HDB - 3 o 4B3T
140 Mbps	4B3T o CMI

NOTA: estos códigos se emplean para esas velocidades y utilizando como medio de transmisión el cable coaxial

CMI: código de inversión de marcas

Comunicacione

s

Clase 6

Teoría de la información

CANAL FISICO

Tiene que ver con las características físicas y eléctricas del medio de transmisión.

Concepto vinculado a la ingeniería de comunicaciones.

Estación
Terminal
Transmisora



Fuente

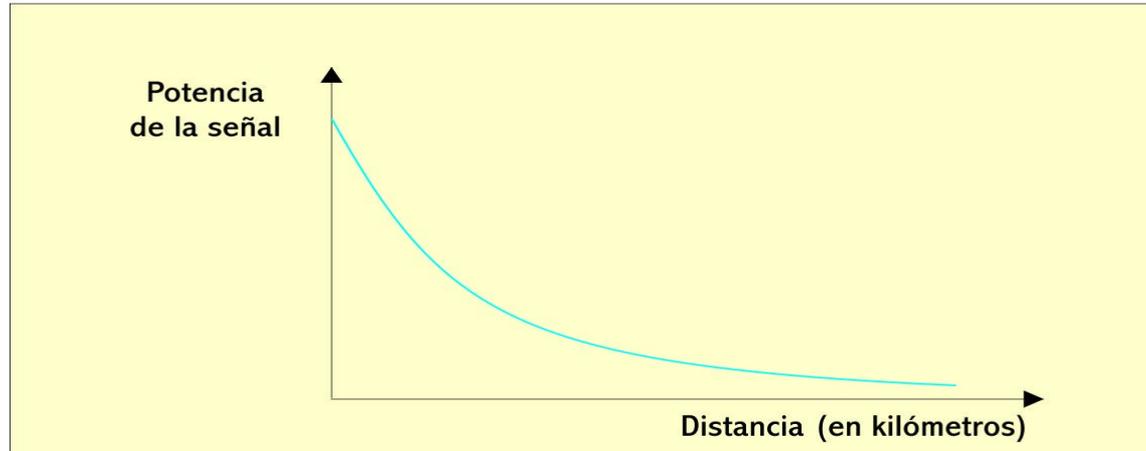


Estación
Terminal
Receptora

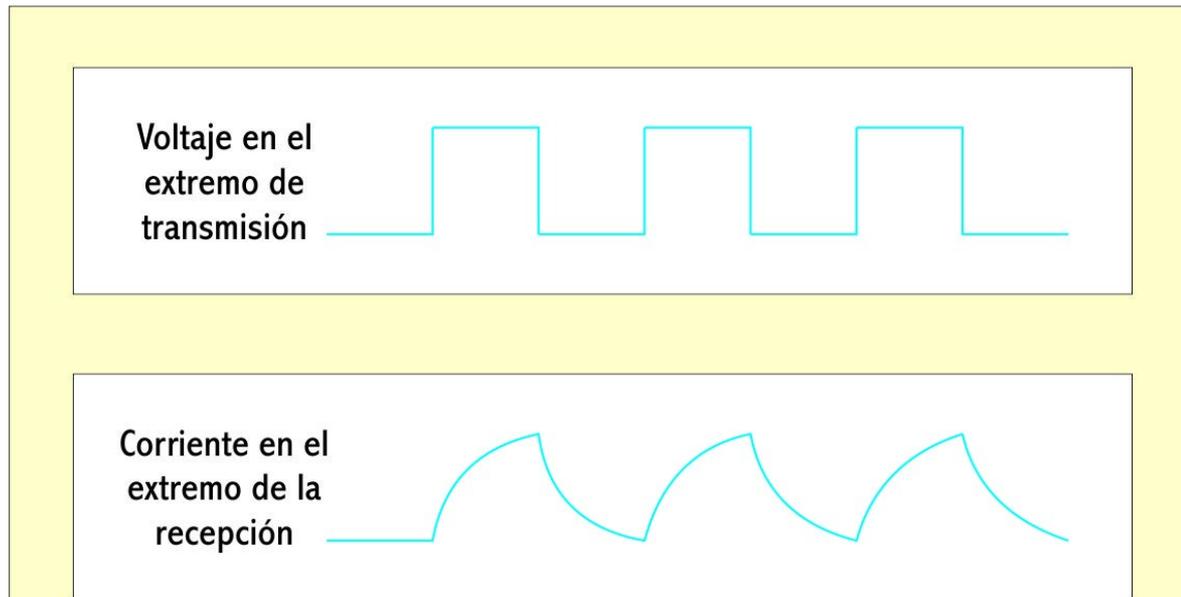


Sumidero

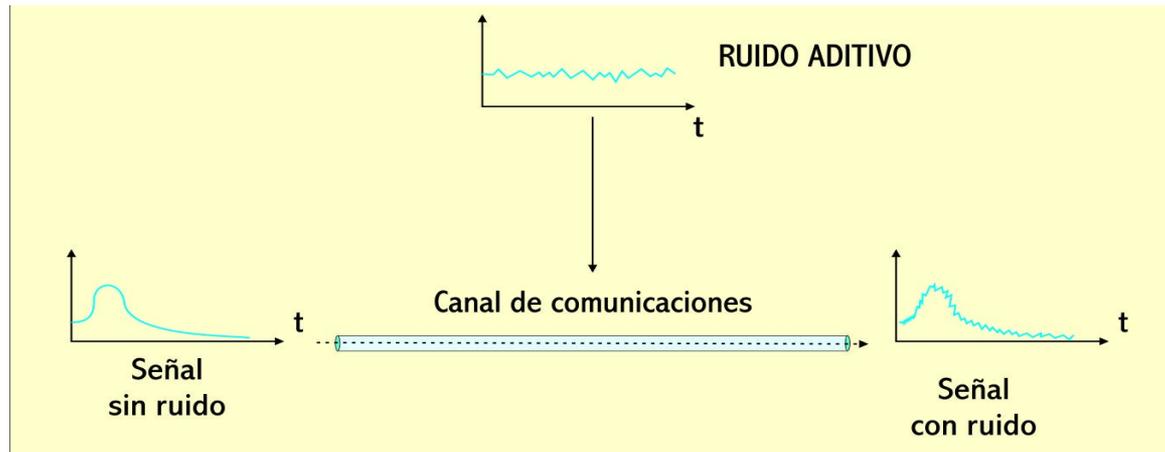
La señal sufre pérdida de potencia por la atenuación.



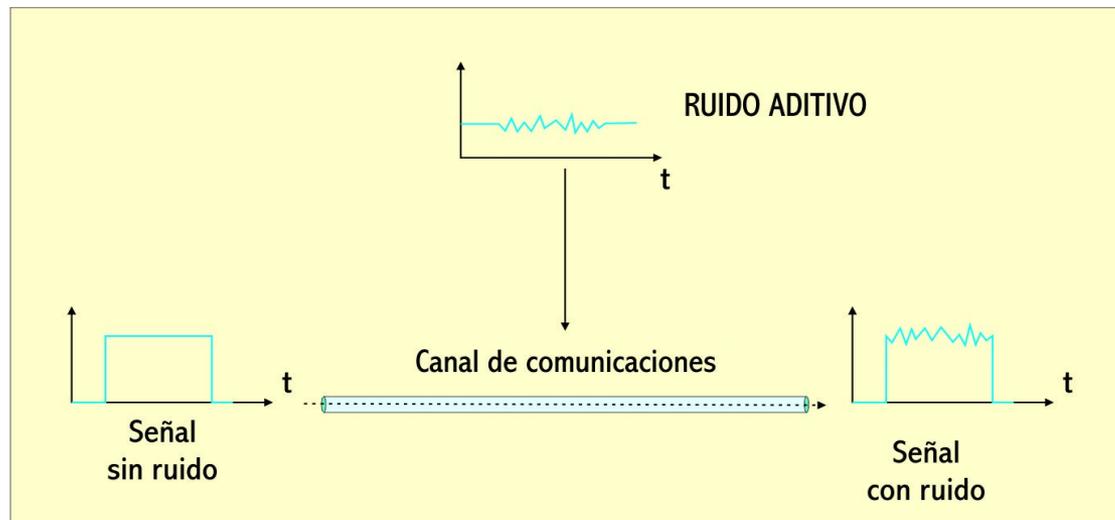
La señal sufre distorsión por los efectos reactivos.



Efecto aditivo del ruido sobre una señal analógica.



Efecto aditivo del ruido sobre una señal digital.



CANAL DE INFORMACION

- Tiene que ver con las especificaciones técnicas y lógicas que hacen a la transmisión de la inteligencia.
- Concepto vinculado a la teoría de la información y la codificación.
- Se ocupa básicamente de evaluar y permitir administrar los recursos del canal físico de manera adecuada.
- Usa como criterio de eficiencia la velocidad de transmisión de la información y la calidad con que esta se transporta.

CANALES IDEALES Y REALES

Canal ideal

Reproduce en su salida exactamente la misma señal aplicada en la entrada.

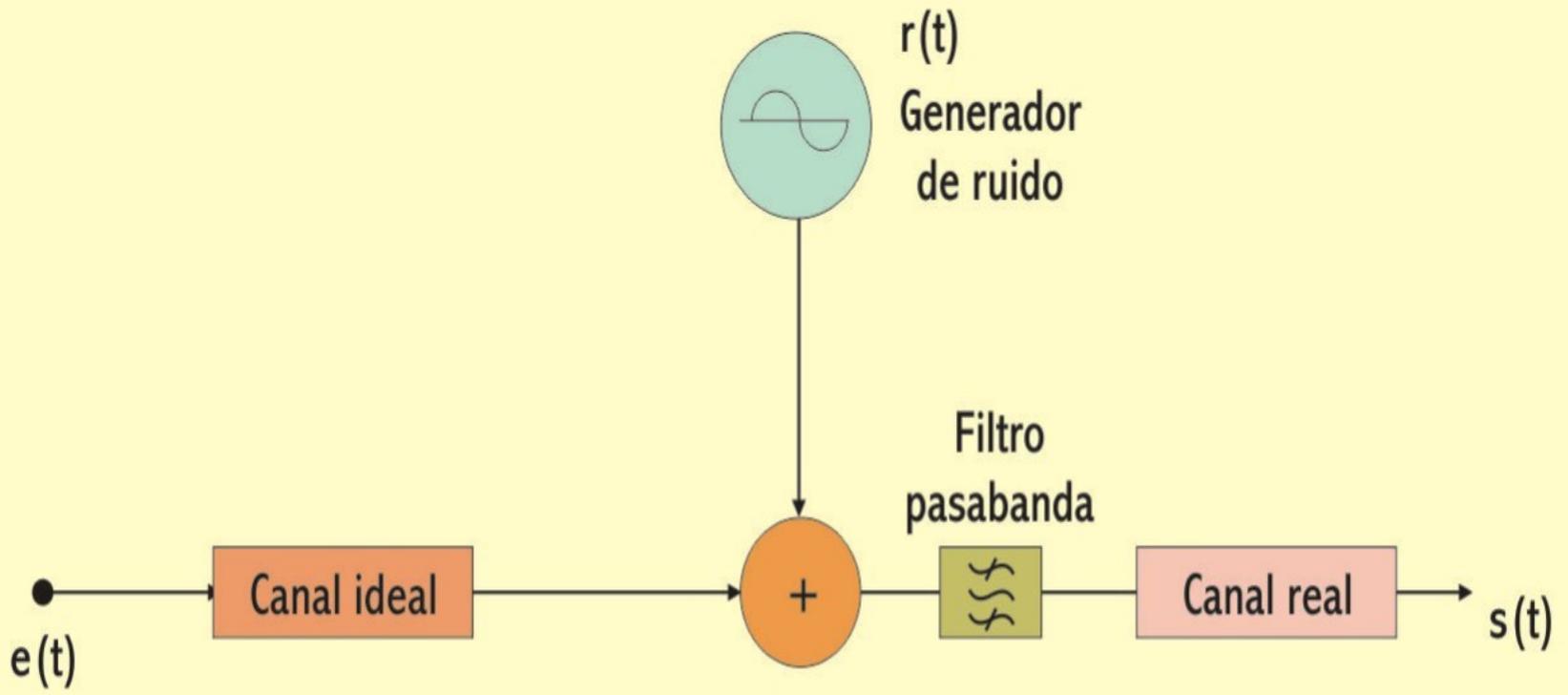
Es una noción teórica, ya que no existe.

Canal real

Logra transmitir la señal solo de manera aproximada.

Introduce ruido y distorsión.

El ruido tiene características aditivas, respecto de la señal útil y modifica la forma de la onda de entrada en el canal.



$$s(t) = e(t) + r(t)$$

CANALES ANALOGICOS Y DIGITALES

Actualmente la mayoría de los canales son digitales.

Se siguen usando canales analógicos para:

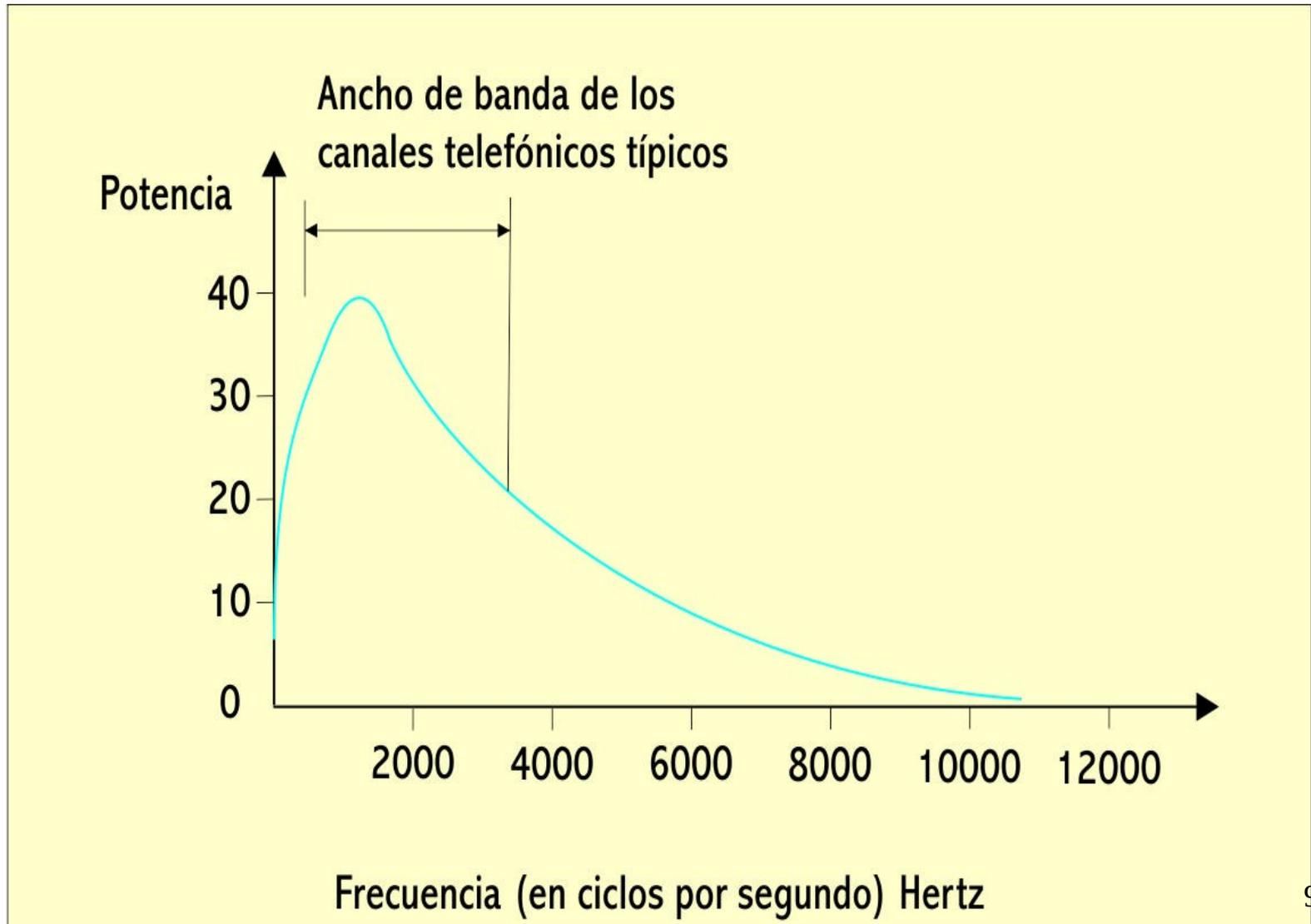
- red telefónica conmutada para señales de voz entre la central y los teléfonos
- redes de distribución de señales de televisión por cable (CATV)
- pares telefónicos para la provisión del servicio de banda ancha.

El canal telefónico típico tiene un ancho de banda de

300 a 3400 Hz

La voz se reconoce aunque la frecuencia superior se reduzca hasta los 2000 Hz.

Potencia promedio de la señal de voz en función de la frecuencia.



RELACION SEÑAL A RUIDO

Se mide en decibeles y es la relación entre la potencia de la señal y la potencia de ruido.

$$S/N \text{ (dB)} = 10 \cdot \log (S/N)$$

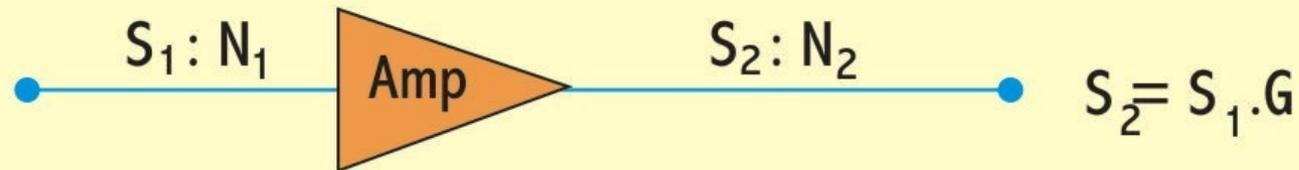
donde: S es la potencia media de la señal
 N es la potencia media de ruido

Para los canales de comunicaciones y los amplificadores se usa el factor de ruido o figura de ruido:

$$F = \frac{\textit{relación señal / ruido de entrada}}{\textit{relación señal / ruido de salida}}$$

$S_1 =$ Señal de Entrada

$S_2 =$ Señal de Salida



$N_1 =$ Ruido de Entrada

$N_2 =$ Ruido de Salida

Donde:

Relación S/R = S_n/R_n

$G =$ Ganancia del amplificador

$S_1 =$ Señal de entrada

$S_2 =$ Señal de entrada

$N_1 =$ Ruido de entrada

$N_2 =$ Ruido de entrada

De acuerdo con la expresión el factor de ruido, resultará:

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_1 / N_2}$$

Como la potencia de la señal a la salida será igual a la potencia a la entrada por la ganancia del amplificador:

$$S_2 = S_1 \cdot G$$

Reemplazando:

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_1 G / N_2}$$

Simplificando:

$$F = \frac{N_2}{G / N_1}$$

ACONDICIONAMIENTO DE CANALES ANALOGICOS

Los canales presentan fenómenos físicos que alteran sus características:

- señales de retorno (**eco**)
- atenuación y la distorsión

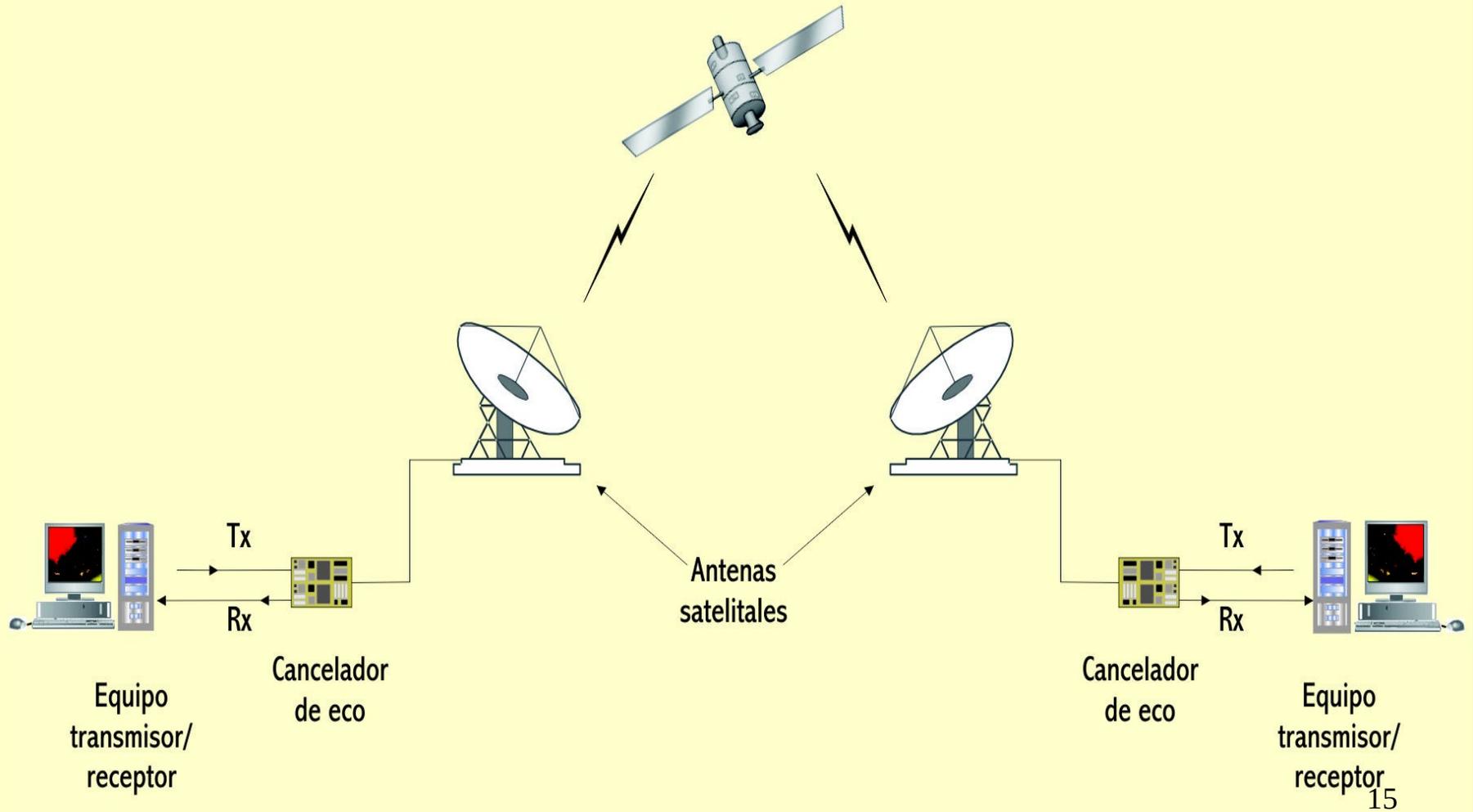
Estos fenómenos:

- producen un comportamiento no lineal de la curva de respuesta en frecuencia.
- obligan a introducir equipos especiales en el canal de comunicaciones.

ECO

- Es una señal no deseada causada por la desadaptación de impedancias a lo largo del canal.
- Se origina por medio de una onda reflejada en el receptor, producida por la propia señal del transmisor.
- El efecto del eco se reduce por medio de “canceladores de eco”, que cortan la recepción mientras el usuario transmite.
- Es habitual en circuitos muy largos.

Satélite de comunicaciones



ECUALIZACION

Proceso de compensación de un canal de comunicaciones por los efectos que produce la distorsión.

La distorsión puede ser en amplitud (atenuación) o en fase (retardo de grupo).

Los ecualizadores son circuitos que agregan distorsión en las bandas donde esa es menor, de forma que sea igual en toda la banda y se pueda compensar.

TEORIA DE LA INFORMACION

Las redes de comunicaciones tienen por objeto intercambiar información.

La teoría de la información estudia cuatro aspectos:

- Cómo se mide la información.
- Cuál es la capacidad de un canal de comunicaciones para transferir información.
- Cómo aumentar la capacidad mediante la codificación de la información.
- Cómo utilizar los canales a plena capacidad con una tasa de error mínima.

Mensaje es un conjunto de datos que proviene de una fuente de información.

Información es un conjunto de datos que permiten aclarar algo sobre aquello que se desconoce.

Un hecho que se sabe con seguridad que va a ocurrir no contiene información alguna.

Un suceso contendrá mayor cantidad de información cuanto menor sea la probabilidad de que se produzca.

MEDICION DE LA INFORMACION

Queremos medir la cantidad de información que contiene el suceso descrito en un mensaje:

-sea un suceso S que se pueda presentar con una probabilidad de ocurrencia $P(S)$

-la cantidad de información que contiene ese suceso será igual a la inversa del logaritmo de la probabilidad de que ese suceso se produzca.

$$I(S) = \log_2 \frac{1}{P(S)} \quad \text{[Shannon]}$$

La unidad toma el nombre de un estudioso teórico del problema de los canales de información.

La base del logaritmo determina la unidad con la que se medirá:

- Si tomamos logaritmo en base 2, la unidad es el Shannon.
- Si se tomara el logaritmo decimal, la unidad es el Hartley
- Si se toma el logaritmo natural (base e), la unidad es el Nat.

$$I(S) = \log_{10} \frac{1}{P(S)} \quad [\text{Hartley}]$$

$$I(S) = \log_e \frac{1}{P(S)} \quad [\text{Nat}]$$

FUENTE DE INFORMACION

Es un dispositivo que genera mensajes formados por símbolos.

Fuente de memoria nula: es la que emite símbolos que son estadísticamente independientes uno de otro.

Supongamos que una fuente de memoria nula puede emitir distintos símbolos, cada uno de ellos con cierta probabilidad de aparición asociada.

Variable aleatoria: es una función $I(x_k)$ en la cual:

- para cada valor de la variable x
- hay un valor de probabilidades p_k .

Sea una variable aleatoria definida como en la tabla:

Variable Aleatoria	$I_{(x)}$	X_1	X_2	X_k	X_{k+1}
Probabilidad	$P_{(k)}$	$P_{(X_1)}$	$P_{(X_2)}$	$P_{(X_k)}$	$P_{(X_{k+1})}$

Esperanza matemática de la variable aleatoria será:

$$E(X_k) = \sum_{k=1}^n I(X_k)P(X_k)$$

Cantidad de información en Shannon de la variable aleatoria será:

$$I(X_k) = \log_2 \frac{1}{p(x_k)}$$

Operando:

$$I(x_k) = -\log_2 P(x_k)$$

Reemplazando:

$$E(x_k) = - \sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) P(x)_k]$$

Entropía de una fuente de memoria nula de n símbolos:

$$H = - \sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) P(x_k)]$$

Se mide en $H = \text{Shannon/símbolo}$

Representa la incertidumbre media en la probabilidad de que se trasmita cada símbolo.

PROPIEDADES DE LA ENTROPIA

- Pequeños cambios en la probabilidad de un suceso, implican pequeñas alteraciones en la cantidad de información.
- Simetría: el orden en que se presentan los distintos sucesos no altera la entropía del sistema.
- Aditividad: las entropías de distintas partes de un mismo sistema se pueden sumar.
- Maximilidad: la entropía es una función maximizable.
- Si los símbolos que genera una fuente de memoria nula son equiprobables, entonces la entropía es máxima.

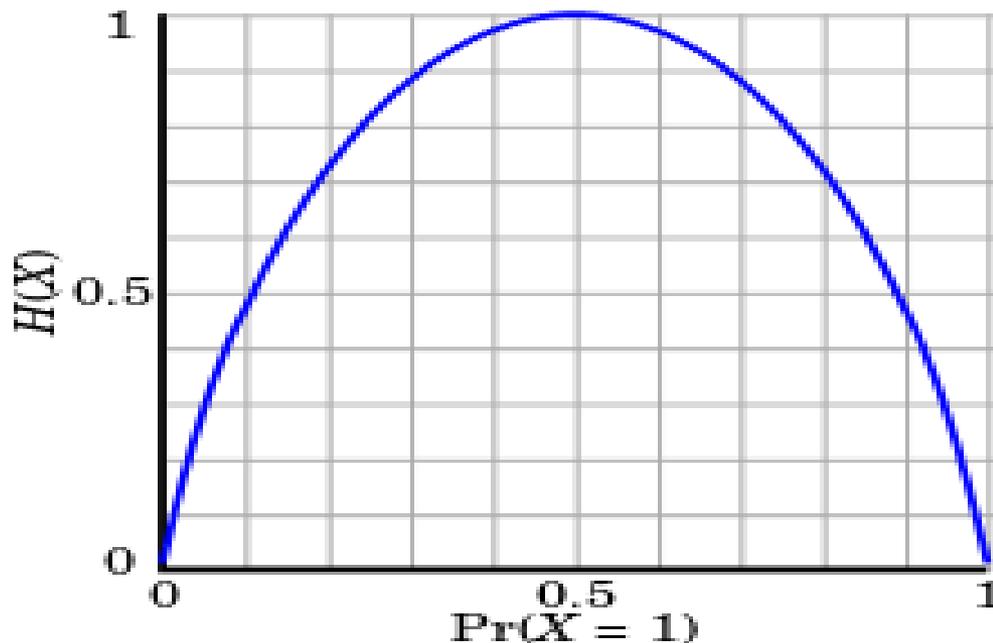
$$P(x_1) = P(x_2) = P(x_3) = P(x_4) = \dots = P(x_n) = \frac{1}{N}$$

Si la fuente de memoria nula puede emitir N símbolos con igual probabilidad la entropía tiene valor máximo:

$$H = \log_2 N \text{ Shannon / símbolo}$$

La función entropía de una fuente binaria $[1 \text{ ó } 0]$ de memoria nula donde :

- el símbolo 1 se presente con probabilidad igual a $p(x)$
- el símbolo 0 , con $p(1 - x)$.



CAPACIDAD DE UN CANAL

Es la velocidad de transmisión máxima en bps que se puede cursar por el canal libres de errores.

$$C = V_{\text{máx}} \quad [\text{bps}]$$

C = capacidad de un canal.

$V_{\text{máx}}$ = velocidad de transmisión de datos máxima.

Los canales reales siempre tendrán errores causados por el ruido AWGN (ruido blanco gaussiano aditivo).

El ruido blanco presenta el mismo nivel para todas las frecuencias.

VELOCIDAD DE LA INFORMACION

Varias fuentes pueden tener la misma entropía pero si una de ellas es más rápida que las demás, introduce en el canal de comunicaciones mayor cantidad de información.

La descripción de la fuente depende de la entropía y de la tasa de información.

La tasa de información representa la cantidad de información producida por una fuente en un tiempo determinado.

La capacidad de un canal nos indica la cantidad de información que el canal puede transportar por unidad de tiempo en un canal real.

TASA DE INFORMACION

Es el cociente entre la entropía de la fuente y la duración media de los símbolos que envía:

$$r = \frac{H(x)}{\tau}$$

Donde:

τ = duración media de los símbolos.

En unidades es: [Shanon/símbolo]/[segundo/símbolo]

Simplificando, la unidad de la tasa de información es:
[Shanon/segundo]

Para una fuente de dos símbolos equiprobables la tasa de información coincide con la velocidad [bit/segundo].

CANTIDAD DE INFORMACION Y DE BITS

Con 1 bit es posible identificar en forma unívoca dos situaciones posibles (un 1 ó un 0).

Para determinar cuántos bits se necesitan para efectuar una elección entre todas las que sean posibles:

$$n = 2^M$$

donde:

n = número de posibilidades a elegir.

M = número de bits necesarios para discriminar entre n posibilidades.

MAXIMA VELOCIDAD DE TRASMISION

Teorema de Nyquist

Para un canal ideal (sin ruido) no se puede sobrepasar una velocidad de pulsos que depende de la frecuencia máxima de transmisión.

Sea una señal limitada en su ancho de banda y con una frecuencia máxima $f_{\text{máx}}$, entonces,

$$f_N > 2f_{\text{máx}}$$

Donde: $f_N =$ frecuencia de Nyquist o de muestreo.

Si la señal a ser muestreada está definida en un ancho de banda Δf , entonces la frecuencia de muestreo será igual a

$$f_N = 2 \Delta f$$

La capacidad de un canal sin ruido de ancho de banda finito Δf resulta:

$$C = V_{tm\acute{a}x} = 2 \Delta f \text{ [bps]}$$

Donde:

C = *capacidad del canal.*

$V_{m\acute{a}x}$ = *velocidad m\acute{a}xima de transmisi\o{n de datos con se\~{n}ales binarias.*

Δf = *ancho de banda de la se\~{n}al.*

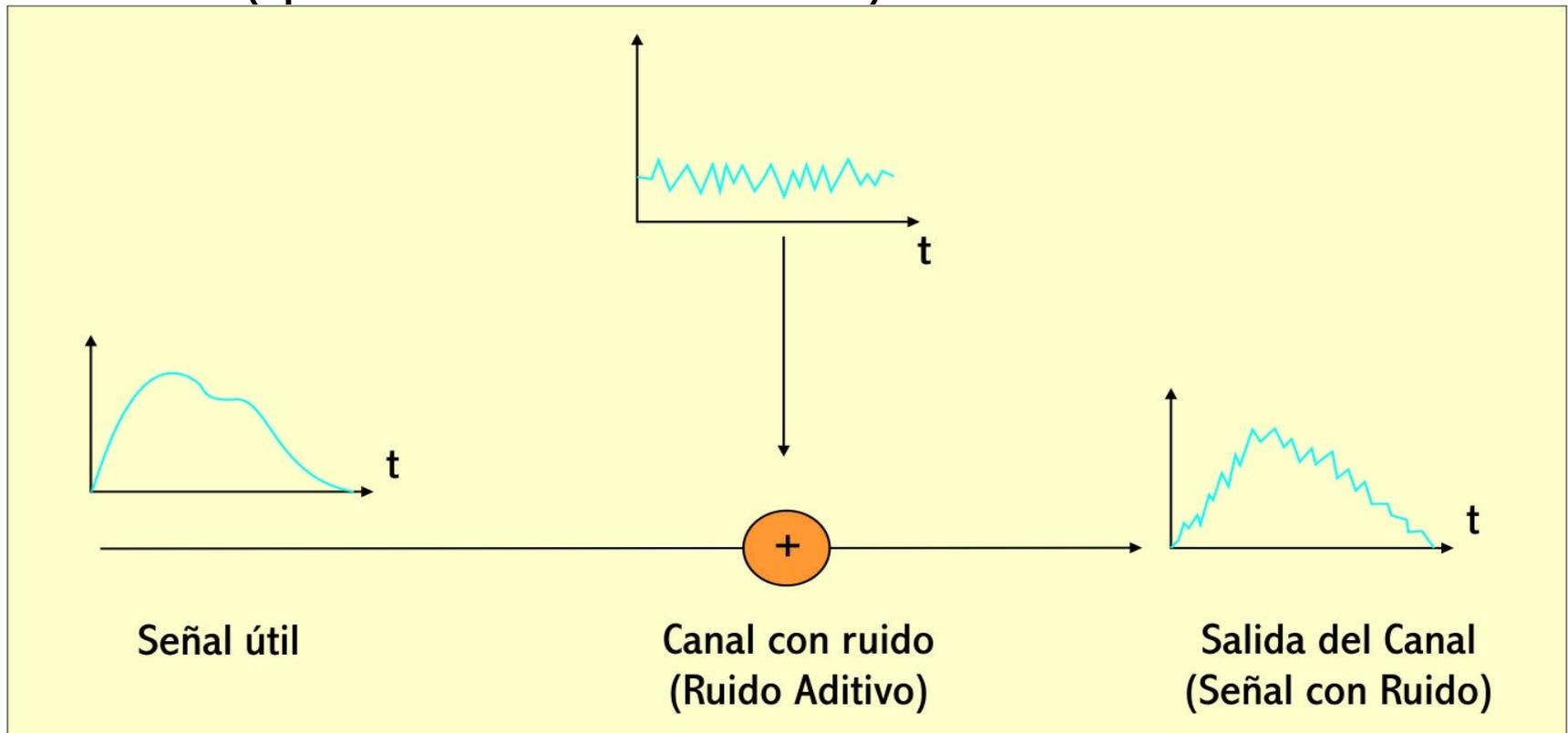
Para se\~{n}ales multinivel, la capacidad de un canal ideal es:

$$C = V_{tm\acute{a}x}^M = 2 \Delta f \log_2 n \text{ [bps]}$$

TEOREMA DE SHANNON-HARTLEY

Si un canal fuese ideal, se podría aumentar de manera indefinida la capacidad con solo incrementar el número de niveles de la señal.

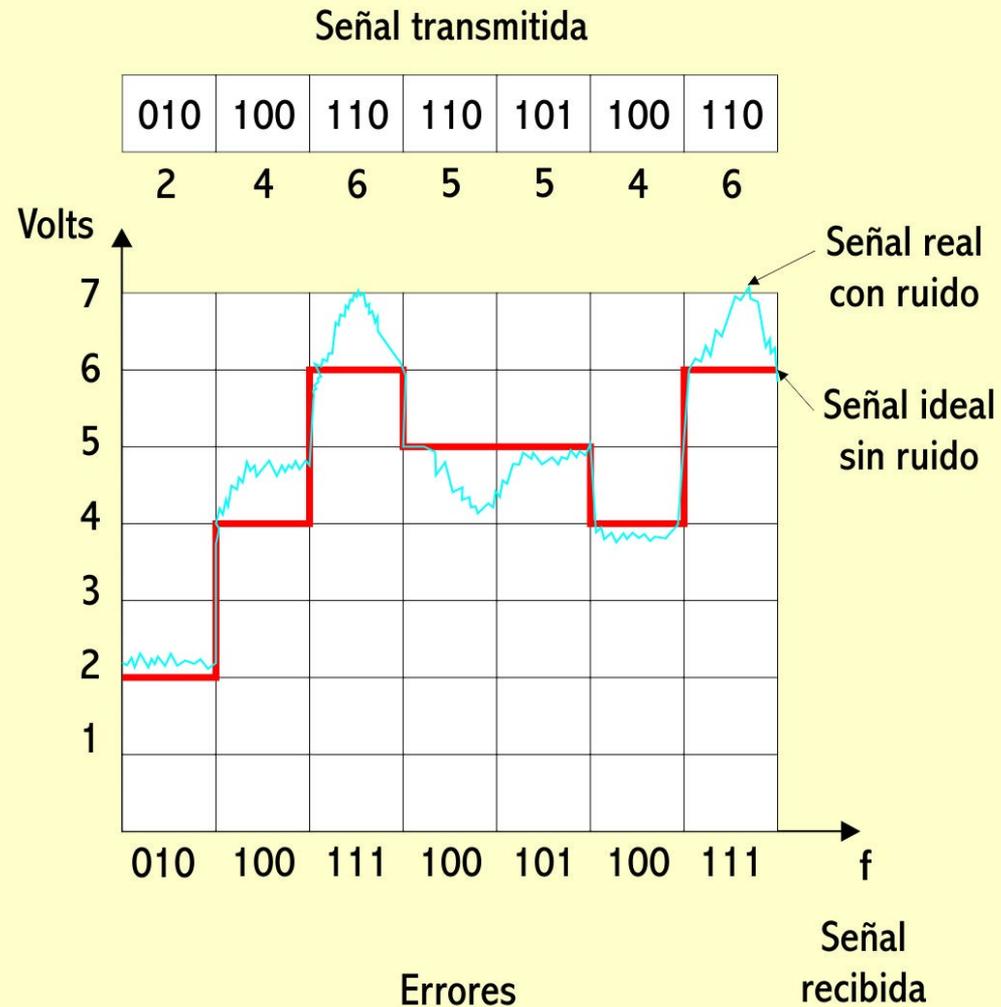
En los canales reales continuos hay ruido blanco gaussiano aditivo (que se suma a la señal).



Cuando aumenta el número de niveles de una señal, la separación entre dos niveles es comparable al nivel de ruido.

TRIBITS

Dígitos Binarios	Nivel de señal
000	0 volt
001	1 volt
010	2 volts
011	3 volts
100	4 volts
101	5 volts
110	6 volts
111	7 volts



Para establecer la capacidad de un canal con ruido hay que determinar cuál es el valor máximo que podrá tomar n (número de estados de la señal).

$$C = V M_{\text{máx}} \log_2 n_{\text{máx}} \text{ [bps]}$$

Shannon demostró que el número máximo de niveles tiene que ver con la relación señal/ruido:

$$n_{\text{máx}} = \left(1 + \frac{S}{N} \right)^{1/2}$$

Reemplazando:

$$C = 2 \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)^{1/2} \text{ [bps]}$$

Simplificando:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ [bps]}$$

donde:

S: potencia media de la señal continua transmitida por el canal.

N: potencia media ruido blanco gaussiano aditivo.

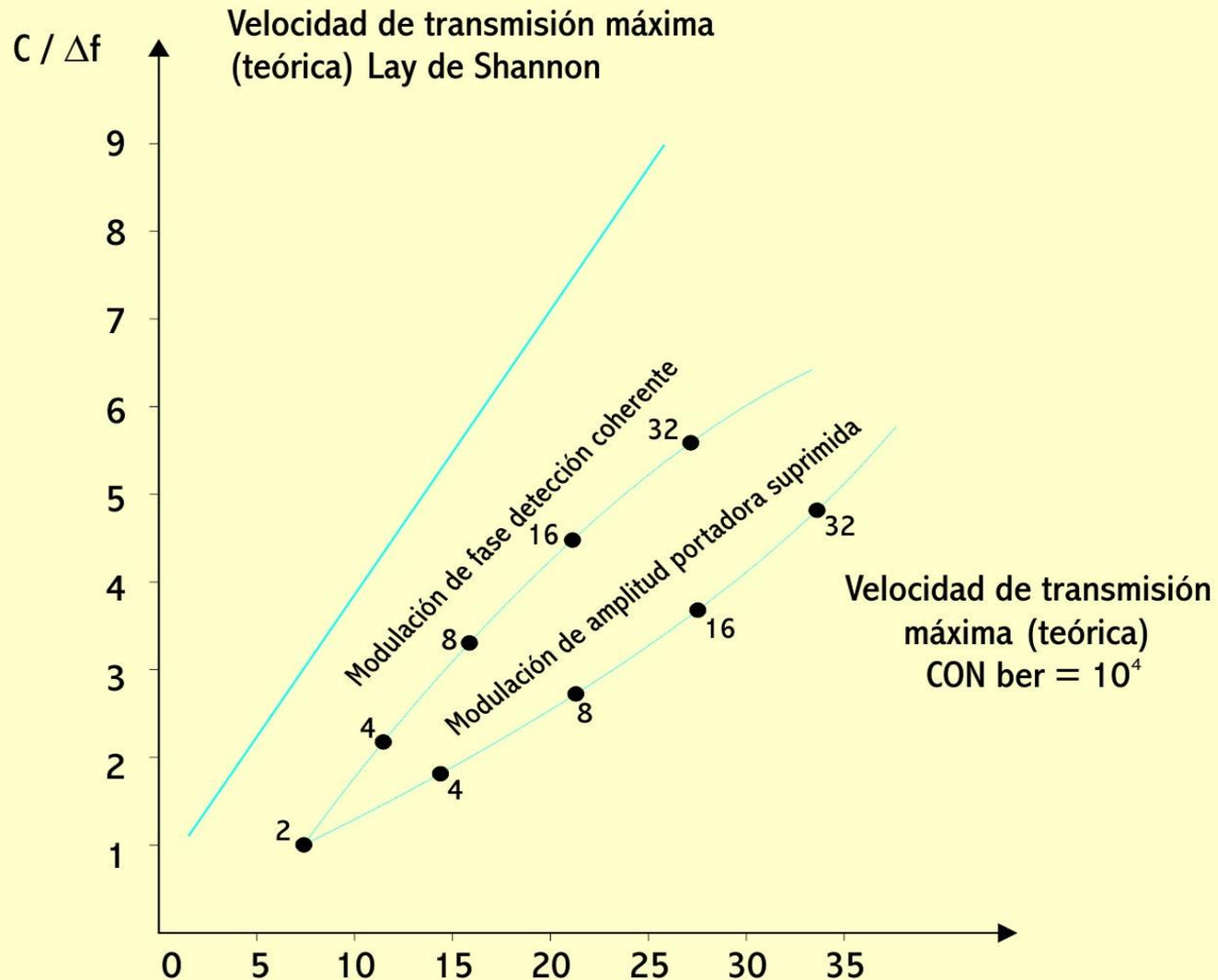
Δf : ancho de banda del canal de comunicaciones.

La ley de Shannon-Hartley determina la capacidad de un canal continuo que tiene un ancho de banda Δf y ruido blanco gaussiano aditivo limitado en banda.

APLICACIONES

El teorema de Shannon-Hartley es importante porque:

- Permite calcular la velocidad máxima de transmisión de datos en un canal con ruido (con distribución estadística de tipo gaussiano).
- Relaciona dos parámetros fundamentales en todo canal de comunicaciones, que son el ancho de banda Δf y la relación señal/ruido S/N .



Notas:

$C/\Delta f$ = Número de bps transmitidos por unidad de ancho de banda usada.
 S/N : Relación señal/ruido existente en el canal de comunicaciones.

COROLARIO

- El teorema de Shannon-Hartley indica que la capacidad depende del ancho de banda (B) y de la relación señal/ruido, pero el ruido depende del ancho de banda.
- Si el ruido es igual en todas las frecuencias hay una densidad espectral (α) en W/Hz, entonces $N = \alpha * B$.
- Entonces la fórmula queda:

$$C = B * \log_2 (1 + S/\alpha * B)$$

- Multiplicamos ambos términos por $1 = \alpha/S * S/\alpha$ entonces:

$$\begin{aligned} C &= B * \alpha/S * S/\alpha * \log_2 (1 + S/\alpha * B) = \\ &= S/\alpha * B * \alpha/S * \log_2 (1 + S/\alpha * B) \end{aligned}$$

- Hagamos $x = S/B * \alpha$, por lo tanto $1/x = B * \alpha/S$, luego:

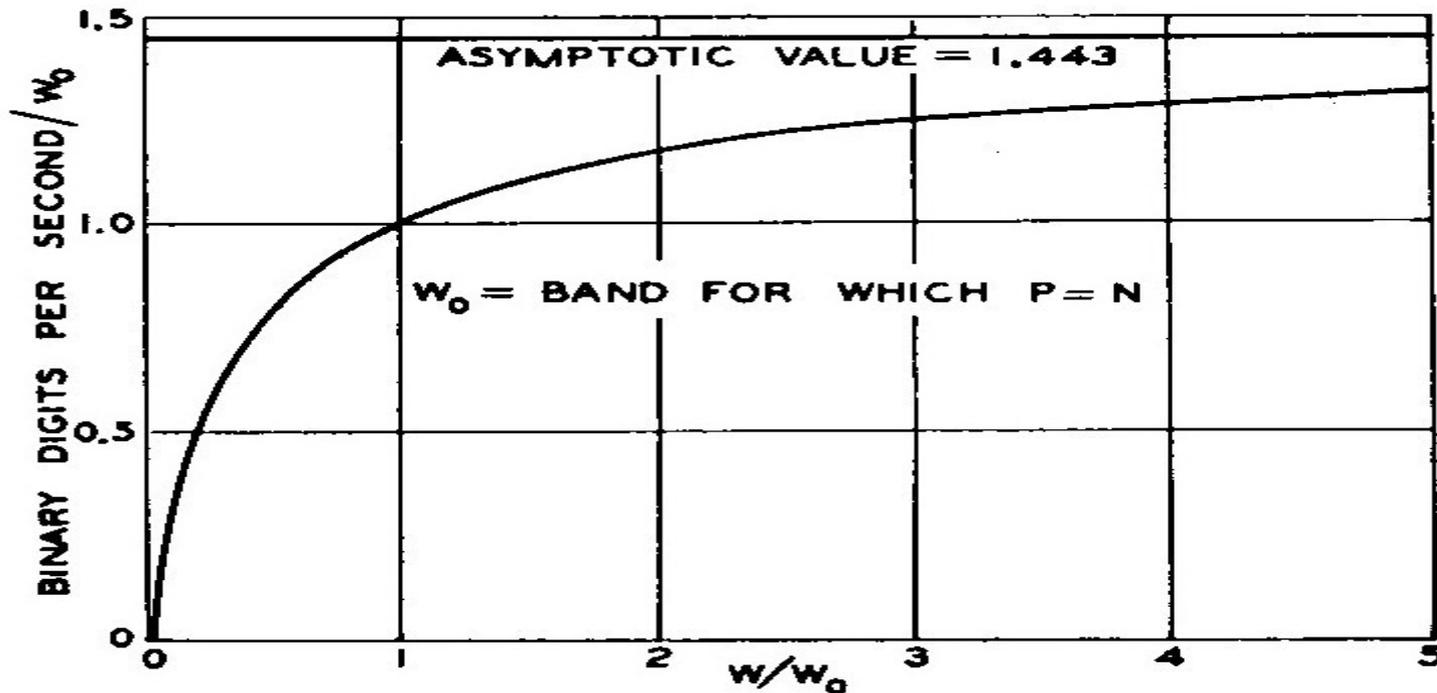
$$C = S/\alpha * 1/x * \log_2 (1 + x)$$

- Como $\log_2 A^n = n * \log_2 A$ entonces

$$C = S/\alpha * \log_2 (1 + x)^{1/x}$$

- Del Análisis Matemático sabemos que para x tendiendo a cero el límite de $(1+x)^{1/x}$ es el número e .
- Por lo tanto, cuando el ancho de banda aumenta, la capacidad del canal tiende a un valor finito que no depende del ancho de banda:

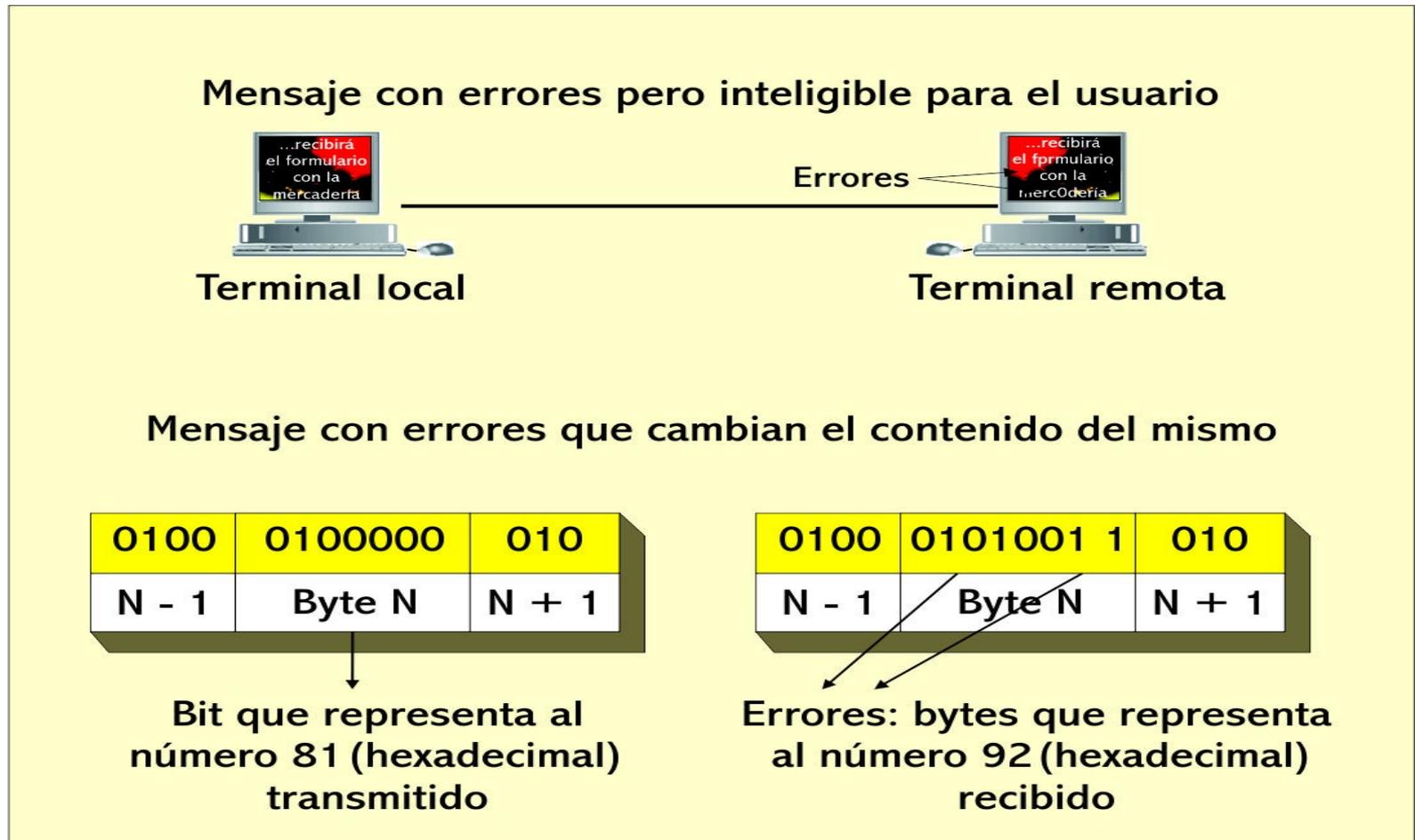
$$C = S/\alpha * \log_2 e = 1,44 * S/\alpha$$



Channel capacity as a function of bandwidth.

ERRORES EN LA TRASMISION DE DATOS

Error de transmisión es toda alteración o mutilación en un mensaje recibido, que no es réplica fiel del mensaje transmitido y que cambia la interpretación de la información.



De operador a operador

La redundancia de los mensajes permite a los operadores la detección y la corrección directa de los errores.

De máquina a máquina

En funcionamiento automático la inteligencia del sistema detecta los errores, los acepta o rechaza de manera parcial o total.

Políticas a seguir con los errores

- Ignorarlos (hay otra capa que se encarga de ellos)
- Detectarlos y avisar que hay errores
- Detectarlos y pedir la retransmisión del mensaje
- Detectarlos y corregirlos

Detección y corrección de errores

Detección

Control de paridad

**Vertical VCR
Longitudinal LRC
Bidimensional o de doble paridad
Cíclica o entrelazada**

Código polinomial

Corrección

Códigos autocorrectivos

**Hamming
Hagelbarger
Bose Chauduri**

técnicas especiales de transmisión

Corrección de errores hacia adelante (FEC)

Requerimiento automático de repetición (ARQ)

TIPOS DE ERRORES

Según su distribución en el tiempo:

- Errores aislados o simples

Afectan a un solo bit por vez; son independientes entre sí

- Errores en ráfagas

Afectan a varios bits consecutivos, se presentan en períodos de tiempo indeterminados.

- Errores agrupados

Se producen en tandas sucesivas de cierta duración, no afectan necesariamente a varios bits seguidos.

TRATAMIENTO DE ERRORES

Para disminuir, detectar y corregir errores de transmisión, se envían datos adicionales en el contenido del mensaje.

Cuanto mayor es la cantidad de bits adicionales que no llevan información:

- se logra una mayor protección contra errores
- disminuye la eficiencia del proceso de transmisión.

En la transmisión sincrónica existe el compromiso entre el tamaño de los bloques de cada mensaje y la eficiencia de la transmisión.

Cuanto más pequeños sean los bloques:

- se hace menos probable la necesidad de retransmitirlos
- disminuye la eficiencia de la transmisión.

DETECCION DE ERRORES POR CONTROL DE PARIDAD

Se agregan otros bits de control adicionales en la secuencia de bits de información transmitidos.

Estos bits de control no transportan información.

Sirven para la verificación de la paridad de la secuencia de bits de datos.

Hay tres métodos:

- Control de paridad vertical (VCR).
- Control de la paridad longitudinal, o bidimensional (LCR).
- Control de la paridad entrelazada o cíclica.

Paridad par: si el número de unos de la palabra de información a transmitir es impar, el bit de control que se debe agregar será un uno, para que la suma total de ellos resulte un número par.

Paridad impar: el bit de control que se debería agregar sería un cero, para que la suma total de ellos resulte un número impar.

Paridad par será "0", carácter resultante	0	01101101100
Paridad impar será "1", carácter resultante	1	01101101100

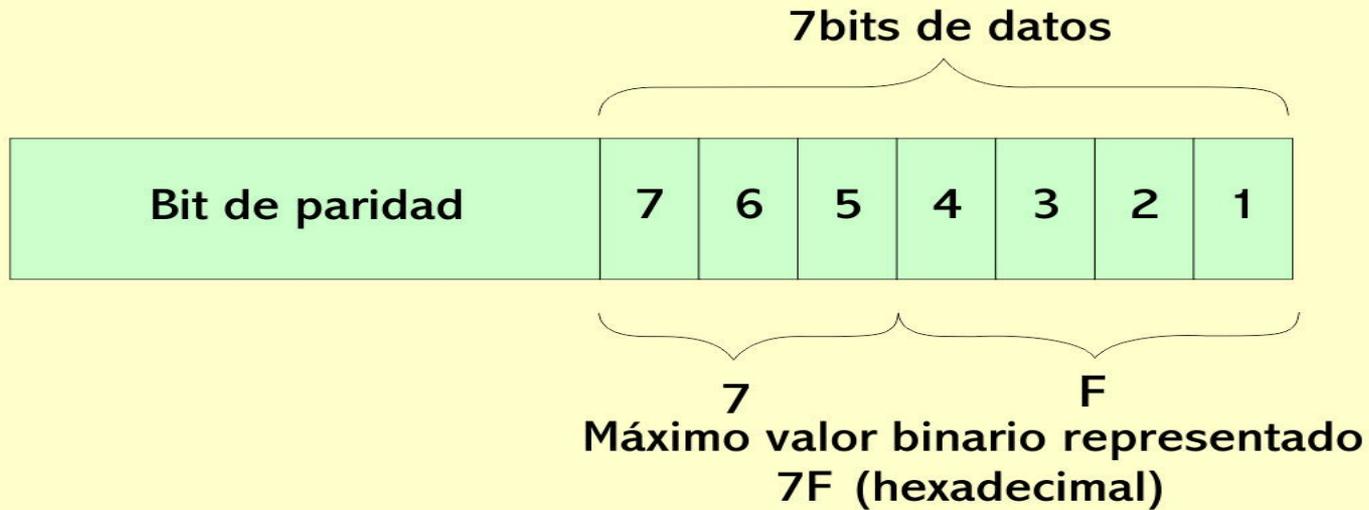
CONTROL DE PARIDAD VERTICAL

Se denomina VRC (*Vertical Redundancy Check*)

Se aplica a cada carácter o byte del código ASCII.

Se agrega un bit adicional al conjunto de 7 bits del carácter.

No permite detectar dos errores juntos.



Ejemplo:

Dato transmitido	0	1	1	0	1	0	1
Para paridad “par” se agregaría un bit “0”	0	1	1	0	1	0	1
Para paridad “impar” se agregaría un bit “1”	0	1	1	0	1	0	1

Carácter con doble inversión de bits.

Carácter transmitido con bit de paridad par

0	1101111
Paridad	Dato

Carácter recibido con doble inversión bit 5 y bit 7 (doble error)

0	1101010
Paridad	Dato

Ambos caracteres son recibidos con bit de paridad correcto ⁴⁹

CONTROL DE PARIDAD LONGITUDINAL O BIDIMENSIONAL

Se denomina LRC (*Longitudinal Redundancy Check*)

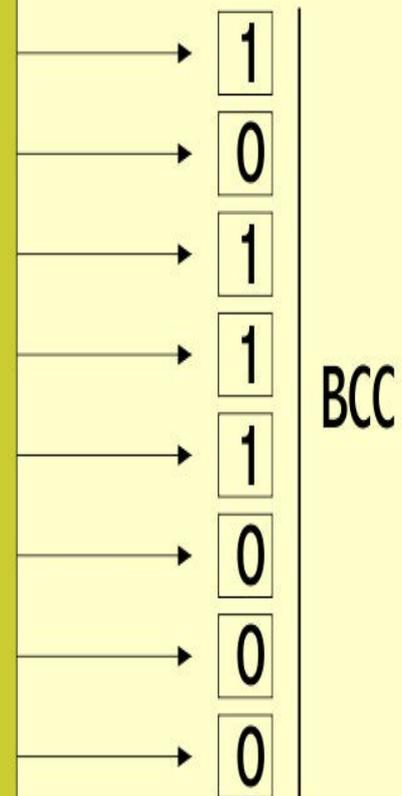
Se aplica a un conjunto compuesto por bloques de N caracteres de 7 bits cada uno.

Ejemplo con $N = 5$.

-por cada carácter de 7 bits transmitidos, se agregó un bit de paridad vertical, que en este caso es par

-el carácter transmitido tendrá finalmente un total de 8 bits.

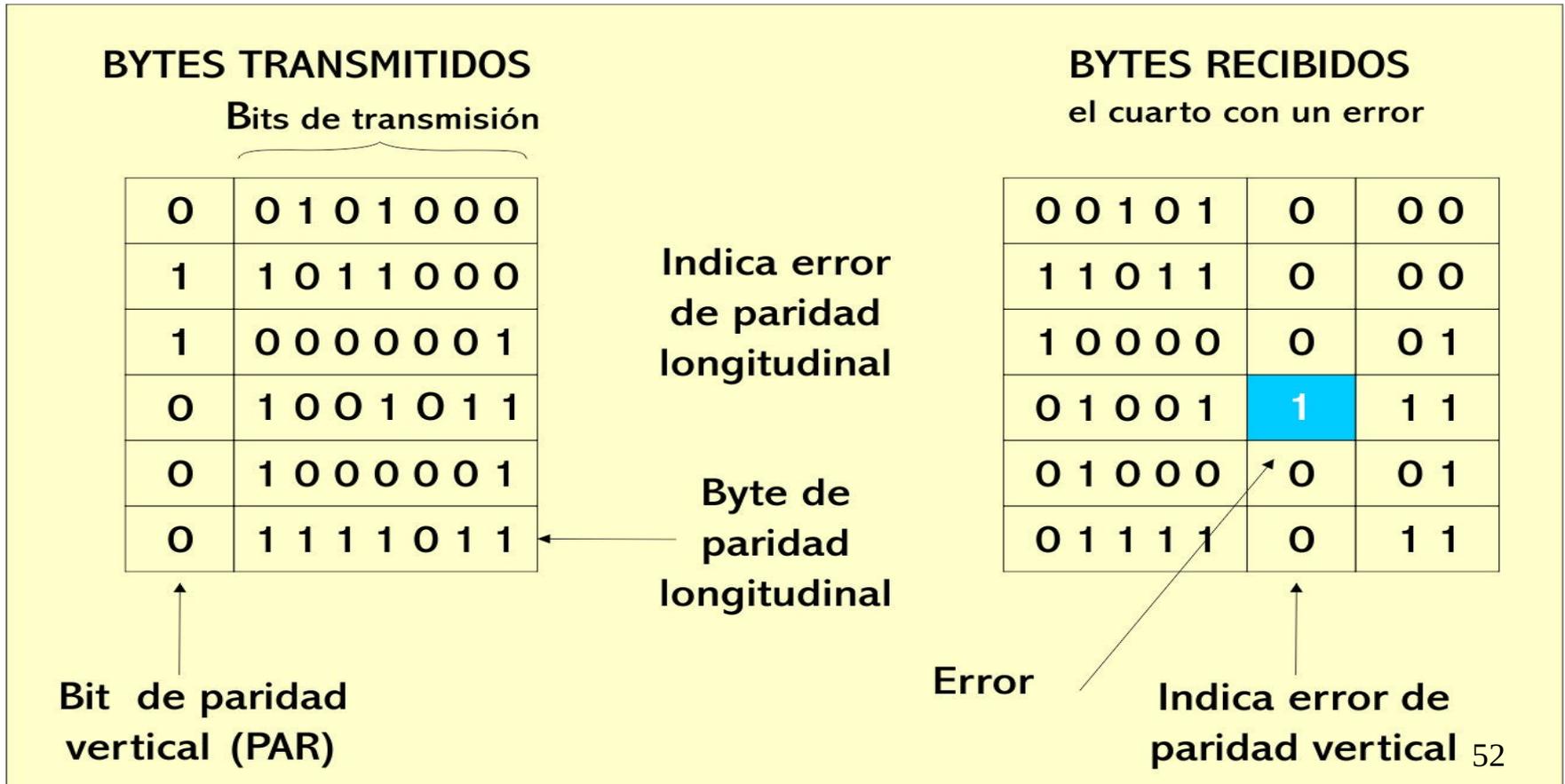
	Dato	Dato	Dato	Dato	Dato
	1	2	3	4	5
Bit N° 1	1	1	0	1	0
Bit N° 2	1	1	0	1	1
Bit N° 3	1	1	0	1	0
Bit N° 4	0	0	0	0	1
Bit N° 5	0	0	0	1	0
Bit N° 6	1	0	1	1	1
Bit N° 7	0	0	1	1	0
Bit de paridad vertical	0	1	0	0	1



CONTROL DE PARIDAD ENTRELAZADA O CICLICA

Este método proporciona un nivel de detección de errores:

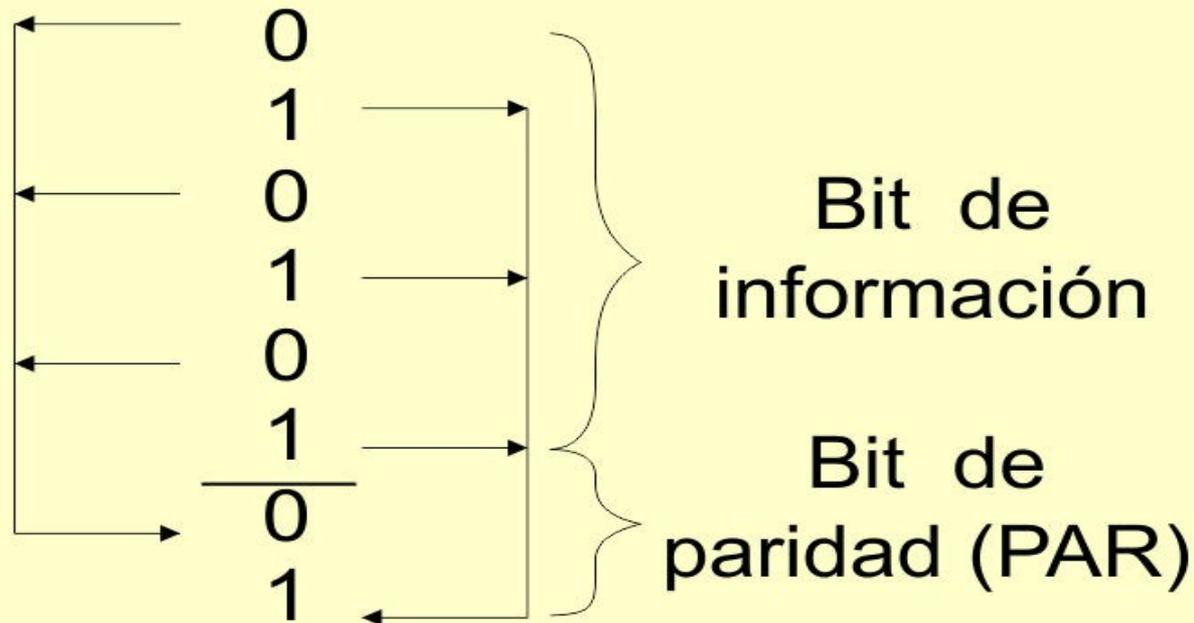
- superior que la del método de la paridad vertical
- menor que la del método de la paridad longitudinal.



El primer bit de paridad proporciona la paridad de los bits primero, tercero y quinto, mientras que el segundo proporciona la paridad de los bits segundo, cuarto y sexto.

Carácter transmitido: 0 1 0 1 0 1

Generación de la paridad cíclica



DETECCION DE ERRORES POR AGREGADO DE INFORMACION REDUNDANTE

Procedimiento:

- El nodo transmisor aplica un algoritmo a los datos.
- Se genera la información redundante compuesta por k bits.
- El transmisor envía la información más los k bits redundantes.
- El receptor separa la información de los k bits redundantes.
- Aplica el algoritmo al contenido de la información.
- Si los bits redundantes coinciden con los calculados se acepta la información como válida.
- Si no hay coincidencia se rechaza.

Hay dos métodos: suma de verificación y redundancia cíclica

DETECCION DE ERRORES POR SUMA DE VERIFICACION

Es muy usado en Internet en el protocolo TCP/IP

Procedimiento en el trasmisor:

- en la fuente se suman los bytes adyacentes, o se ordenan de dos en dos formando palabras de 16 bits.
- con el resultado se calcula el complemento a 1.
- el valor obtenido se coloca en el campo de bits de verificación.

Procedimiento en el receptor:

- se repite el cálculo de los bits de verificación.
- si ambos coinciden se considerará que la transmisión no tuvo errores.

DETECCION DE ERRORES POR REDUNDANCIA CICLICA

Es un método polinomial que utiliza un algoritmo matemático.

Un mensaje 11011011 se asimila a un polinomio:

$$1.X^7 + 1.X^6 + 0.X^5 + 1.X^4 + 1.X^3 + 0.X^2 + 1.X^1 + 1$$

En el trasmisor se divide el mensaje por un polinomio conocido en ambos extremos (generador).

En las operaciones se usa el álgebra de módulo 2, donde no hay términos de acarreo para la suma, ni de préstamo para la resta.

Ejemplo de suma:

$$\begin{array}{r} 11101001 \\ + 10011100 \\ \hline 01110101 \end{array}$$

Ejemplo de resta:

$$\begin{array}{r} 11010001 \\ - 10010110 \\ \hline 01000111 \end{array}$$

Estas operaciones son sencillas de implementar en electrónica mediante compuertas **or exclusivo**.

Procedimiento

- Tomamos un polinomio $M(x)$ de grado n (mensaje a transmitir)
- Definimos un polinomio $G(x)$ de grado r (generador).
- Definimos un polinomio auxiliar del mismo grado que el generador de la forma X^r tal que $n \gg r$.
- Se genera un nuevo polinomio que contenga $(r + n)$ bits de la forma: $M(x) X^r$
- Se divide el nuevo polinomio por el polinomio generador $G(x)$ (empleando el álgebra de módulo 2).
- Se obtendrá un polinomio resto $R(x)$ (que siempre deberá tener un número de bits igual o menor que r , grado del polinomio resto).
- Se obtiene un polinomio $T(x)$, que es el polinomio a transmitir formado por $M(x) + R(x)$.

Paso 1º:
$$\frac{X^r M(x)}{G(x)} = C(x) + R(x)$$

Donde $C(x)$ es el cociente de la división (no tiene unidad)

Paso 2º:
$$T(x) = X^r M(x) + R(x)$$

Paso 3º: $T(x)$ será siempre divisible por el polinomio generador $G(x)$.

Paso 4º: Si se introducen errores en la transmisión se recibirá:

En este caso el $T(x)$ recibido no es divisible por el generador.
$$T(x) = T(x) + E(x)$$

POLINOMIOS GENERADORES

Están normalizados tres polinomios

Polinomio CRC-16: para caracteres codificados con 8 bits:

$$P(X) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$$

Polinomio UIT-1

$$P(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$$

Polinomio CRC-12: para caracteres codificados con 6 bits.

$$P(X) = X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X^1 + 1$$

CORRECCION DE ERRORES

Existen dos estrategias:

- Corrección hacia atrás

Cuando se detecta un error se pide la retransmisión del mensaje mediante un procedimiento automático de retransmisión (ARQ)

Hay mensajes de aceptación (ACK) y de rechazo (NAK)

- Corrección hacia adelante o *Forward Error Control* (FEC)

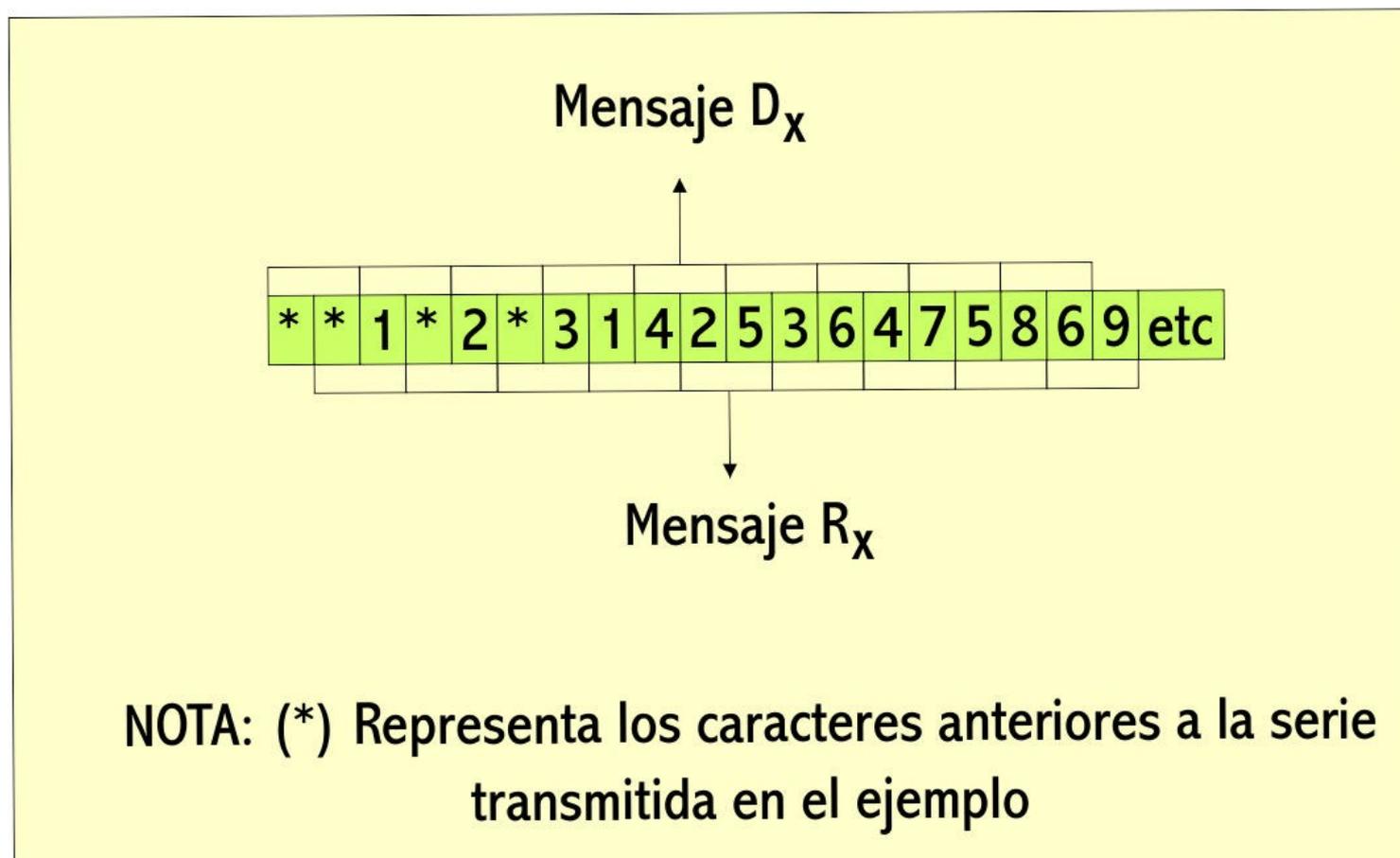
Hay mayor cantidad de bits en la transmisión y códigos auto correctores en el receptor.

Forward Error Correction (FEC)

Funciona en división de tiempo (*time diversity*).

Cada mensaje se envía dos veces, en diferentes instantes.

El receptor tiene dos oportunidades de recibir cada carácter en forma correcta.



Posibles operaciones del FEC.

OPERACIÓN DEL FEC		OPERACIÓN DEL FEC
Serir D_x	Serir R_x	
Sin error	Sin error	Se ordena imprimir el carácter
Con error	Sin error	Se ordena imprimir el carácter de la serie R_x
Sin error	Con error	Se ordena imprimir el carácter de la serie D_x
Con error	Con error	Se ordena imprimir el carácter especial que indica error en la recepción

CODIGOS AUTOCORRECTORES

Son códigos con suficiente redundancia para detectar y corregir errores sin pedir retransmisión.

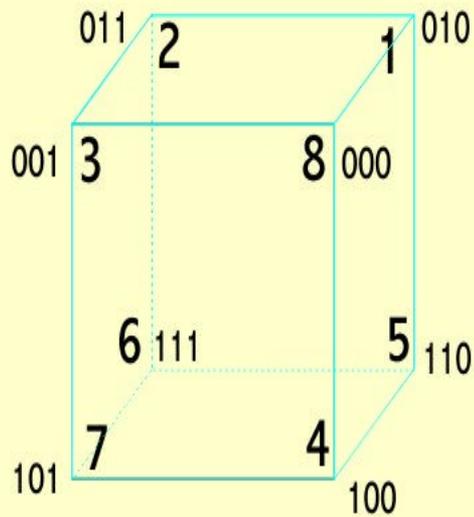
La redundancia va desde unos pocos bits hasta llegar al doble o una cantidad mucho mayor de los necesarios para transmitir un carácter.

Distancia de Hamming: es el número de bits en que difieren dos secuencias binarias de la misma longitud.

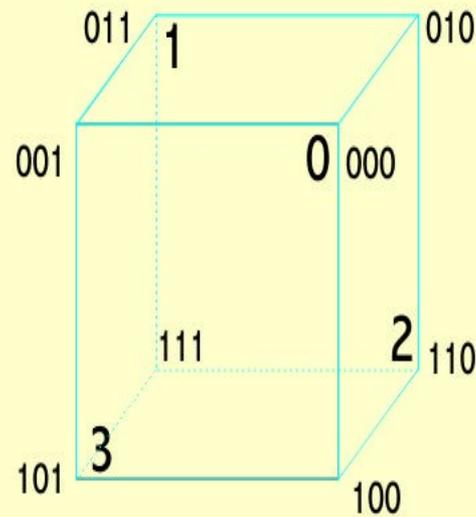
Distancias de Hamming para la secuencia del símbolo "B".

Conjunto	Representa	Secuencia binaria	Distancia de Hamming
S_1	B	0100001	---
S_2	C	1100001	1
S_3	D	0010001	2
S_4	E	1010001	3
S_5	U	1010101	4

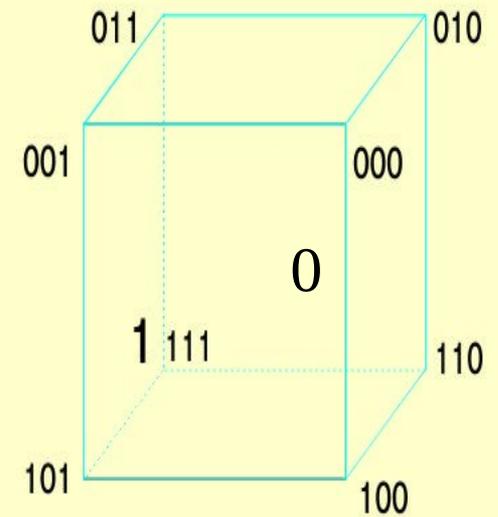
Para un código del tipo numérico, representamos los símbolos del alfabeto fuente usando una base octal:



8 Bytes



4 Bytes



2 Bytes

La capacidad de detección y corrección de errores es función del valor de H (distancia de Hamming):

Distancia de Hamming	Errores	
	Detección	Corrección
1	no	no
2	uno	no
3	dos	uno
4	tres	uno

CODIGO DE HAMMING

Es un código autocorrector que permite detectar y corregir errores mediante el empleo de bits de paridad con determinadas combinaciones únicas de bits de información.

Ejemplo:

- para un carácter de 4 bits I_3 , I_5 , I_6 e I_7 de información
- intercalamos 3 bits de verificación de paridad P_1 , P_2 y P_4 .

Bits de información			I_3		I_5	I_6	I_7
Bits de paridad	P_1	P_2		P_4			
Caracter resultante	P_1	P_2	I_3	P_4	I_5	I_6	I_7

Bits de información y paridad: relación entre ambos.

Bits de paridad	Bits de información		
P_1	I_3	I_5	I_7
P_2	I_3	I_6	I_7
P_4	I_5	I_6	I_7

Carácter original

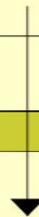
I_3 I_5 I_6 I_7
0 0 1 1

Cálculo de bits de paridad (PAR)	Bits de información asociados			Bits de paridad (PAR)
P_1	0	1	1	1
P_2	0	1	1	0
P_4	0	1	1	0

Código de Hamming formado

P_1 P_2 I_3 I_4 I_5 I_6 I_7
1 0 0 0 0 1 1

Bits de verificación indicadores de uno de paridad				Posición numérica del bit erróneo
P ₄	P ₂	P ₁		
0	0	0		Ninguno
0	0	1		P ₁
0	1	0		P ₂
0	1	1		P ₃
1	0	0		P ₄
1	0	1		P ₅
1	1	0		P ₆
1	1	1		P ₇



Indica error de paridad en P4 y P2 debido a que el bit de información 16 recibido es incorrecto

Nota: Cada "1" de la tabla significa que el bit de paridad o verificación indica un error de paridad. No es el valor real del bit de verificación.

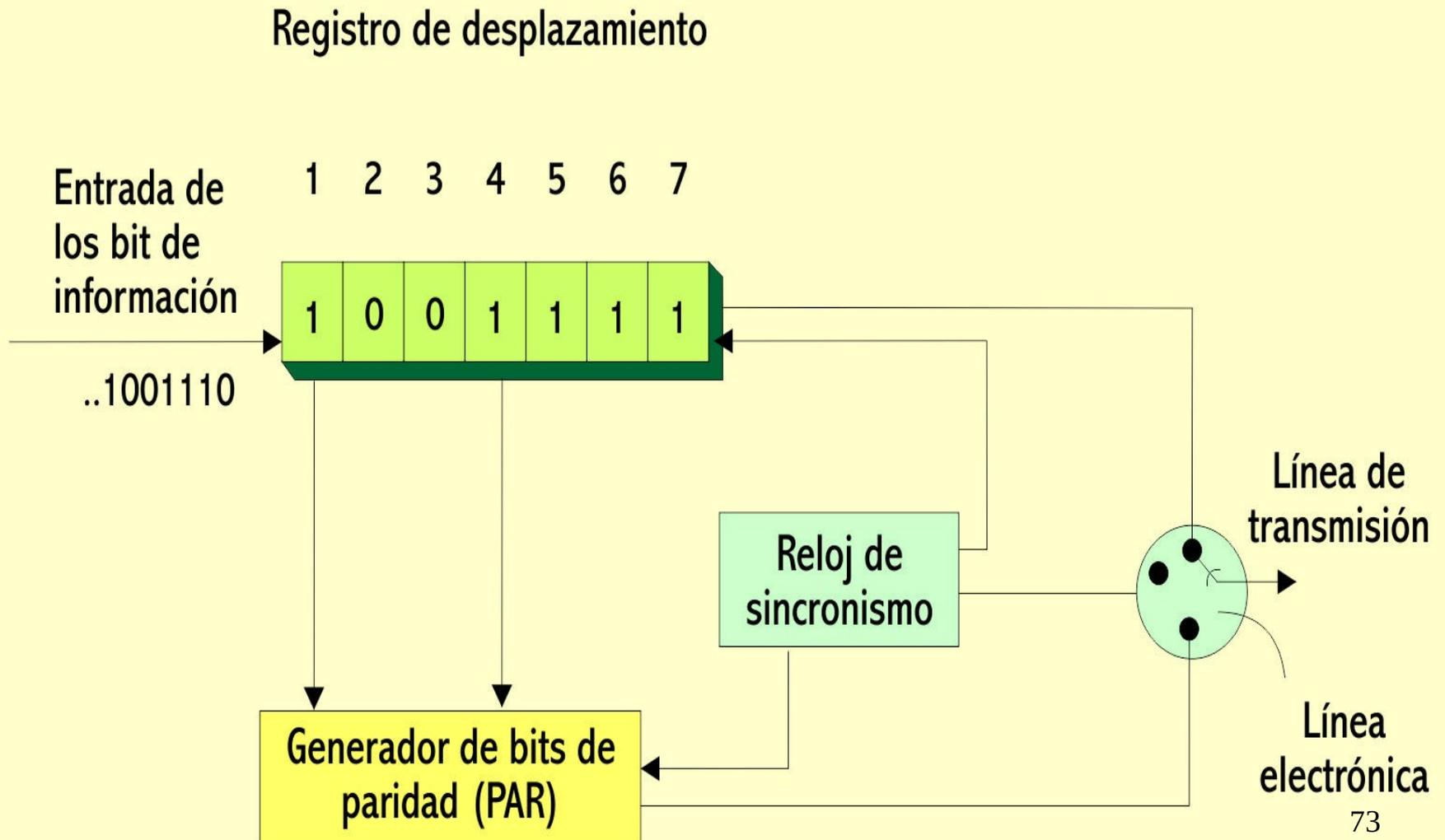
CODIGO DE HAGELBERGER

Permite corregir hasta 6 bits consecutivos (Hamming corrige solo un bit).

Hagelberger exige que al grupo de errores le sucedan por lo menos 19 bits válidos antes de comenzar otra serie de bits erróneos.

El codificador Hagelberger tiene un registro de desplazamiento serie.

Codificador Hagelberger.



CODIGO DE BOSE-CHAUDURI

Tiene una distancia de $H = 5$

-puede detectar hasta cuatro errores

-puede corregir hasta dos bits.

Hay varias versiones del código.

La primitiva introduce 10 bits adicionales por cada 21 bits de información .

Comunicaciones

Clase 7

Medios alámbricos

CABLES DE COBRE

Son el medio de comunicaciones más usado en sus distintas variantes:

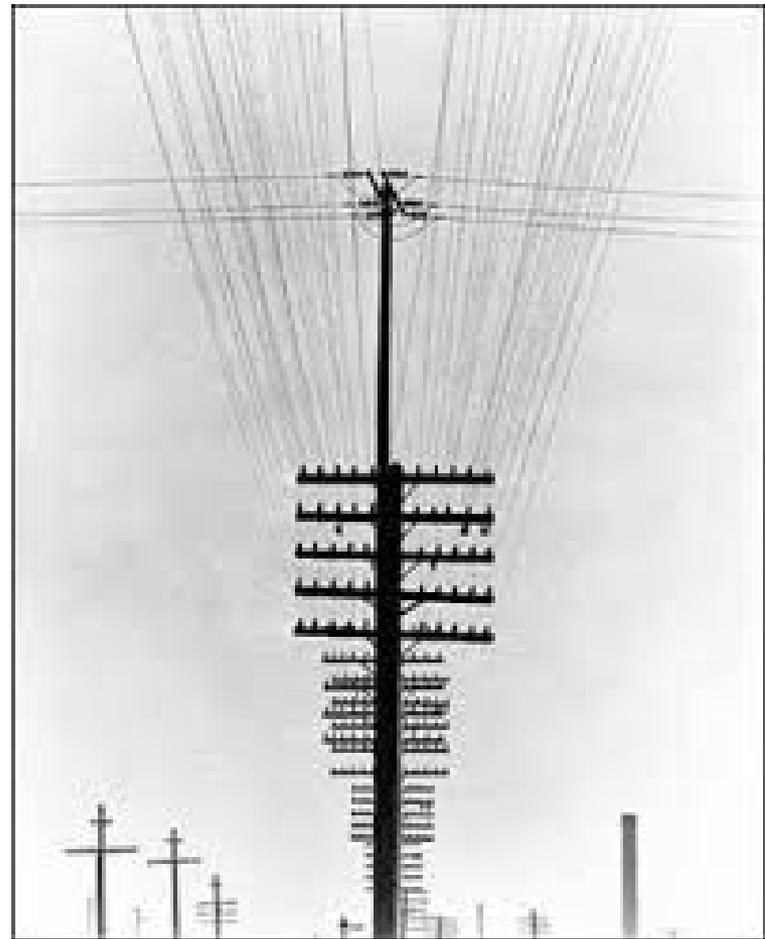
- Líneas abiertas de cobre desnudo.
- Cables de par trenzados.
- Cables multipares.
- Cables coaxiales.
- Cables submarinos de cobre.

LINEAS ABIERTAS DE COBRE DESNUDO

Cada circuito son dos alambres con aisladores cerámicos montados en travesaños horizontales sobre postes de palmera.

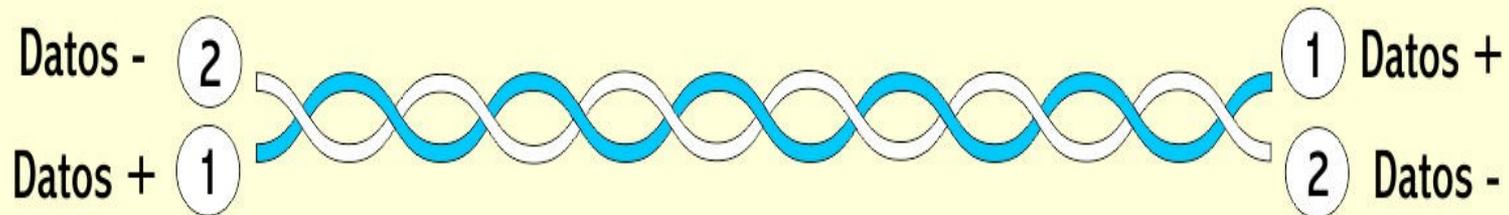
Se usaron para telegrafía y para telefonía, pero se abandonaron por:

- Alto costo de mantenimiento.
- Ancho de banda limitado.
- Sufren vandalismo
- Capta ruido externo
- Presenta diafonía.



CABLES DE PAR TRENZADO

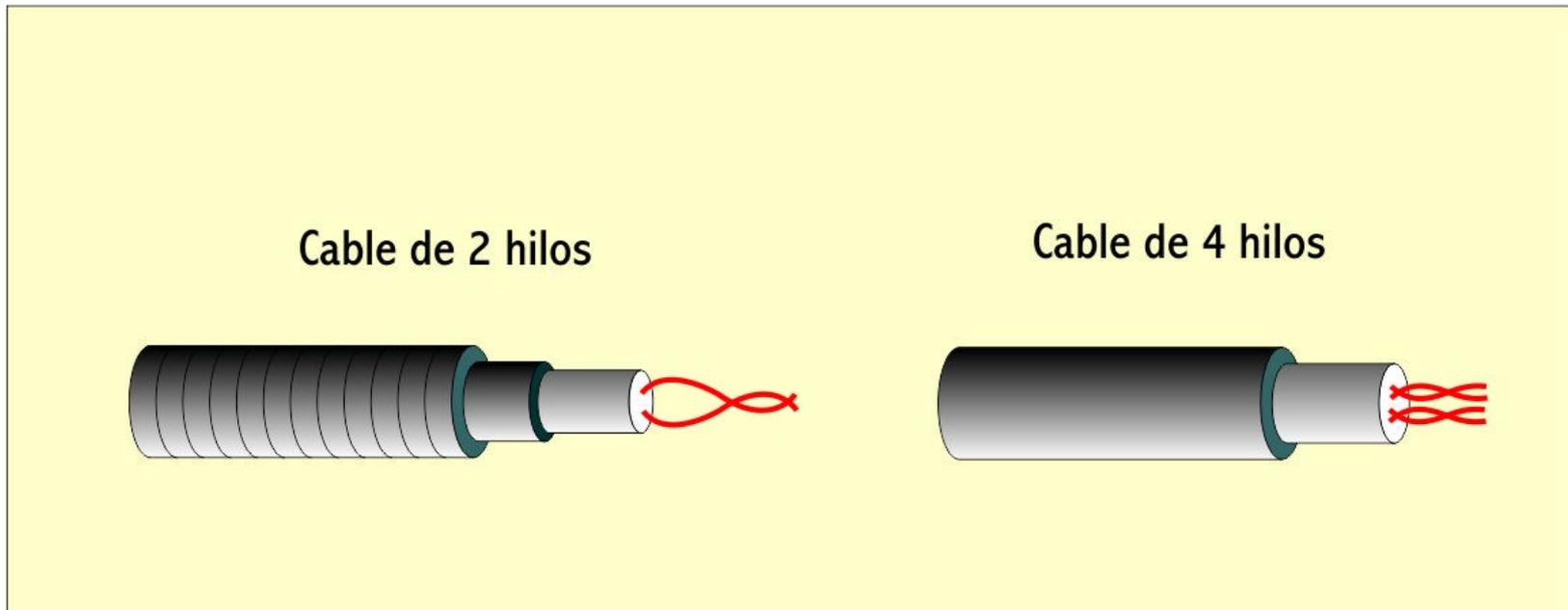
- Cada circuito son dos alambres con una vaina aislante que se trenzan entre sí.
- Las interferencias externas se cancelan entre los dos hilos.



Las corrientes circulan en sentido contrario creando campos electromagnéticos opuestos que se anulan entre sí.

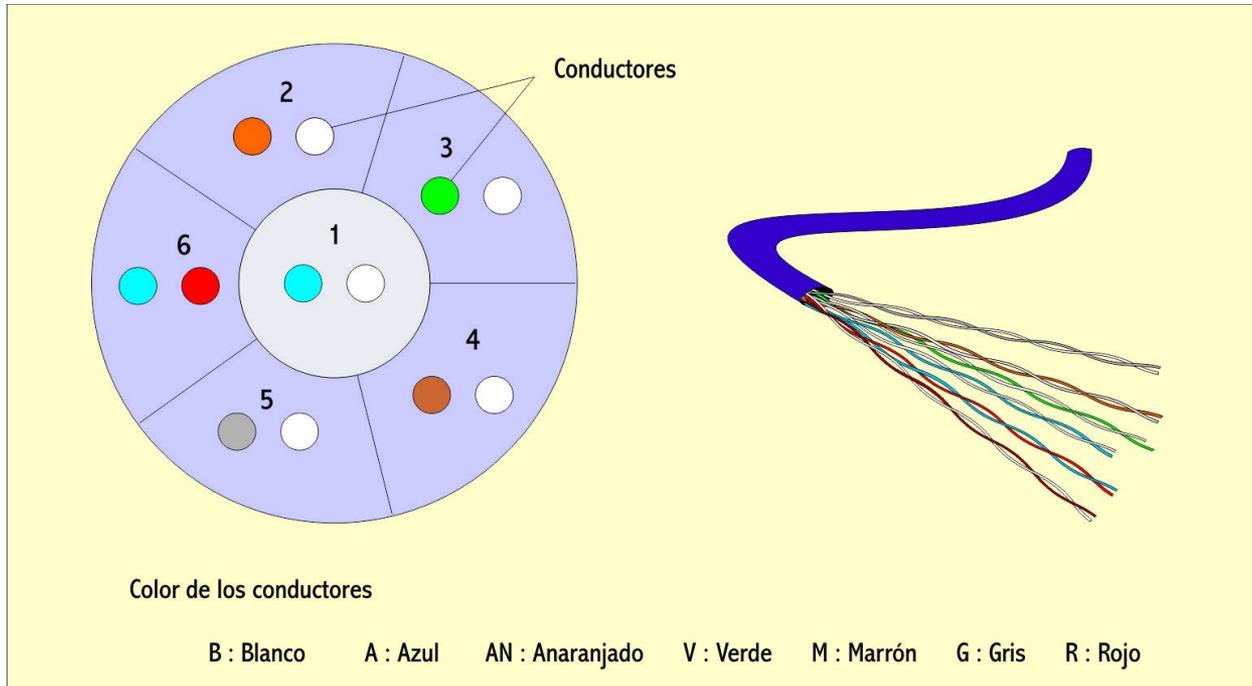
CABLES MULTIPARES

Varios pares se reúnen en conjuntos para formar un cable con elementos que soportan la tracción y una cubierta que los protege del medio.



Se usan para telefonía y para transmisión de datos.

La aislación sigue un código de colores para identificar cada par.

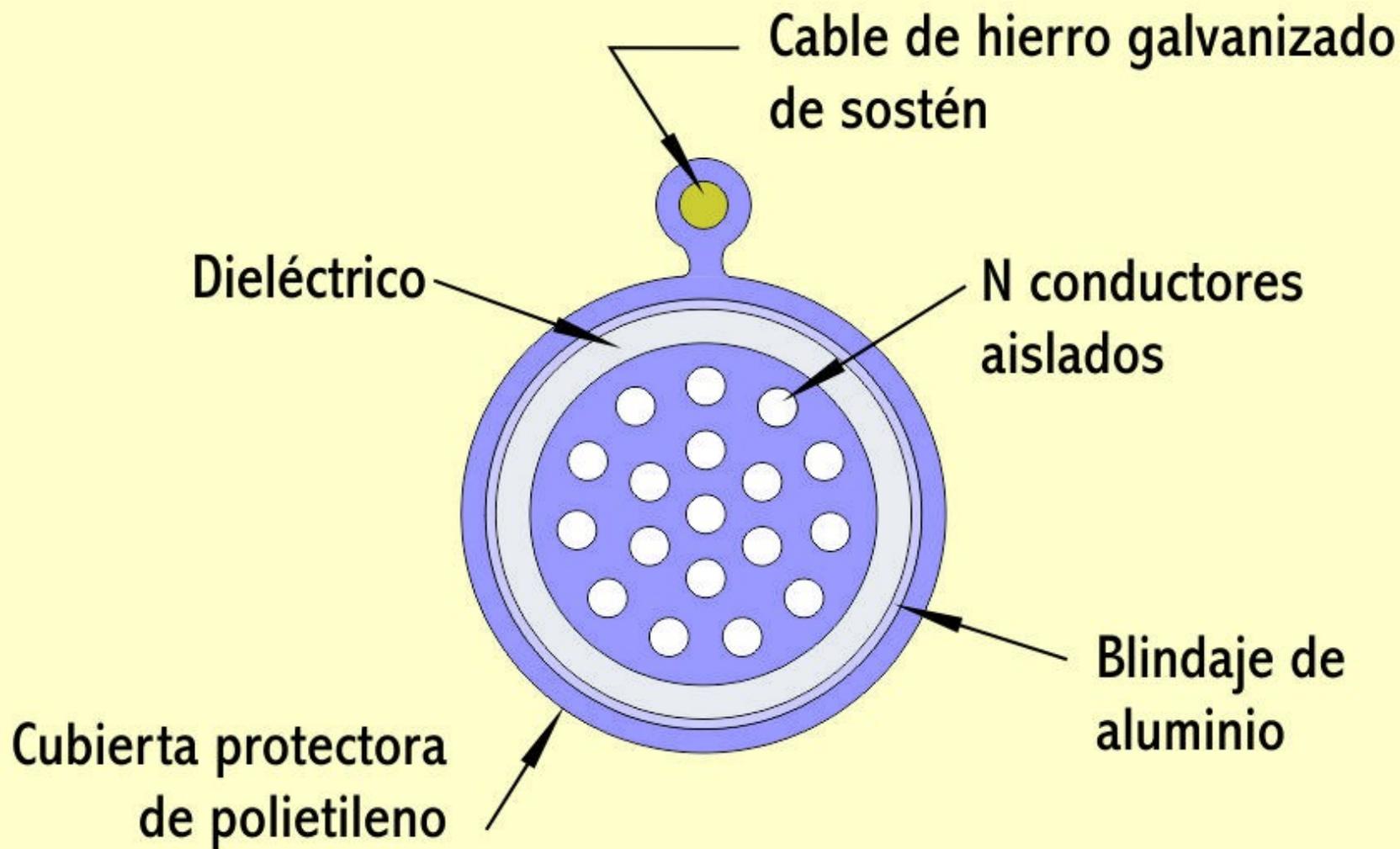


Par Número	Color del aislación	
	Conductor N° 1	Conductor N° 2
1	Blanco	Azul
2	Blanco	Anaranjado
3	Blanco	Verde
4	Blanco	Marrón
5	Blanco	Gris oscuro
6	Rojo	Azul

CABLES TELEFONICOS

Son cables multipares que responden bien en la banda vocal.

- Los alambres tienen entre 0,3 y 1 mm
- Hay cables normalizados de 6, 10, 18, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1200, 1500, 1800 ó 2200 pares.
- Hasta 300 pares pueden usarse en tendidos aéreos suspendidos en postes, con cubiertas que soportan la radiación UV.
- Los cables subterráneos tienen cubiertas que lo protegen del agua y pueden tener mallas metálicas para protección mecánica.



CARACTERISTICAS ELECTRICAS

La impedancia y la atenuación de un par depende de las dimensiones y material de los conductores y del dieléctrico que los separa.

La resistencia eléctrica de los conductores se mide en corriente continua a 20°C de temperatura.

Diámetro del conductor (mm)	Resistencia óptima (Ohms/km) Promedio máximo
0,40	143,0
0,50	91,4
0,65	54,5
0,80	35,7
0,90	28,2

Dada la proximidad entre los conductores de los pares existe una capacidad entre ellos denominada capacidad mutua.

Nº de pares (para todos los calibres de conductores)	Capacidad mutua (microfara- dio/km) Promedio máximo
Cables de hasta 10 pares	0,058
Cables con más de 10 pares	0,056

La resistencia de aislación de cada conductor se mide contra todos los demás, unidos entre si, y también contra el blindaje de aluminio del cable.

Aplicando 500 V de corriente continua debe ser mayor que 15 M Ω x km.

CABLES COAXIALES

Son dos conductores concéntricos: uno interno o central y uno externo, que lo rodea.

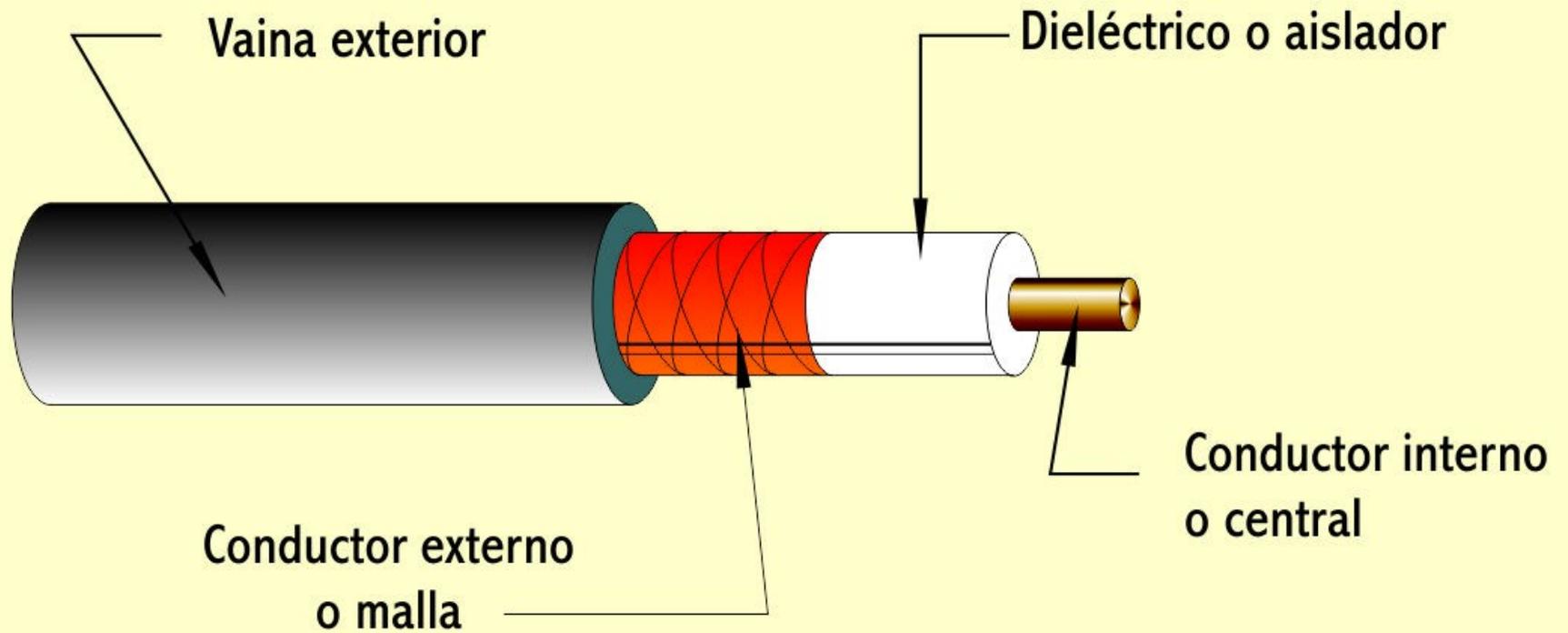
Todavía se usan para:

- Conectar un transmisor con su antena
- Distribuir de señales de televisión por cable (CATV)

Antes se usaron:

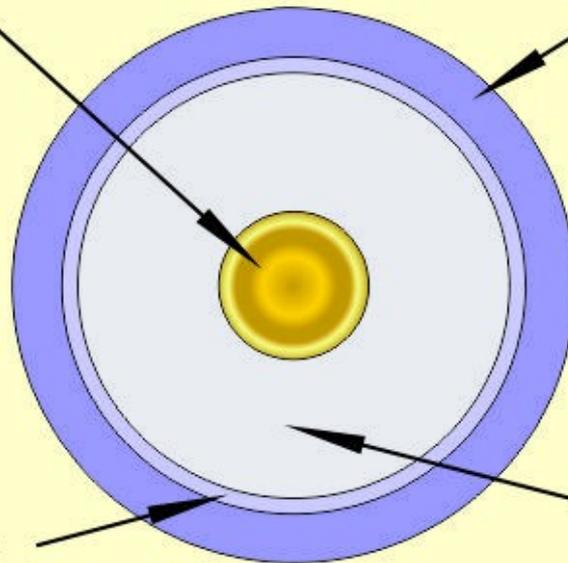
- En las redes de datos internas desde los 80 y hasta los 90, pero fueron reemplazados por cables de pares trenzados.
- En las redes interurbanas entre los 60 y los 90, pero fueron reemplazados por cables de fibra óptica.

Componentes



**Conductor
central**

**Vaina PVC
exterior**



**Conductor
exterior**

**Dieléctrico o
aislamiento
entre conductores**

CODIFICACION DE CABLES COAXILES

Norma **MIL C -17 E** de las Fuerzas Armadas de EE.UU:

Para cada tipo de cable hay una sigla:

- las letras **RG (radiofrecuencia/gobierno)**
- un número progresivo para cada tipo de cable
- la letra **U (universal)**

Para la elección de cada cable coaxil se deben tener en cuenta los siguientes tres parámetros :

- Impedancia característica.
- Frecuencia de trabajo.
- Atenuación máxima.

Los fabricantes publican estas características en el folleto de cada cable y sirven para seleccionar el más adecuado para cada aplicación.

Coaxial tipo	Eléctricas				Operativas					
	Impedancia $Z_0 = [\Omega] \pm 2$	Capacidad $C [pF/m]$	Velocidad de Propagación $V_0 = [\%]$	Tensión máxima $U_{\text{máx}} = [kV]$	Atenuación a 20° C $\alpha = [dB/100m]$					
					1000	1000	1000	1000	1000	1000
Rg174 A/U	50	101	66	1,5	12,80	23,0	29,2	39,4	61,0	98,4
RG122 /U	50	101	66	1,9	5,90	14,2	23,0	36,1	56,0	95,2
RG58 C/U	50	101	66	1,9	4,90	12,0	17,0	26,0	38,0	65,0
RG223 /U	50	101	66	1,9	4,30	10,0	14,0	20,0	29,0	45,0
RG223 /U	50	101	66	1,9	3,90	9,5	15,8	23,0	33,0	54,2
RG 213 /U	50	101	66	5,0	2,00	4,9	7,0	10,5	15,5	26,0
RG9 B/U	50	101	66	5,0	2,20	5,4	7,6	11,5	17,5	30,0
RG21 4/U	50	101	66	5,0	2,20	5,4	7,6	10,9	17,0	28,9
RG21 8/U	50	101	66	11,0	0,75	1,8	3,0	4,6	7,0	12,0
RG17 7/U	50	101	66	11,0	0,78	1,8	3,1	4,6	7,9	14,5

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CABLES COAXILES

La **capacidad** y la **inductancia** por unidad de longitud se pueden calcular por medio de las siguientes expresiones,

donde: - D es el diámetro de la malla

- d es el diámetro del conductor central

$$\text{Capacidad} = \frac{24,16 E}{\log \frac{D}{d}} \left[\frac{\text{pF}}{\text{m}} \right]$$

$$\text{Inductancia} = 0,463 \log \frac{D}{d} + 0,522 \cdot 10^{-6} \frac{R}{f} \left[\frac{\mu\text{H}}{\text{m}} \right]$$

La **impedancia característica** se define como la relación entre la **tensión** aplicada y la **corriente** absorbida en un cable de longitud infinita.

Se puede calcular en base a:

- la relación entre los diámetros de los conductores
- la constante dieléctrica del material aislante.

La **atenuación** es la pérdida de potencia a una determinada frecuencia expresada en dB por cada kilómetro de cable.

Atenuación dB/km	Frecuencia MHz
0,59	0,06
1,27	0,30
2,32	1,00
8,01	12,00
14,67	60,00
40,7	300,00

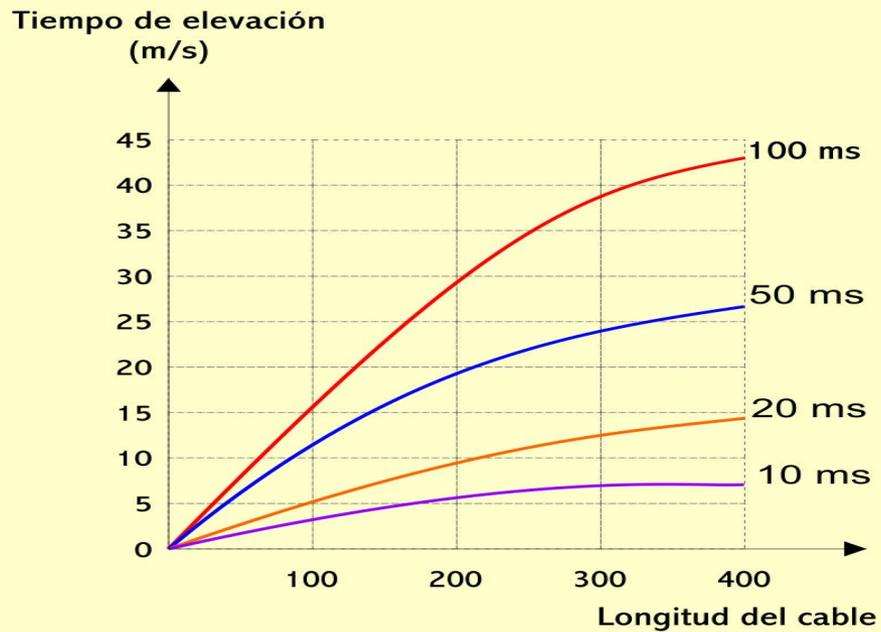
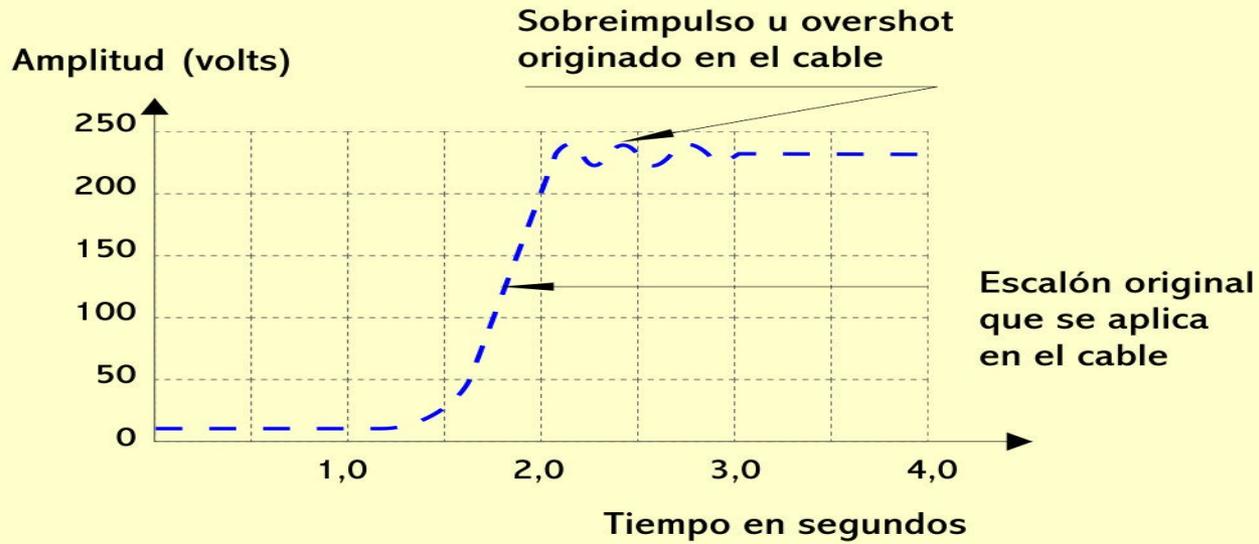
CABLES COAXIALES CON SEÑALES DIGITALES

Cuando se transmiten pulsos a través de los cables coaxiales se producen distorsiones en la transmisión.

Tiempo de crecimiento de un pulso es el intervalo para que crezca desde un 10% hasta 90% del valor máximo.

Si el cable fuese ideal:

- el tiempo de crecimiento debería ser cero
- no habría distorsión del pulso.



VELOCIDAD DE PROPAGACIONES DE LAS SEÑALES

Está determinada por la constante dieléctrica del material aislante que separa al conductor central del conductor exterior.

La velocidad se expresa como un porcentaje de la velocidad de propagación de la luz en el espacio libre

Cable coaxial con material dieléctrico	Tiempo de retardo (m seg/Ft)	Velocidad (%)
Polietileno sólido	1,54	65,9
Polietileno espumoso	1,27	80,0
Polietileno y aire	1,15 - 1,21	84 a 88
Teflón sólido	1,46	69,4
Elastipar	1,50	66
Teflón expandido	1,27	85

CABLES DE PAR TRENZADO PARA DATOS

Se usan cables de cuatro pares con una vaina plástica exterior.

Hay cables de tres tipos:

UTP (unshielded twisted pair): no tiene blindaje.

FTP (foiled twisted pair): hay una hoja de aluminio que envuelve a los cuatro pares debajo de la vaina para protegerlos de la interferencia externa.

STP (shielded twisted pair): cada par tiene un blindaje para protegerlo de la interferencia de los otros pares.

NORMALIZACION DE CABLES DE DATOS

Las especificaciones están normalizadas por la TIA y por la ISO. Normas TIA los dividen por categoría y las ISO por clases.

Categorías según TIA:

Con un solo par de cables de cobre trenzados:

- **Categoría 1:** telefonía analógica, no apto para datos.

Con cuatro pares de cables de cobre trenzados:

- **Categoría 2:** telefonía analógica y digital hasta 4 Mbps.

- **Categoría 3:** telefonía analógica, redes LAN Token Ring (4 Mbps) o Ethernet (10 Mbps).

- **Categoría 4:** telefonía analógica, digital, redes LAN Token Ring (16 Mbps) o Ethernet (10 Mbps).

- **Categoría 5:** redes LAN Fast Ethernet (100 Mbps).
- **Categoría 5e:** permite algunas aplicaciones a 1 Gbps.
- **Categoría 6:** especialmente diseñada para 1 Gbps

Para aplicaciones especiales hay otras categorías: 6A, 7, 7A.
Cada categoría tiene características especiales:

Parámetros	Categoría - Clases				
	5e / D	6 / E	6A / E _A	7 / F	7A / F _A
Frecuencia [MHz]	1 - 100	1 - 250	1 - 500	1 - 600	1 - 1000
Atenuación [dB] (1)	24	21,3 / 21,7	20,9	20,8	20,3
Pérdida NEXT [dB] (2)	30,1	39,9	39,9	62,9	65
Pérdida ACRF [dB] (2)	17,4	23,3	23,3 / 25,5	44,4	47,4
Pérdida Retorno [dB] (2)	10	12	12	12	12
Delay de propagación [ns]	548	548	548	548	548

CABLEADO ESTRUCTURADO

Las instalaciones en los edificios de oficinas deben ofrecer en cada puesto de trabajo conexión con:

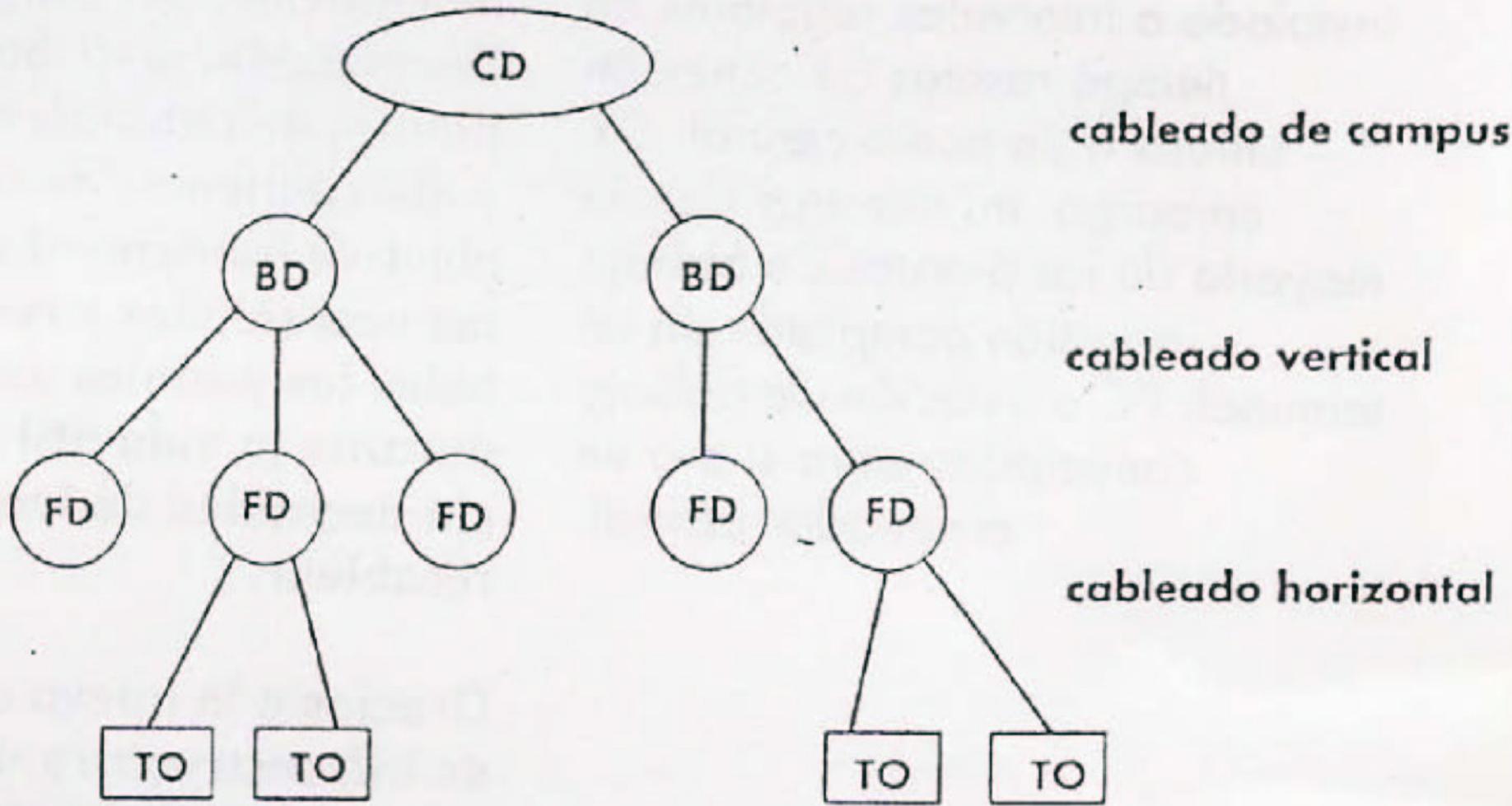
- la **Red de Área Local**
- la **Red Telefónica**
- la **Red de Energía Eléctrica**

Antes había redes separadas para voz, video y datos, pero la tecnología converge a un solo tipo de red para todos los servicios.

Las redes de datos están normalizadas por la EIA/TIA 568.

Las redes de distribución eléctrica están normalizadas por la Asociación Electrotécnica Argentina.

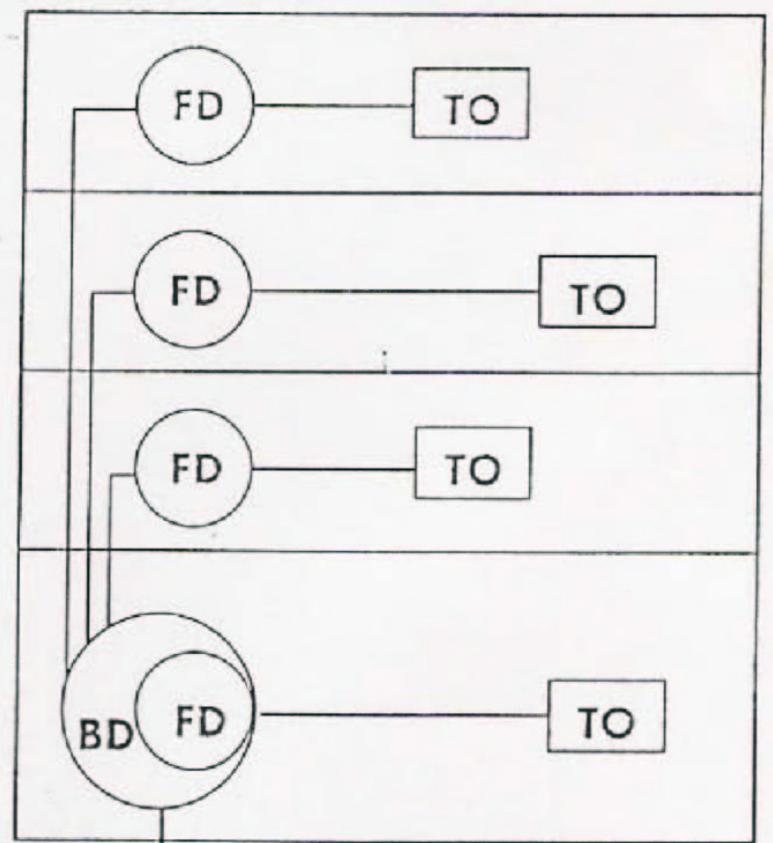
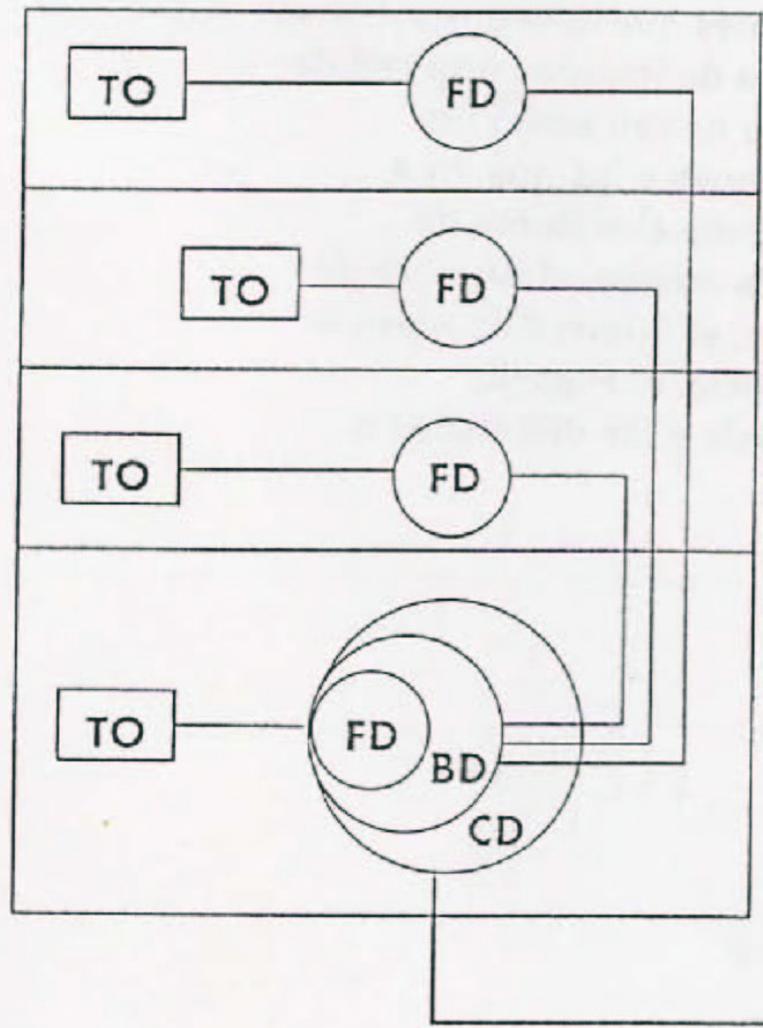
INTERRELACION DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES



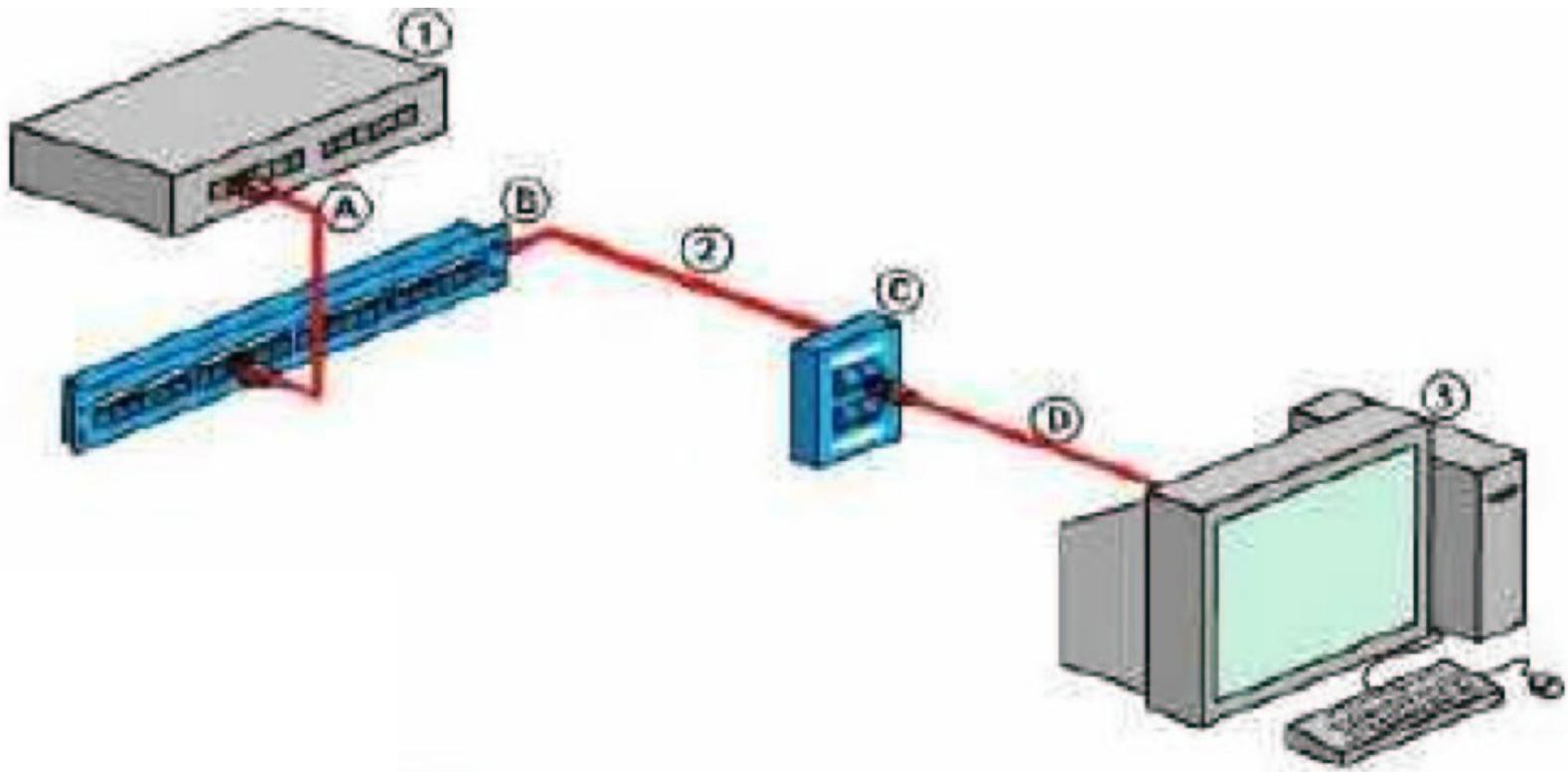
Estructura

- Cableado de campus: cableado de todos los distribuidores de edificios al distribuidor de campus.
- Cableado vertical: cableado de los distribuidores del piso al distribuidor del edificio.
- Cableado horizontal: cableado desde el distribuidor de piso a los puestos de usuario.
- Cableado de usuario: cableado del puesto de usuario a los equipos

EJEMPLO EN UNA CONFIGURACION DE EDIFICIO



Observe que las funciones de más de un distribuidor pueden estar combinadas



1. Switch

A. Patch Cord

2. Cableado horizontal

B. Patch Panel

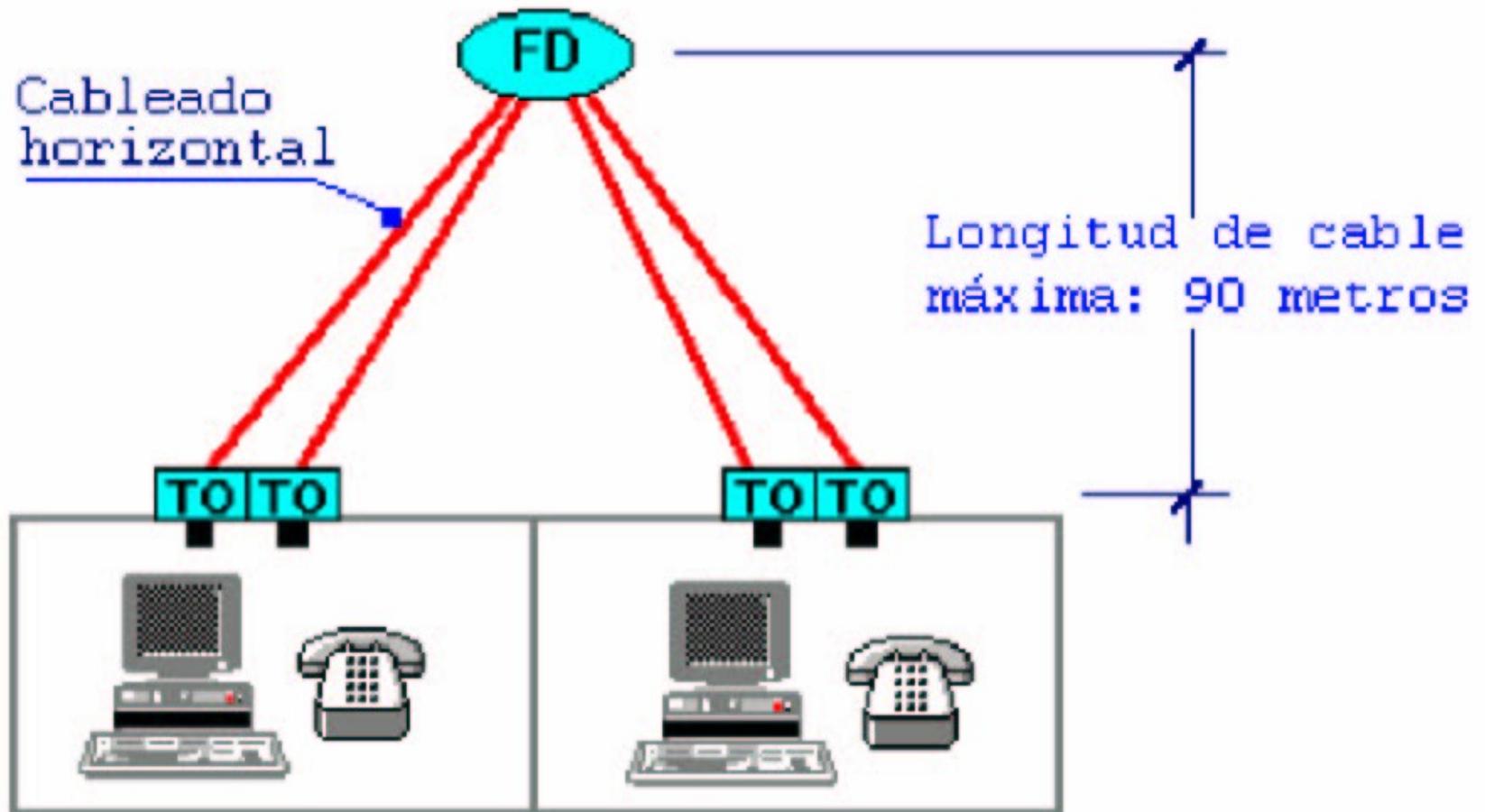
3. Computadora

C. Toma de usuario

D. Patch Cord

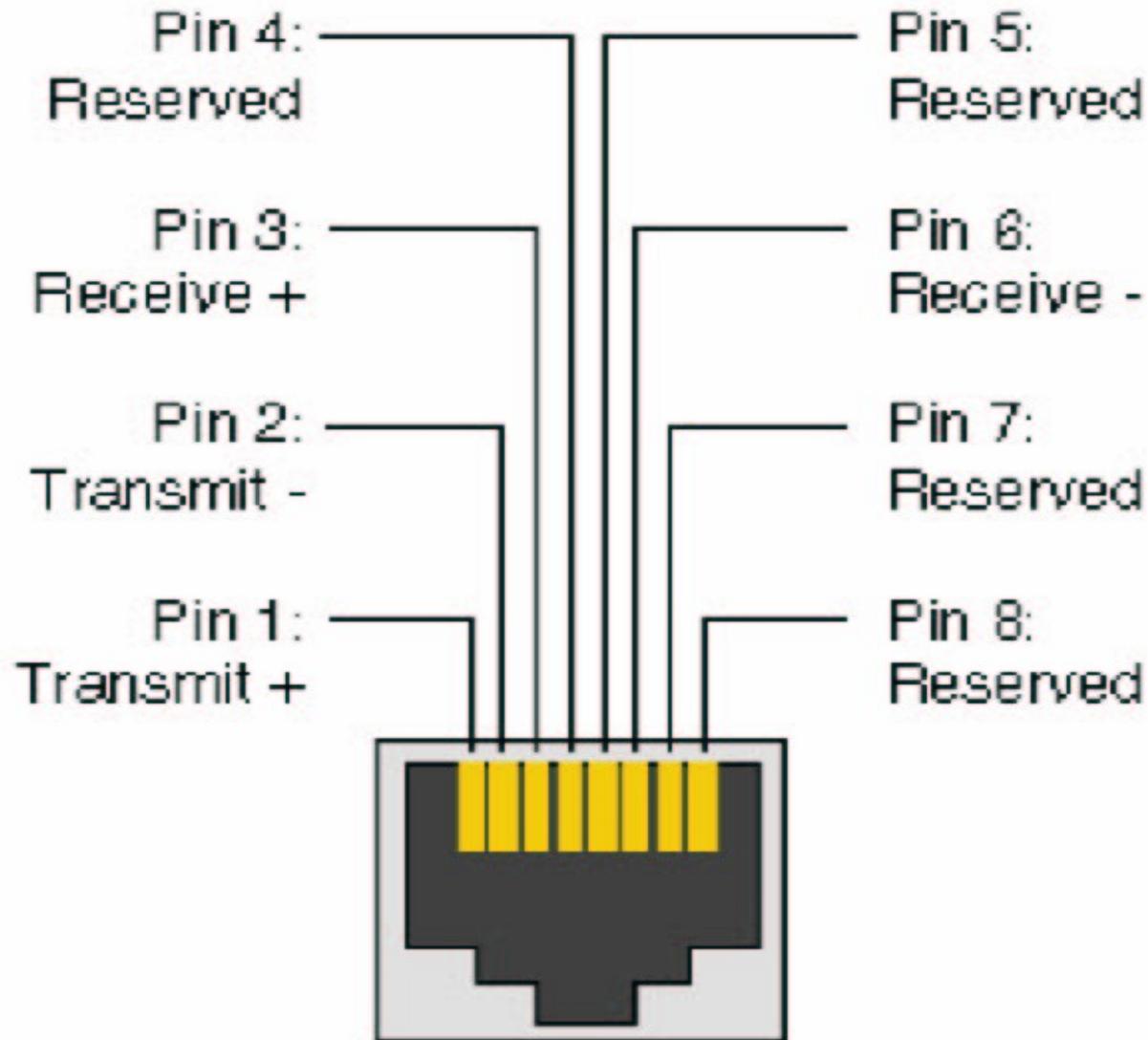
Cableado horizontal

Desde el armario de red a la toma de usuario

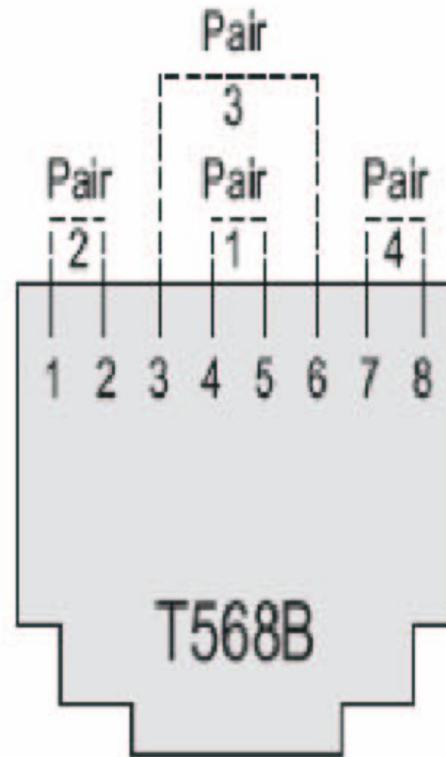
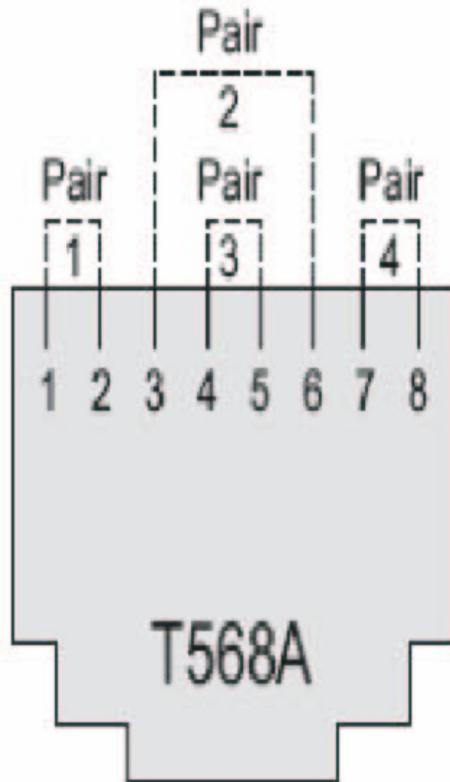


- No se permiten puentes, derivaciones y empalmes a lo largo de todo el trayecto del cableado.
- Se debe considerar su proximidad con el cableado eléctrico que genera altos niveles de interferencia electromagnética (motores, elevadores, transformadores, etc.) y cuyas limitaciones se encuentran en el estándar ANSI/EIA/TIA 569.
- La máxima longitud permitida independientemente del tipo de medio de Tx utilizado es 100m
= 90 m + 3 m usuario + 7 m patch panel.

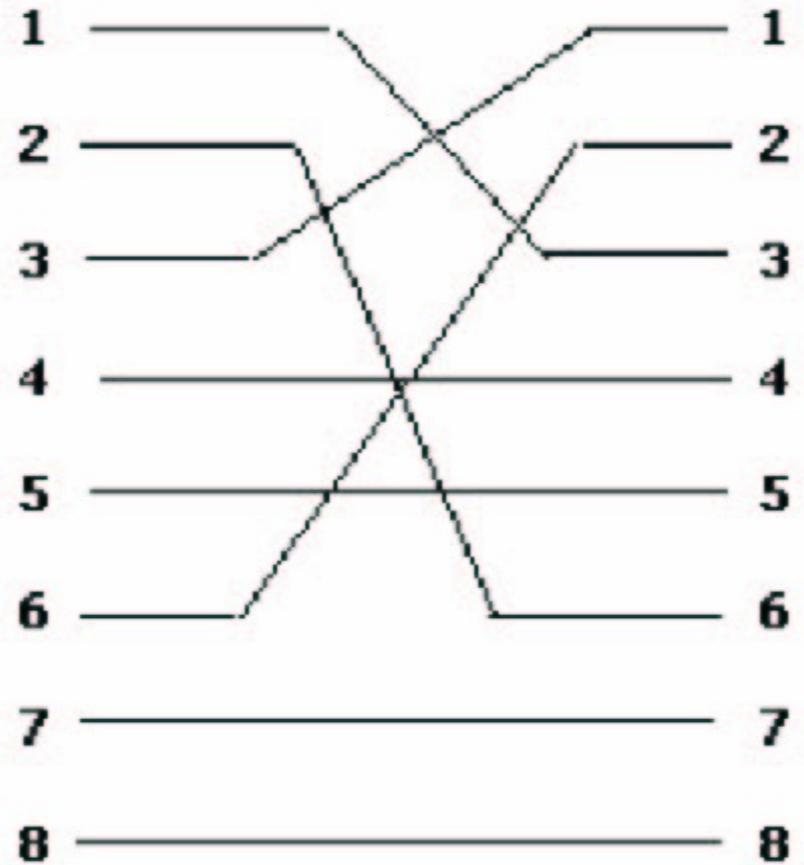
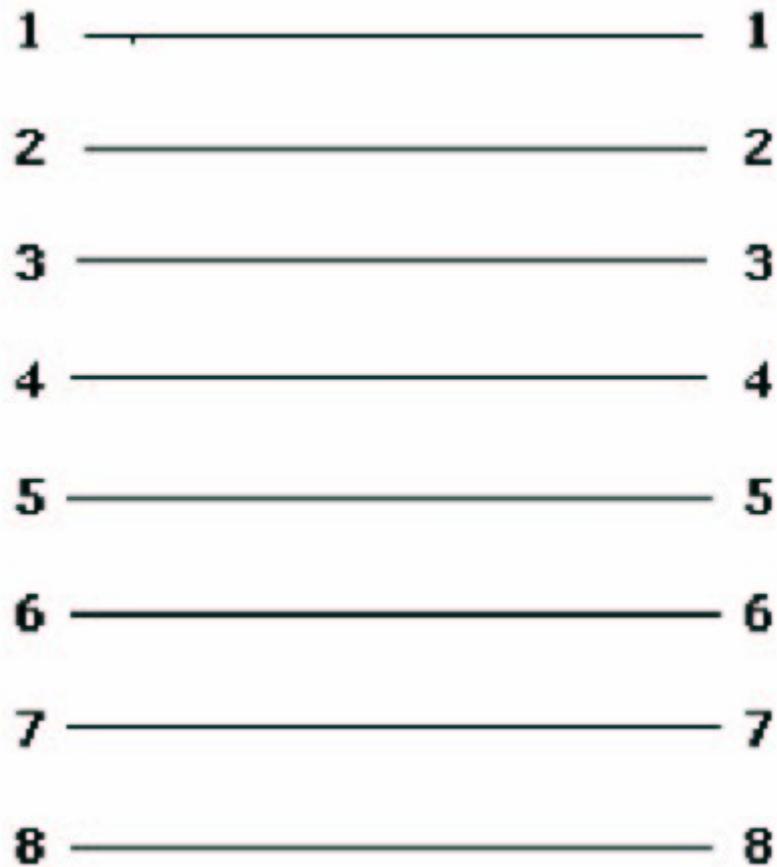
El conector normalizado es el RJ45



Hay dos formas de cablear los pines

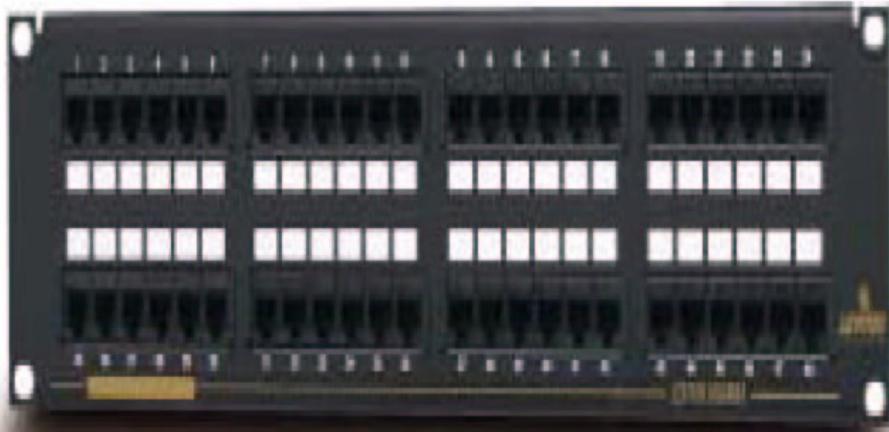


Cable (patch cord) derecho y cruzado



- Un cable directo se usa para conectar:
 - Router con un Switch.
 - Router con un Hub.
 - Hub con un Switch.
 - Hub con una PC.
 - Switch con una PC.
- Un cable cruzado se usa para conectar:
 - Router con un Router
 - Hub con un Hub.
 - Switch con un Switch.
 - PC con una PC.
 - Router con una PC.

Patch Panel



Cableado vertical

- Interconexión entre los armarios de red, sala de equipos y entrada de servicios.
- Cables:
 - Par trenzado
 - Fibra óptica multimodo
 - Distancia máximas:
 - Par trenzado: 800 metros.
 - Fibra MM 62.5/125 μ m: 2000 metros.

SALAS DE EQUIPOS

- Espacio donde residen los equipos comunes de un edificio (central telefónica, central de video, servidores, etc.)
- Solo se admiten equipos directamente relacionados con los sistemas de telecomunicaciones.
- En su diseño se debe prever tanto para equipos actuales como para equipos a implementar en el futuro.
- Si un edificio es compartido por varias empresas, la sala de equipos puede ser compartida.

DATA CENTER

- Concepto moderno que incluye especificaciones para:
 - la sala de servidores
 - la sala de comunicaciones
 - la sala de energía
 - instalaciones del edificio
- La norma TIA 942 regula la armonía entre las instalaciones y el desempeño esperado en términos de confiabilidad, con varios niveles (Tier) de diseño.

MEDICIONES DE CABLEADO ESTRUCTURADO

- La certificación de las instalaciones se hace con un equipo adecuado para cada categoría.
- Hasta la categoría 5 nos interesan:
 - Mapa de cableado: verifica concordancia entre pines y pares en ambos extremos
 - Resistencia/Impedancia
 - Longitud/retardo
 - Atenuación (en dB)
 - NEXT (diafonía entre pares)

Factores de la atenuación

- Características eléctricas del cable
- Materiales y construcción.
- Pérdidas de inserción debido a terminaciones y imperfecciones
- Reflejos por cambios en la impedancia
- Frecuencia de trabajo
- Temperatura
- Longitud del enlace
- Humedad
- Envejecimiento

NEXT

- Near end cross talk: es la diafonía o interferencia entre pares, medida en el mismo extremo
- El peor caso que puede ocurrir es que el par de transmisión en el conector que transmite interfiera la señal en el par de recepción, donde la sensibilidad de la recepción es más alta.
- Se calcula como $10 \log (\text{Pot par tx} / \text{Pot par rx})$
- La diafonía depende de:
 - Calidad de la mano de obra
 - Desarmado de las trenzas
 - La frecuencia (o la velocidad)
- La dificultad de la diafonía es el poder determinar el punto exacto donde ocurre

MEDICIONES AVANZADAS

- Para categorías mayores se usa transmisión en paralelo por más de un par
- Se miden adicionalmente
 - FEXT (Far end cross talk) o diafonía entre dos transmisiones en el extremo receptor
 - Pérdidas de retorno: medida de desadaptación respecto de la impedancia nominal de la línea
- En 10 Gbps se habla de Alien crosstalk (AXT) que ocurre entre pares de diferentes cables.

CABLES SUBMARINOS DE COBRE

Fueron cables multipares o coaxiales con cubiertas especiales para tendidos bajo la superficie del mar que vincularon continentes.

- 1850: cable entre Inglaterra y el continente europeo.
- 1866: cable entre Europa y América.

Son obsoletos y fueron reemplazados por cables submarinos de fibra óptica.

FIBRAS OPTICAS

Revolucionaron las telecomunicaciones por su mayor capacidad, que llega a varios Tbps.

Este medio es un fino hilo conductor de vidrio que transporta luz en la banda de los infrarrojos (no visible).

Se usa ampliamente en cables de hasta cientos de fibras ópticas en tendidos:

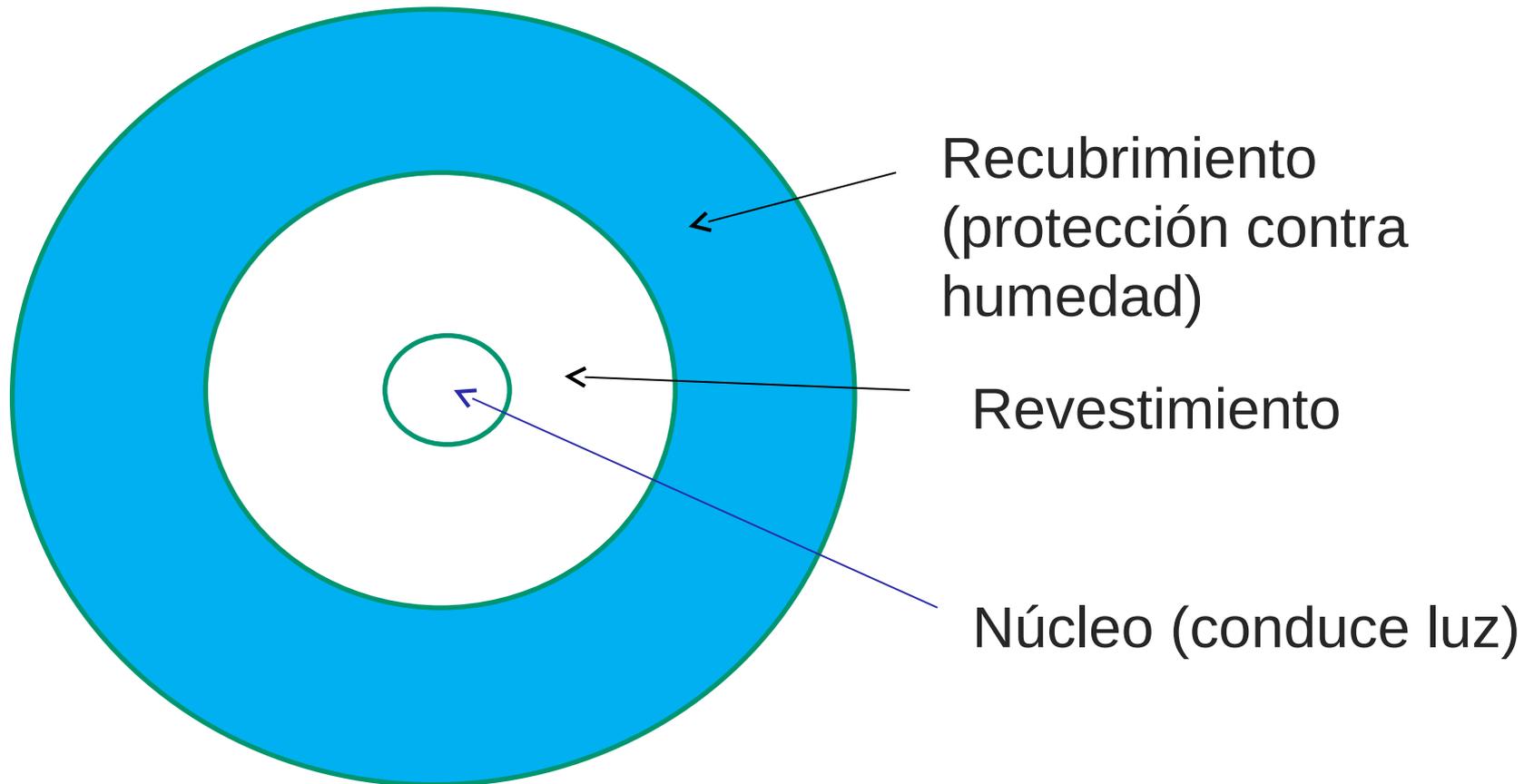
- aéreos (postes o líneas de alta tensión)
- subterráneos (rutas entre ciudades)
- submarinos (entre continentes)

Las nuevas aplicaciones son:

- fibra hasta el hogar (distribución de TV e Internet)
- fibra hasta el puesto de trabajo (reemplaza pares de cobre en el cableado estructurado)

DETALLE CONSTRUCTIVO

Son dos capas de Silicio: núcleo (core) y revestimiento (clad) con distinto índice de refracción.

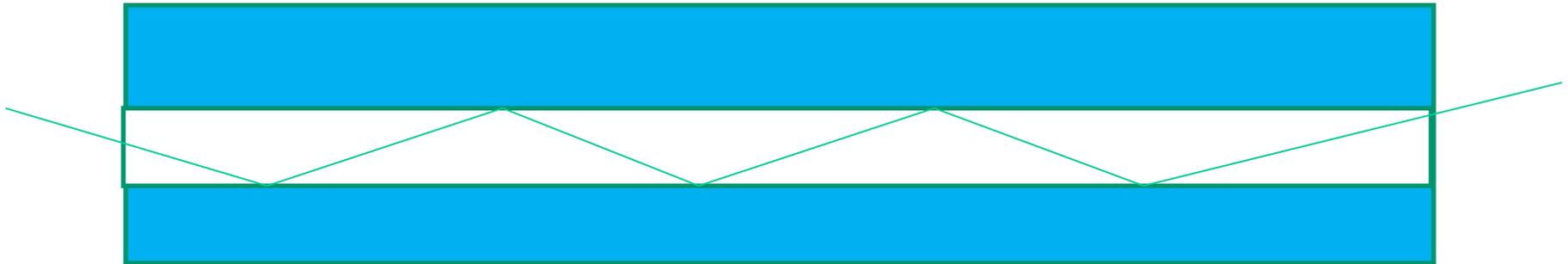


MEDIDAS TÍPICAS

- Recubrimiento: 245 μm
- Revestimiento: 125 μm
- Núcleo en fibras monomodo: 9 μm
- Núcleo en fibras multimodo: 50 ó 62,5 μm
- Longitud de fabricación: 50 km

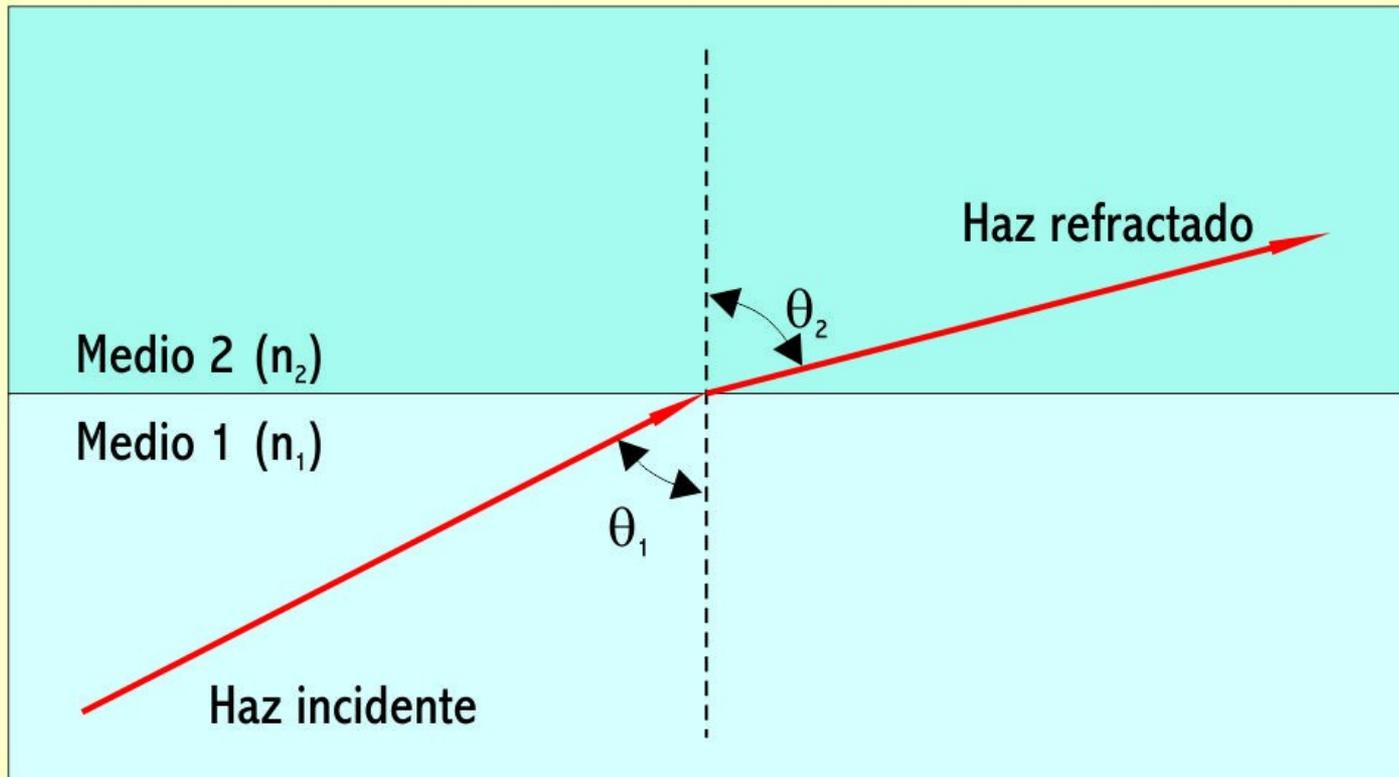
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- El núcleo y el revestimiento tienen distintas densidades
- La luz ingresa al núcleo y rebota en la unión entre núcleo y revestimiento por el fenómeno de reflexión total



Ley de Snell:

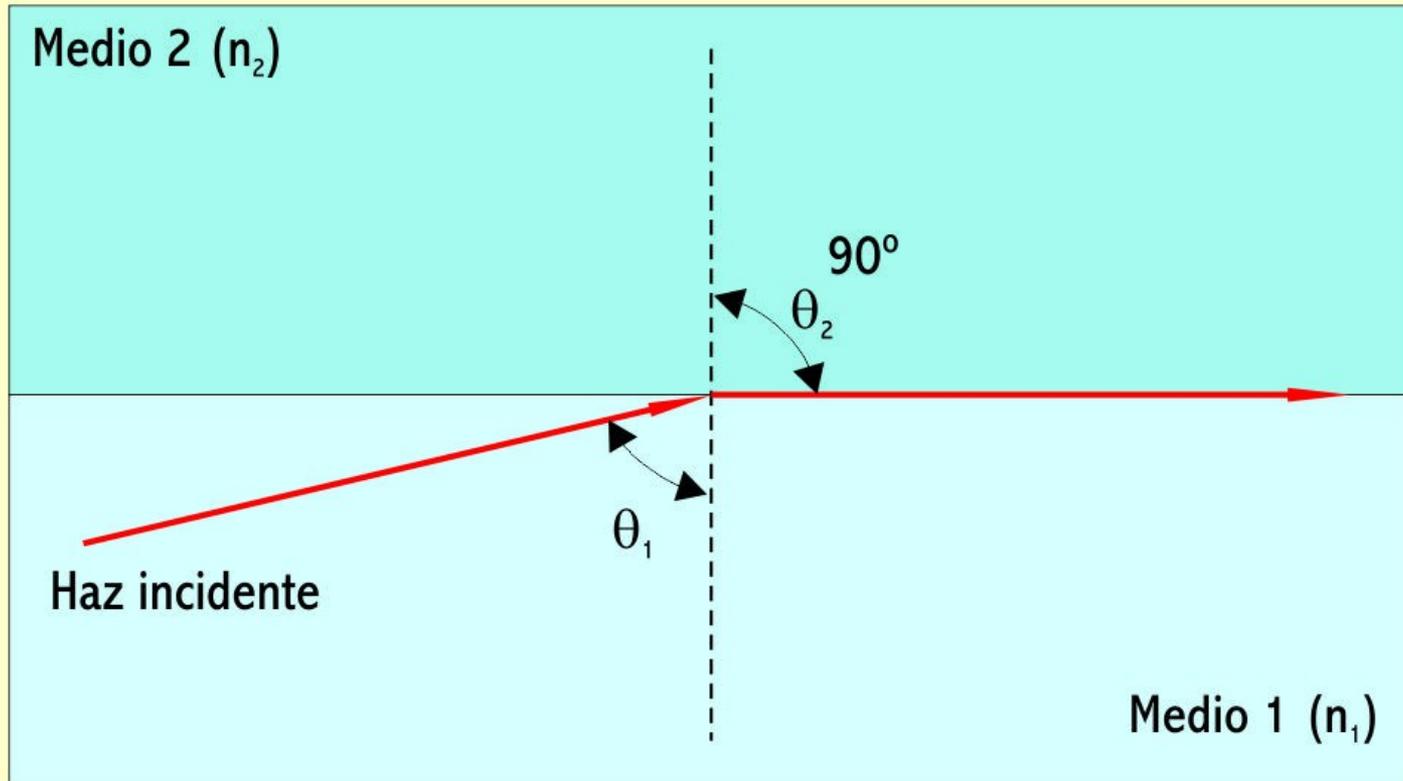
$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen} \theta_2$$



θ_1 : Ángulo de incidencia

θ_2 : Ángulo de refracción

Refracción total:



θ_1 : Ángulo de incidencia

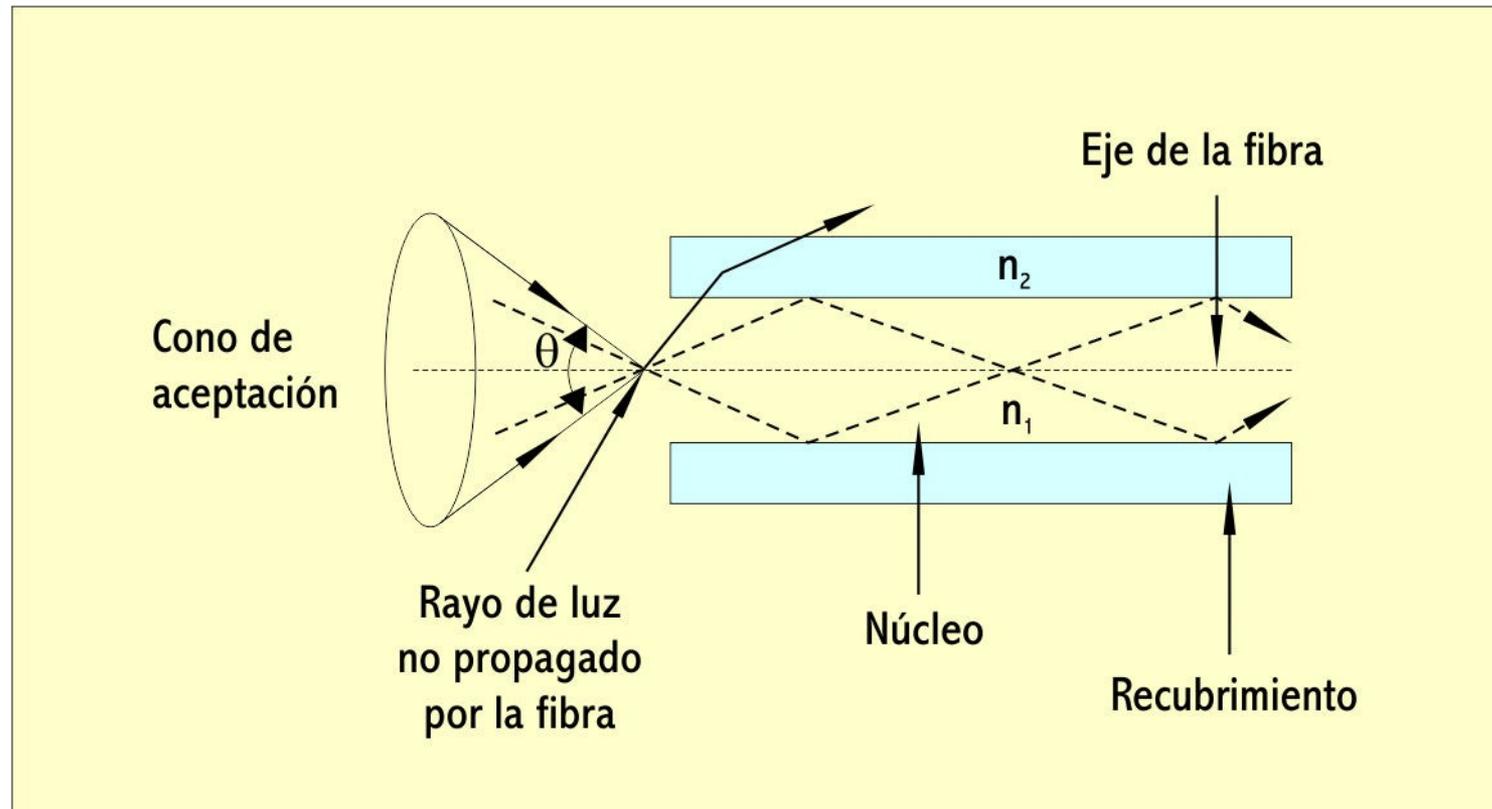
θ_2 : Ángulo de refracción

Cono de aceptación

Contiene a las direcciones de los haces de luz para los cuales hay reflexión total.

Es función de los índices de refracción.

Apertura de la fibra es el ángulo formado por la dirección del núcleo de la fibra y una de las generatrices del cono.

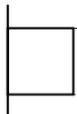
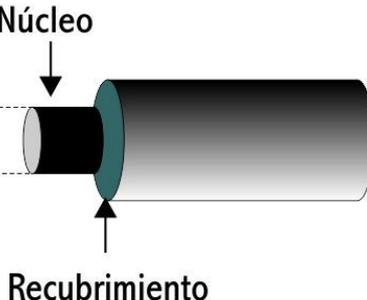
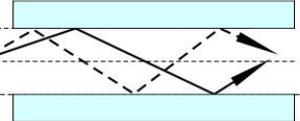
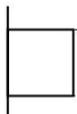
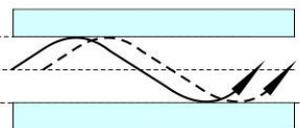
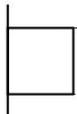
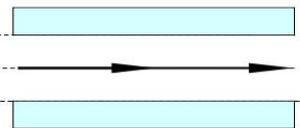


TIPOS DE FIBRA

- **Monomodo:** como las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, hay un solo modo de propagación y no hay dispersión.
- **Multimodo:** núcleo de mayor diámetro, permite varios modos de propagación y hay dispersión.

A su vez, se subdividen en:

- **Índice escalón:** bajo costo, poco ancho de banda
- **Índice gradual:** más costosas, gran ancho de banda.

	Variación del índice de refracción	Estructura de la fibra	Modos de propagación
MULTIMODO índice escalón			
MULTIMODO índice gradual			
MONOMODO			

PARAMETROS DE TRASMISION DE LA FIBRA

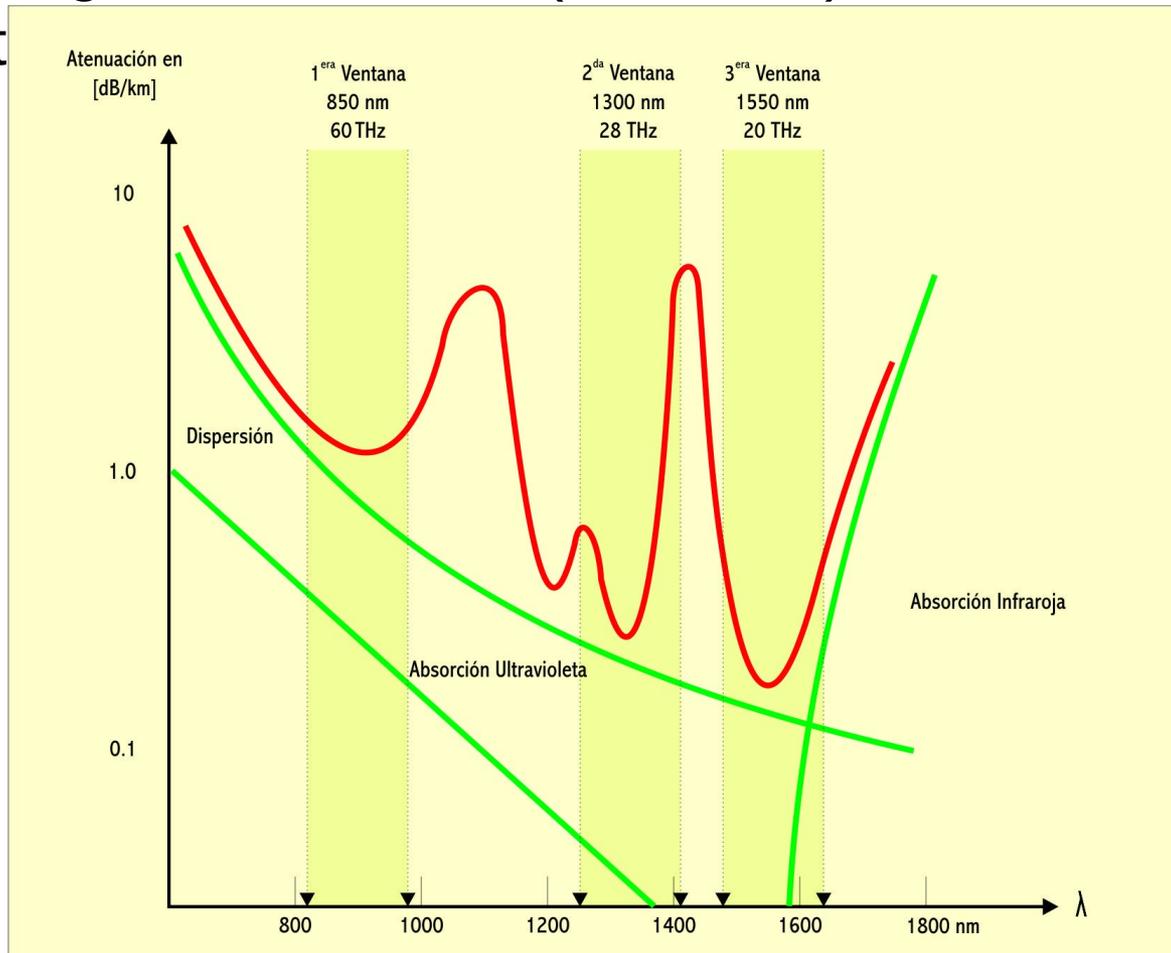
Hay cuatro parámetros que definen su uso:

- Atenuación
- Dispersión cromática
- Dispersión por modos de propagación.
- Ancho de banda

Atenuación

Es la pérdida de la potencia óptica del haz de luz que viaja por la fibra, se mide en dB/km y es función de la longitud de onda.

En ciertas longitudes de onda (ventanas) la atenuación de la luz resulta



Pérdidas en las fibras ópticas

Las pérdidas disminuyen la potencia de luz, con atenuaciones del orden de:

0,2 dB/km para fibras monomodo

0,4 dB/km para fibras multimodo

Las pérdidas por absorción están causadas por las impurezas agregadas al silicio para obtener índices de refracción diferentes entre el núcleo y el recubrimiento.

Hay imperfecciones como dobleces, discontinuidades, que originan radiaciones indeseadas que disminuyen la potencia.

En la construcción se trabaja el silicio en un estado estado plástico que al solidificarse produce irregularidades submicroscópicas.

Cuando reciben un rayo de luz producen **difracción** (pérdidas de Rayleigh).

Pérdidas por dispersión modal

Es importante en las fibras multimodo por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz (modos), que toman diferentes caminos.

El pulso se ensancha y hay menor amplitud.

Aparece por las deformaciones del cable al montarlo.

Pérdidas por dispersión cromática

Se produce si el emisor no genera luz monocromática, ya que el índice de refracción depende de la longitud de onda.

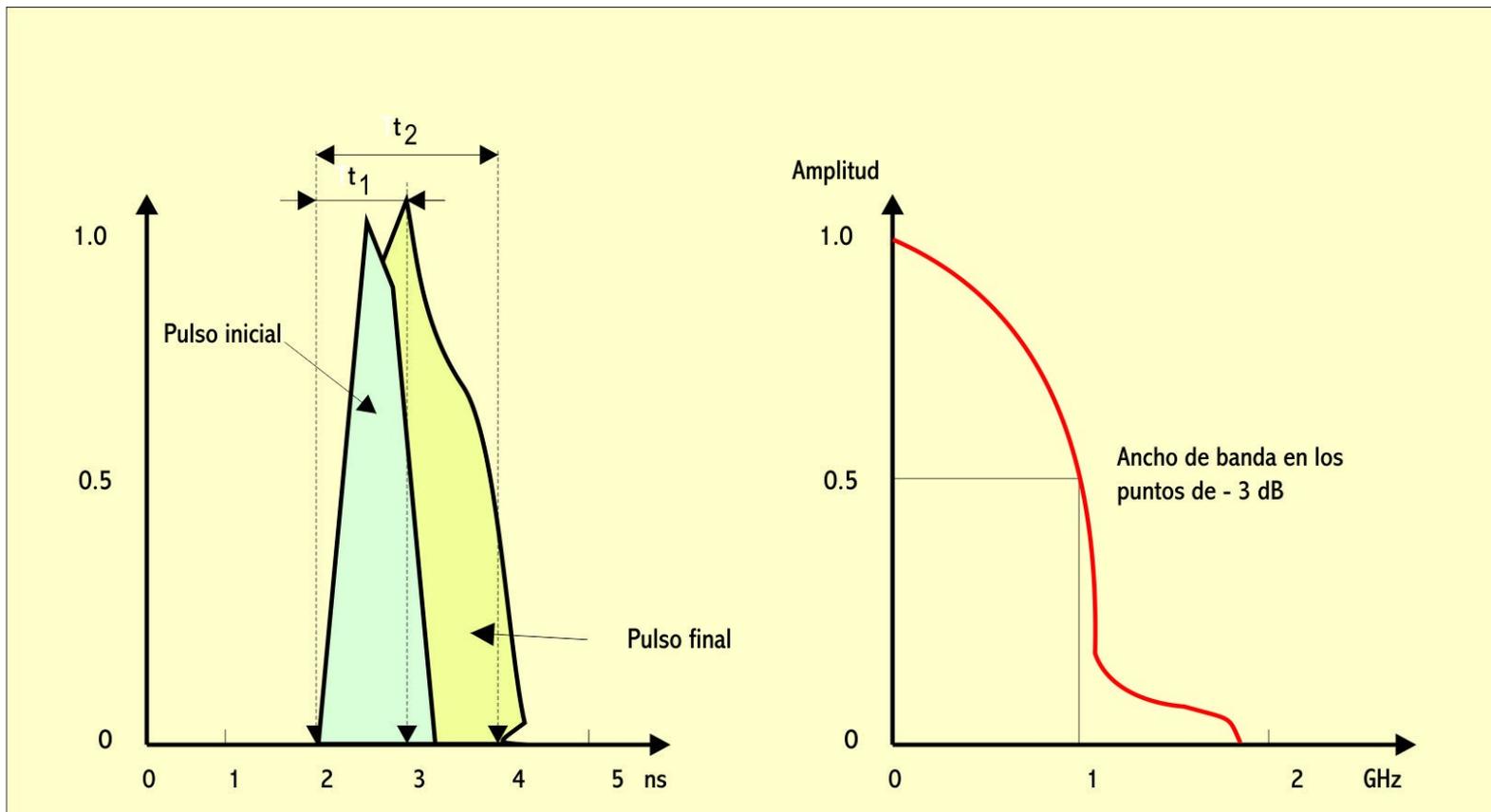
Al emitirse diferentes longitudes de onda, viajan a velocidades diferentes.

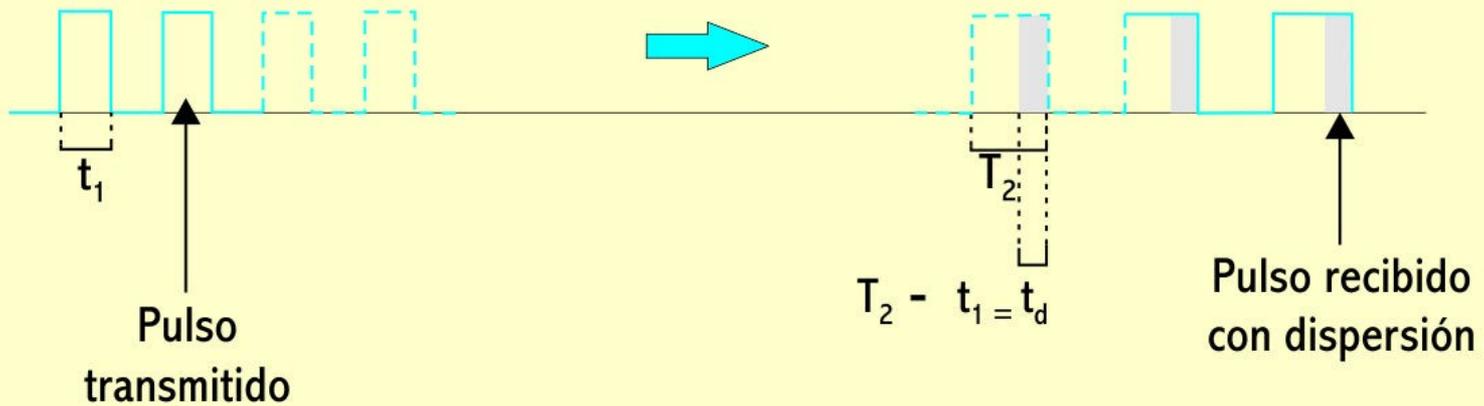
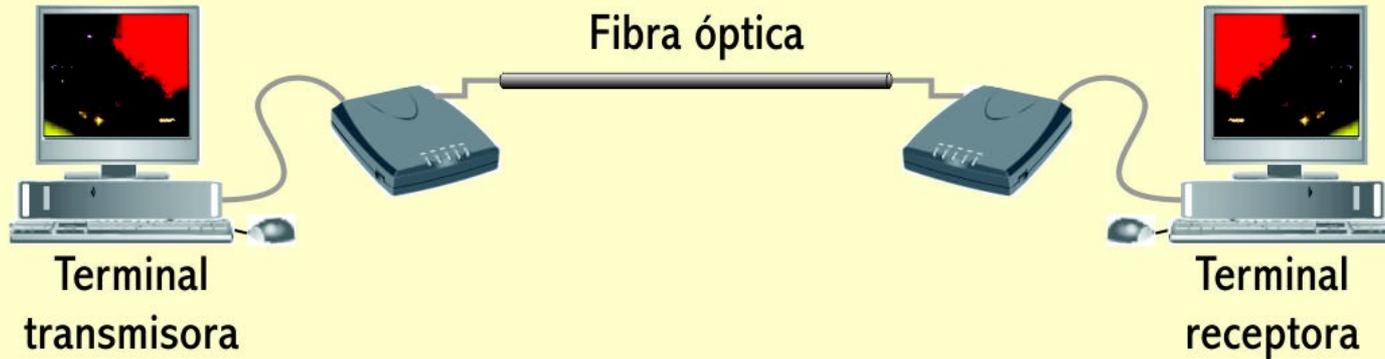
Hay ensanchamiento del pulso y disminución de su amplitud, pero menor que la dispersión modal.

Dispersión del pulso de luz es el ensanchamiento a medida que se propaga por la fibra, ya que los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes.

Este proceso limita el ancho de banda de la fibra.

Hay relación entre ancho de banda, la capacidad de transmisión de información y el perfil del índice de refracción.





$T_d =$ Ensanchamiento del pulso debido a la dispersión

Ancho de banda

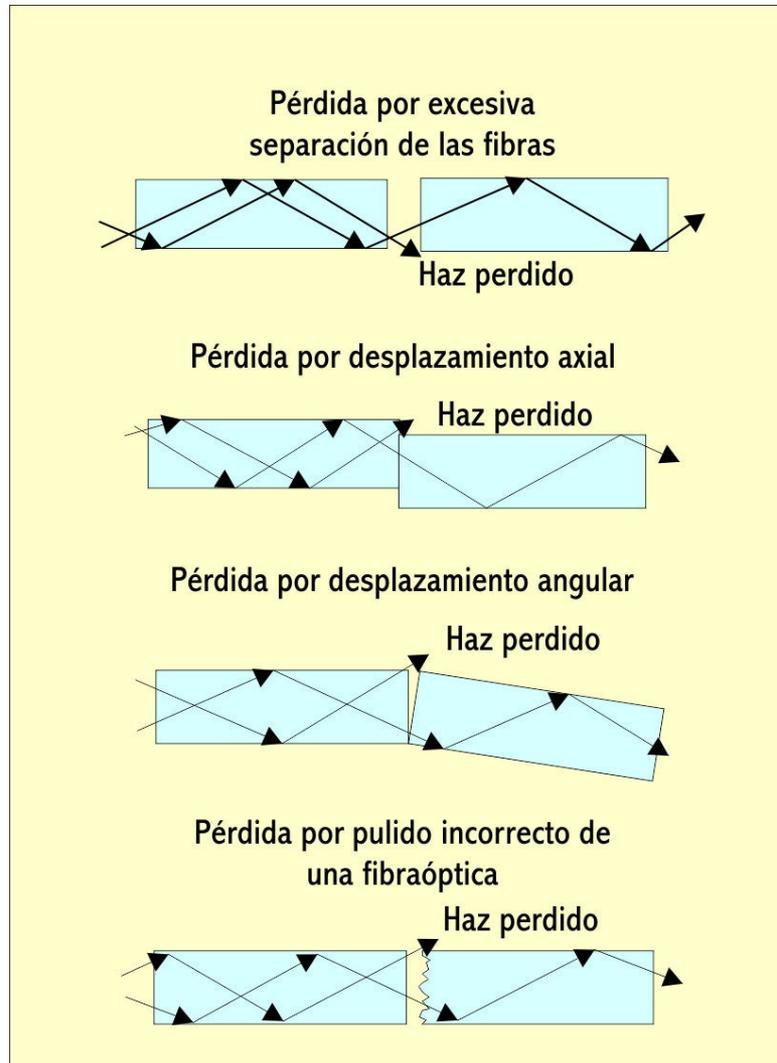
Los límites de espectro de las fibras no se expresan en frecuencia (Hz) sino en longitudes de onda (nanómetros).

El ancho de banda útil en cada ventana disminuye a medida que nos alejamos de la fuente, debido a fenómenos de dispersión de la luz (modal y cromática).

El ancho de banda se expresa en **[GHz . km]**

Pérdidas por acoplamiento

Se deben al desacoplamiento entre distintas partes del circuito óptico: transmisor/fibra, fibra/fibra y fibra/receptor.



COMPONENTES OPTOELECTRONICOS

Son los transmisores y detectores que convierten señales eléctricas en ópticas.

Hay longitudes de onda normalizadas:

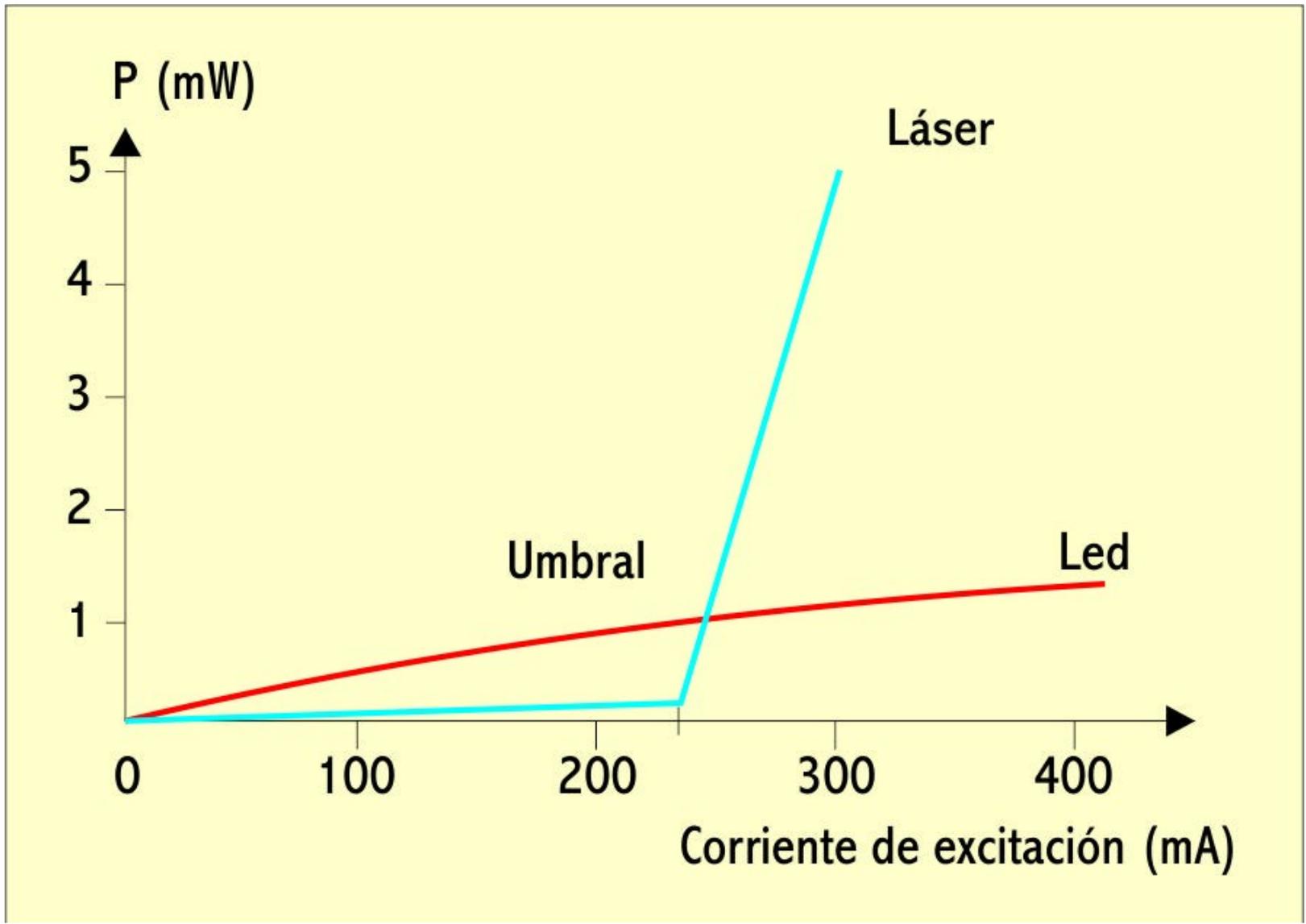
- ventana 1: 850 nm
- ventana 2: 1300 nm
- ventana 3: 1550 nm

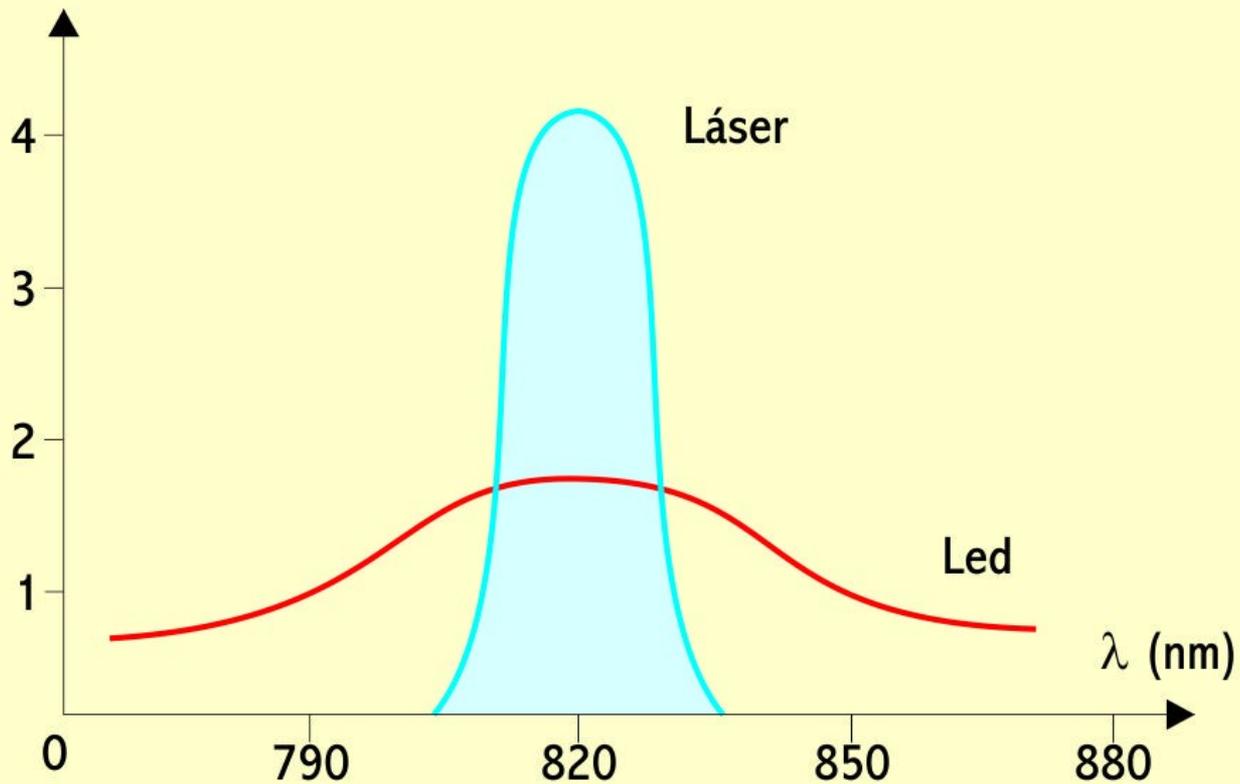
Hay dos tipos de emisores de luz: LED y laser.

Hay varios tipos de detectores de luz: APD, PIN, PIN/FET

Emisores de luz

Característica técnica	LED	LASER
Tipo de luz emitida	Incoherente	Coherente
Potencia óptima emitida	Baja (Fig. 5 - 49)	Alta (Fig. 5 - 49)
Potencia frente a longitud de onda. (Ancho espectral)	Grande (Fig. 5 - 50)	Pequeño (Fig. 5 - 50)
Direccionamiento de la luz	Menor	Mayor
Tiempo de crecimiento Tiempo necesario para que la tensión pase de 10% al 90% de ese valor típico	100 ns	1 ns
Confiabilidad	Mayor	Menor
Vida útil	Aprox. 10^5 h	Aprox. 10^5 h
Necesidad de circuitos estabilizadores y de enfriamiento	No	SI
Ruido modal (Distorsión de amplitud)	Bajo	Alto
Costo	Bajo	Alto





Nota: El ancho espectral del láser es más estrecho que el del diodo LED; típicamente de 1 a 6 nm para el primero, y de 25 a 40 nm, para el segundo.

Receptores de luz

Son semiconductores de estado sólido con juntura **P – N** que genera una corriente eléctrica proporcional al número de fotones que capta.

Los detectores mas comunes son:

- Diodo: PIN.
- Fotodiodo de avalancha: APD.
- Fotodetector y transistor por efecto de campo: PIN/FET.
- La eficiencia de un fotodetector APD es mucho mayor que la correspondiente a un PIN.

Características técnicas de los fotodetectores

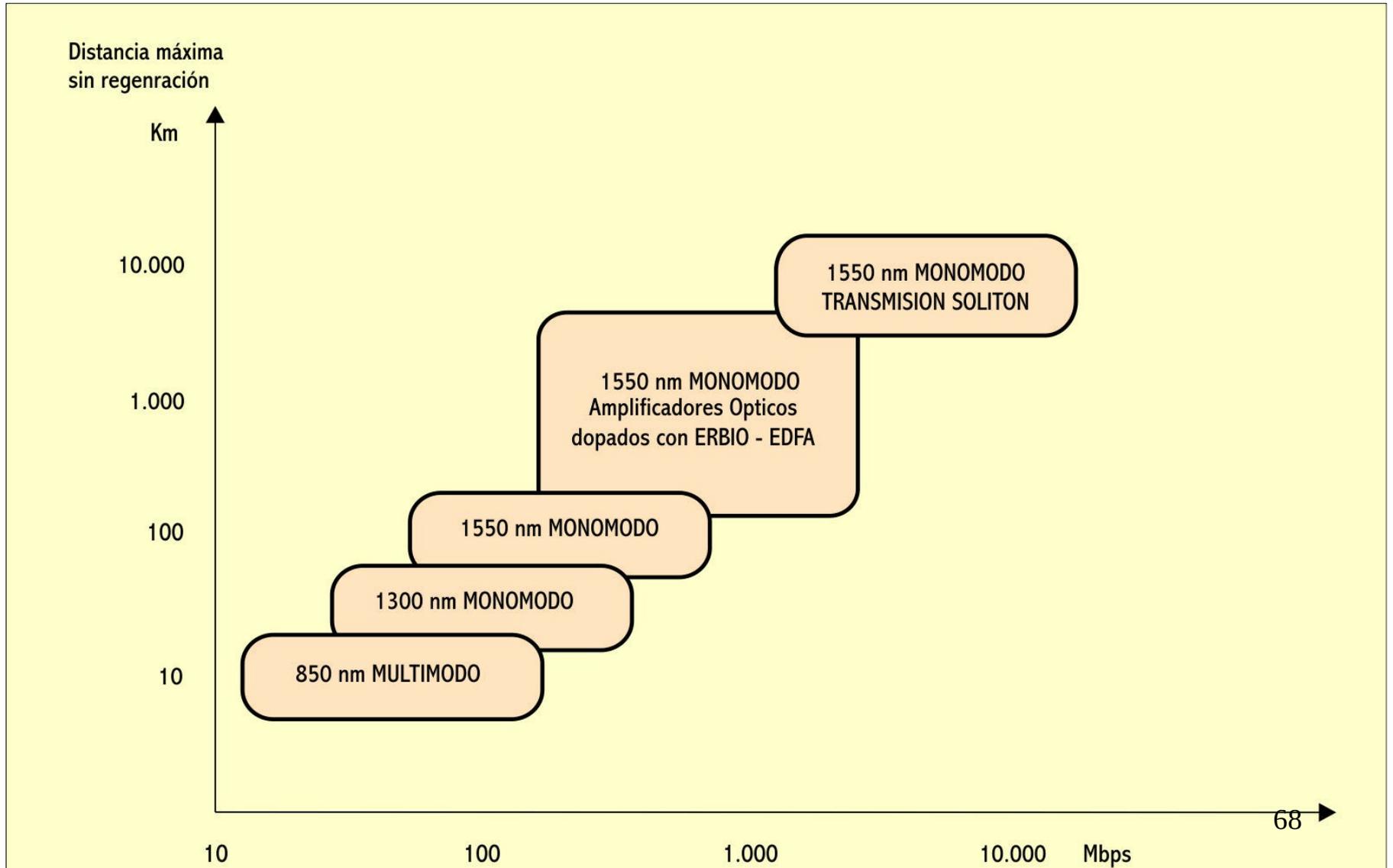
- Eficiencia cuántica: número de electrones generados por efecto cuántico al incidir un cierto número de fotones en un detector.
- Corriente de pérdida: la que circula por la juntura sin la presencia de luz.
- Potencia de ruido equivalente (PRE): mínima señal que es posible detectar.
- Ruido cuántico: debido a la conversión fotón/electrón, depende de la potencia óptica incidente.
- Tiempo de crecimiento (*rise time*): lo que tarda la señal desde el 10% hasta el 90% del valor final (tiempo de respuesta).

Elementos accesorios de una instalación óptica

Aparte del transmisor, del receptor y la fibra óptica se necesitan los siguientes elementos accesorios:

- Conectores.
- Patch cords
- Distribuidores
- Empalmes.
- Acopladores.
- Repetidores.

Alcance óptico



Empalmes

Son conexiones permanentes entre fibras ópticas.

Los núcleos deben estar alineados con el emisor y el receptor.

Dos tipos de técnicas para el empalme:

- **Por fusión:** une y calienta las fibras hasta que se fusionan

Pérdidas de $0,1 \text{ dB}$.

- **Mecánico:** une fibras con extremos cortados y limpios pasando luz de una fibra a otra.

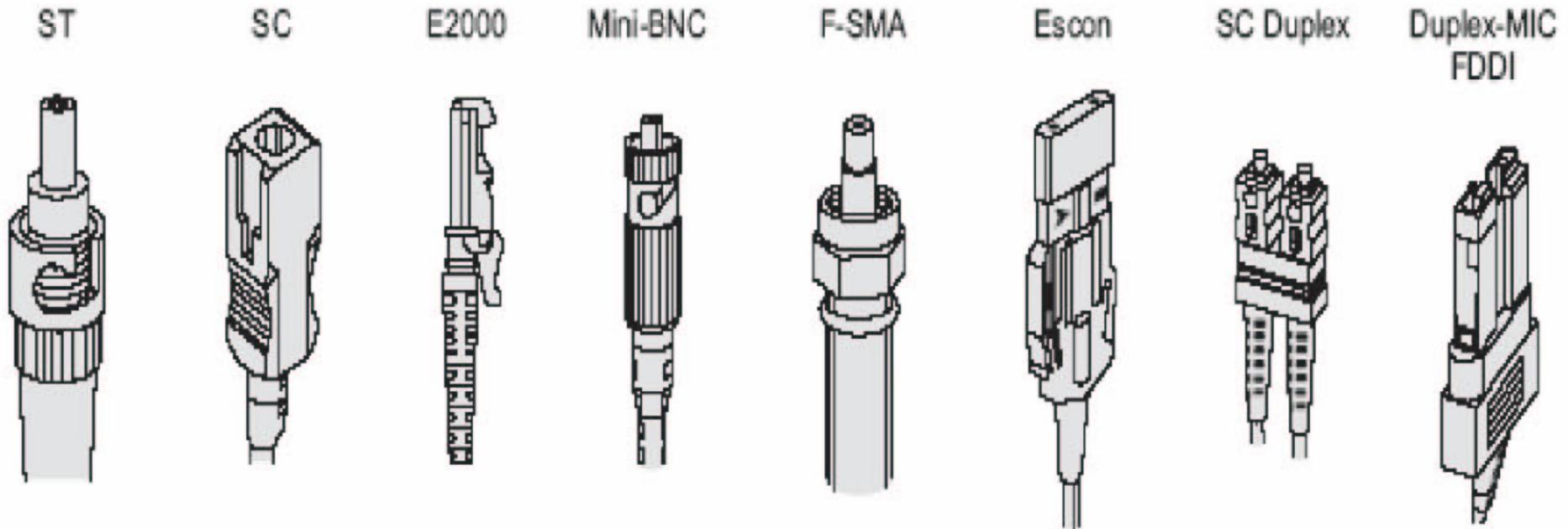
Pérdidas de $0,5 \text{ dB}$.

Conectores

Permiten uniones desconectables.

Las superficies de las fibras deben ser planas y estar enfrentadas entre si en forma paralela.

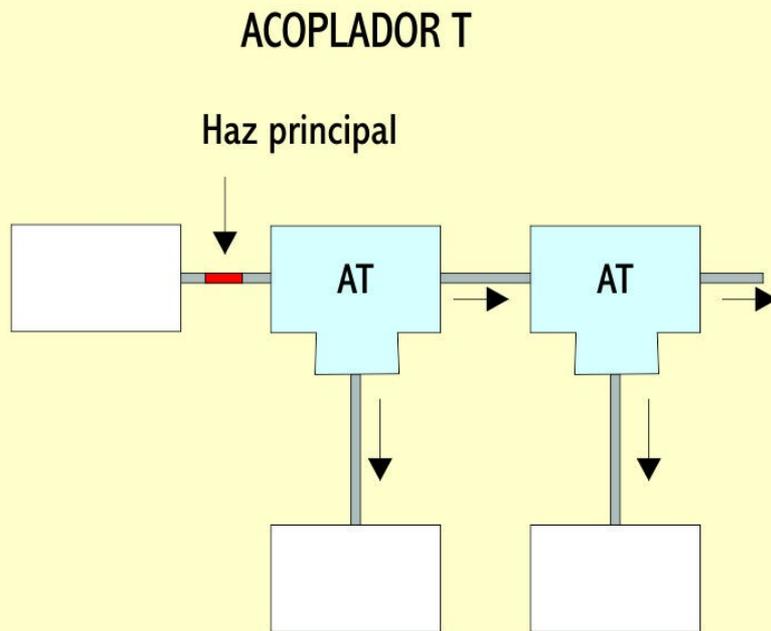
Conectores a tope: con extremos cortados y limpios la pérdida es 0,5 dB.



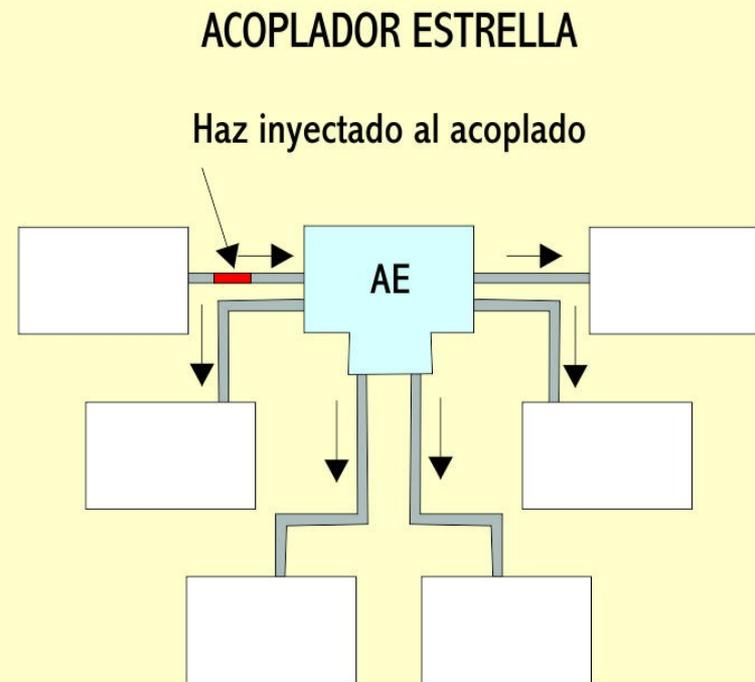
Acopladores

Distribuyen la luz que circula por una fibra entre otras.

- Acoplador T: extrae un haz de luz del haz principal.
- Acoplador Estrella: la luz inyectada por una fibra sale por todas las otras.



AT: Acoplador T



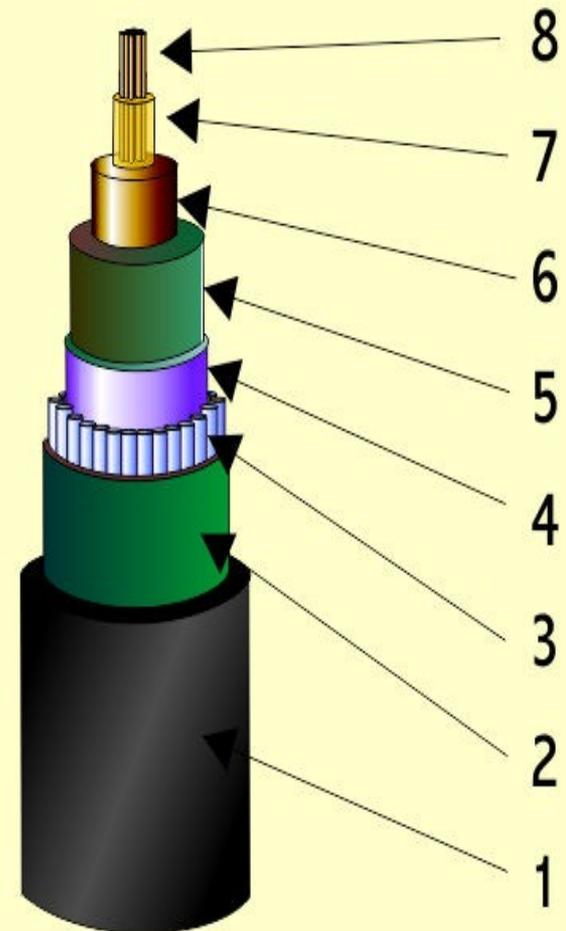
AE: Acoplador estrella

CABLES SUBMARINOS DE FIBRA OPTICA

Construcción

- núcleo con muchas fibras
- capa de polietileno (aislante para prevenir la penetración de agua o hidrógeno).
- tubo de cobre (lleva corriente eléctrica a los repetidores o monitorea el sistema)
- capa de alambres de acero (armazón para resistencia mecánica)
- capa de polietileno impermeabilizante.

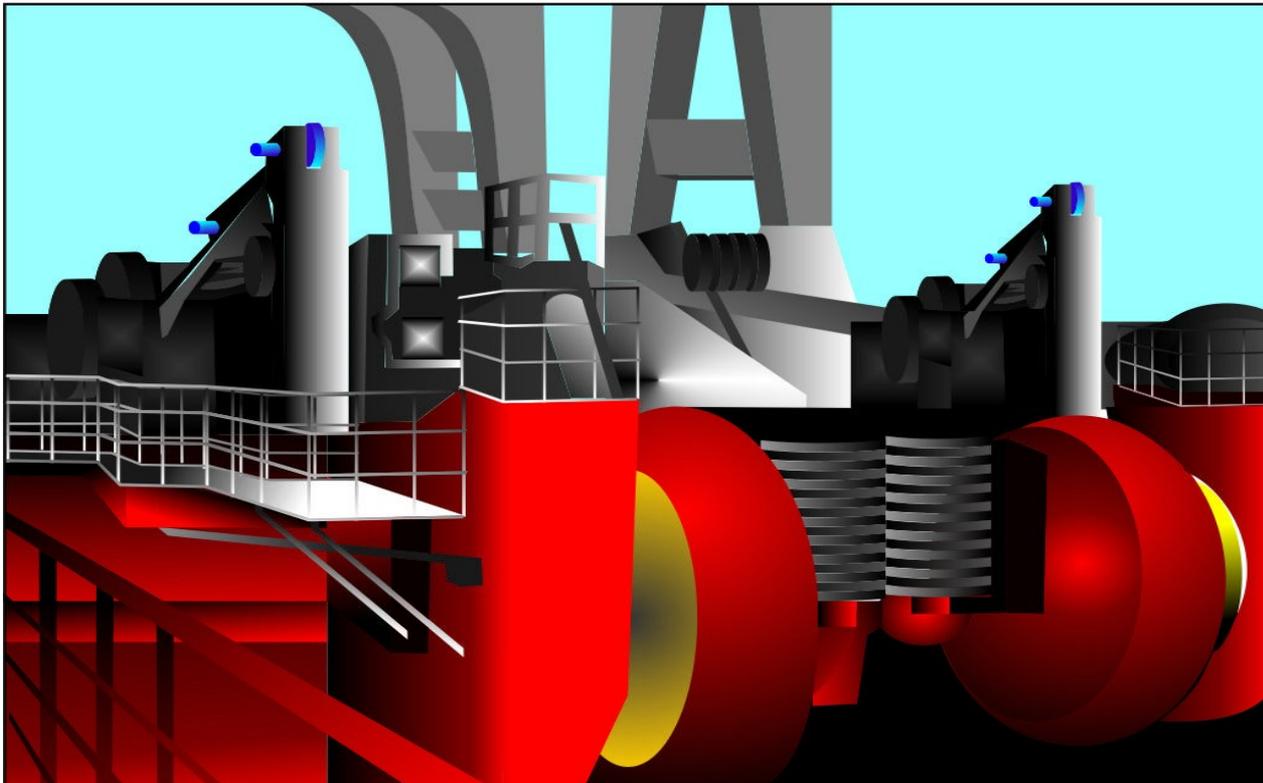
1. Polietileno
2. Cinta de Mylar
3. Alambres de acero trenzado
4. Barrera de aluminio resistente al agua
5. Policarbonato
6. Tubo de cobre o aluminio
7. Petrolate
8. Fibras ópticas



Proceso de instalación

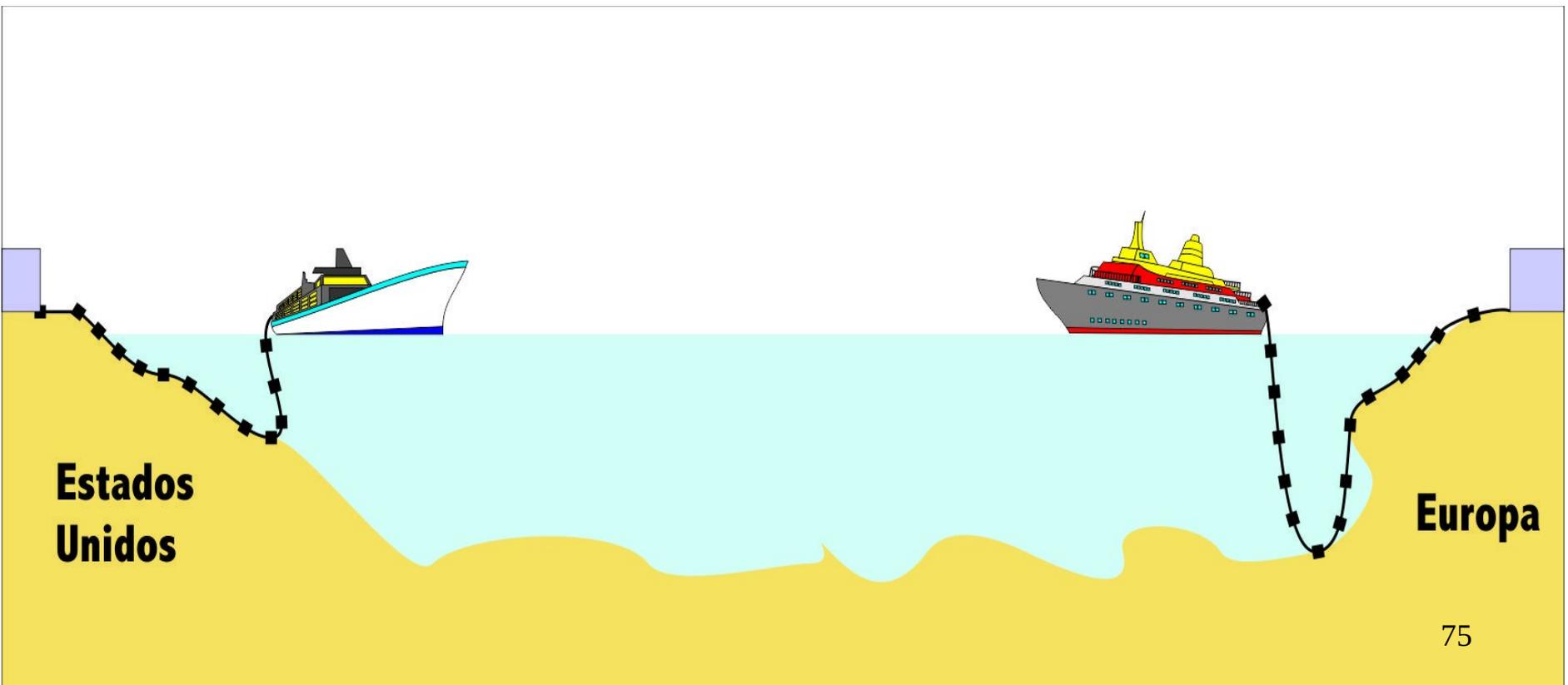
El tendido y el mantenimiento son complejos y tienen alto costo (hay corrientes submarinas, terremotos, anclas y las redes de arrastre).

El cable y los repetidores son elementos muy caros y el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada por computadores.

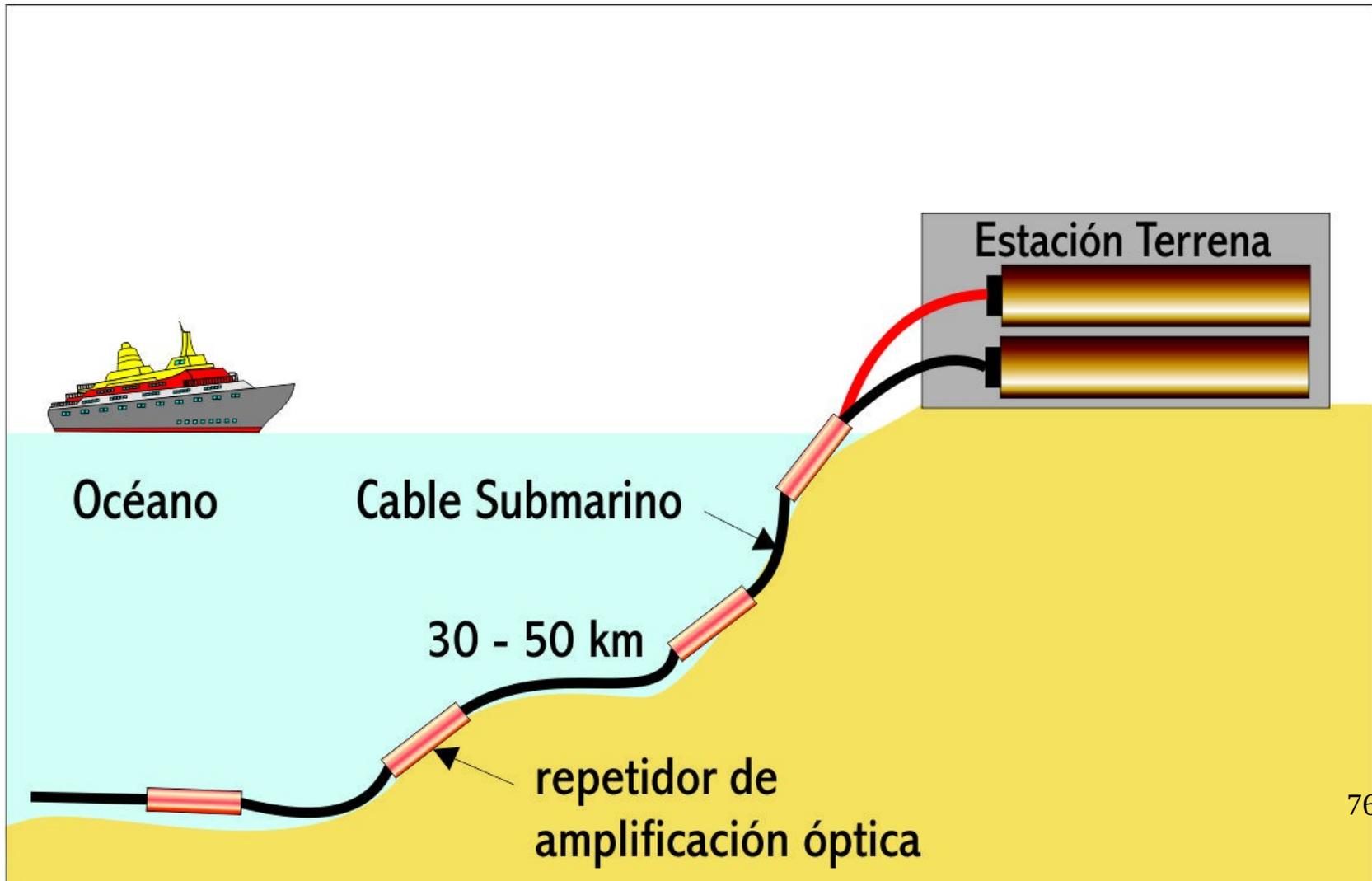


El barco tiene una estación terminal que controla las operaciones y tiene el equipo alimentador.

El cable se amarra tierra en el lugar donde se va a conectar y luego se sigue la ruta calculada por posicionamiento satelital.



La instalación comprende los cables, los empalmes, los amplificadores, los moduladores y multiplexores ópticos, cada 40 o 60 km.





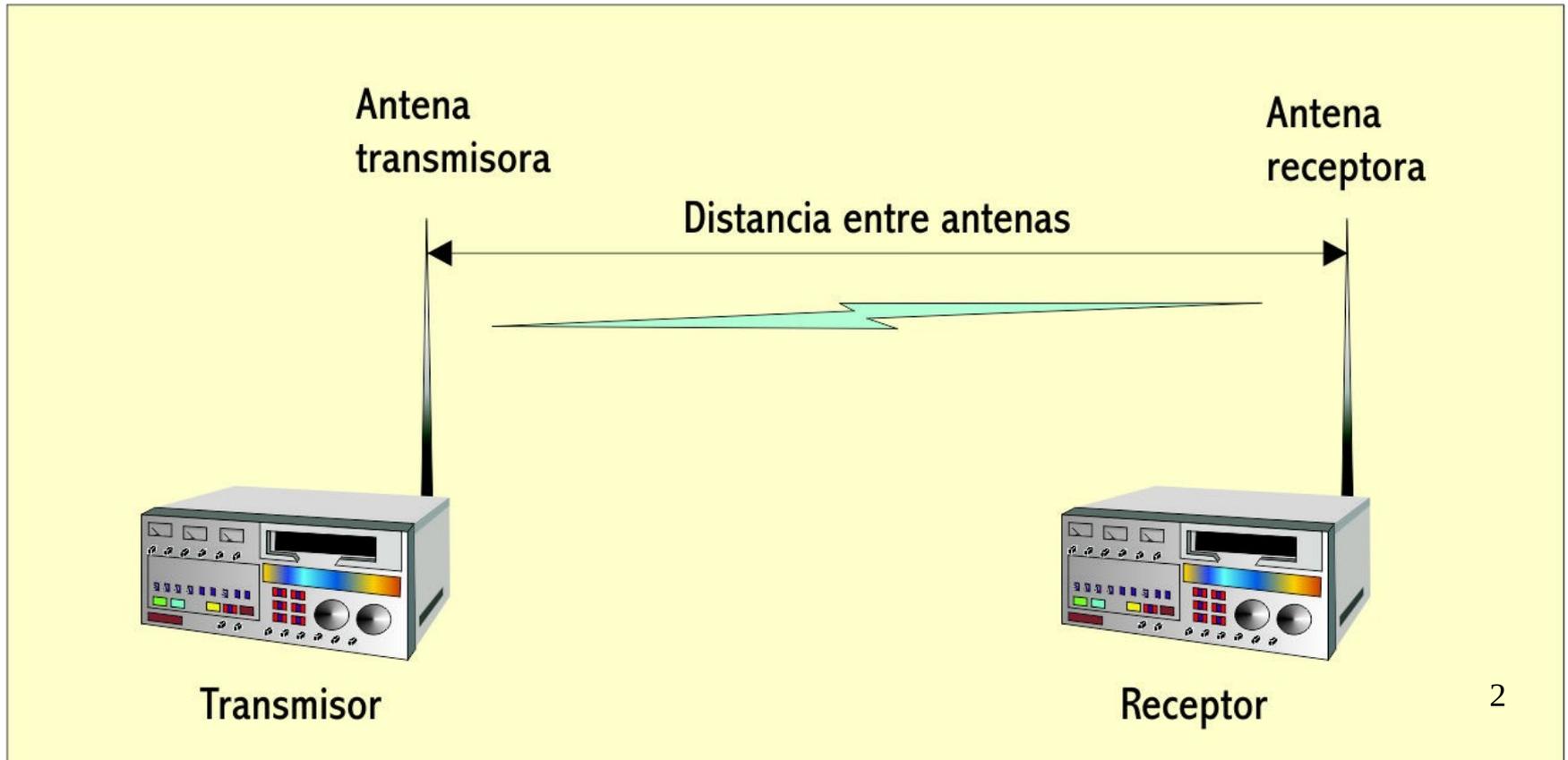
Comunicaciones

Clase 8

Medios inalámbricos

COMUNICACIONES POR RADIO

Se intercambia información mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas que utilizan el aire o el vacío como medio.



Espectro de frecuencias de radio

Nombre	Abreviatura ITU	Intervalo de frecuencias	Longitud de Onda	Servicios
Baja frecuencia Low Frequency	LF	30 - 30 kHz	10 - 1 km	Móvil marítimo - Radionavegación Radio faros
Media frecuencia Mediun Frequency	MF	300 - 3000 kHz	1 km - 100 m	Radiodifusión
Alta frecuencia High Frequency	HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m	Radioaficionados Comunicaciones Onda corta
Muy alta frecuencia Very high Frequency	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m	TV - Radio FM Radio llamadas Radioaficionados
Ultra alta frecuencia Ultra high Frequency	UHF	300 - 3000 MHz	1 m - 100 mm	Microondas - Comu- nicaciones móviles TV
Súper alta frecuencia Super high Frequency	SHF	3 - 30 GHz	100 - 10 mm	Microondas Satélites
Extra alta frecuencia Extremely high Frequency	EHF	30 . 300 Ghz	10 - 1 mm	Satélites - Radionavegación Radionavegación Satelital

CARACTERISTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

Cuando se aplica una señal a una antena:

- aparece una tensión en bornes que genera un campo eléctrico
- circula una corriente eléctrica que produce un campo magnético

Los campos eléctricos y magnéticos resultantes se modifican siguiendo las variaciones de la señal, generando una onda electromagnética que se propaga en el aire y en el vacío a una velocidad de $300.000 \text{ km/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

PROPAGACION

Son fenómenos por el cual las ondas electromagnéticas enlazan puntos geográficos distantes a través de medios no conductores.

Las ondas de radio se propagan según su frecuencia de emisión de acuerdo a los siguientes modos:

- Propagación por onda terrestre
- Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica
- Propagación por onda directa

PROPAGACION POR ONDA TERRESTRE

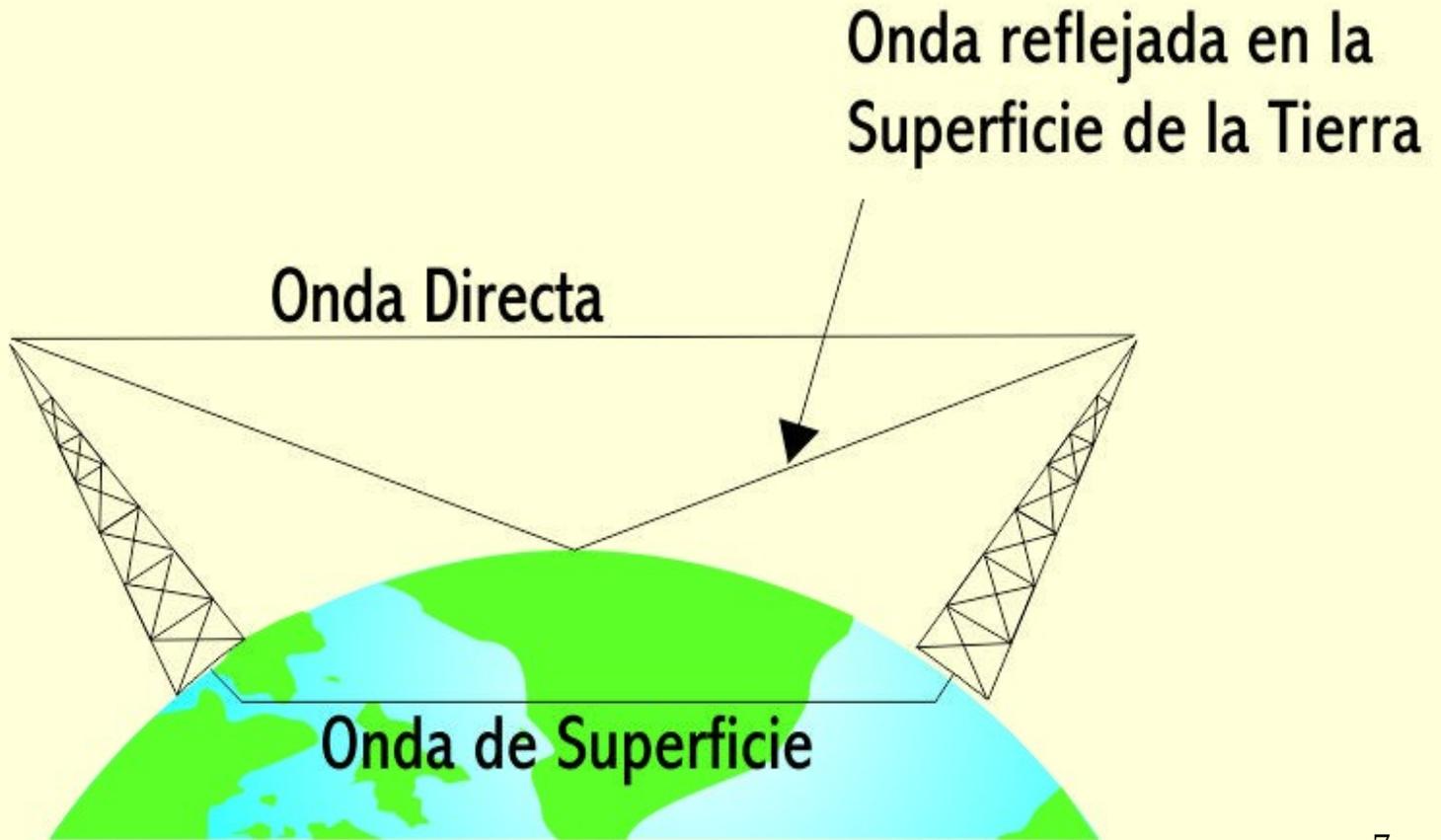
Es una combinación de la propagación por **onda de superficie** y por **onda espacial**.

La **onda espacial** tiene dos componentes:

- onda directa** (o transmisión por línea de vista)
- onda reflejada en la superficie de la Tierra.**

Ambas parten en forma simultánea de la antena transmisora.

El rayo que se refleja en la tierra llega a la antena receptora con retraso y según sea la diferencia de distancias, su fase se puede sumar o restar al rayo directo (interferencia de ondas).



Antenas para onda terrestre

Esta propagación se usa en bajas frecuencias hasta 2 MHz. Usada para la banda de onda media (radios de AM entre 550 y 1650 kHz) que pueden alcanzar unos 300 km.

Las antenas son del tipo monopolo vertical de cuarto de onda ($\lambda/4$) alimentado por la base.

Para calcular la longitud de onda:

$$\lambda \text{ (m)} = 300/f \text{ (MHz)}$$

En 2 MHz son 37,5 m

PROPAGACION POR ONDA REFLEJADA

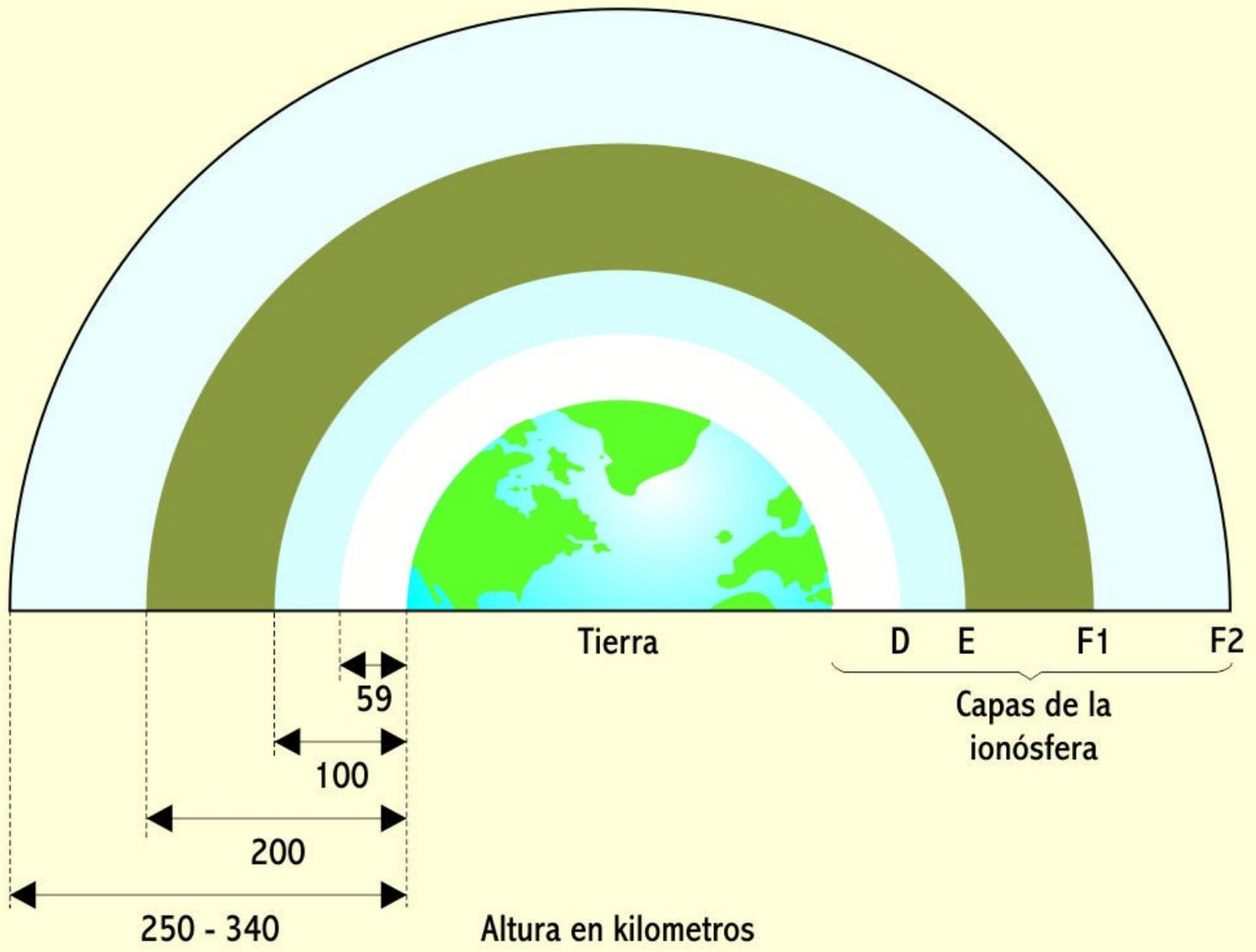
La ionósfera es la zona alta de la atmósfera causada por las ondas electromagnéticas provenientes del Sol.

Cuando una onda ultravioleta choca contra los átomos de los gases existentes en la atmosfera, algunos electrones saltan a una órbita exterior absorbiendo energía.

Si se desprende el electrón de su átomo, el núcleo queda cargado (**ion positivo**).

La densidad de iones depende de la radiación solar y de la densidad de la atmosfera.

Las capas ionizadas de la atmosfera (**ionósfera**) forman un casquete esférico alrededor de la superficie terrestre que reflejan las señales de radio.



Las antenas emiten radiación electromagnética que se dirige a la ionosfera con un **ángulo incidente** (α).

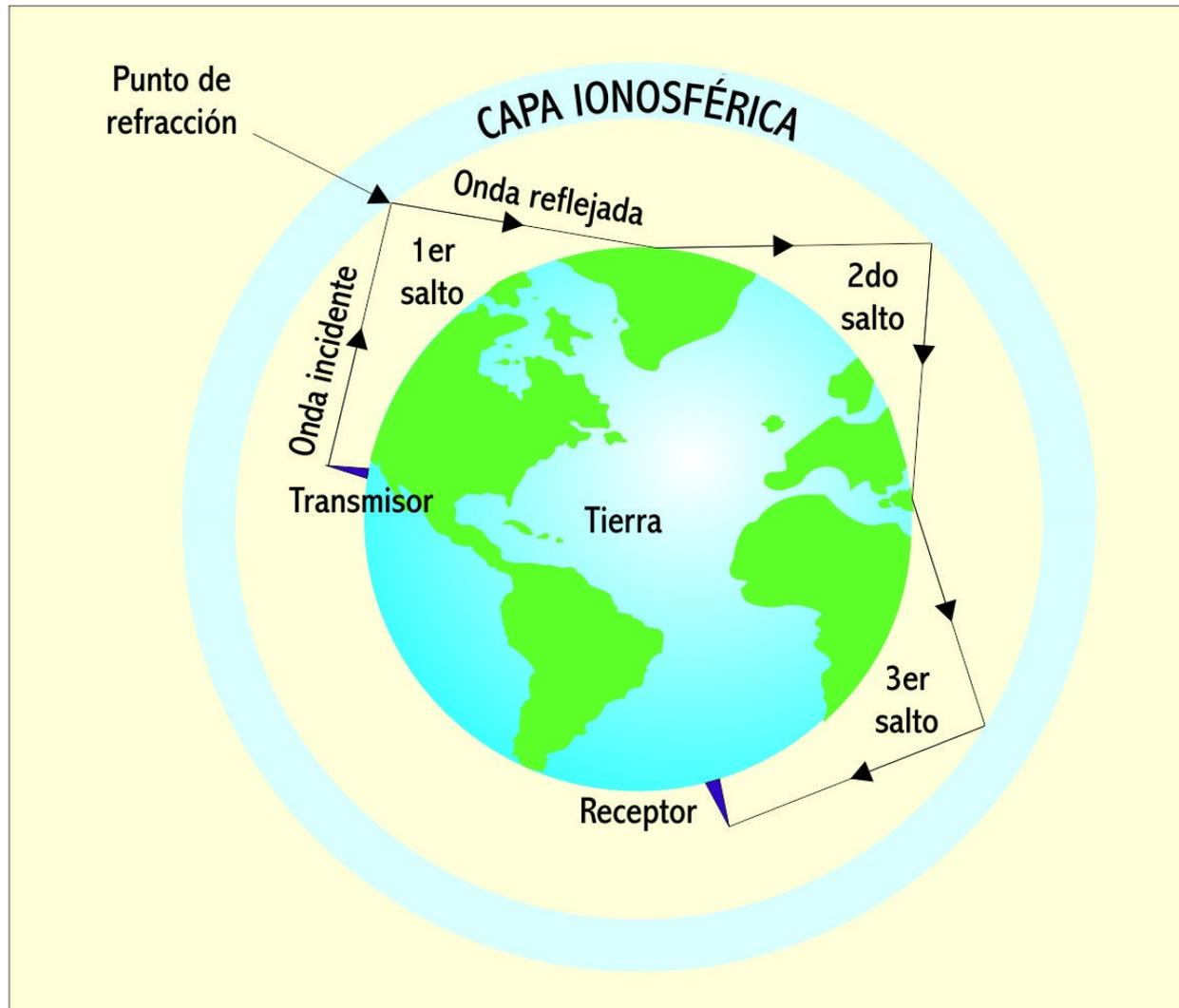
Cada antena tiene un diagrama de radiación con direcciones de mayor intensidad.

La propagación depende de la frecuencia, el ángulo de emisión, y la altura y densidad de la ionosfera.

Durante el recorrido por el interior de la ionósfera hay refracción aumentando el ángulo de emisión α según la ley de Snell.

La propagación ionosférica varía a lo largo del día y del año.

La propagación ionosférica depende de la frecuencia.
Hay una frecuencia crítica superada la cual el haz no rebota.



Antenas para onda reflejada

Esta propagación se usa en frecuencias de 2 a 20 MHz.

Usada para radios de onda corta en varias bandas que pueden dar la vuelta al mundo.

Las antenas son del tipo dipolo horizontal de media onda ($\lambda/2$) alimentado por el centro.

Para calcular la longitud de onda:

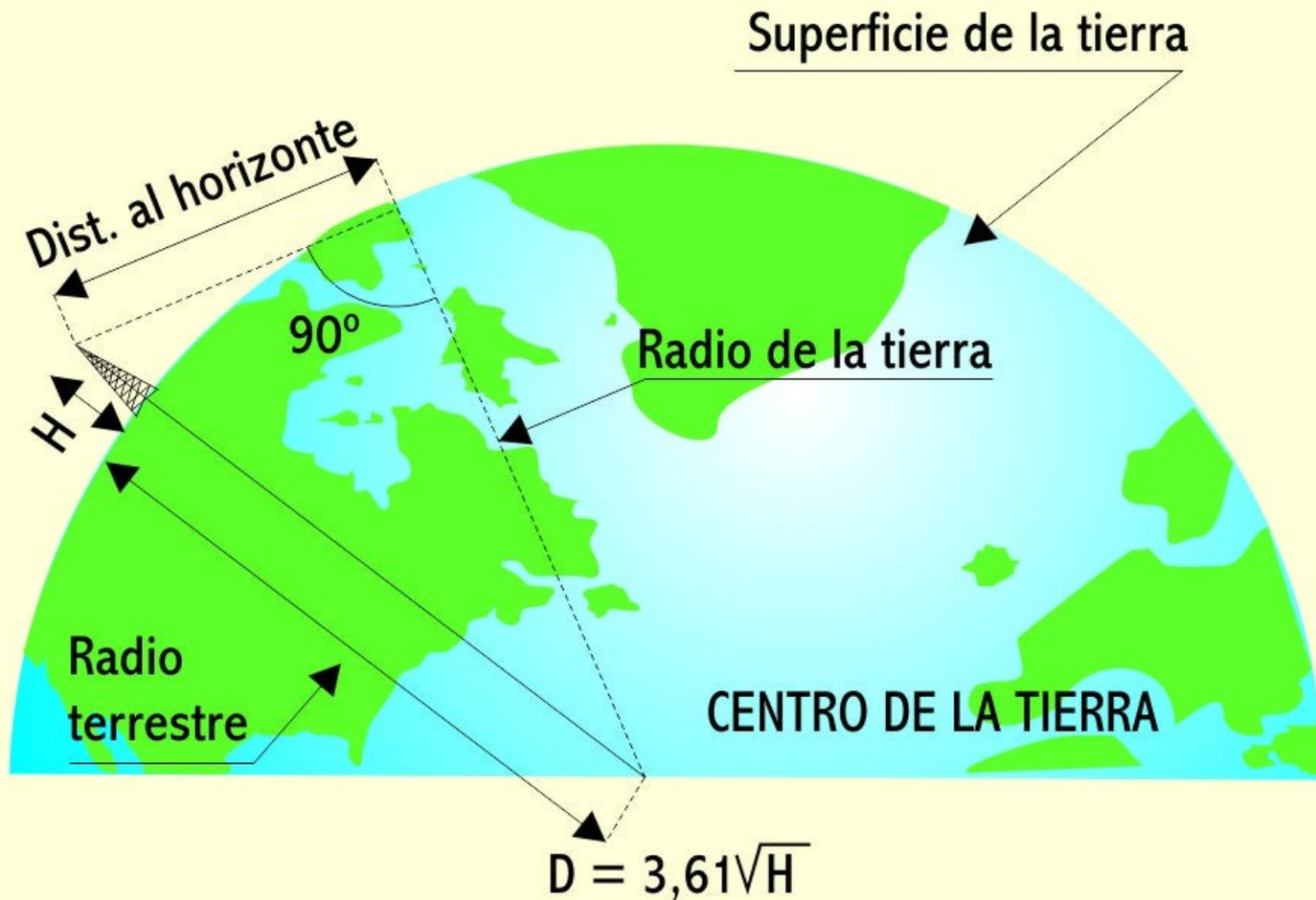
$$\lambda \text{ (m)} = 300/f \text{ (MHz)}$$

Para 20 MHz son 7,5 m

PROPAGACION POR ONDA DIRECTA

La onda viaja por la atmósfera sin tocar el terreno.

- **Distancia al horizonte:** Es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta hasta rozar tangencialmente la superficie de la Tierra.
- **Distancia de alcance visual:** Es la máxima distancia a la cual pueden instalarse dos antenas, de alturas determinadas sobre la superficie de la Tierra, si se desea que se establezca entre ambas una comunicación en línea recta.



(Por efecto de la difracción atmosférica el factor pasa a 4,14)

Donde:

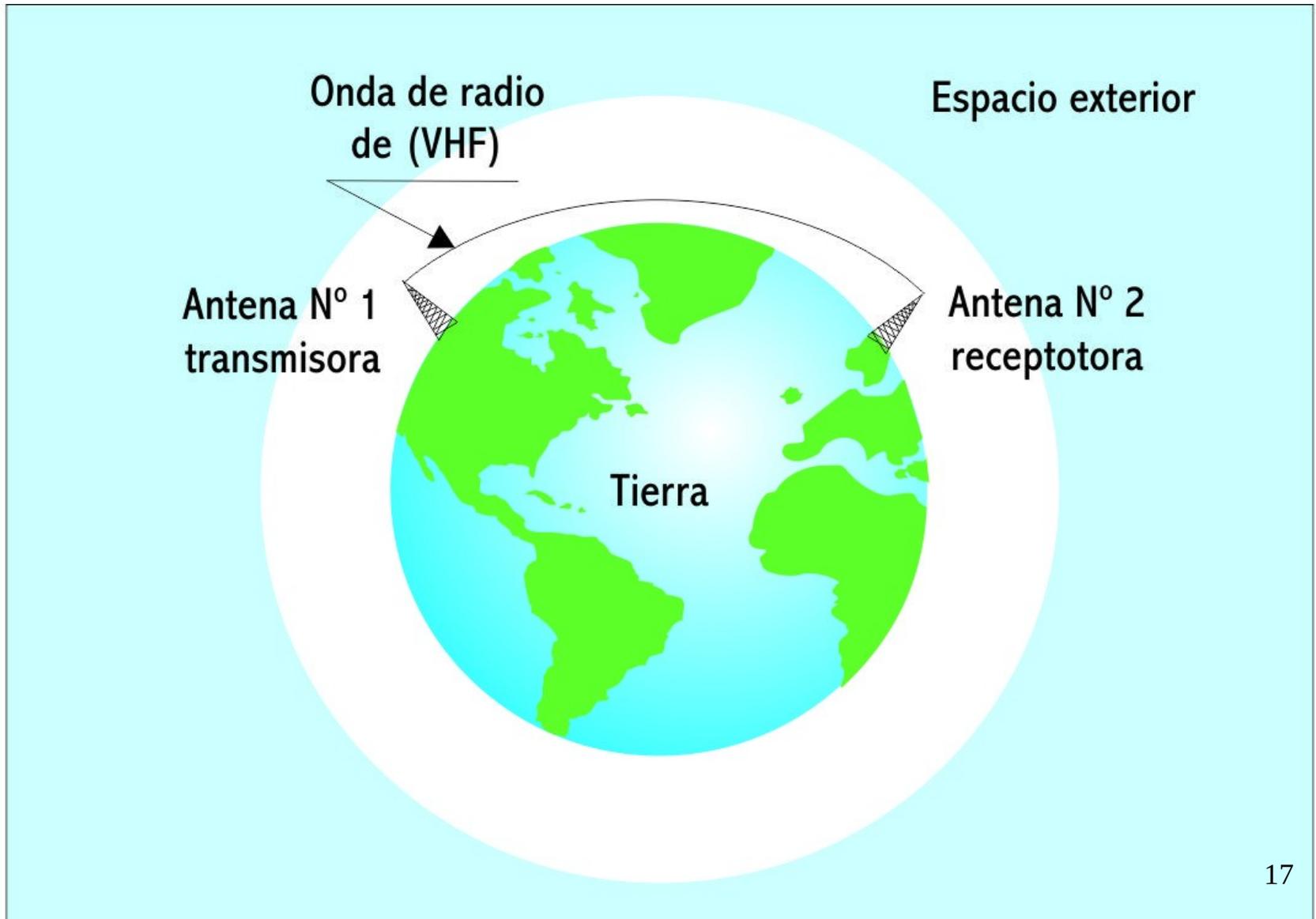
D: Distancia al horizonte en kilómetros

H: Altura de la antena en metros

La máxima distancia del enlace es la suma de las distancias al horizonte de cada estación.



Se pueden producir conductos transitorios que permiten mayor alcance.



Antenas para onda directa

Esta propagación se usa en frecuencias de 20 a 800 MHz,
El alcance es de unos 60 km.

Se usa para:

- Radio de frecuencia modulada (FM): de 88 a 108 MHz
- TV analógica (54 a 216 MHz)
- TV digital (470 a 862 MHz)

Las antenas son del tipo monopolo vertical o dipolo horizontal.

MICROONDAS

Trabajan en la banda de UHF, SHF y EHF (300 MHz a 50 GHz).

Usan un haz radioeléctrico como si fuera un rayo de luz para establecer un enlace punto a punto con visión directa entre dos estaciones.

Si no están en la misma visual deben utilizar estaciones repetidoras intermedias. Se pueden armar circuitos de varios miles de kilómetros.

La curvatura de la Tierra o la topografía del lugar limita el alcance del haz directo. La Tierra difracta las señales y pueden alcanzar distancias más allá del horizonte.

La capacidad es elevada y multiplexando el ancho de banda se pueden transmitir señales a velocidades muy elevadas.

Como el espectro radioeléctrico es un bien escaso, el uso de las frecuencia está regulado por las administraciones nacionales siguiendo las normas internacionales del UIT-R.

Las frecuencias en nuestro país las asigna el ENACOM en función de la distancia del enlace.

Distancia de enlace

Banda de frecuencias

menos de 5 km

23 GHz

entre 5 y 7 km

18 GHz

entre 7 y 12 km

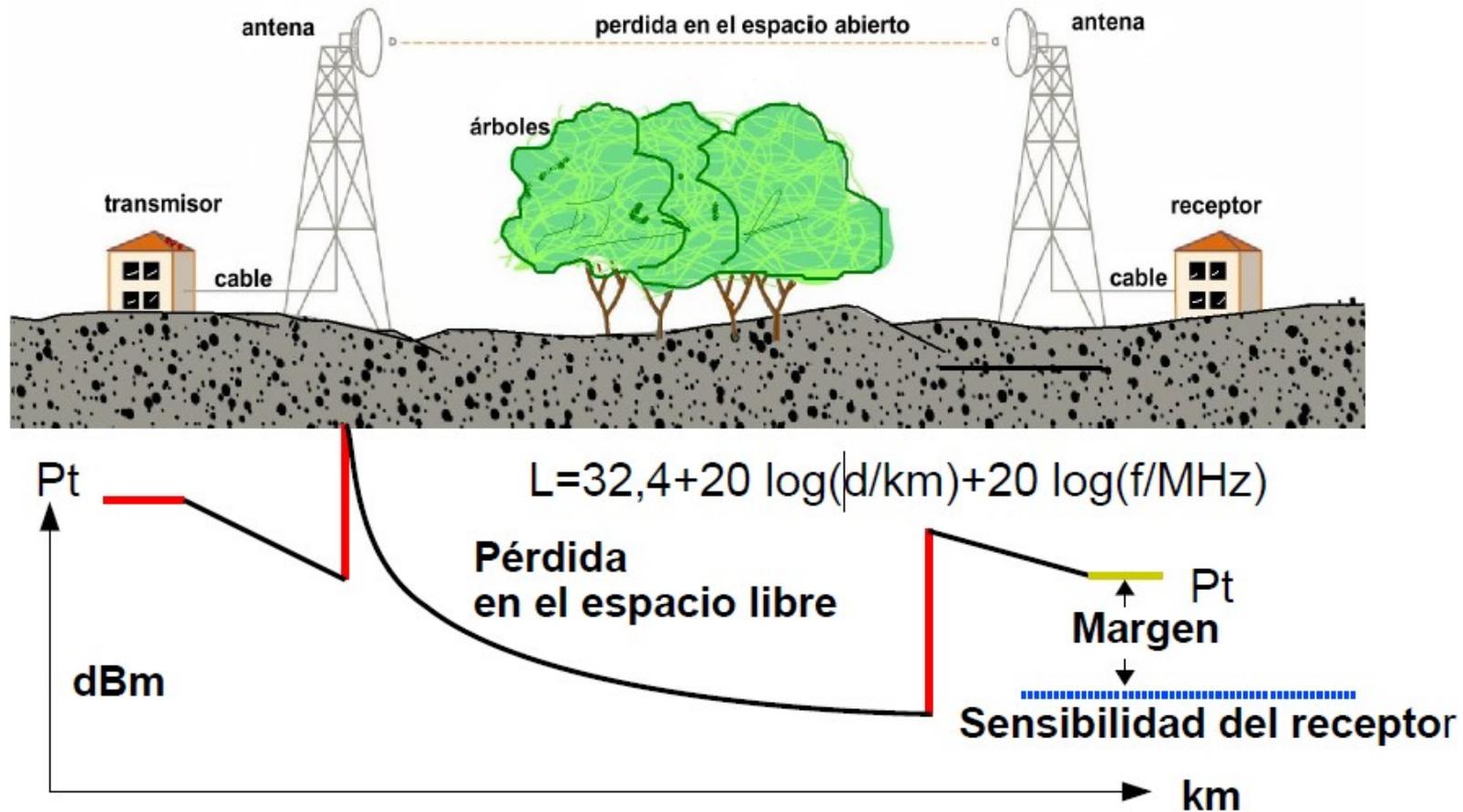
15 GHz

más de 12 km

7/8 GHz

Propagación

La atenuación depende de la frecuencia y la distancia.



Ecuación del enlace

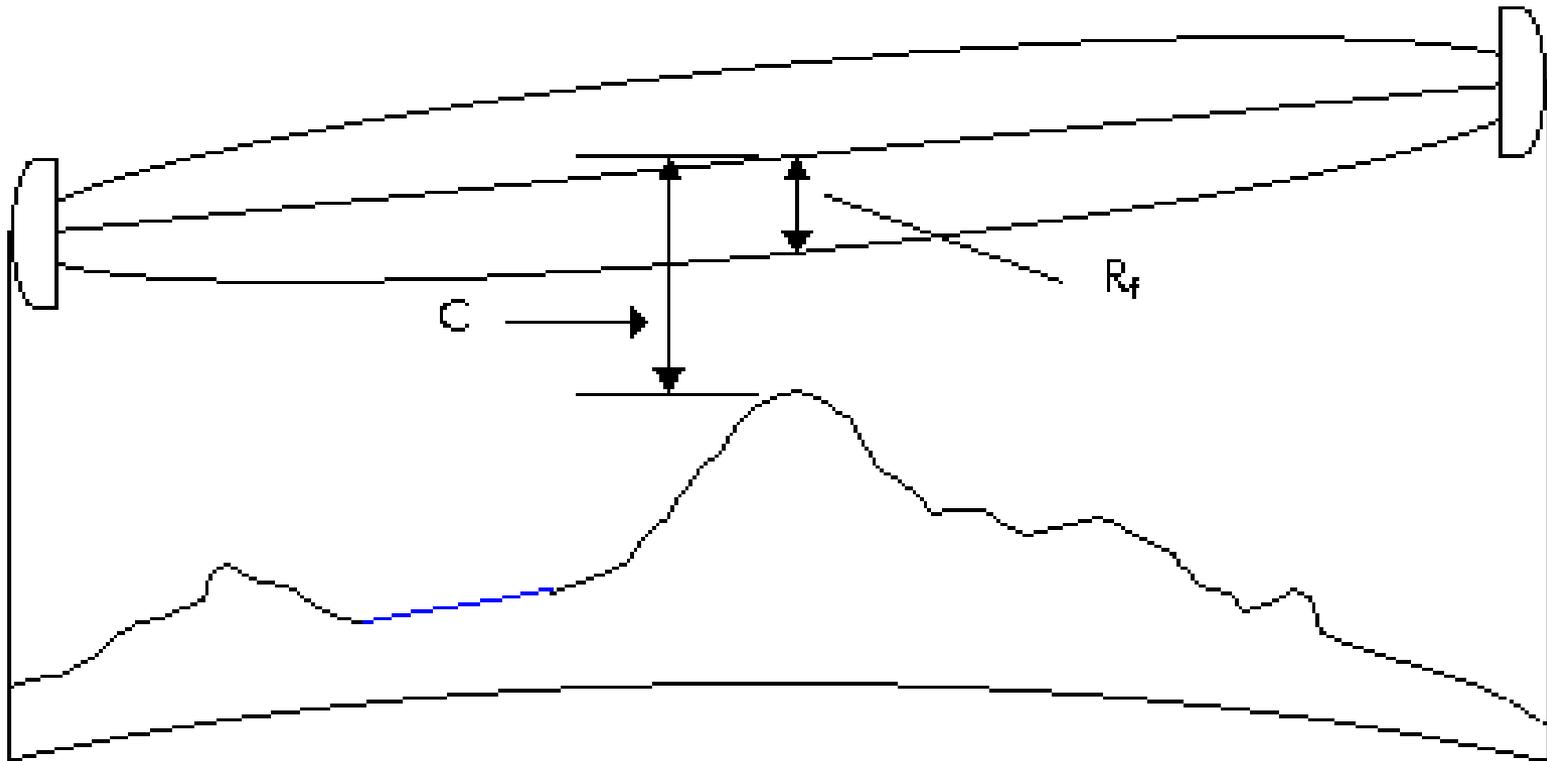
Potencia del Tx [dBm]

- Pérdidas del cable Tx [dB]
 - + Ganancia antena Tx [dB]
 - Pérdidas en espacio libre [dB]
 - + Ganancia antena Rx [dB]
 - Pérdidas del cable Rx [dB]
 - Factor de diseño [dB]
- = Señal de Rx [dBm]

El proyecto incluye:

- calcular la altura de las antenas para evitar obstáculos
- calcular el diámetro de las antenas para compensar las pérdidas

En el cálculo de la altura de las antenas se tiene en cuenta los obstáculos y el despejamiento necesario para permitir las variaciones del haz cuando cambia el índice de refracción de la atmósfera.



REPETIDORAS

- Repetidoras pasivas: dos antenas parabólicas conectadas entre si por un trozo de guía de onda.

No se amplifica la señal recibida, no necesita alimentación.

Reflectores pasivos: son de mayor rendimiento y están constituidas por una lamina de aluminio de varios m².

- Repetidoras activas: están constituidas por dos antenas y equipos que amplifican la señal recibida antes de retransmitirla a la estación siguiente.

MODULACION

Antes había microondas analógicas, pero ahora son digitales.

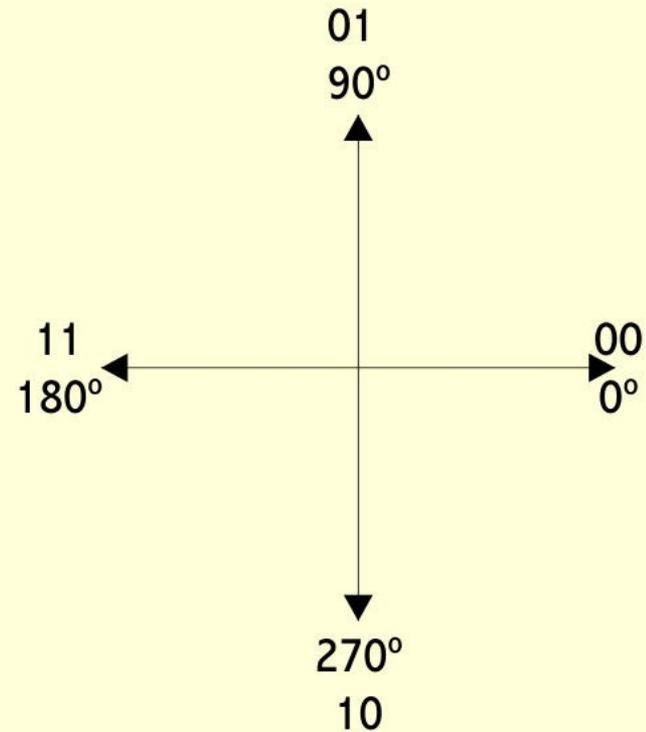
Los métodos de modulación son los siguientes:

- **2 PSK, 4 PSK y 8 PSK**
- **16 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM y 512 QAM.**

PSK (Phase Shift Keying) es modulación por desplazamiento de fase.

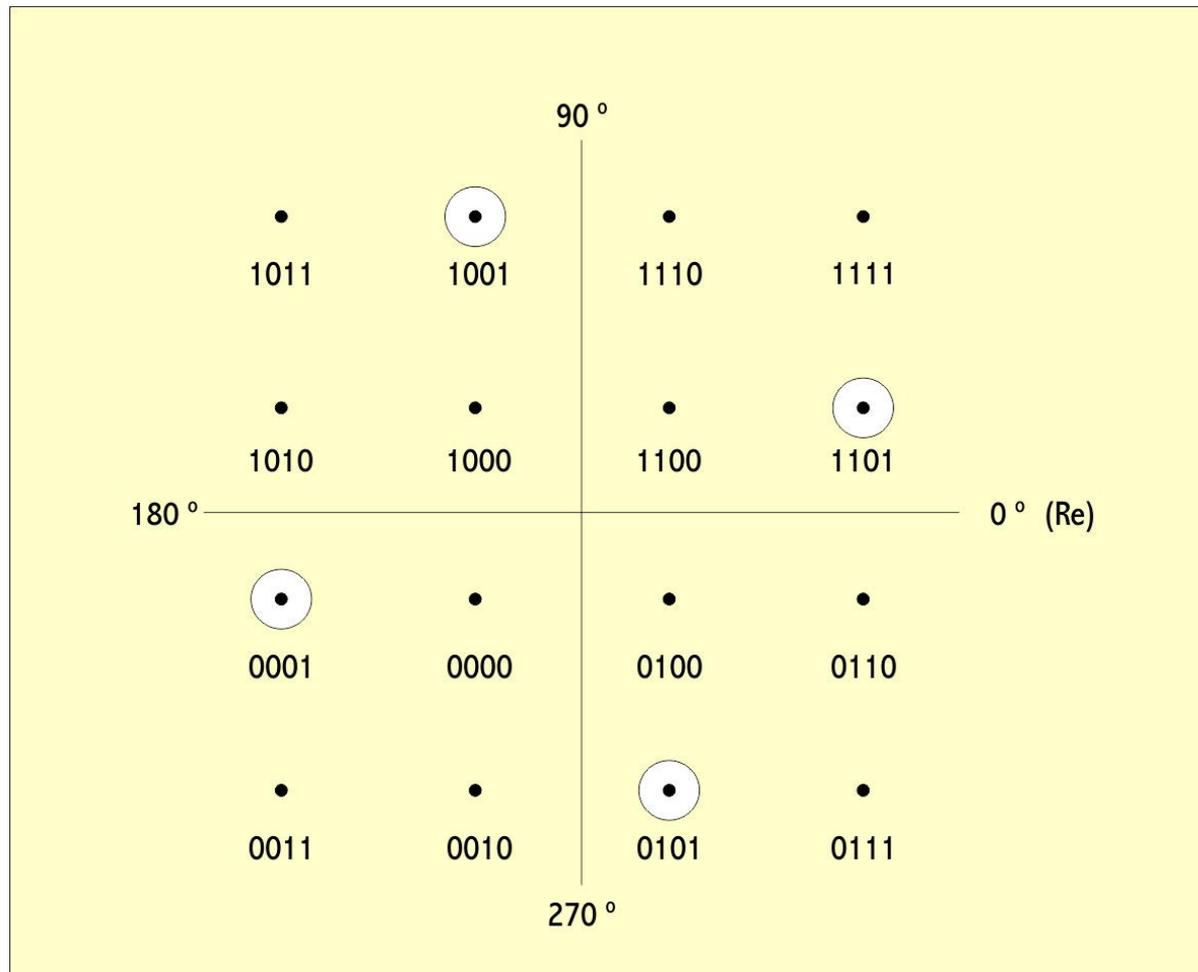
Ejemplo: 4 PSK con cuatro opciones permite transmitir dos bits con cada variación de la fase de la portadora.

Secuencia binaria	Fase de la portadora
00	0°
01	90°
11	180°
10	270°



QAM es modulación en cuadratura, combina el desplazamiento de fase y amplitud.

Ejemplo: sistema 16QAM con 16 opciones, cada una transmite cuatro bits con una sola transición.



Sistema de modulación	Ancho de banda necesario (MHz)			
	34 Mbps	68 Mbps 34 Mbps x2	100 Mbps 34 Mbps x3	140 Mbps 34 Mbps x 4
2 PSK	34,4	68,8	103,2	139,3
4 PSK	17,2	34,4	51,6	69,7
8 PSK	11,5	22,9	34,4	46,4
16 QAM	8,6	17,2	25,8	34,8
64 QAM	5,7	11,5	17,2	23,2

Método de modulación	Número de bits por baudio	Ancho de banda necesario
2 PSK	1	140 MHz
4 PSK	2	70 MHz
8 PSK	3	47 MHz
16 QAM	4	35 MHz
32 QAM	5	28 MHz
64 QAM	6	23 MHz
128 QAM	7	20 MHz
256 QAM	8	14 MHz
512 QAM	9	10 MHz

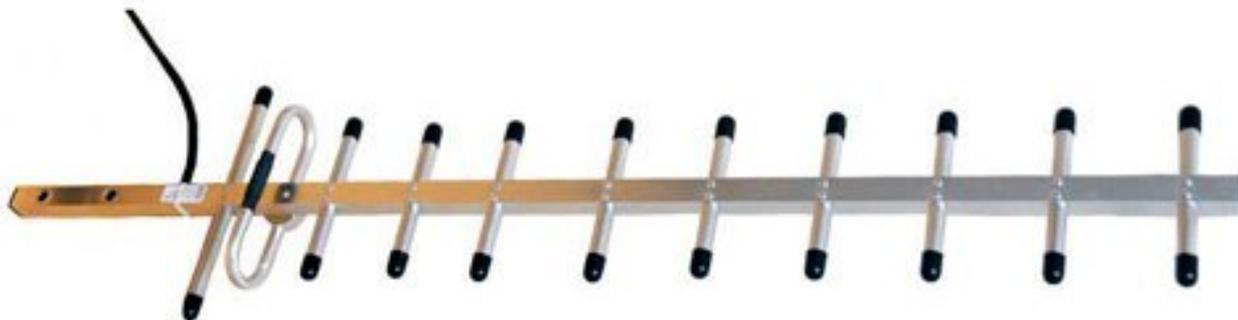
ANTENAS DE MICROONDAS

Omnidireccionales: irradian energía en todos los sentidos con igual intensidad

Se emplean en estaciones centrales que deben transmitir en distintas direcciones.

Direccionales: la energía es concentrada en un delgado haz. Permiten transmitir con muy baja potencia.

Las antenas Yagui tienen varios dipolos en paralelo para aumentar la ganancia y el ancho de banda.



Antenas parabólicas

Proporcionan una ganancia y una directividad muy alta. Mayores dimensiones aumentan la ganancia y el costo.

Están compuestas por:

- el alimentador o elemento activo, que recibe la señal del transmisor por la guía de onda
- el reflector tiene la forma de un plato con curvatura de segundo grado (reflector parabólico).

La ganancia de las antenas parabólicas depende de la relación entre su diámetro y la longitud de onda:

$$\mathbf{Ga [dB] = 10 \log (0,6 \pi^2 D^2 / \lambda^2)}$$



MASTILES Y TORRES

Las antenas son los elementos irradiantes y deben estar a una determinada altura, soportadas por estructuras.

Hay dos tipos de estructuras:

- mástiles con riendas
- torres autosoportadas.

Las grandes parábolas deben instalarse en torres muy resistentes, porque además del peso de la parábola deben soportar la carga debida a la presión del viento.

CONFIGURACIONES

Hay instalaciones simples, sin redundancia de equipos.

Se instalan equipos de reserva para aumentar la confiabilidad.

Sistemas **1 + 1**: un equipo operando y otro en reserva.

En caso de falla del equipo principal, el secundario toma la transmisión (hot stand by).

Para reducir los cortes por problemas de propagación se usa:

- Diversidad de frecuencia (dos enlaces en paralelo en frecuencias separadas)
- Diversidad de espacio (dos antenas en la misma estructura separadas en altura)

GUIAS DE ONDA

Conduce señales de longitudes de onda micrométrica en distancias cortas.

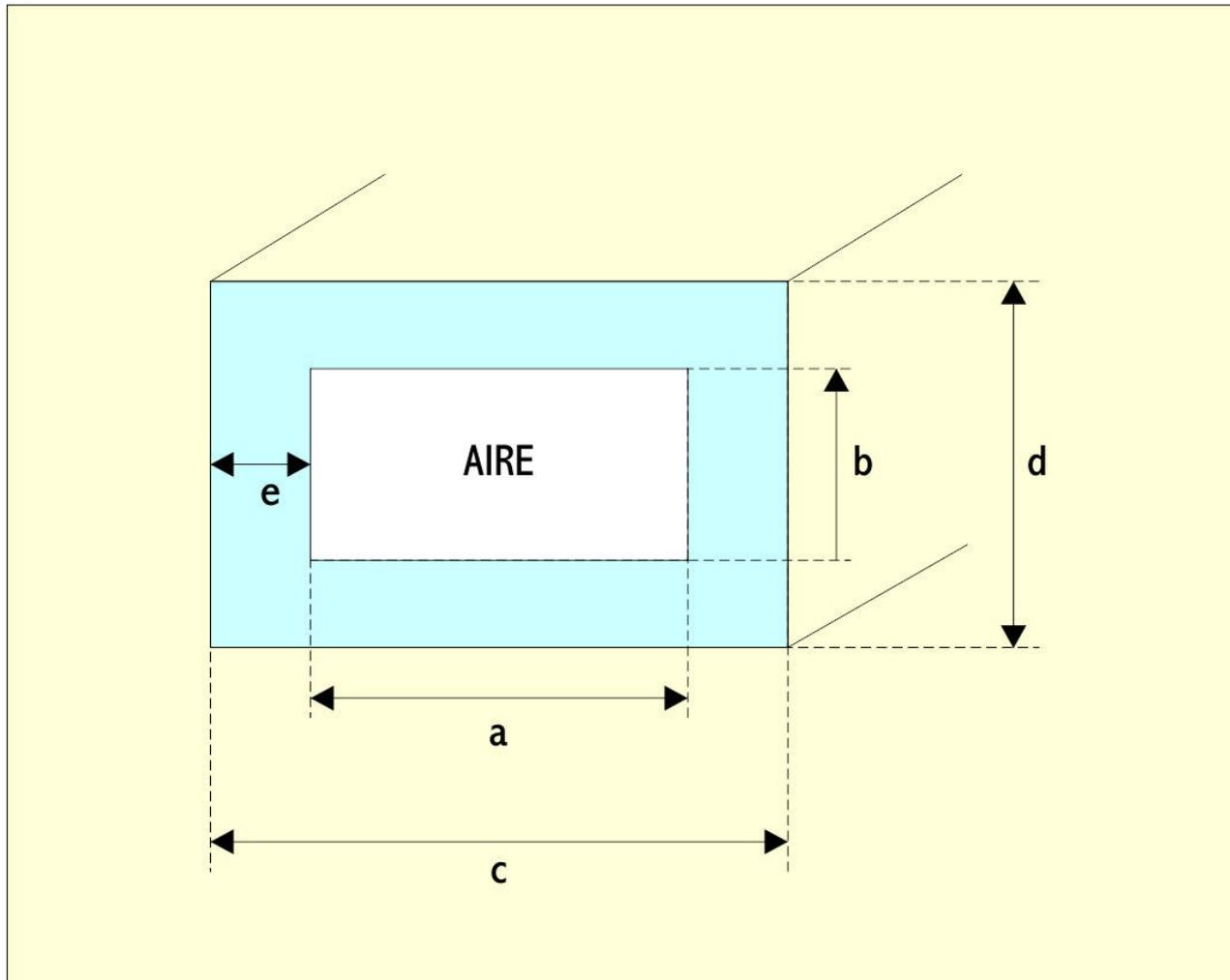
Conecta la antena y los equipos transmisores.

Las frecuencias del orden de varios GHz tienen altas pérdidas en cables de cobre ya que:

- los cables irradian energía
- la corriente tiende a circular solamente por la superficie (efecto pelicular).

Características

Son tubos huecos, de una longitud de 5 a 15 m de largo y de secciones tales que permitan la propagación de las ondas electromagnéticas en su interior.



Propagación

La transmisión de la energía no es por las paredes de la guía sino por su dieléctrico, normalmente aire.

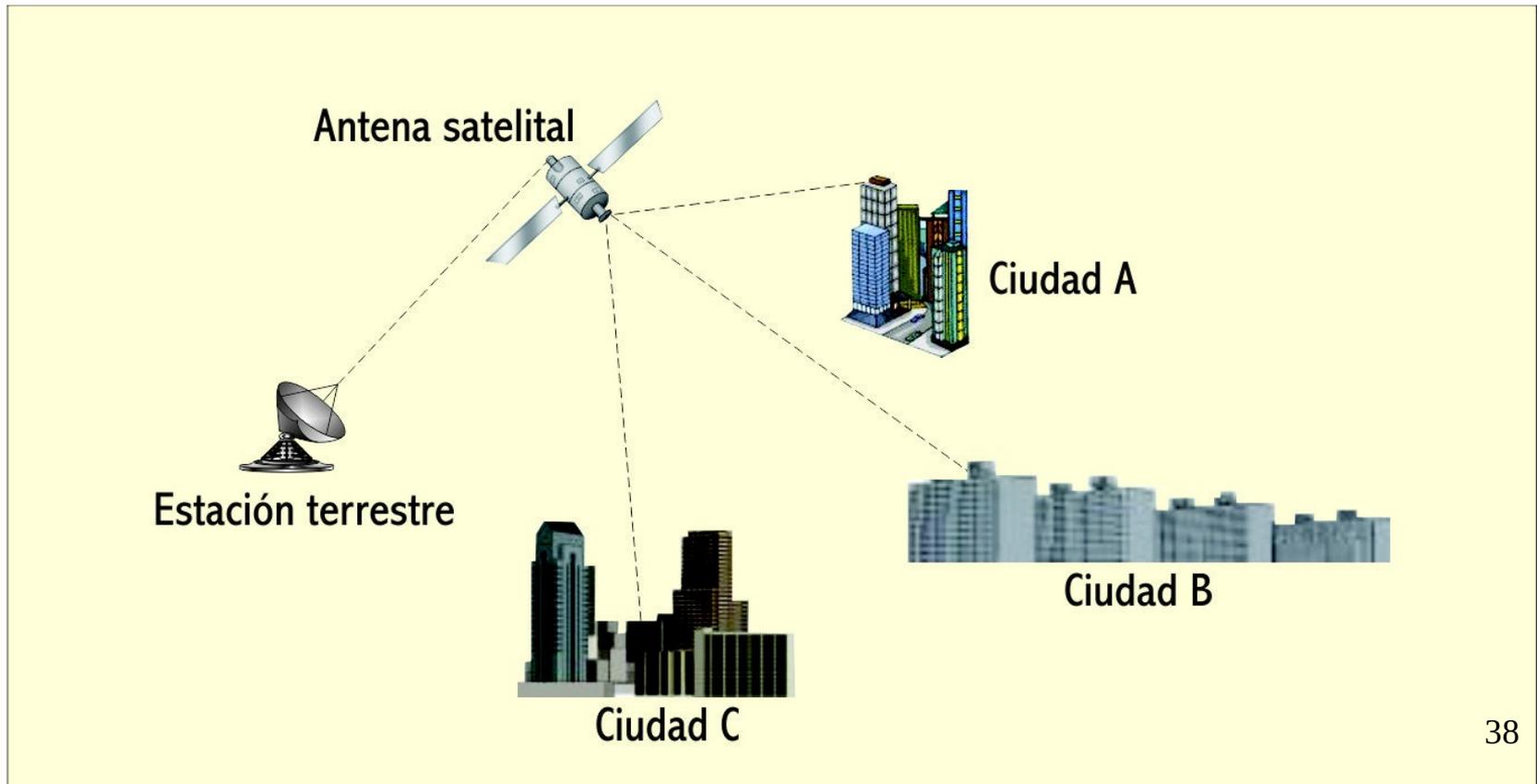
La energía se propaga por ondas electromagnéticas que se van reflejando en las paredes de la guía en zigzag.

Las leyes de propagación son las de los campos eléctrico y magnético (Leyes de Maxwell).

Para evitar que la humedad se acumule en el interior, las guías son presurizadas con aire seco.

SATELITES

Son estaciones que orbitan alrededor de la tierra a gran altura y son usados como repetidora para llegar a un punto distante sin alcance visual.



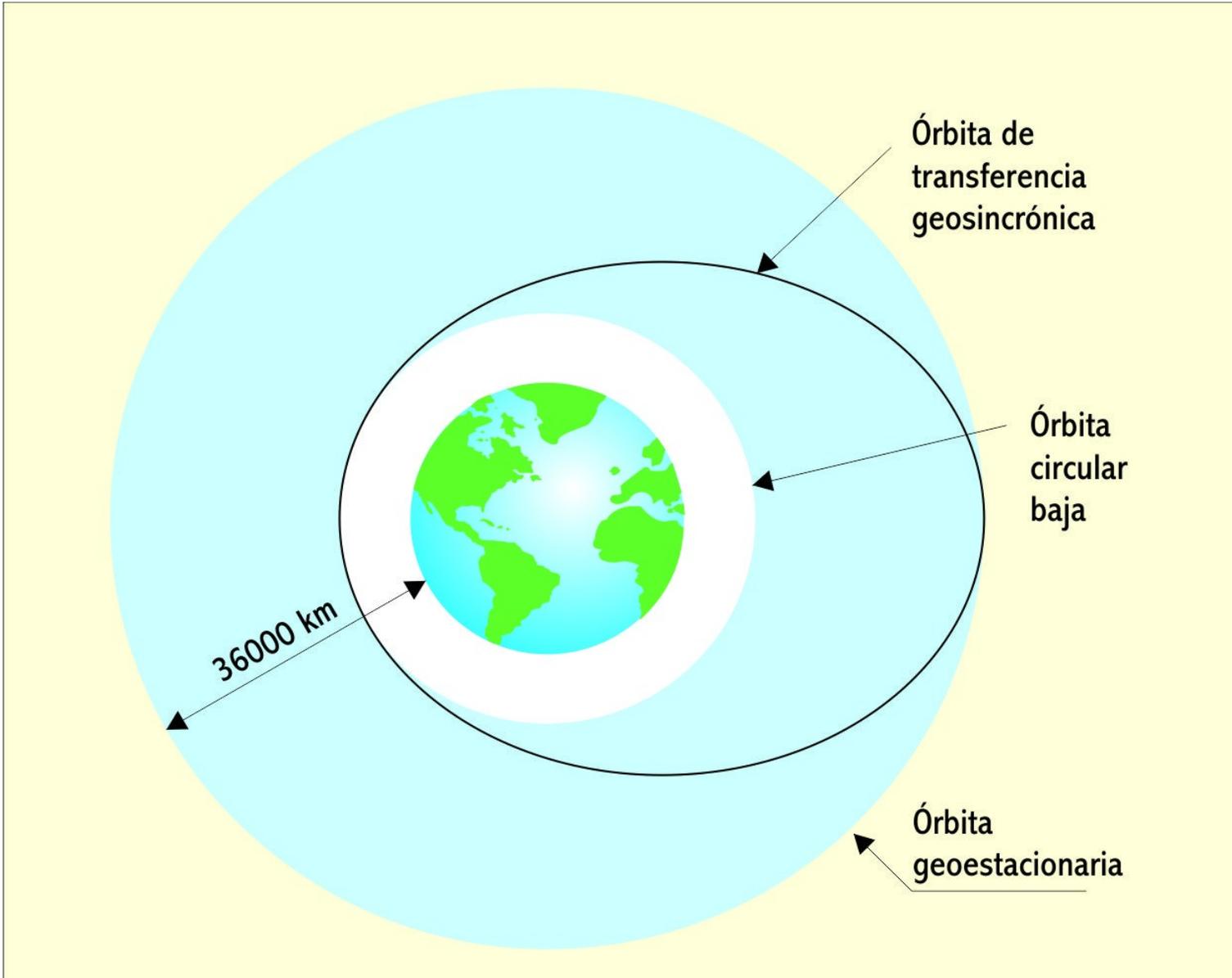
Orbitas

El satélite está en órbita cuando la velocidad de rotación genera una fuerza centrífuga igual a la fuerza de atracción hacia la Tierra causada por la gravedad.

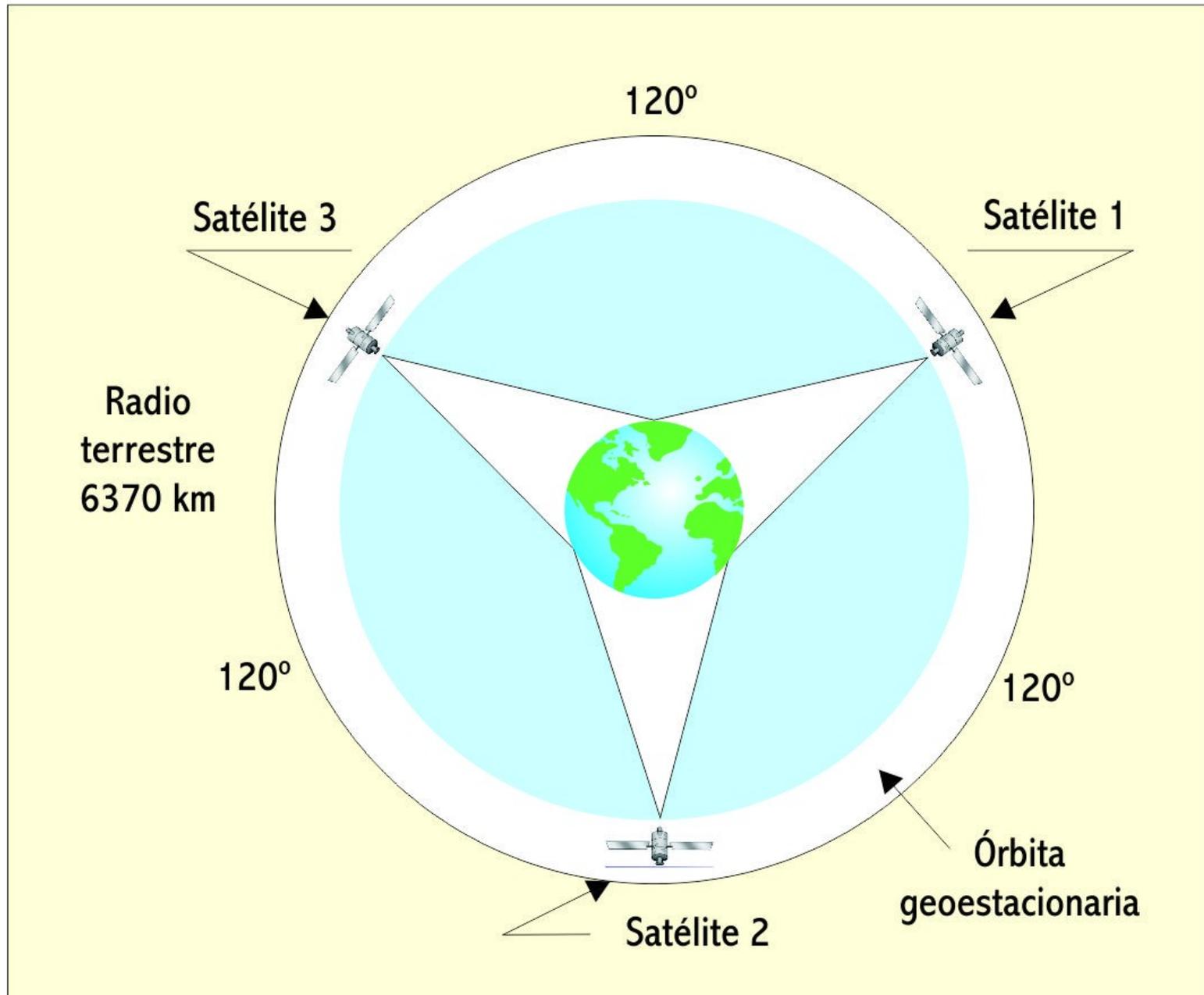
Los satélites orbitan alrededor de la Tierra en órbitas ecuatoriales y polares a diferentes alturas.

Hay satélites geoestacionarios, de órbita media y de órbita baja.

Cuando la órbita es ecuatorial y se cumple en 24 hs en el sentido de rotación de la Tierra, el satélite aparece como suspendido en el espacio (órbita geoestacionaria).



Con tres satélites geoestacionarios se cubre la Tierra.



Satélites geoestacionarios

- Orbitan a 36.000 km de altura
- Usan antenas omnidireccionales.
- Aptos para las comunicaciones personales móviles.
- La cantidad de satélites que pueden operar en la orbita geoestacionaria esta limitada por las interferencias de los satélites ubicados a ambos lados.
- Los lanzamientos tienen costos muy elevados.
- Retardo muy alto (unos 300 ms) lo que genera ecos indeseados en telefonía y obliga a usar canceladores de eco.
- Según su ubicación potencia y directividad de las antenas la cobertura llega a un área determinada de la Tierra, denominada “huella”.

Satélites de órbita media

- Orbitan a más de 2.000 km de altura y necesitan seis a ocho horas para dar la vuelta, por lo que cada punto permanece visible entre una y dos horas.
- Para un servicio continuo de cobertura mundial son necesarios diez satélites en dos planos a 45° respecto del Ecuador.
- Lanzamientos de costos menores que los satélites geoestacionarios, pero mayores a los de orbitas bajas.
- El retardo está en el orden de los 70 ms.

Satélites de órbita baja (LEOS)

- Orbitan a unos 800 km de altura y necesitan 90 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra.

Para una estación terrestre permanece solo unos pocos minutos visible, y es necesario contar con muchos satélites .

- Requieren bajas potencias de transmisión y antenas omnidireccionales, por lo que son aptos para móviles.
- Por la baja altura hay poco retardo (10 ms) lo que favorece las comunicaciones de datos.

Frecuencias usadas en satélites

Son frecuencias de microondas que comparten el espectro con las estaciones terrestres en bandas asignadas.

<u>Banda</u>	<u>Frecuencias (GHz)</u>
C	3,4 a 8,4
Ku	12,4 a 18
K	18 a 26,5
Ka	26,5 a 40

Organización

Los servicios satelitales están operados por varios consorcios internacionales:

- Intelsat (desde 1965)
- Intersputnik (desde 1971) del bloque socialista
- Arabsat (desde 1976)
- Inmarsat (desde 1979) para ayuda a la navegación
- Eutelsat (desde 1977)
- Asiasat (desde 1998)

Esos consorcios venden paquetes que son comercializados por empresas de comunicaciones como complemento a las redes terrestres.

COMPONENTES DEL SISTEMA SATELITAL

Satélite

- Transmisores y receptores de comunicaciones
- Paneles solares y baterías
- Motores y combustible para estabilizar la posición (la vida útil del satélite depende de la cantidad de combustible)

Estación terrena

- Antena parabólica y transmisor para cada usuario.

Telepuerto

- Controla la posición del satélite en su órbita y envía comandos al motor de estabilización
- Recibe las comunicaciones de los usuarios y las distribuye por redes terrestres.

SERVICIOS SATELITALES

Servicios fijos: para enlaces punto a punto, o punto multipunto

Servicios de difusión: para distribución de emisoras de radio o TV a usuarios finales o a empresas de cable

Servicios móviles: un móvil accede por satélite a la red fija (red Iridium)

FORMAS DE ACCESO

Hay limitaciones por la capacidad y cantidad de satélites.

Cada satélite tiene canales (trasponders) de 36 MHz que deben distribuirse entre los servicios de los usuarios.

Single Channel Per Carrier (SCPC): una sola señal de voz, radio, datos o video modula una portadora satelital.

Multi Channel Per Carrier (MCPC): varias señales de voz y datos son multiplexados por división de frecuencia en la estación terrena, para modular una portadora satelital.

Companded Frequency Division Multiplex (CFDM): los canales de voz son comprimidos en amplitud y modulados, lo que permite ampliar la capacidad hasta casi el doble.

Time Division Multiplexer Asynchronous (TDMA): cada portadora satelital es compartida en el tiempo por varias estaciones terrenas.

LASER

Hay equipos ópticos e inalámbricos con emisores de un haz de luz coherente que permite transmitir señales.

Son enlaces ópticos sin cables punto a punto dentro de ciudades.

Está limitado por la distancia máxima de propagación del haz de luz en la atmósfera (pocos kilómetros).

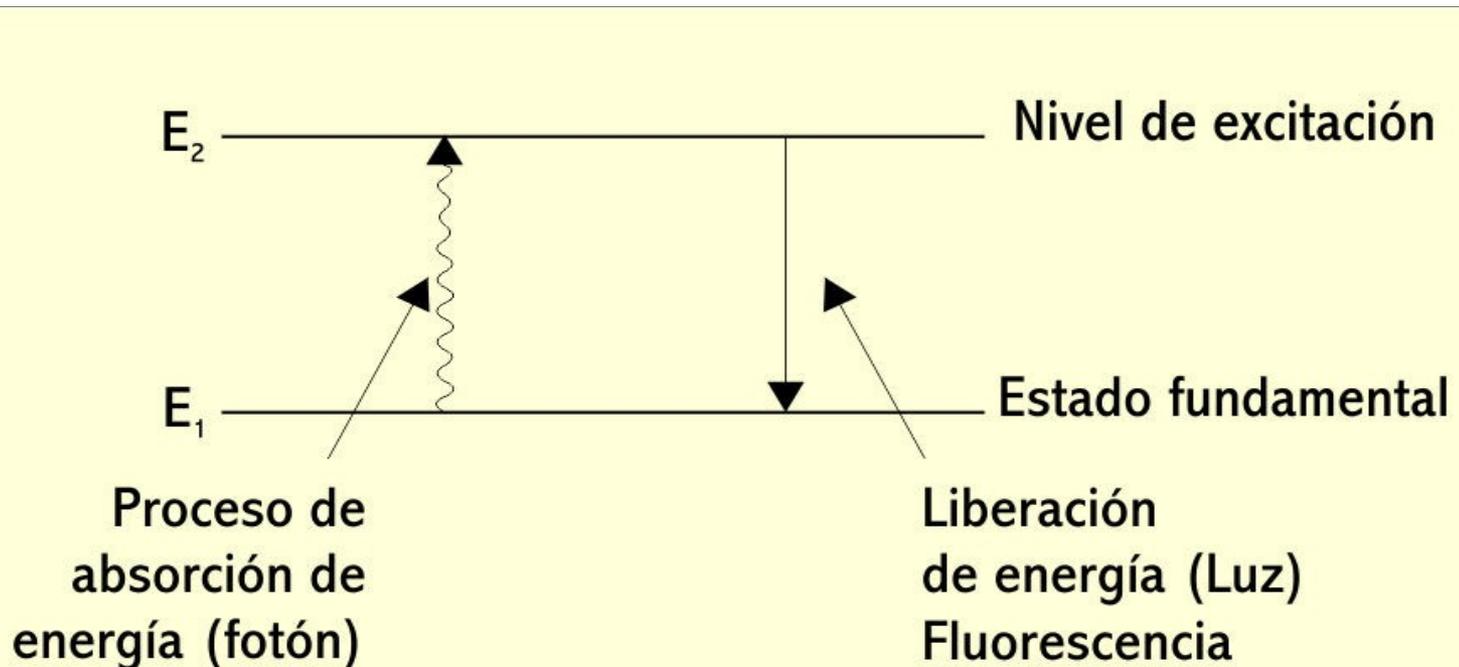
Permite gran capacidad de transmisión.

Principio de funcionamiento del láser

Un átomo en reposo tiene una energía E_1 .

Recibe una cantidad de energía ΔE por el bombardeo con un fotón y salta a un nivel E_2 (nivel de excitación).

En ese nivel es inestable y regresa al estado inicial E_1 , emitiendo un quantum de energía de luz (fluorescencia que dura pocos milisegundos).



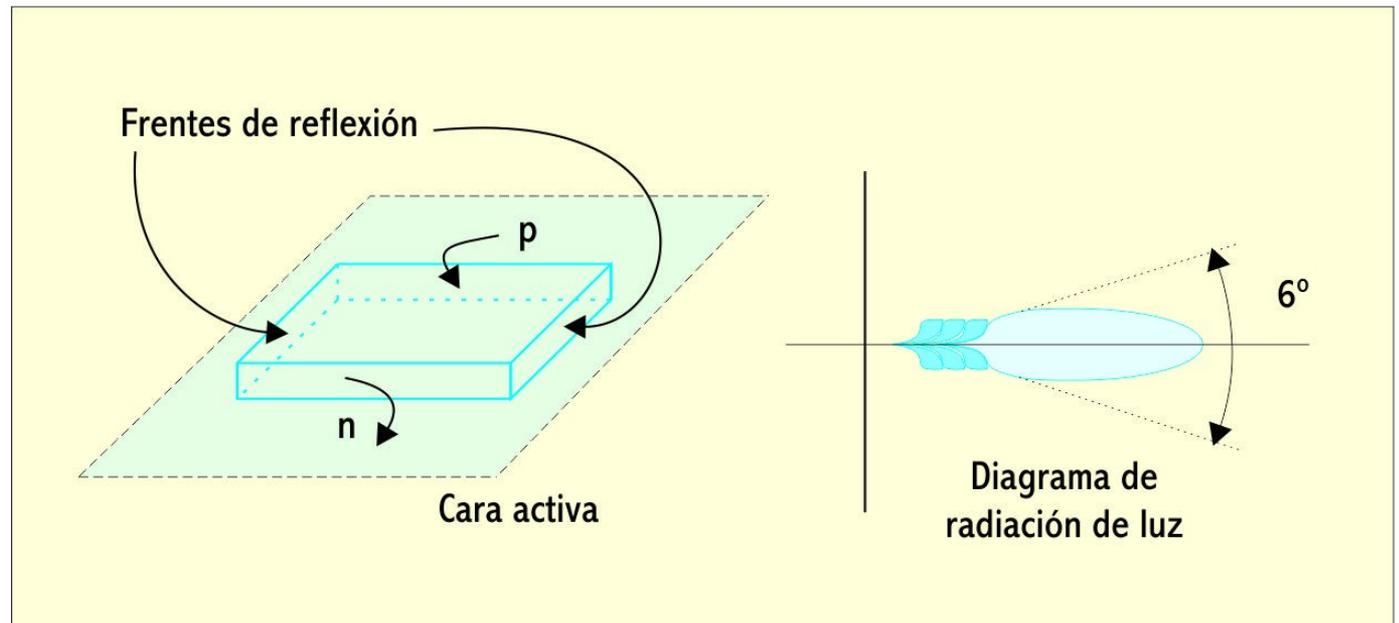
Si un átomo está en el nivel de excitación $E2$ y otro fotón lo bombardea, ocurre un proceso denominado emisión estimulada (hay emisión de un fotón sin esperar el retorno al nivel $E1$ de reposo).

Características:

Frecuencia (MHz)	Longitud de onda (cm)	Dimensiones exteriores (cm)	Atenuación (dB/m)
26500 - 40000	0,9	0,71 x 0,355	0,51 - 0,58
8200 - 12400	3,2	2,28 x 1,03	0,10 - 0,15
2600 - 3950	10,0	7,22 x 3,49	0,02 - 0,05
1120 - 1700	25,0	16,50 x 8,25	0,01 - 0,07

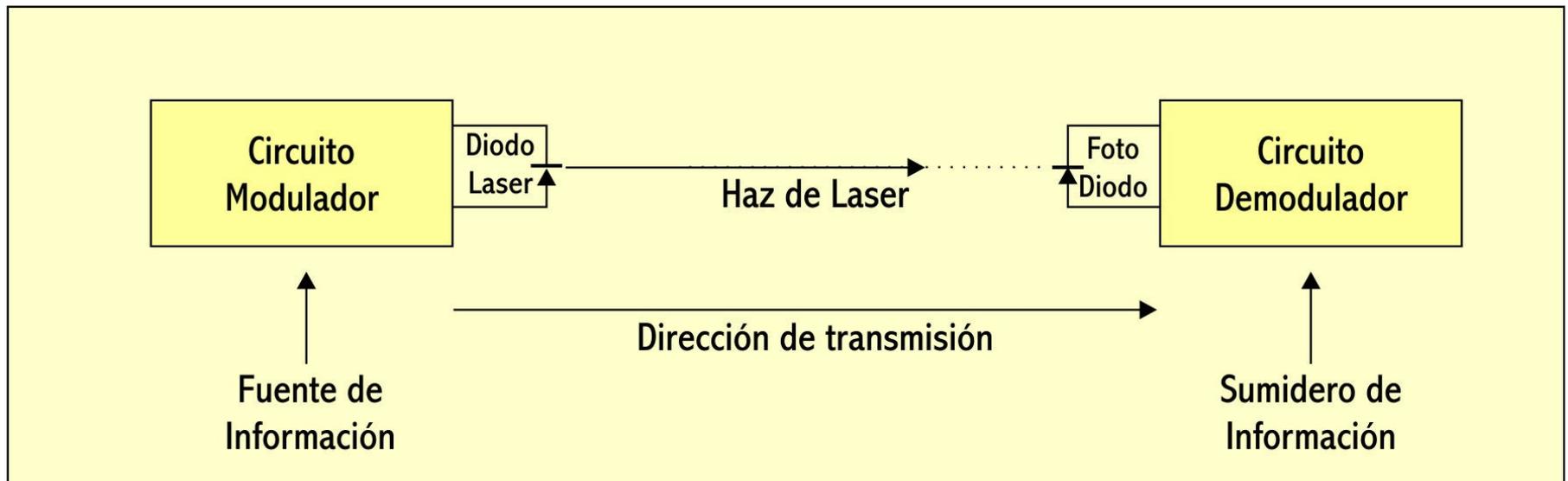
Tipos de láser

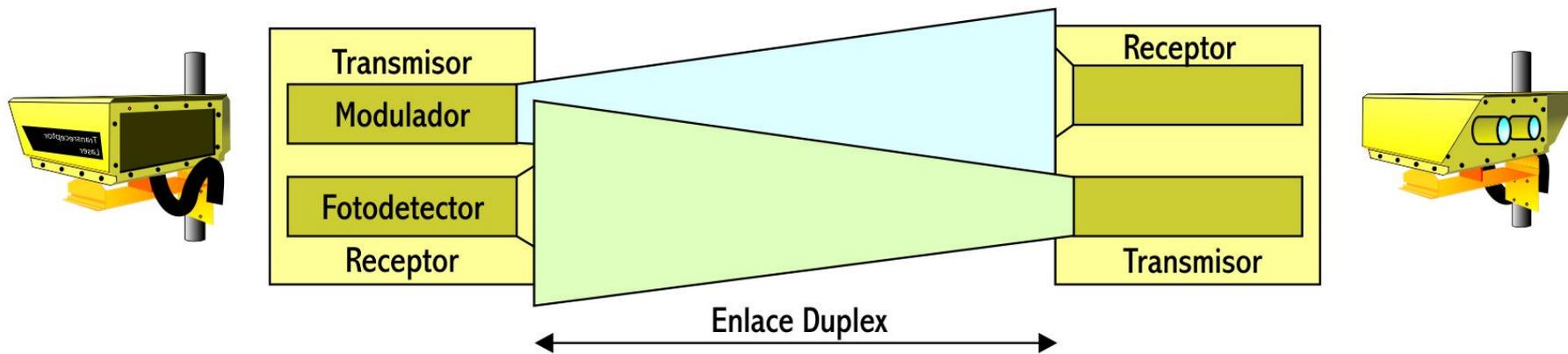
- Láser gaseoso: mezclas de helio (He/2) y **neón** (Ne/10) en tubos de vidrio y excitados por descargas eléctricas.
- Láser líquido: fluidos orgánicos estimulados por luz de alta potencia.
- Láser sólido: cristales como el rubí excitado por lámparas de tungsteno (W/74).
- Láser semiconductor: junturas p-n excitadas por corriente eléctrica.



Equipos de comunicaciones láser

- Los enlaces de comunicación óptica en el espacio libre (FSO) son fáciles de instalar y usan frecuencias no reguladas, en longitudes de onda entre los 780 y 1550 nm.
- Los equipos de uso comercial alcanzan 5 km, los militares superan los 10 km.
- Son inmunes a las interferencias radioeléctricas, aunque son afectados por la niebla, lluvia o nieve.





Características	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4
Rango de alcance	4.000 m	2.000 m	500 m	500 m
Ancho de banda disponible	34 Mbps	155 Mbps	622 Gbps	9,6 Gbps
Potencia consumida	35 W	35 W	45 W	45 W
Longitud de onda del haz	980 nm	980 nm	850 nm	780 nm

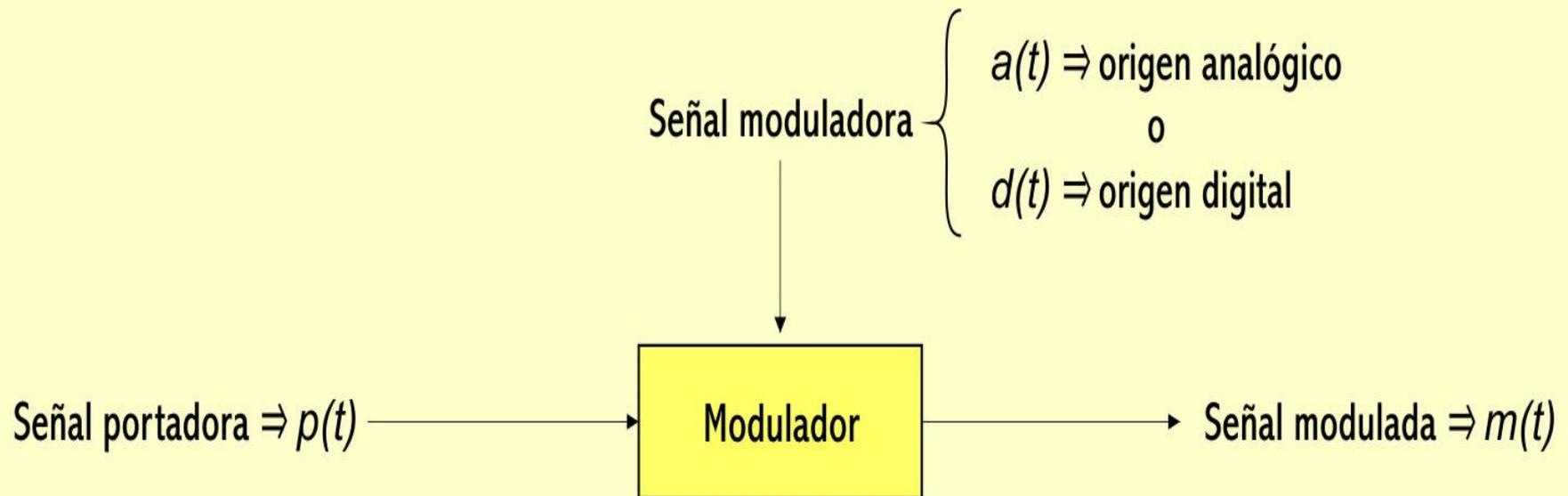
Comunicaciones

Clase 9

Modulación y digitalización de señales

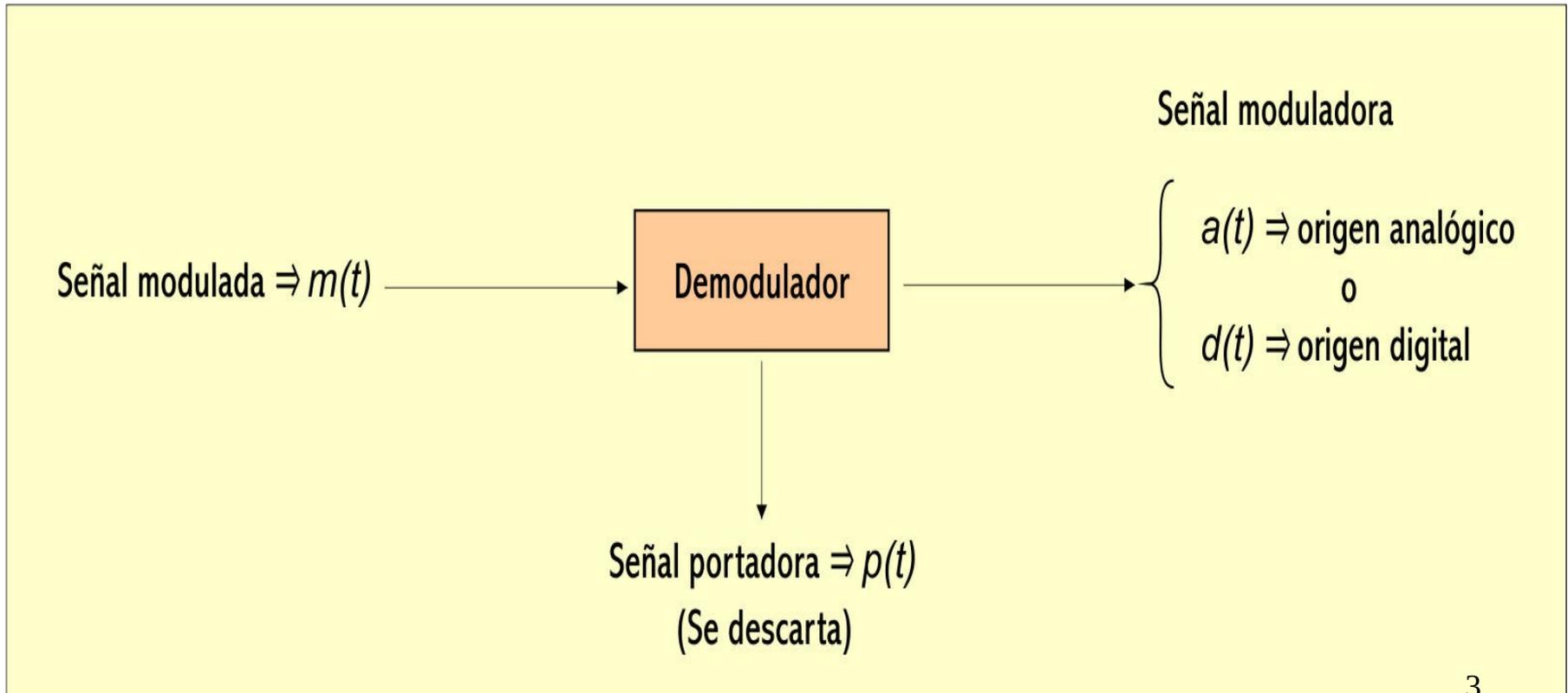
MODULACION

Ciertas características de una onda (portadora) se modifican en función de otra onda (moduladora), que contiene la información a transmitir resultando una onda (modulada) que será transmitida.

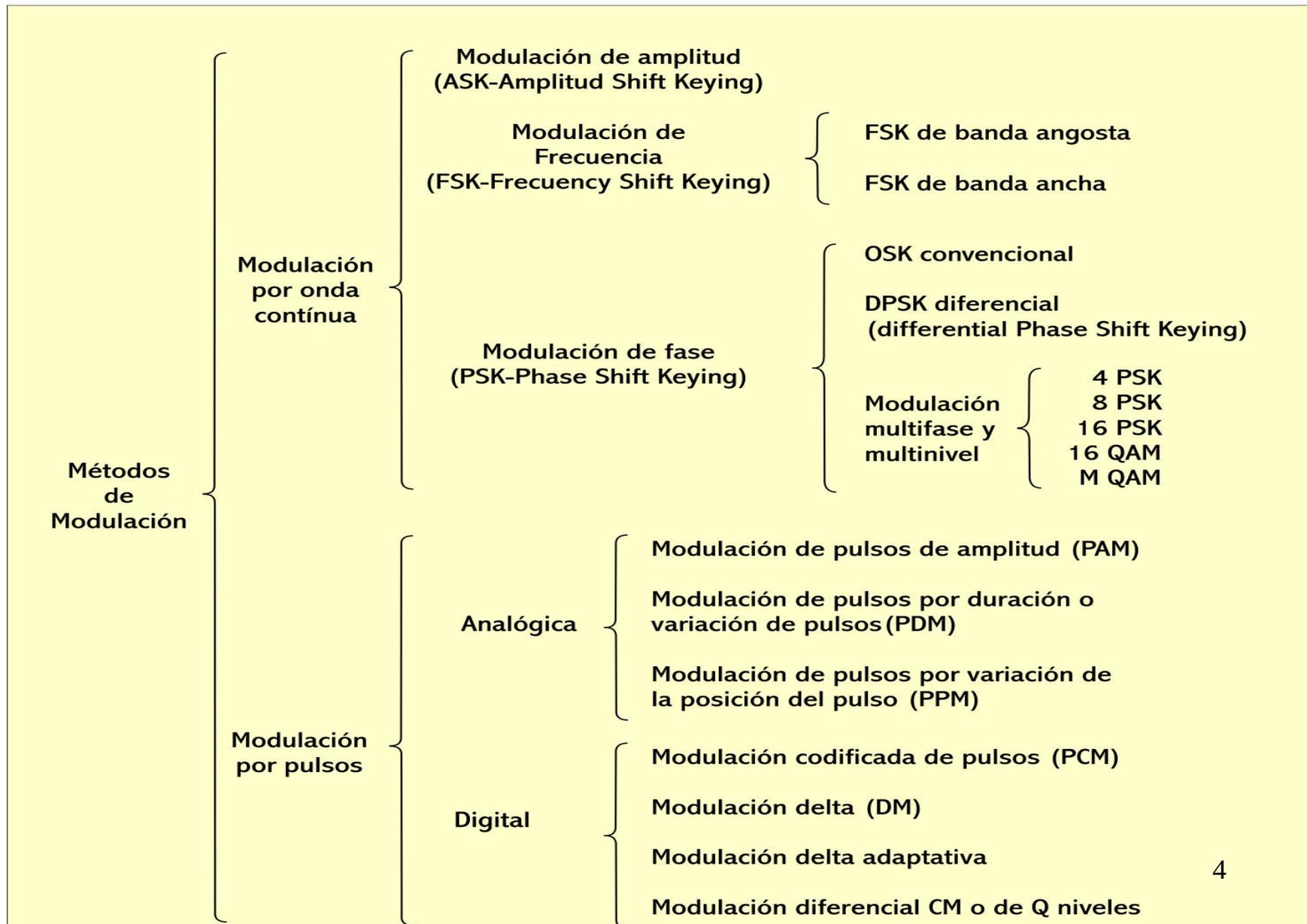


DEMODULACION

Es el proceso inverso por el cual la señal modulada recibida es procesada, recuperando la señal moduladora que contiene la información.



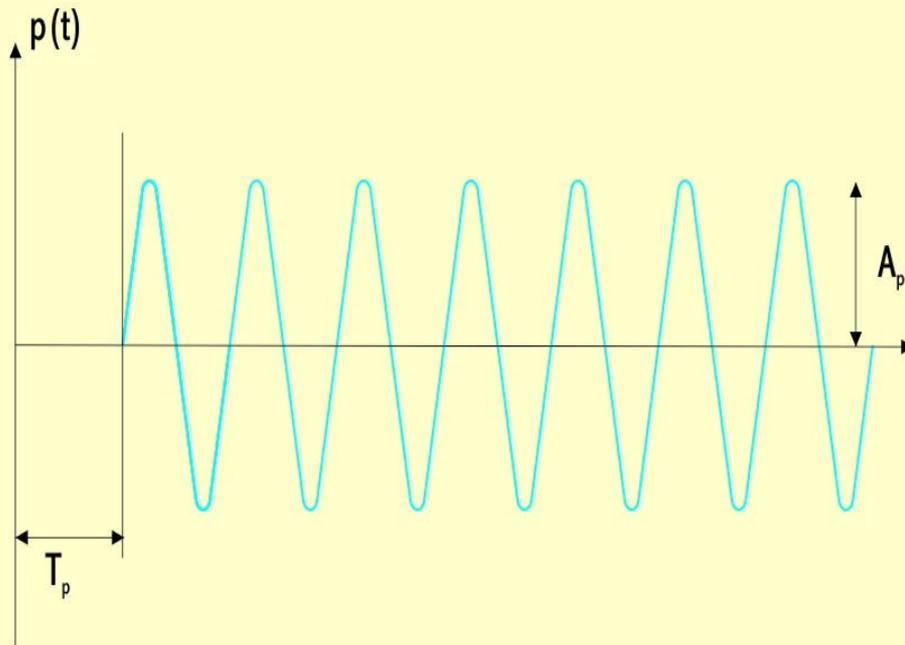
Clasificación de las técnicas de modulación



SEÑAL PORTADORA

Tiene una frecuencia apta para su transmisión por el canal.

Es una onda sinusoidal con tres características (amplitud, frecuencia y fase), una de las cuales se modifica en función de la señal moduladora (que es la señal útil, pero su frecuencia no es apta para la transmisión por el canal).



$$f_p = \frac{1}{T_p} = \text{frecuencia de la portadora}$$

A_p = amplitud máxima de la portadora

T_p = período de la portadora

$\omega_p = 2\pi f_p$ = pulsación de la portadora

θ_p = fase de la portadora

$p(t)$ = amplitud máxima de la portadora

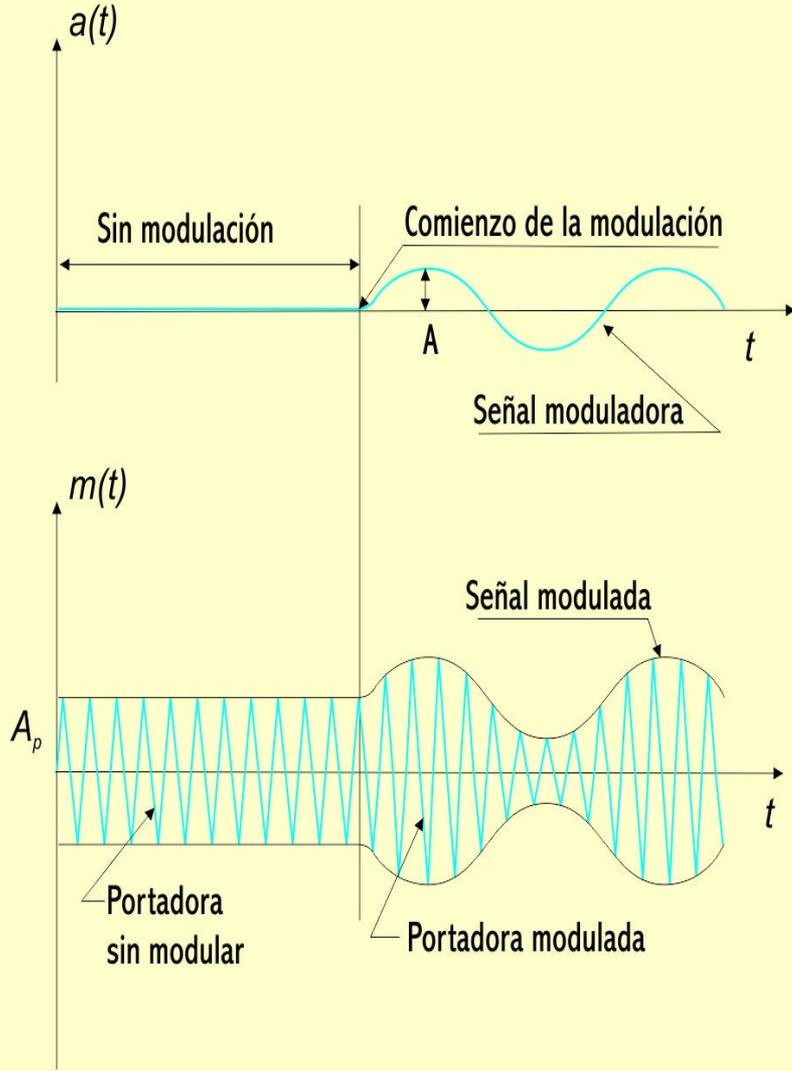
MODULACION DE AMPLITUD (AM)

El parámetro de la señal portadora que se hace variar es la amplitud.

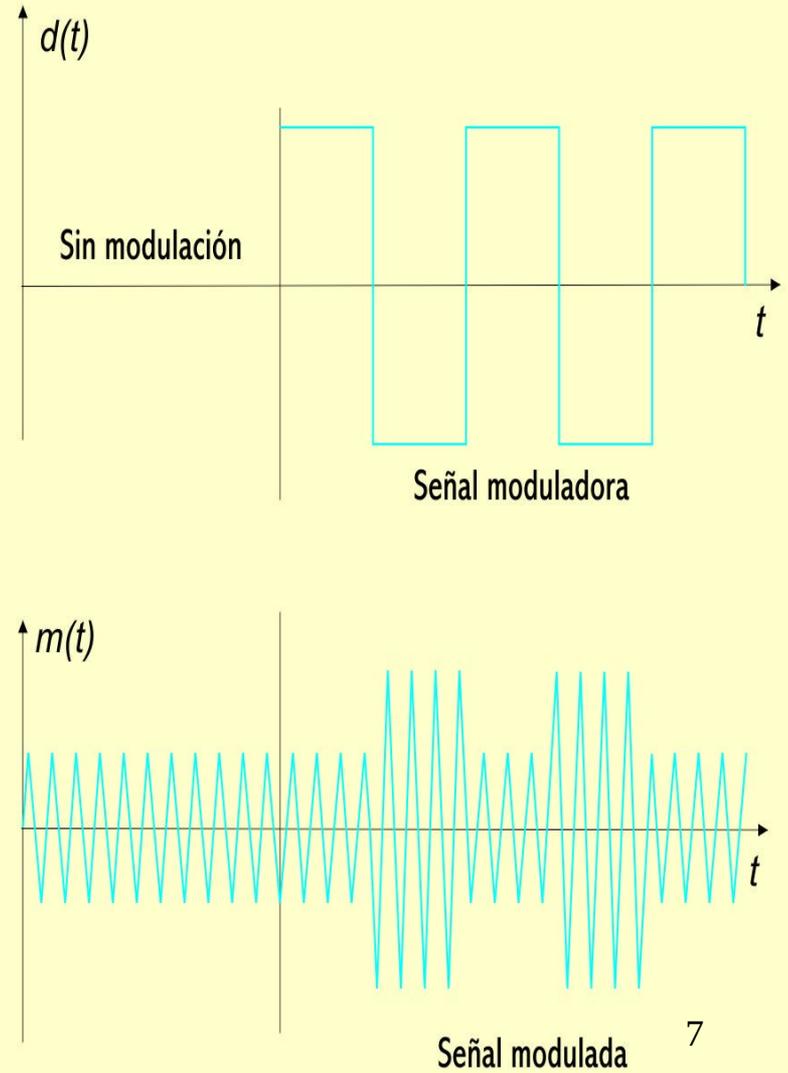
Hay dos tipos de modulación de amplitud:

- Por variación del nivel de la onda portadora: usada para transmitir la voz en radios de ondas medias.
 - La frecuencia de la señal moduladora debe ser mucho menor que la frecuencia de la portadora
 - La señal moduladora es la envolvente de la modulada
- Por supresión de onda portadora: usada para transmitir señales digitales

Moduladora analógica

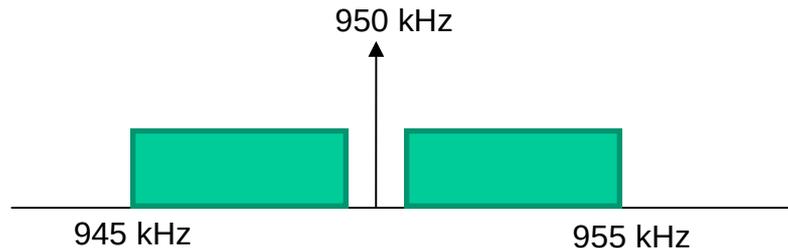


Moduladora digital



MODULACION DE AMPLITUD ANALOGICA

- Se utiliza para la radiodifusión en ondas medias:
 - Moduladora de hasta 5 kHz
 - Portadora en la banda de 550 a 1600 kHz (separadas 10 kHz)
 - El producto de la modulación es una portadora modulada y dos bandas laterales (inferior y superior)



- Ancho de banda = $2 \times f_m$
- Índice de modulación = $\text{Amplitud de moduladora} / \text{Amplitud de portadora}$
- La potencia de una portadora sin modular se reparte así:
 - Portadora modulada: 50%
 - Cada banda lateral: 25%

VARIANTES DE AM

- Como la portadora modulada no lleva información se puede suprimir mediante filtros (sistema de doble banda lateral con portadora suprimida)



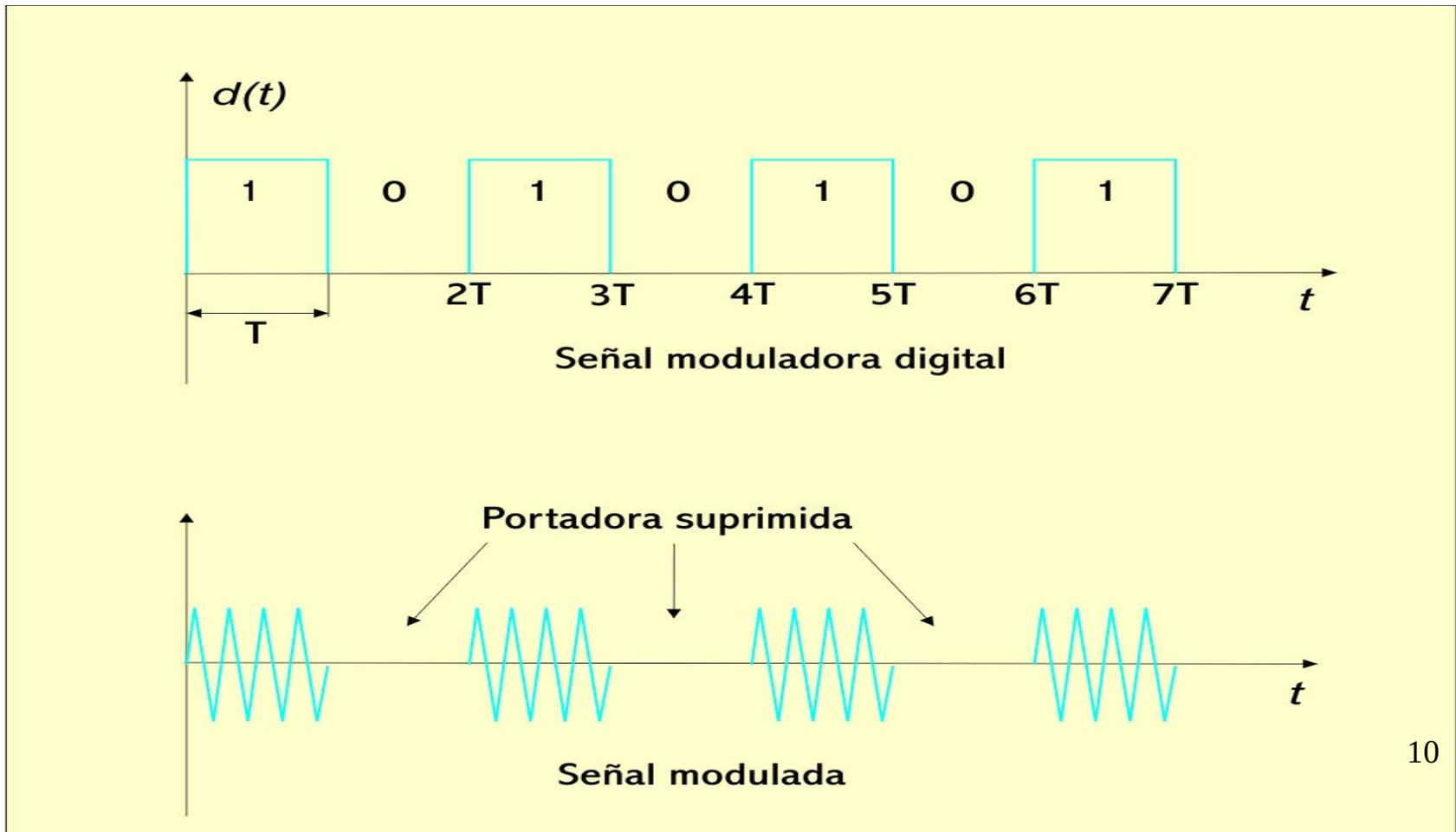
- Como la información de ambas bandas está duplicada se puede suprimir una de ellas (sistema de banda lateral única) usada por los radioaficionados en onda corta.



MODULACION ASK (Amplitude Shift Keying)

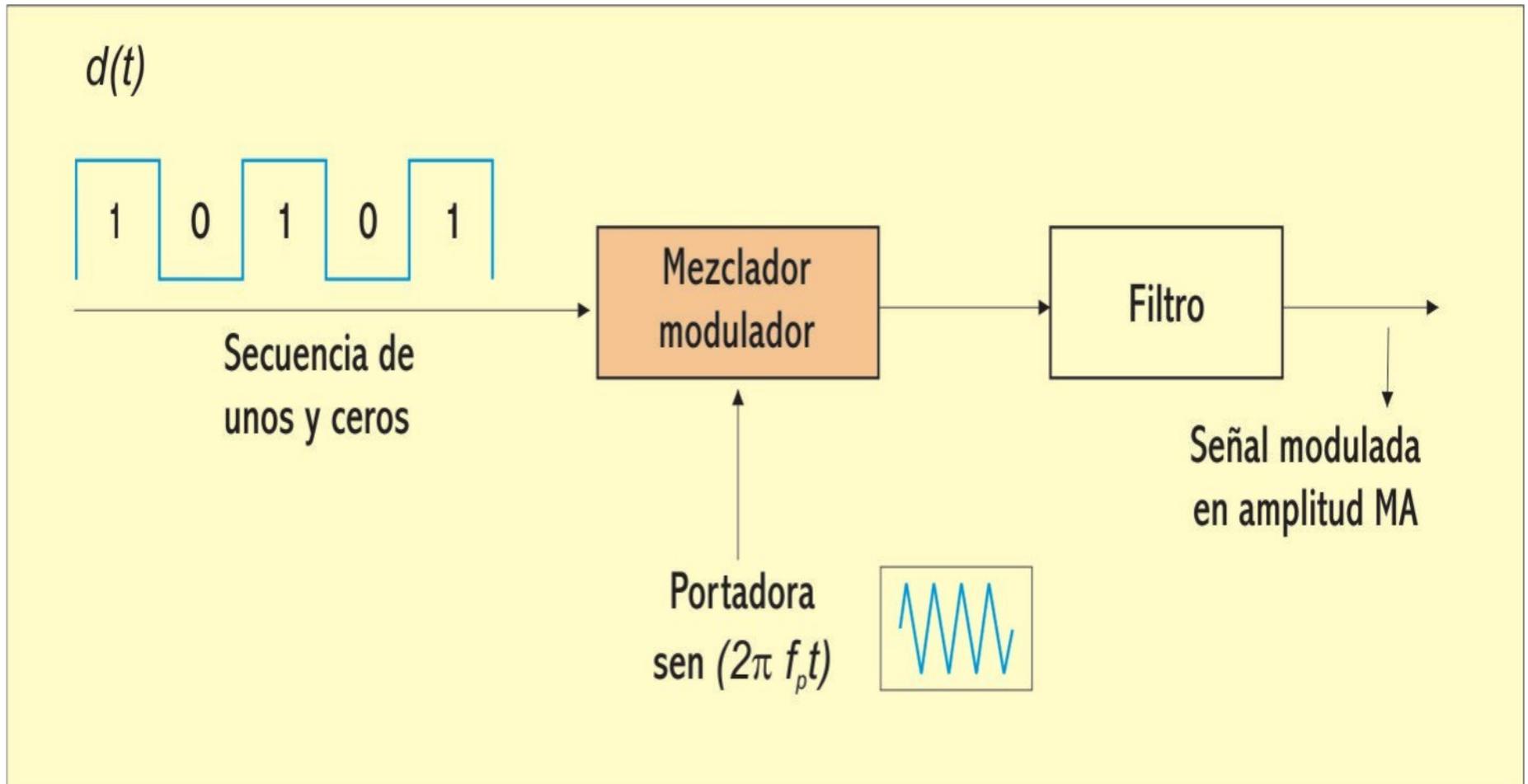
Usada en sistemas telegráficos, donde la señal modulada tiene:

- la misma amplitud de la portadora para enviar el 1
- la supresión de la portadora para enviar el 0.



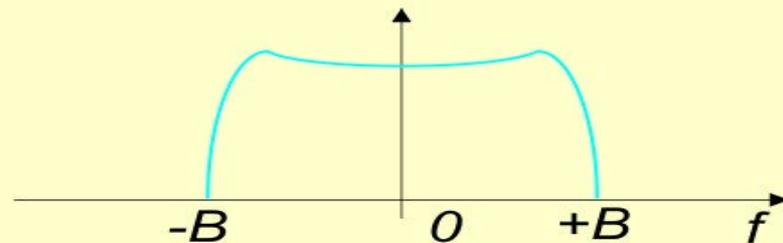
Proceso de modulación en amplitud

En un modulador AM aparecen frecuencias indeseadas y se agrega un filtro de salida para reducir su efecto.

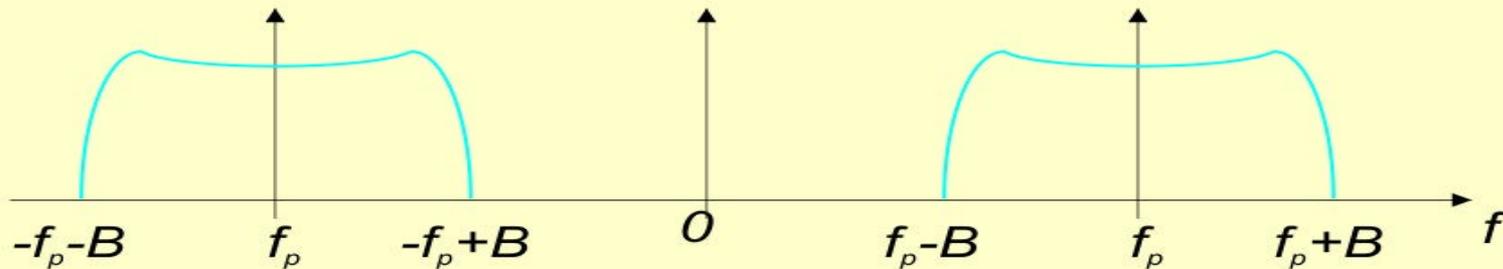


Hay un desplazamiento en frecuencia del espectro de la señal moduladora generando dos bandas laterales a ambos lados de la portadora.

El ancho de banda de la señal modulada duplica el de la señal moduladora.



Señal moduladora
espectro de frecuencia

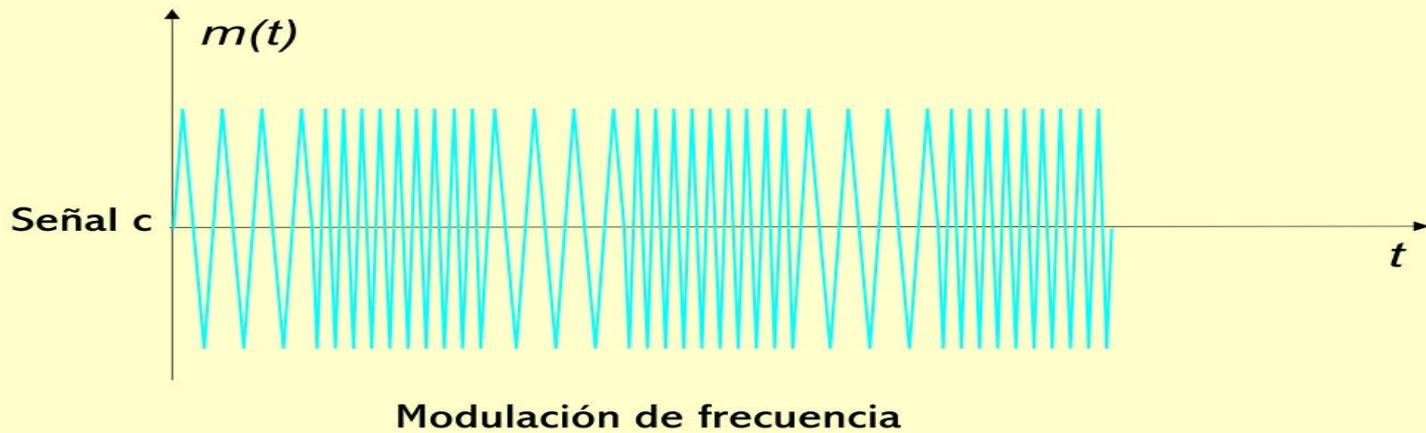
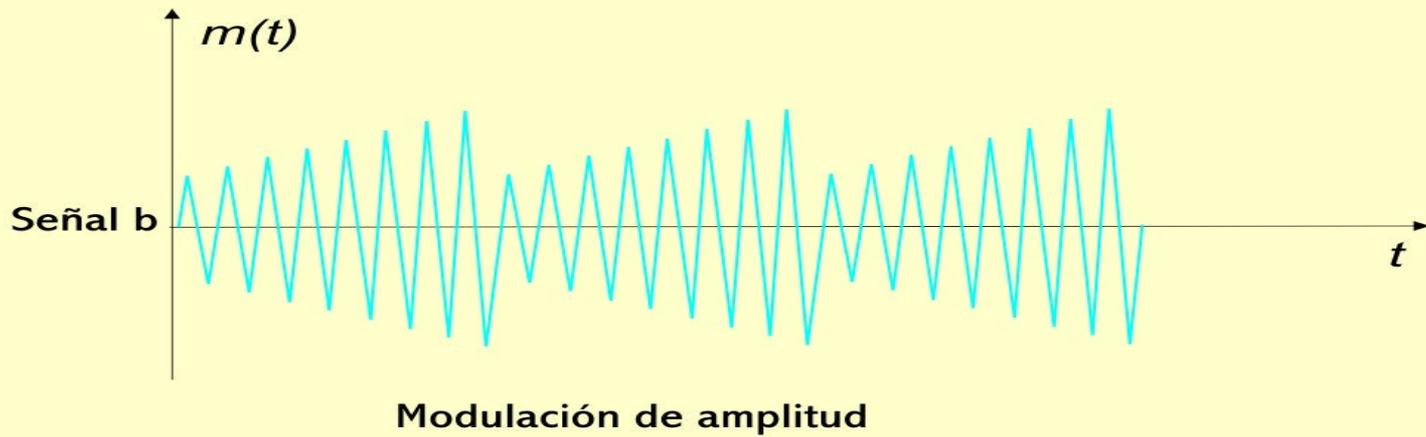
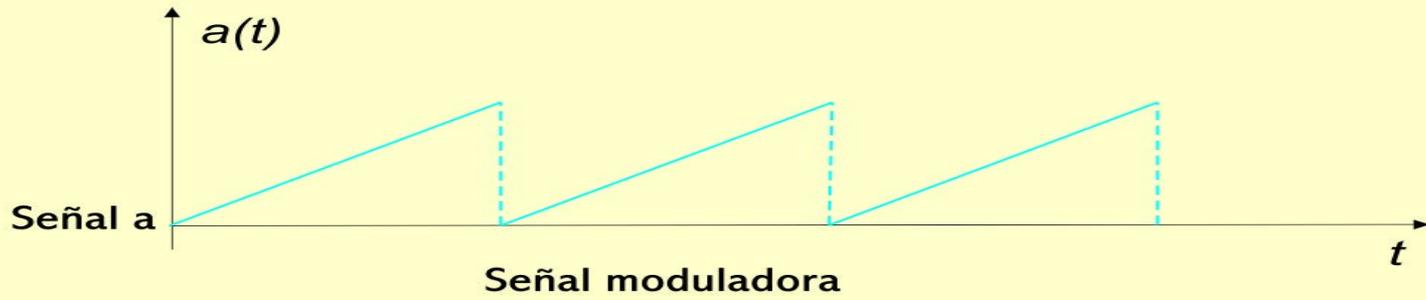


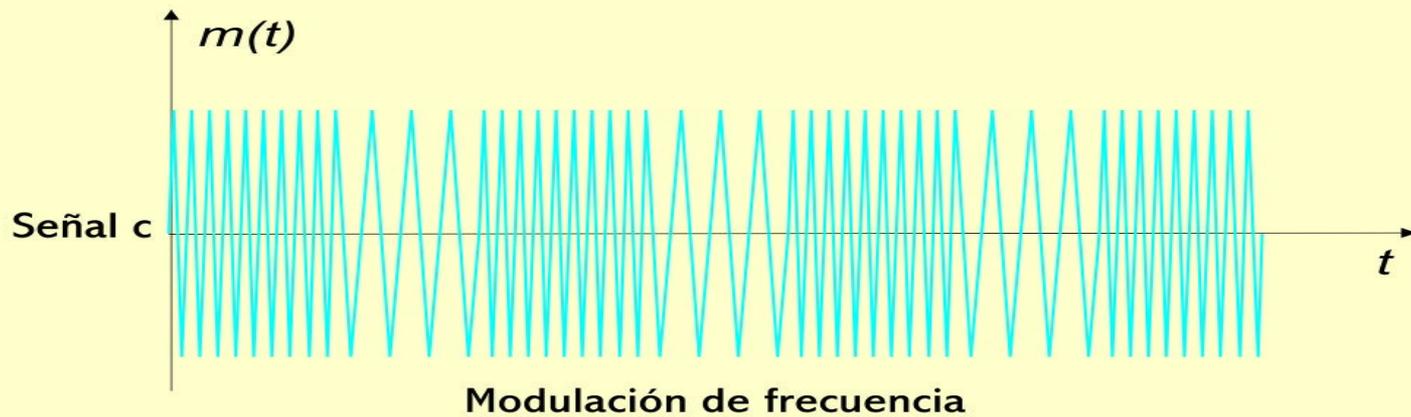
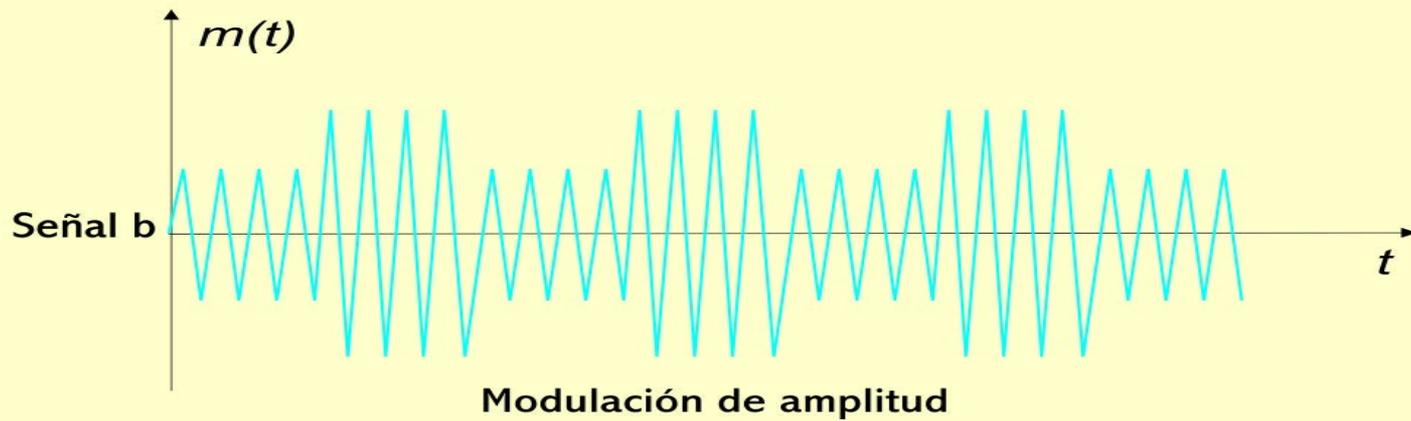
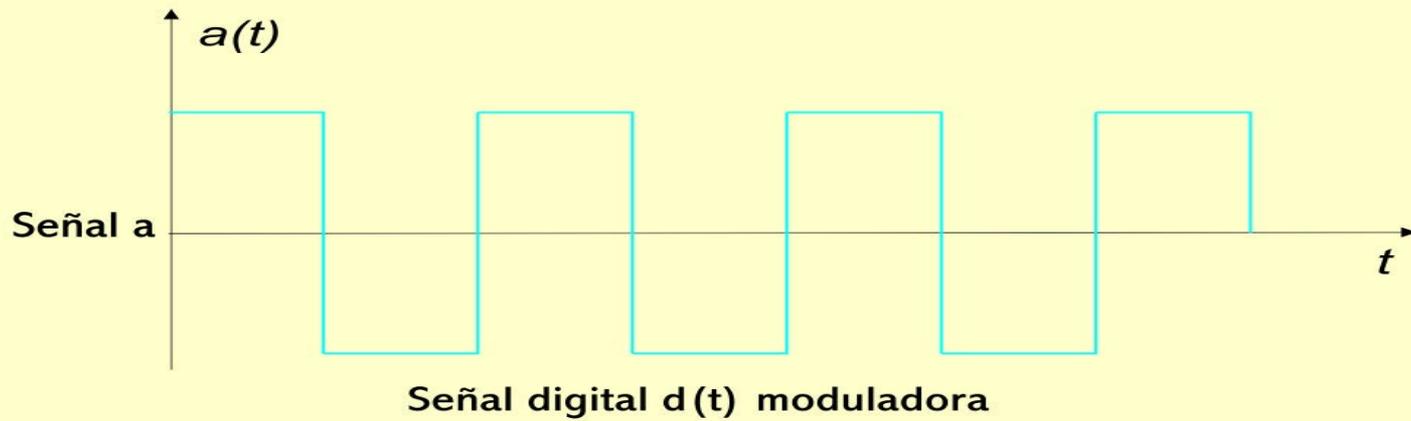
Espectro desplazado
en $-f_p$

Espectro desplazado
en $+f_p$

MODULACION DE FRECUENCIA (FM)

- El parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar según la señal moduladora es la frecuencia.
- Cuando la señal moduladora es de origen analógico, la señal modulada varía su frecuencia dentro de valores continuos.
- Cuando la señal moduladora es de origen digital, la señal modulada toma un número discreto de valores de la frecuencia, iguales al número de valores que corresponden a la señal moduladora.





Proceso de modulación en frecuencia

La frecuencia y la pulsación están relacionadas: $\omega = 2 \pi f$

En una señal modulada en frecuencia, la frecuencia es diferente a cada instante, y la señal modulada no puede representarse mediante una expresión sinusoidal ordinaria: $f(t) = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$ sino por una función sinusoidal generalizada: $f(t) = A \cdot \text{sen} \theta(t)$.

El ángulo $\theta(t)$ se modula en frecuencia por la señal:

$$a(t) = A \cdot \text{sen} \omega_a t$$

La frecuencia instantánea es: $\omega_i = \omega_p + \Delta\omega \cdot \text{cosen} \omega_a t$

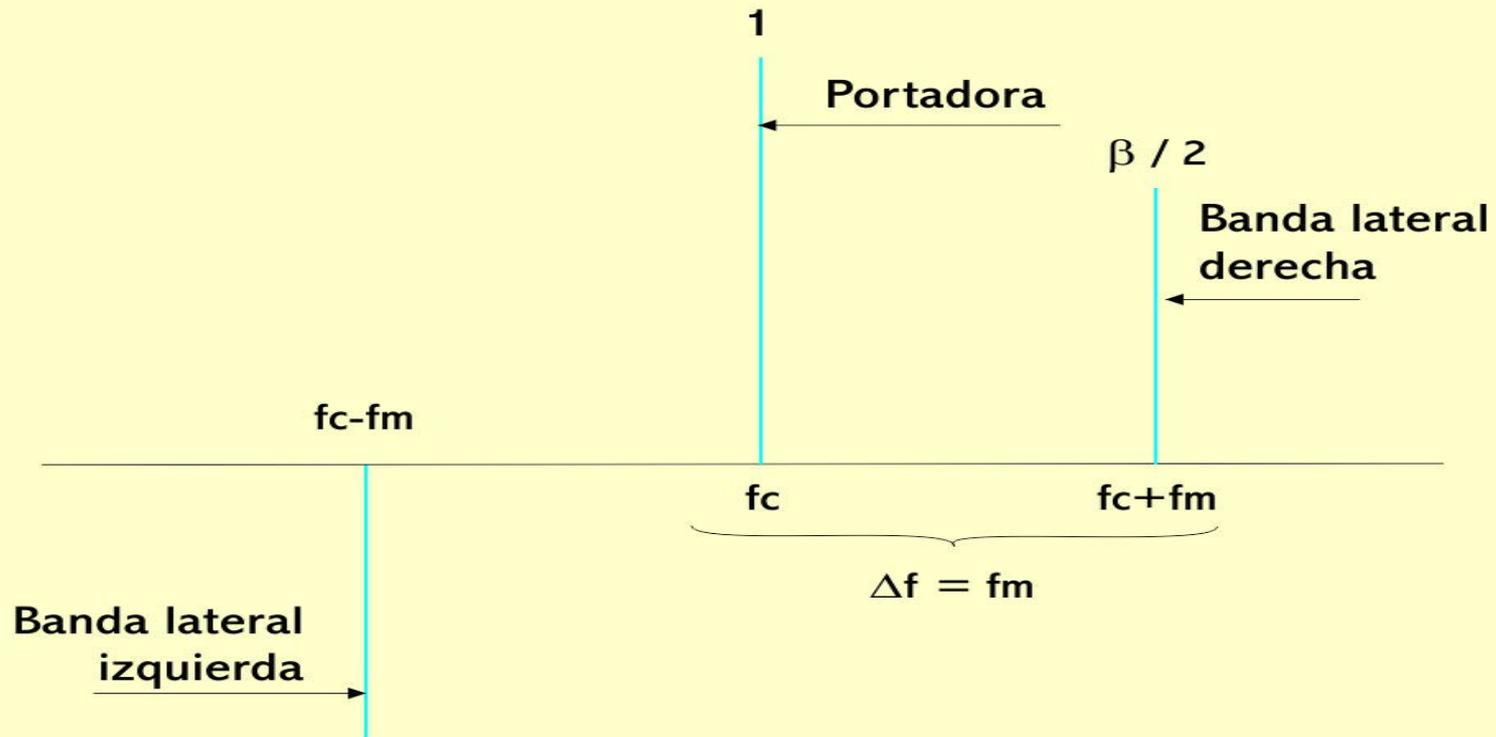
Definimos desviación de frecuencia: $\Delta\omega = k \cdot \omega_a \cdot A$

Definimos índice de modulación: $\beta = \Delta\omega / \omega_a$

Modulación de frecuencia de banda angosta

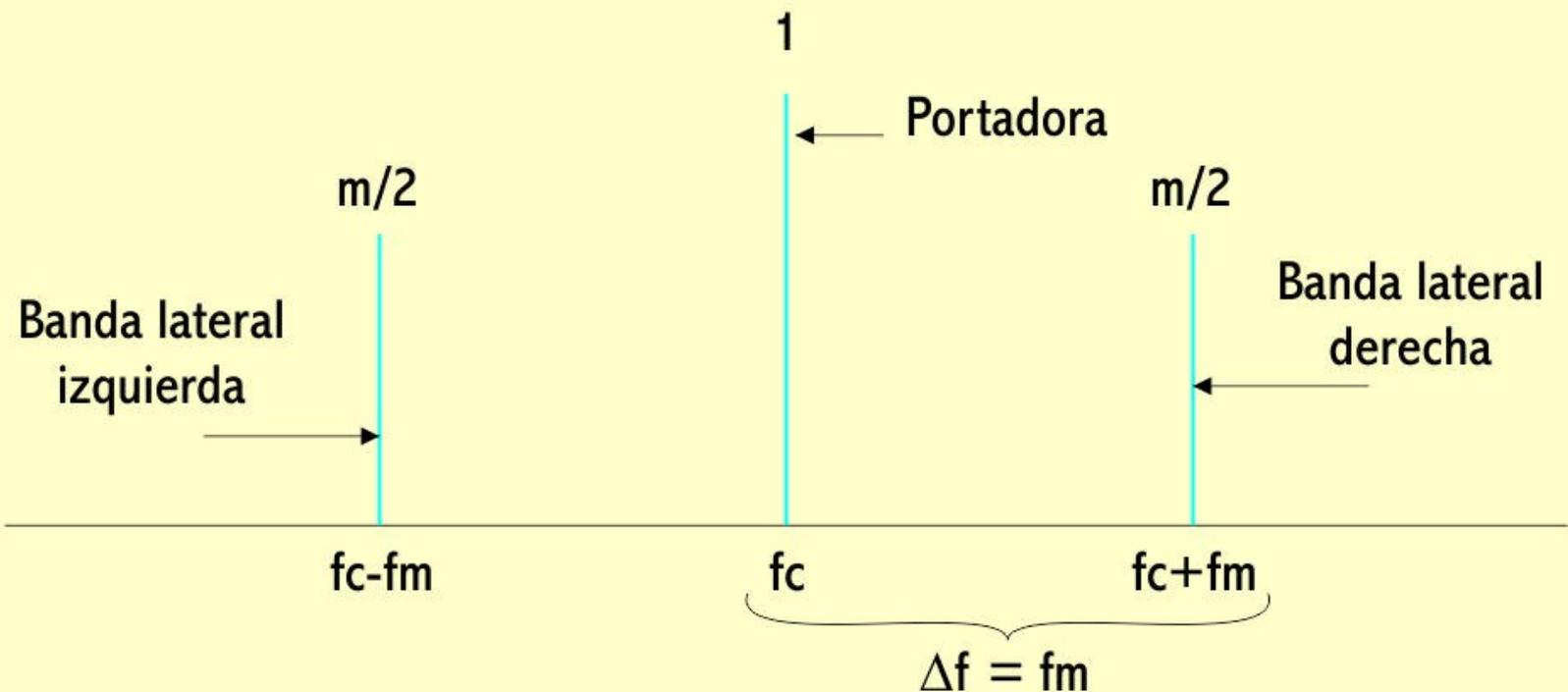
Si el índice de modulación es pequeño ($\beta < \pi/2$) se tiene una señal de modulación de frecuencia de banda angosta.

Hay una diferencia con el espectro de modulación en amplitud: las bandas laterales están en cuadratura de fase con respecto a la portadora.



El ancho de banda de la modulación de frecuencia de banda angosta, es igual al de la modulación de amplitud y vale $2 f_m$.

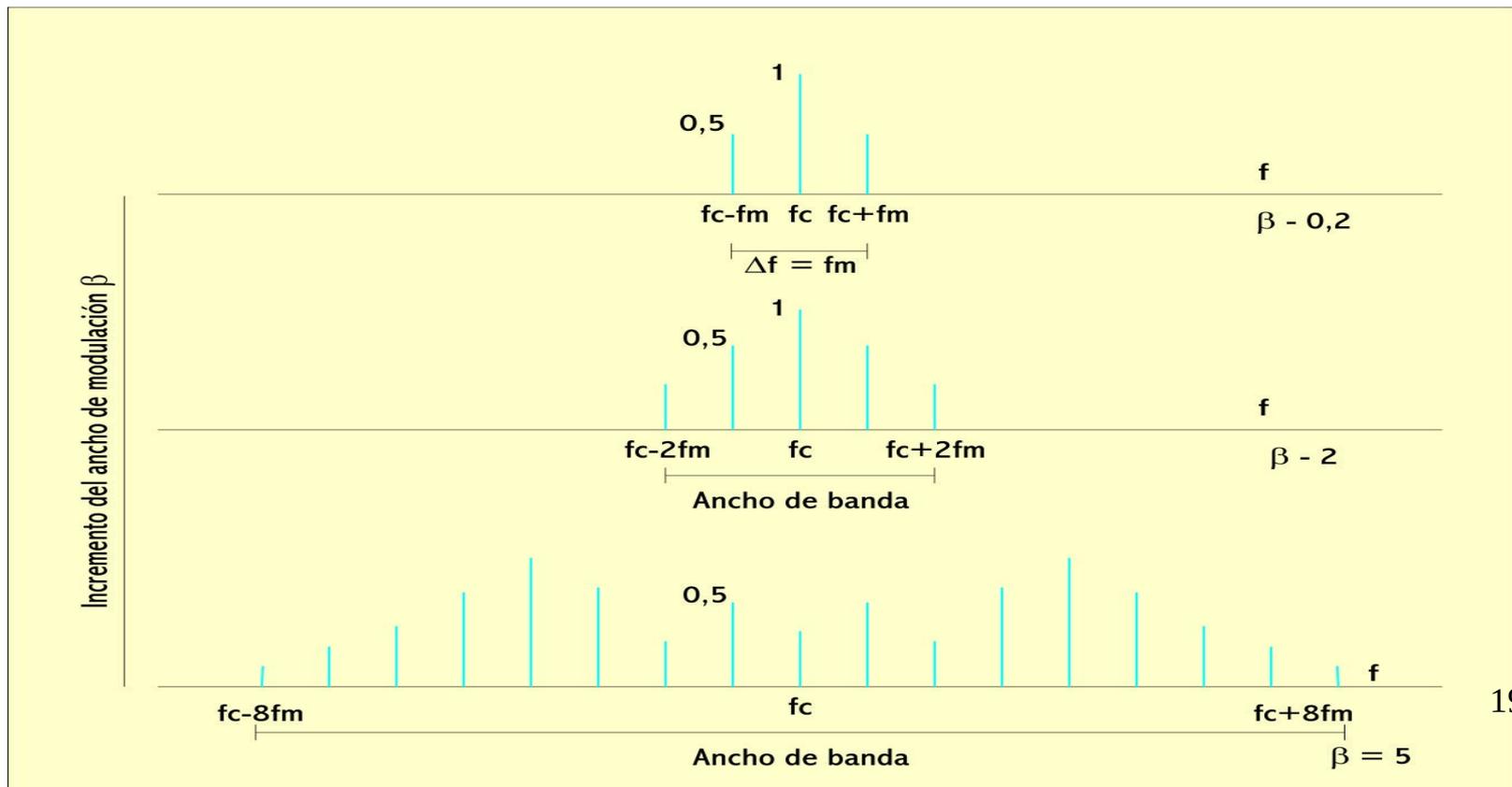
f_m : máxima componente de frecuencia de la señal modulante



Modulación de banda ancha

Las ventajas de la modulación FSK sobre el método ASK se hacen importantes cuando β es grande ($\beta > \pi/2$).

Esto aumenta la protección contra el ruido e interferencias, superando a la modulación de amplitud, pero usando mayor ancho de banda.



El ancho de banda se calcula con la regla de Carson:

- Para una señal portadora senoidal modulada en frecuencia la mayor parte de la energía está dentro de un ancho de banda dado por:

$$B = 2 (\Delta f + f_m)$$

donde:

Δf es la máxima desviación de frecuencia que sufre la señal portadora

f_m es la máxima frecuencia de la señal moduladora

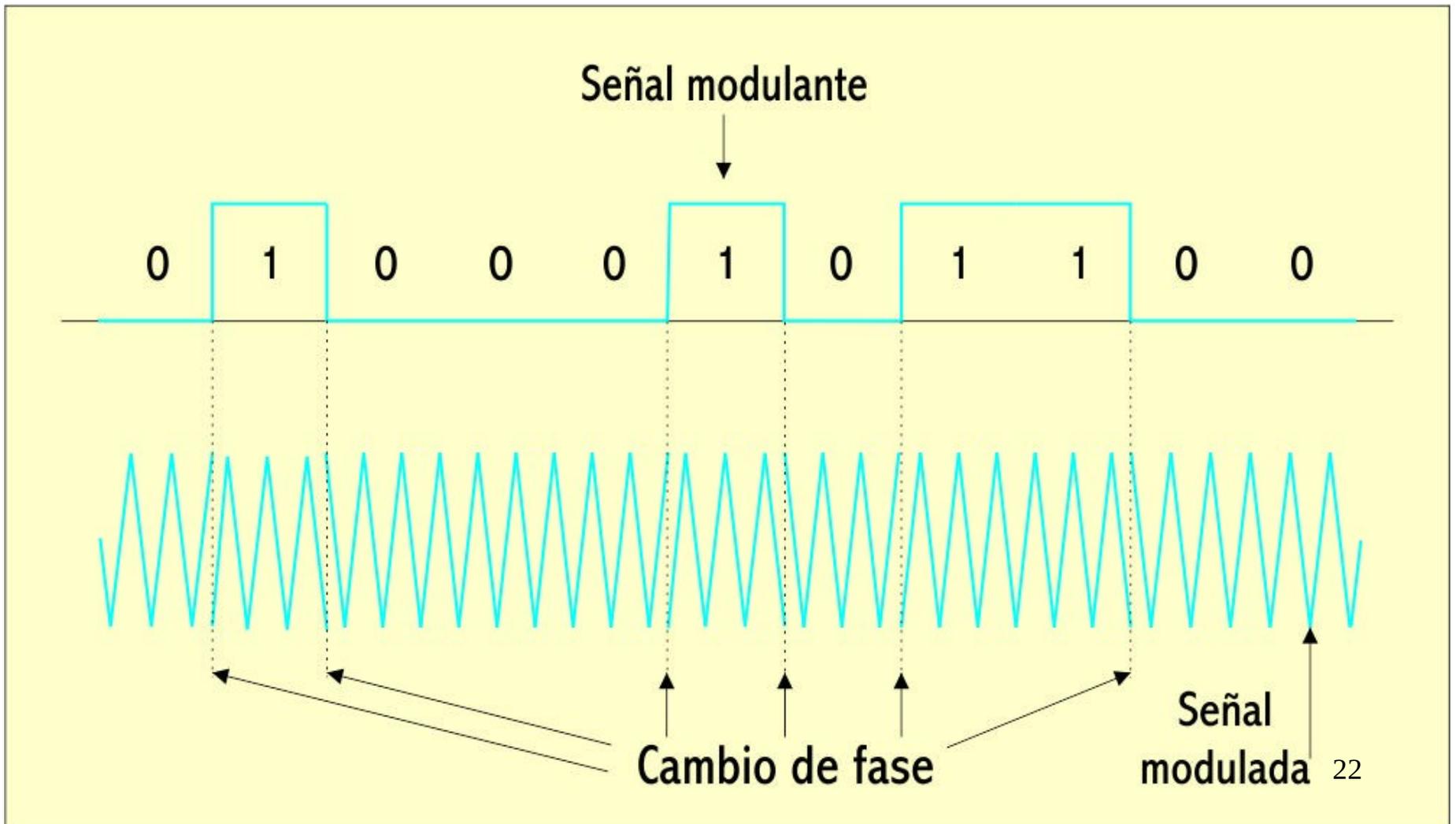
MODULACION DE FASE (PM)

El parámetro de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes.

Dos alternativas:

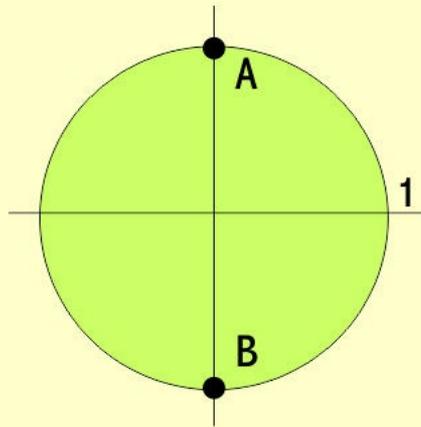
- PSK convencional: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora sin modular.
- PSK diferencial: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora del estado inmediatamente anterior al considerado.

En la señal portadora hay discontinuidades de fase al comienzo y al final de cada intervalo T (son las transiciones de 0 a 1 ó de 1 a 0 producidas por la señal moduladora).



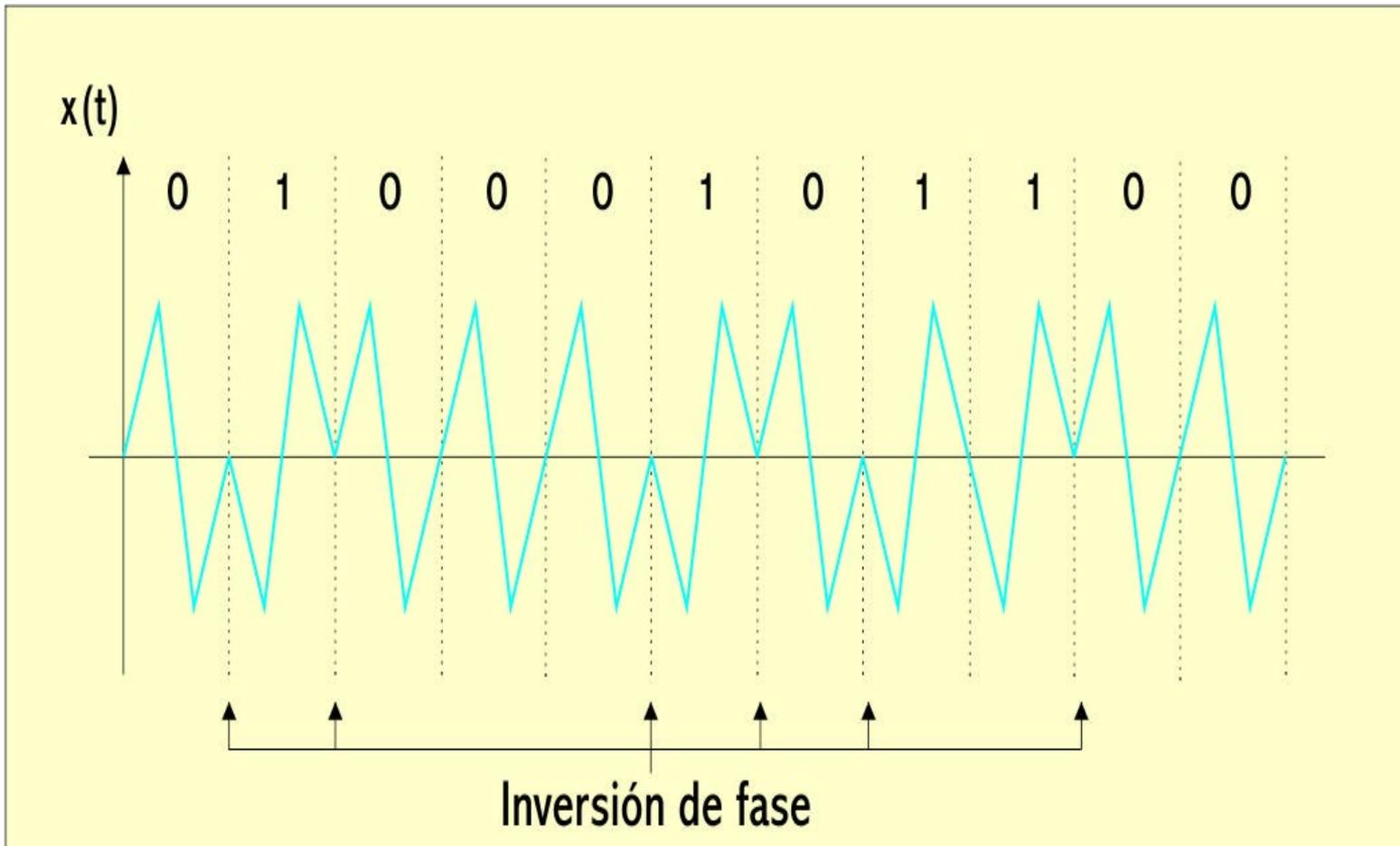
Modulación en 2 PSK

Es una llave electrónica controlada por la señal de datos (binaria) que conmuta entre la portadora y su versión invertida (desfasada 180°).



El radio de la circunferencia es igual a 1 y representa la amplitud normalizada de la portadora

Forma de onda de la portadora modulada en 2 PSK

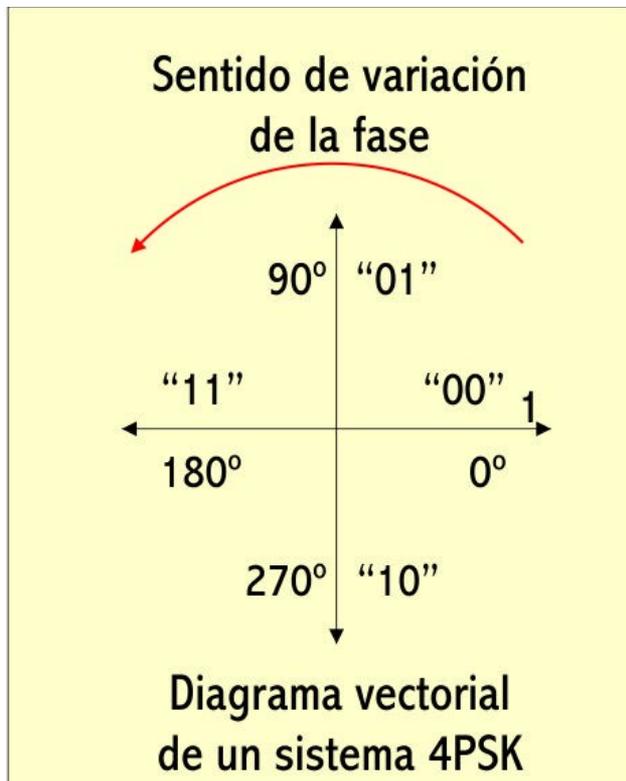


Modulación multifase

La fase de la onda portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles separados entre si por un ángulo definido por la expresión

$$\theta = \frac{2\pi}{M}$$

Si $M = 4$ tenemos el método 4 PSK o QPSK.

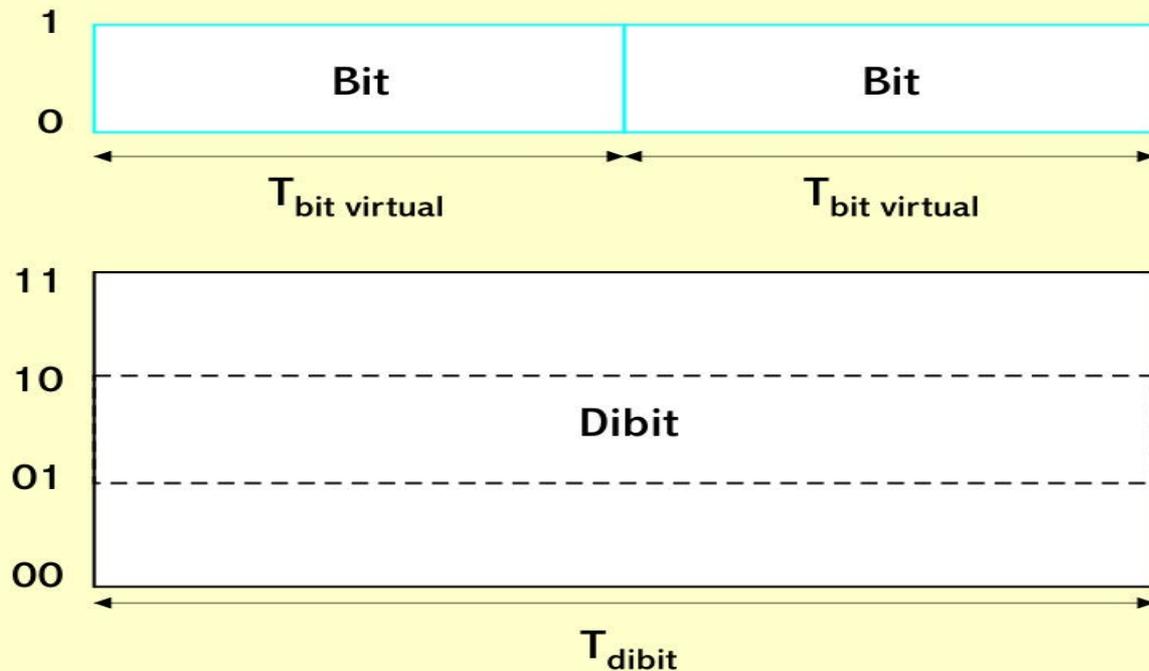


Nº de Secuencia	Secuencia de bits	Fase asignada
1	00	0°
2	01	90°
3	11	180°
4	10	270°

En un periodo de transmisión de un dicit se están transmitiendo en realidad dos bits.

Comparando 2 PSK con 4 PSK se ve que el ancho de banda de este último es la mitad.

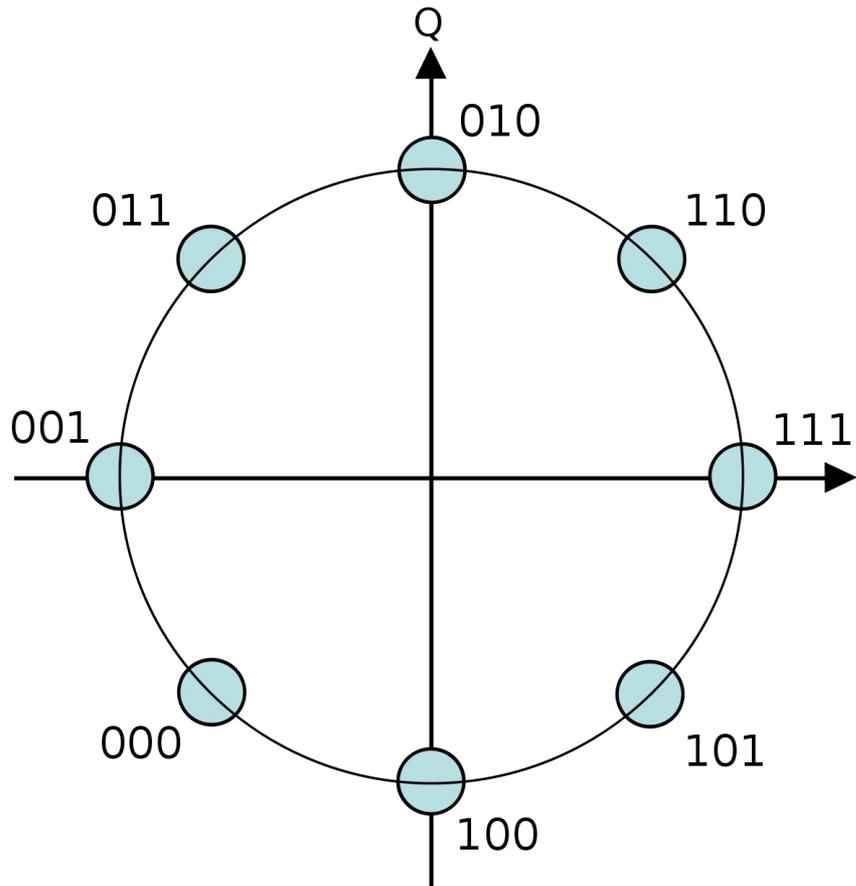
El sistema 4 PSK es más sensible a los fenómenos de interferencia y aumenta la tasa de error.



Secuencias de dibits

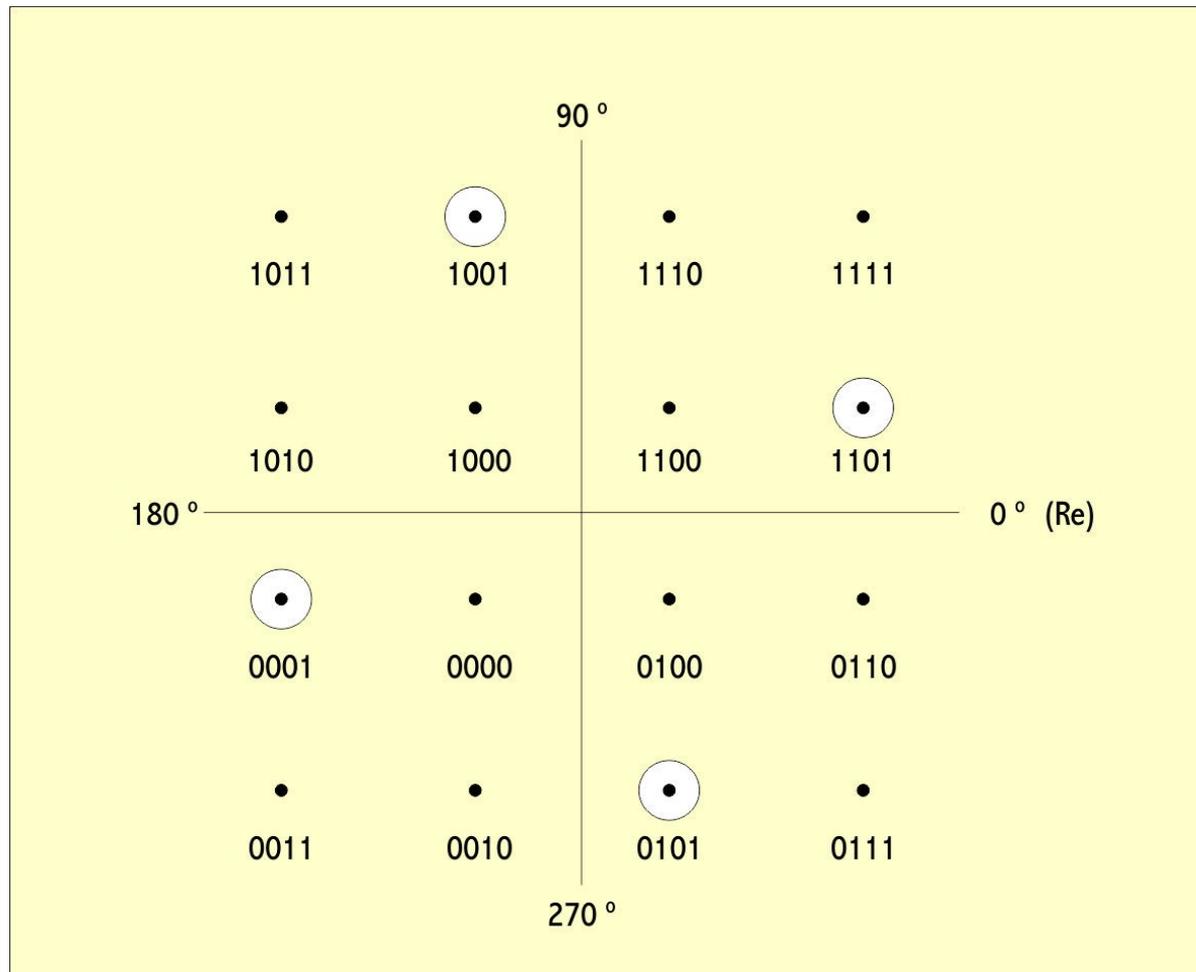
Modulación en 8 PSK

Cada fase representa un grupo de 3 dígitos binarios o tribits.
Se usa el código de Gray (estados vecinos difieren en un bit).
El diagrama de los estados posibles se llama “constelación”.



QAM es modulación en cuadratura, combina el desplazamiento de fase y amplitud.

Ejemplo: constelación del sistema 16QAM con 16 opciones, cada una transmite cuatro bits con una sola transición.



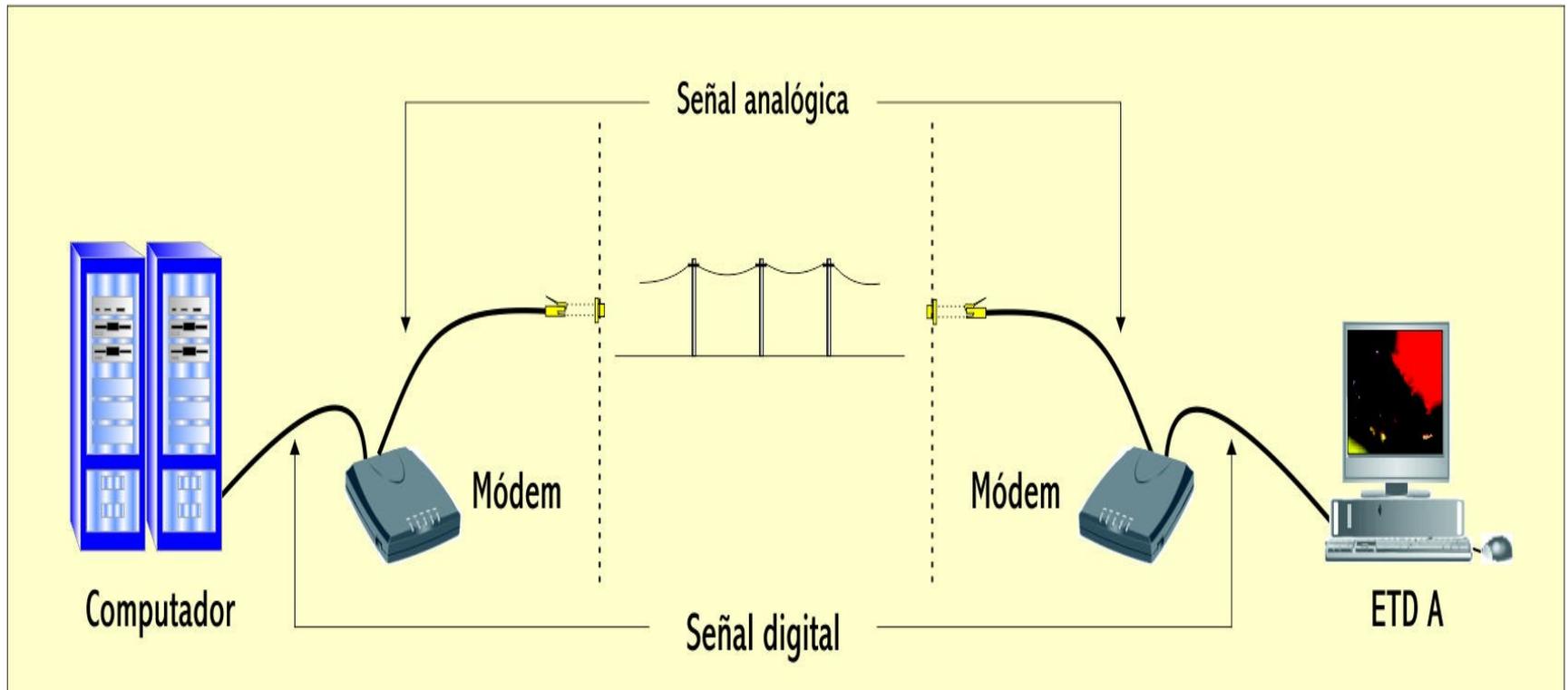
MODEMS

Hay distintos tipos:

- Módem de rango vocal.
- Módem banda base.
- Cable módem.
- Módem ADSL.
- Equipos excitadores de línea o driver.

Módem de rango vocal

Convierte las señales digitales provenientes de una computadora en señales analógicas aptas para ser transmitidas por la red telefónica.



Funciones básicas de los módems

- **Codificación y decodificación:** mediante códigos de línea se adaptan la señal digital a la línea de transmisión.
- **Modulación y la demodulación:** las señales digitales son transformadas en analógicas para pasar por el canal.
- **Recepción y transmisión de señales:** intercambio de datos a través de una interfaz digital estándar
- **Técnicas de control del flujo:** compensa las diferencias entre la velocidades a las que recibe los datos y a las que transmite
- **Ecuilización:** permite brindar un nivel de salida constante e independiente de la frecuencia que se está transmitiendo.
- **Protecciones:** absorbe picos de tensión en la línea

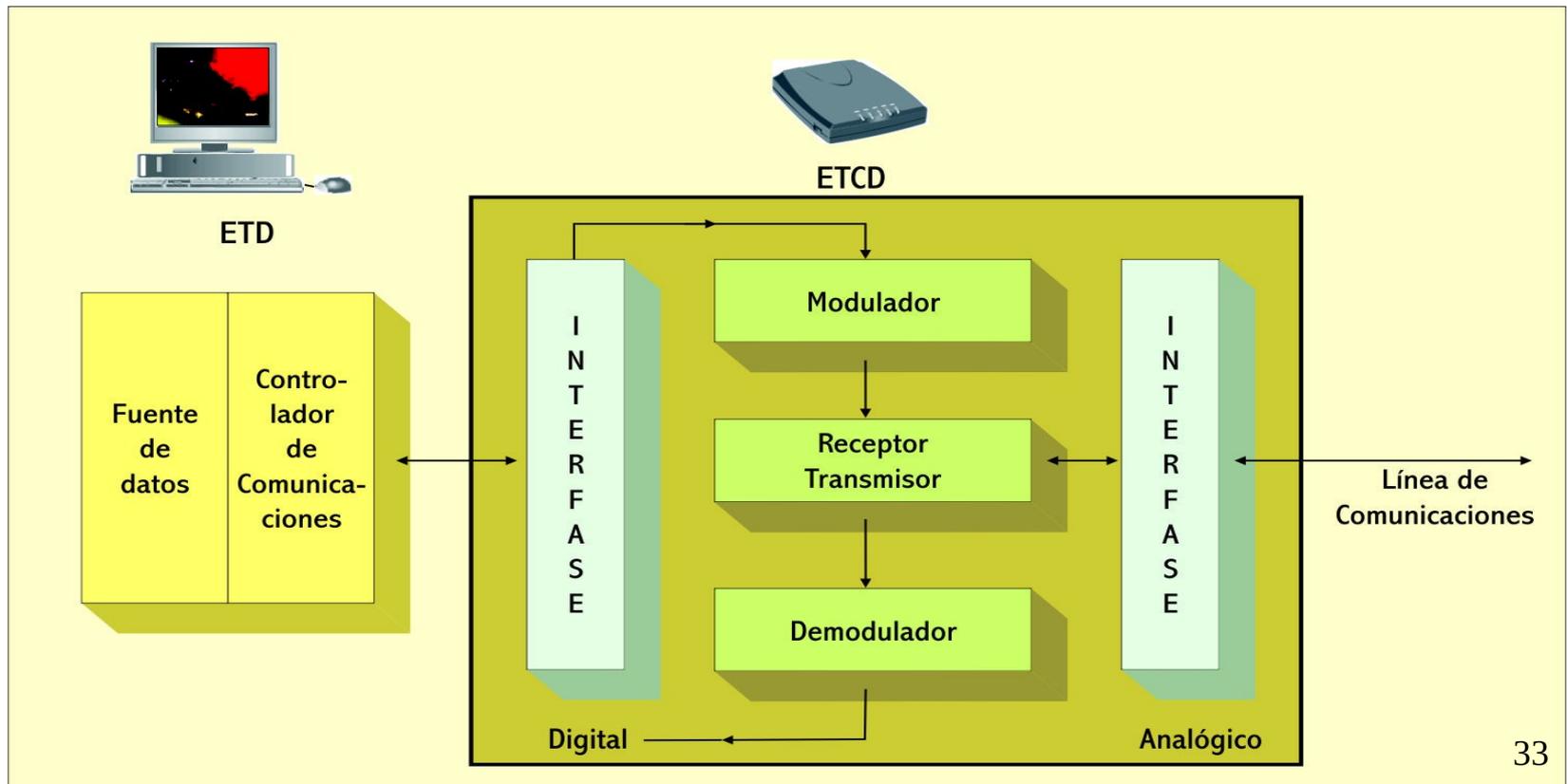
Funciones especiales de los módems

- Discado y recepción automática de llamadas
- Almacenamiento y procesamiento de la información (reducido)
- Detección y corrección de errores
- Compresión de datos
- Servicios de voz
- Servicios de facsímil
- Multiplexado de canales

Sincronismo de los módems

Los módems de datos de frecuencia de voz pueden enviar datos asincrónicos o sincrónicos.

Los modems sincrónicos usan señales de reloj en las interfaces digitales (lo genera o lo toman de la recepción).



Control del flujo de datos

La información entre la interfaz y la línea puede estar a distintas velocidades por lo que poseen una memoria intermedia (*buffer*).

Las razones de estas diferencias de velocidades son:

- corrección de errores de recepción
- compresión y descompresión de datos

Se hace por hardware (operando la señal RTS en la interfaz) o por software:

- enviando los códigos ASCII 17 y 19 (XON y XOFF)
- enviando las señales pedido (ENQ) y aceptación (ACK)

Deteccción y corrección de errores

Recomendación V.42: procedimientos de corrección de errores para los ETCO que utilizan la conversión de modo asíncrono a modo síncrono.

La comunicación con el computador es en modo asincrónico, mientras que la comunicación de modem a modem es sincrónica usando protocolos HDLC.

Utiliza el procedimiento CRC para detección de errores.

Otra función es la compresión de datos para reducir los tiempos de transmisión (muy útil para transmitir imágenes).

Normas de módems

La principal normalización es la del UIT-T.

Los módems de frecuencia van de 300 a 56 kbps.

Están ordenados por recomendaciones de la serie V.

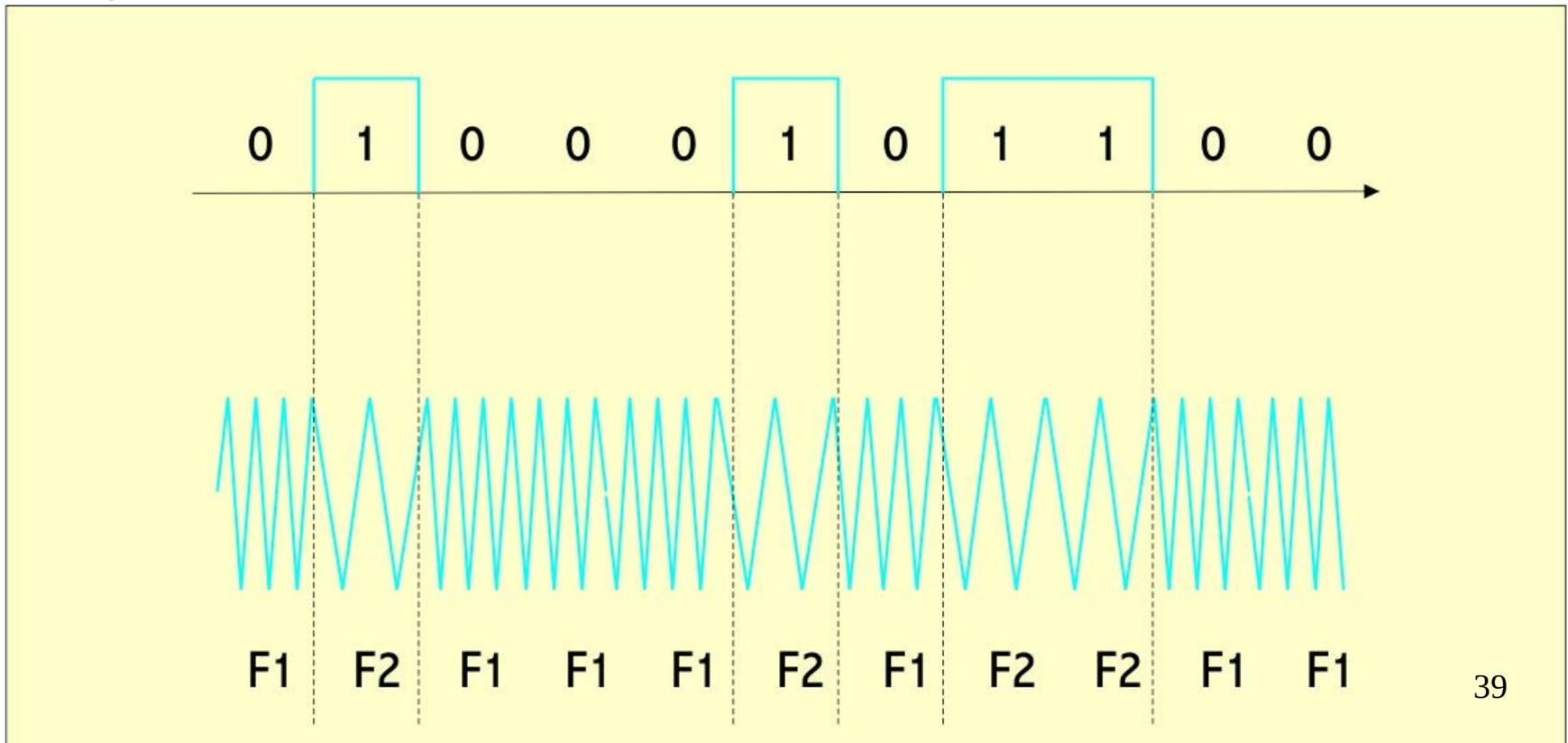
Norma	V_M	$V_{T\text{ máx}}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.21	300 baudios	300 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° 2: 1750 Hz	FSK	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.22	600 baudios	1200 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	PSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.22 bis	600 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	QAM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.23	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz Canal N° R ₁ : 390 Hz Canal N° R ₀ : 450 Hz	FSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.26	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	PSK	Sincrónico	Dúplex	4 hilos
V.26 bis	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	PSK	Sincrónico	Semi-dúplex	RTC
V.26 ter	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° R ₁ : 390 Hz Canal N° R ₀ : 450 Hz	PSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.27	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	2 hilos
V.27 bis	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	2 hilos
V.27 ter	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	RTC
V.29	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	QAM	Sincrónico	Dúplex	4 hilos
V.32	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC

Norma	V_M	$V_{T \text{ máx}}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.32 bis	2400 baudios	14400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.33	2400 baudios	14400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	4 hilos
V.34	3429 baudios	33600 bps	Varios	QAM/TCM	Sincrónico	Dúplex	RTC

Recomendación V.21

Los antiguos módems utilizaban este tipo de modulación para 300 bps en un canal a dos hilos con:

- portadoras en 1.080 y 1.750 Hz (una para transmisión y otra para recepción)
- desviaciones de 100 Hz hacia ambos extremos (el cero es frecuencia alta)



Recomendación V.29

Permiten obtener velocidades de hasta 9600 bps a través de líneas dedicadas a cuatro hilos, con señales multinivel de 16 valores (cuatro bits por Baudio o cuadribits) usando la modulación en cuadratura QAM.

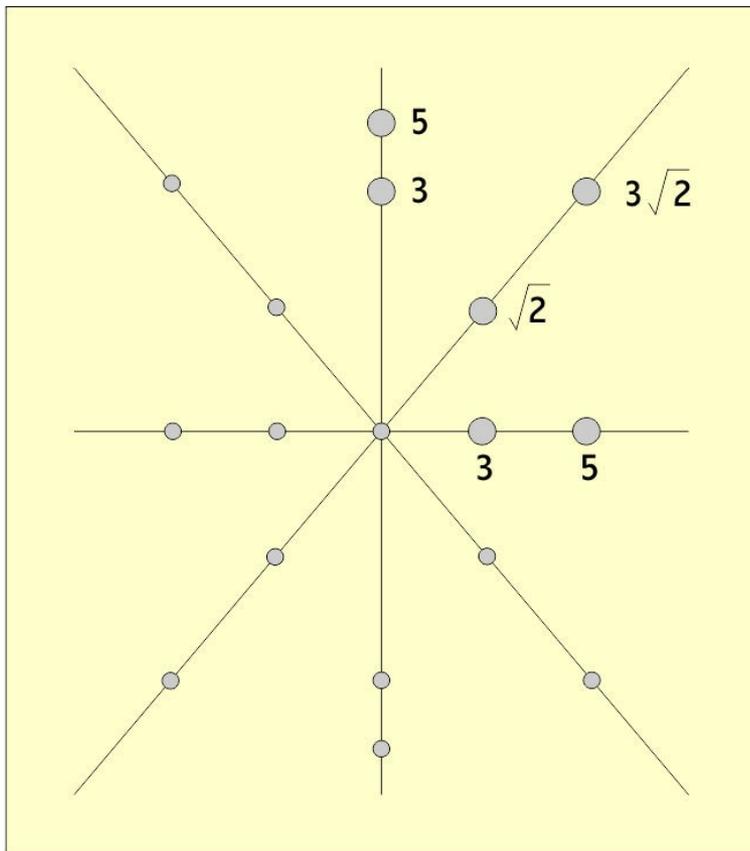
El tren de datos se divide en grupos de cuatro bits (cuadribits).

El primer bit (Q1) determinar la amplitud de la señal

Los siguientes (Q2, Q3 y Q4), se codifican mediante un cambio de fase con relación a la fase del elemento precedente.

FASE ABSOLUTA	AMPLITUD RELATIVA	Q1	Q2	Q3	Q4	CAMBIO DE FASE
0°	3	0	0	0	1	0°
	5	1	0	0	1	
45°	$\sqrt{2}$	0	0	0	0	45°
	$3\sqrt{2}$	1	0	0	0	
90°	3	0	0	1	0	90°
	5	1	0	1	0	
135°	$\sqrt{2}$	0	0	1	1	135°
	$3\sqrt{2}$	1	0	1	1	
180°	3	0	1	1	1	180°
	5	1	1	1	1	
225°	$\sqrt{2}$	0	1	1	0	225°
	$3\sqrt{2}$	1	1	1	0	
270°	3	0	1	0	0	270°
	5	1	1	0	0	
315°	$\sqrt{2}$	0	1	0	1	315°
	$3\sqrt{2}$	1	1	0	1	

Constelación para la Recomendación V.29.



Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa	Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa
0001	0°	3	1001	0°	5
0000	$+45^\circ$	$\sqrt{2}$	1000	$+45^\circ$	$3\sqrt{2}$
0010	$+90^\circ$	3	1010	$+90^\circ$	5
0011	$+135^\circ$	2	1011	$+135^\circ$	3 2
0111	$+180^\circ$	3	1111	$+180^\circ$	5
0110	$+225^\circ$	2	1110	$+225^\circ$	3 2
0100	$+270^\circ$	3	1100	$+270^\circ$	5
0101	$+315^\circ$	$\sqrt{2}$	1101	$+315^\circ$	$3\sqrt{2}$

Recomendación V.32

Funcionamiento en modo dúplex a dos hilos.

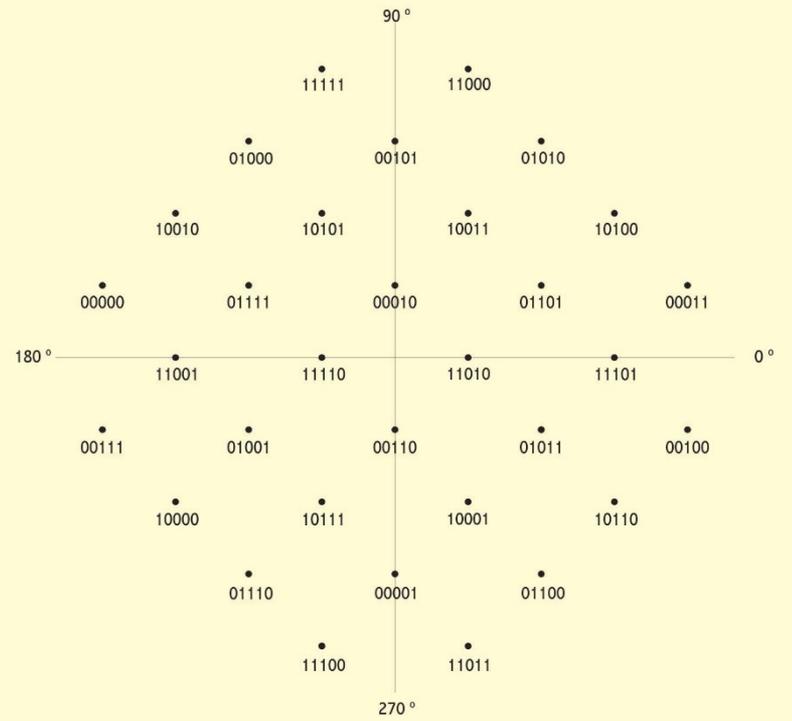
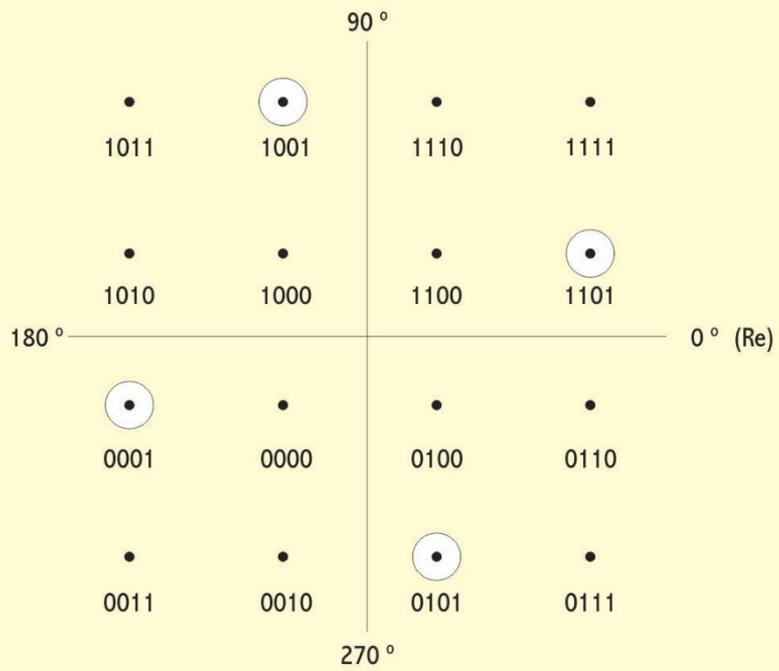
Usa de técnicas de compensación de eco para la separación de los canales en ambos sentidos.

Modulación de amplitud en cuadratura para cada canal con transmisión síncrona en línea a 2400 Baudios.

A la velocidad de transmisión máxima de 9.600 bps permite utilizar dos esquemas de modulación:

- clásico con 16 estados de portadora y cuatro bit por Baudio
($2400 \times 4 = 9600$ bps)

- otro con codificación entrelazada con 32 estados de portadora
(cinco bits por Baudio).



Recomendación V.90 o V.92

Son los modems usados para conectarse a Internet por la red telefónica antes del ADSL.

La conexión es asimétrica (velocidades distintas).

- el lado servidor transmite en alta velocidad (bajada)
- el lado cliente transmite en baja velocidad (subida)

Se utiliza modulación QAM, con codificación entrelazada o *Trellis Coded Modulation*.

Configuración de modems

Tienen un microprocesador para hacer funciones automáticas o preprogramadas por *hardware* o por *software*.

Hardware: con llaves (DIP switches) para elegir opciones.

Software: comandos Hayes (desarrollados por *Hayes Microcomputer Incorporated* , desde la interfaz mandando la secuencia AT.

COMANDO	FUNCIONES GENERALES	PARTICULARES
A	Facilita el modo de respuesta en forma manual.	
B	Selecciona el tono de respuesta y la velocidad de trabajo.	BO = UIT - T. B1 = Normas Bell. B _N = Distintas velocidades.
D	Selecciona el modo de discar por la red telefónica.	DP = Por pulsos. DT = Por tonos. D _N = Otras variantes.
E	Habilita o deshabilita el eco en la pantalla.	E0 = Sin eco E1 = Con eco.
F	Permite seleccionar modo Dúplex o Semidúplex.	
H	Fuerza al módem a simular colgar o descolgar el microteléfono.	E0 = Colgar. E1 = Descolgar.
I	Solicita información sobre el equipo.	I0 = Código de identificación del producto. I1 = Identificación de la ROM. I _N = Otras informaciones.
L	Regula el volumen del parlante del equipo.	LO = Mínimo. L _N = Otros valores interdios. L4 = Máximo.
M	Activa o desactiva el parlante.	
O	Permite volver a conectar la línea.	
Q	Habilita o deshabilita el envío de códigos de resultado.	
S	Permite leer y mostrar el valor almacenado en un registro.	
V	Muestra los códigos de resultado en forma numérica o escrita.	
X	Habilita un conjunto de facilidades del equipo. Siempre el valor de default es el máximo.	X= = Incluye un conjunto mínimo de prestaciones. X _N = Agrega prestaciones al conjunto mínimo. X4 = Conjunto máximo de prestaciones.
Y	Activa o desactiva señales de respuesta, o pausas.	
Z	Permite reinicializar el equipo.	

Ajuste de velocidad

Los módem pueden trabajar a diferentes velocidades.

Al establecer el enlace, tratará siempre de conectarse a la máxima velocidad posible y bajará a medida que la calidad del canal sea menor.

Procedimiento de negociación: se realiza un sondeo de línea con instrucciones denominadas “Secuencias INFO” cuyo resultado fija la velocidad de modulación y de transmisión más convenientes.

La velocidad de modulación puede ser diferente en cada sentido de la comunicación (velocidades asimétricas).

ACCESOS DE BANDA ANCHA

El concepto de Acceso de Banda Ancha se aplica a velocidades no inferiores a 2 Mbps.

Se usan redes ya desplegadas de amplia cobertura geográfica y con llegada a los usuarios finales ya establecidas:

- cables de cobre utilizados en la red telefónica (tecnologías denominadas xDSL)
- cables coaxiales empleados en las redes de distribución de señales de televisión (normas DOCSIS con equipos cable módem).

ABREVIATURA	DENOMINACIÓN
ADSL/DSL2+	Línea Digital de Abonado Asimétrica Asymmetric Digital Subscriber Line
RADSL	Línea Digital de Abonado Asimétrica de Velocidad Variable Rate Adaptive Asymmetric Digital Subscriber Line
HDSL/HDSL1	Línea de Abonado de Alta Velocidad High Bit Rate Digital Subscriber Line
SDSL	Línea Digital de Abonado Simétrica Symmetric Digital Subscriber Line
VDSL	Línea de Digital Abonado de Muy Alta Velocidad Very High-Speed Digital Subscriber Line

TECNOLOGIA ADSL

ADSL se presta sobre un único par de cobre por el que se brinda el servicio telefónico.

El canal descendente tiene mayor velocidad que el canal ascendente (asimétrico) ya que en Internet el volumen de información recibida es mucho mayor que la enviada desde el usuario.

Velocidades mayores a los módems de datos de rango vocal
Solución de bajo costo para conectar a una LAN a la Red Internet.

Red Telefónica



SPLITTER



Par Telefónico

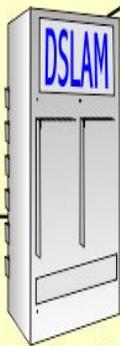
SPLITTER



ATU - R



Computador



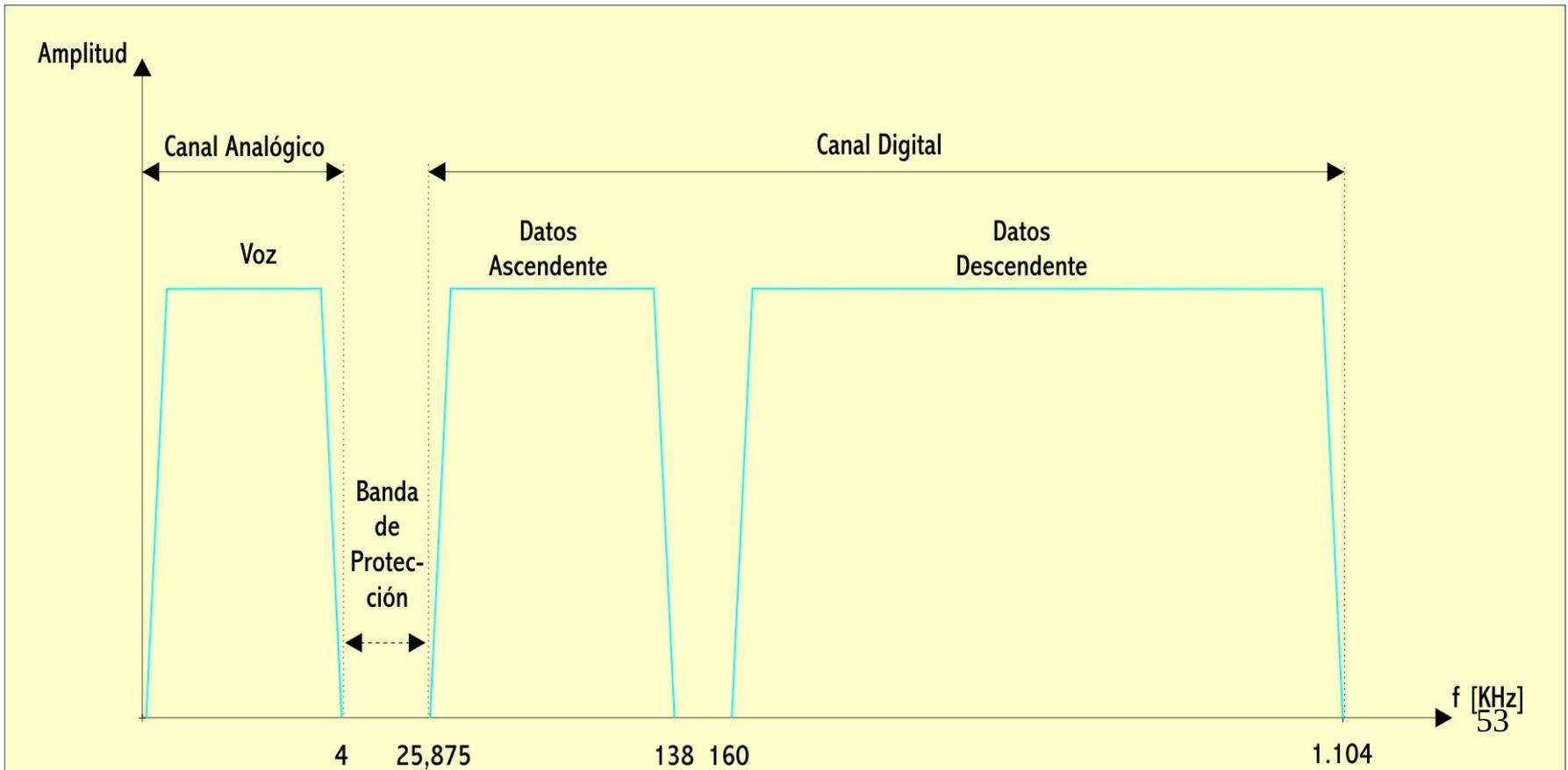
ATU - C

Red Internet

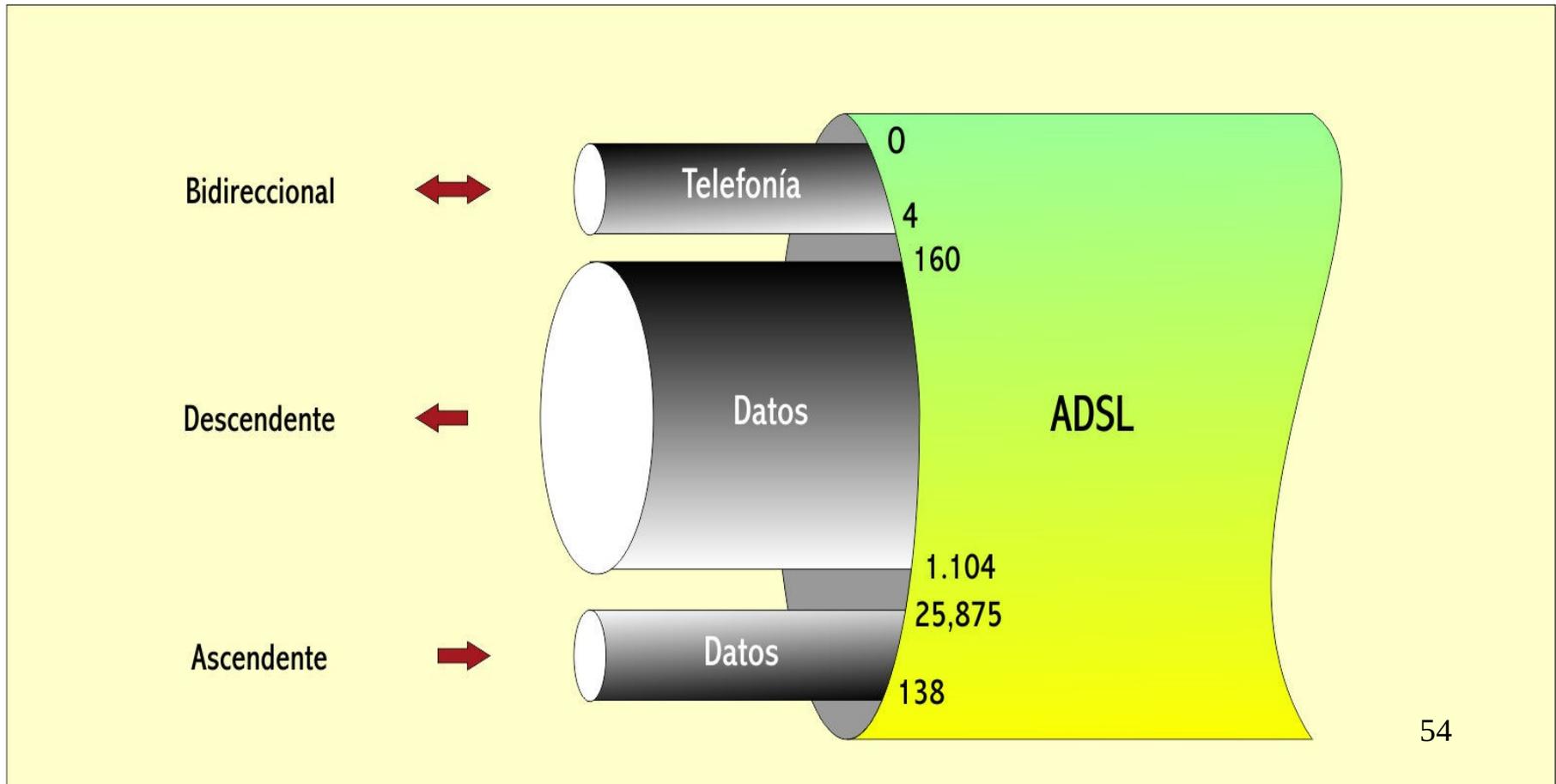
Recomendación UIT G.992.1

Divide el ancho de banda en tres canales diferentes.

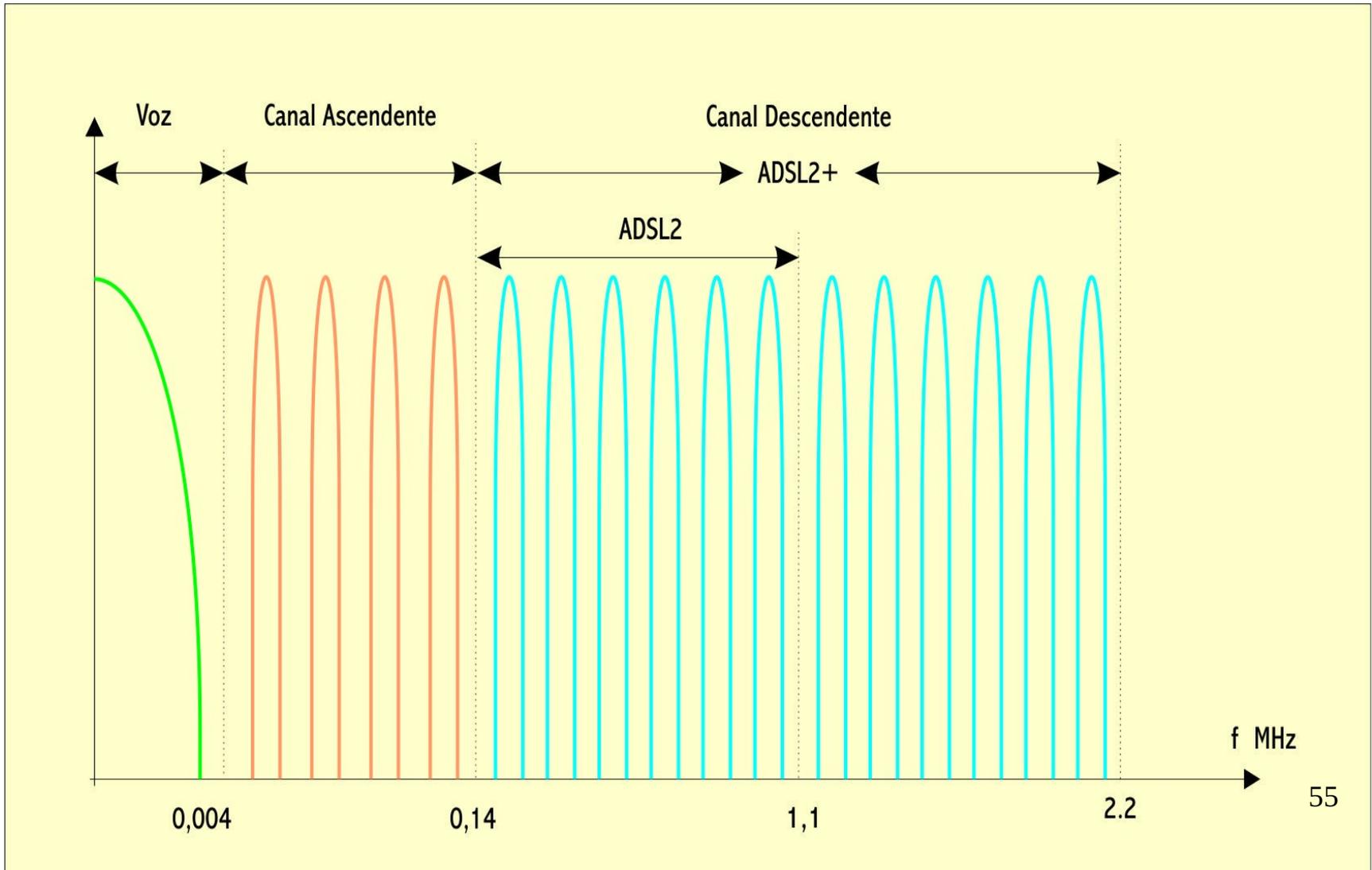
- Un canal de voz analógico separado por splitters.
- Dos canales digitales (ascendente y descendente).



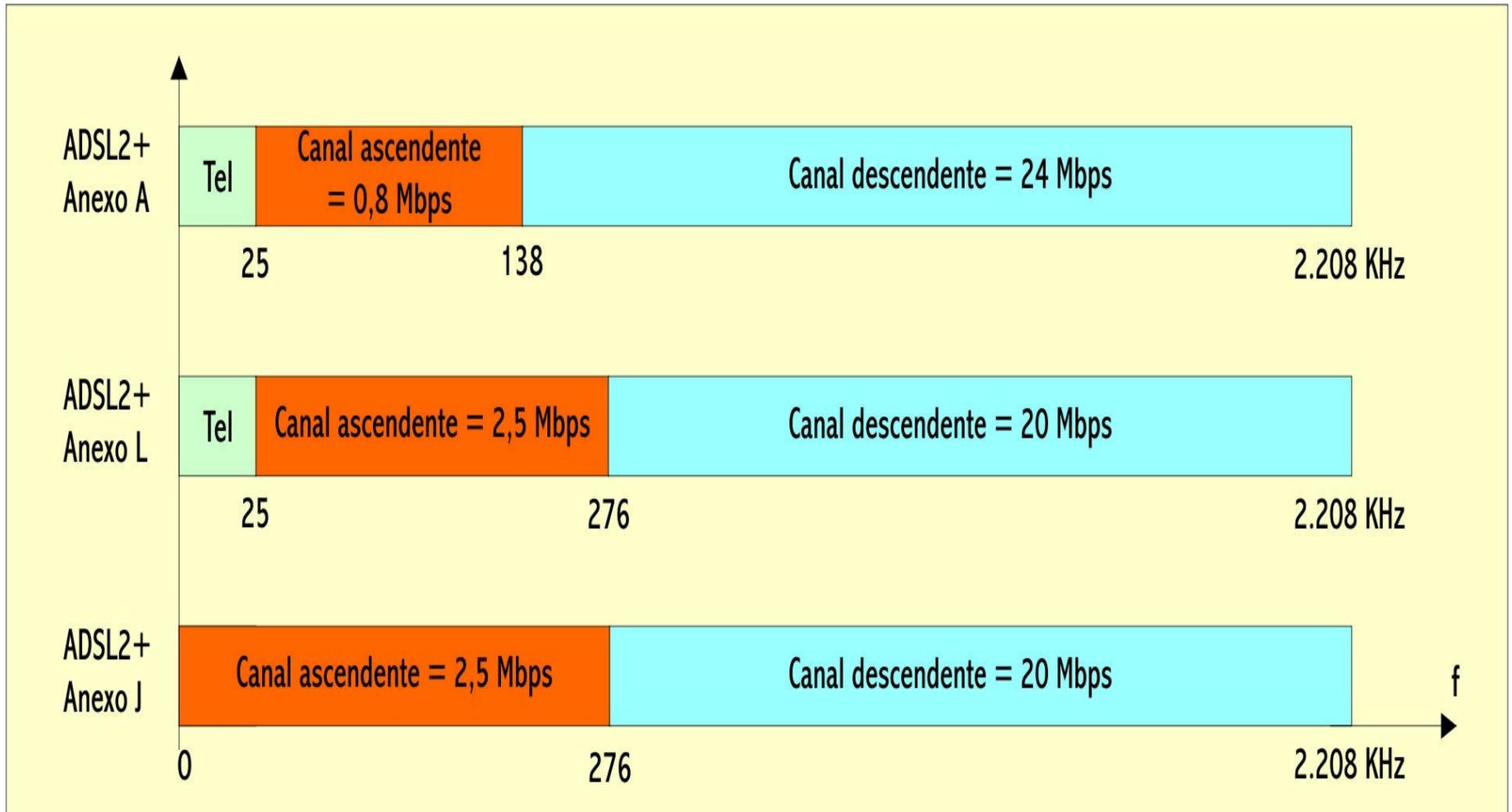
La tecnología ADSL usa código de línea **DMT**, también conocida como **OFDM** (divide el ancho de banda en un conjunto de subportadoras ortogonales de diferentes frecuencias, cada una se modula con QAM o PSK).



ADSL2 plus: aumenta la velocidad descendente hasta 24 Mbps (evolución del sistema ADSL y ADSL2).



Distribución de frecuencias y velocidades máximas:



Ventajas y desventajas de ADSL

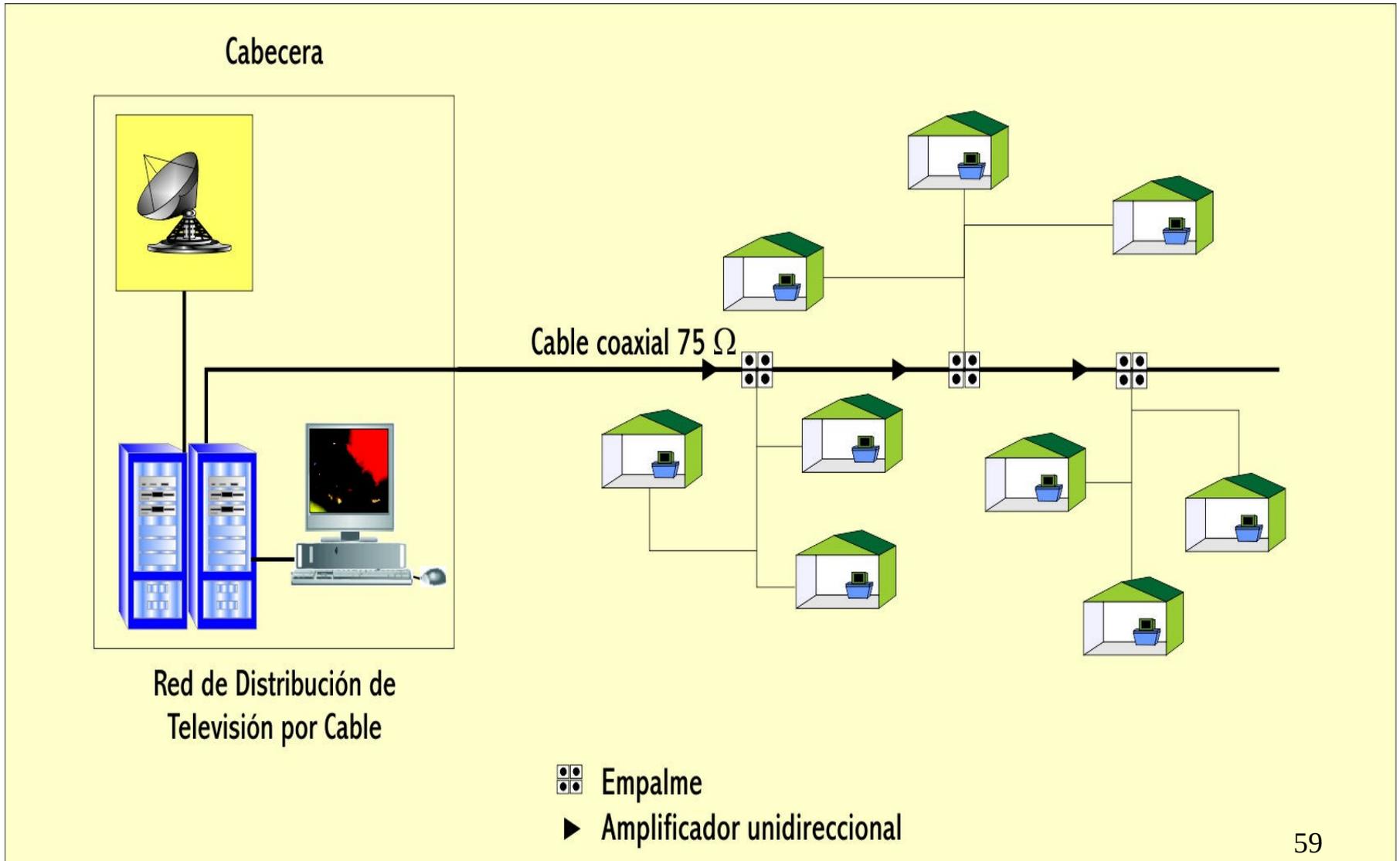
- Permite la operación telefónica y navegar por la Red Internet.
- No requiere una infraestructura especial, reusando la planta externa existente.
- Menor costo del servicio y del tiempo de instalación.
- Velocidad mayor que con módems de frecuencia vocal.
- Respecto de **Cable Módem** tiene velocidad constante e independiente de los usuarios conectados.
- Permite la telefonía IP a costos mucho menores que la telefonía clásica.
- Los enlaces ADSL pueden ser usados como red de *back-up* de redes WAN empresariales.

CABLE MODEM

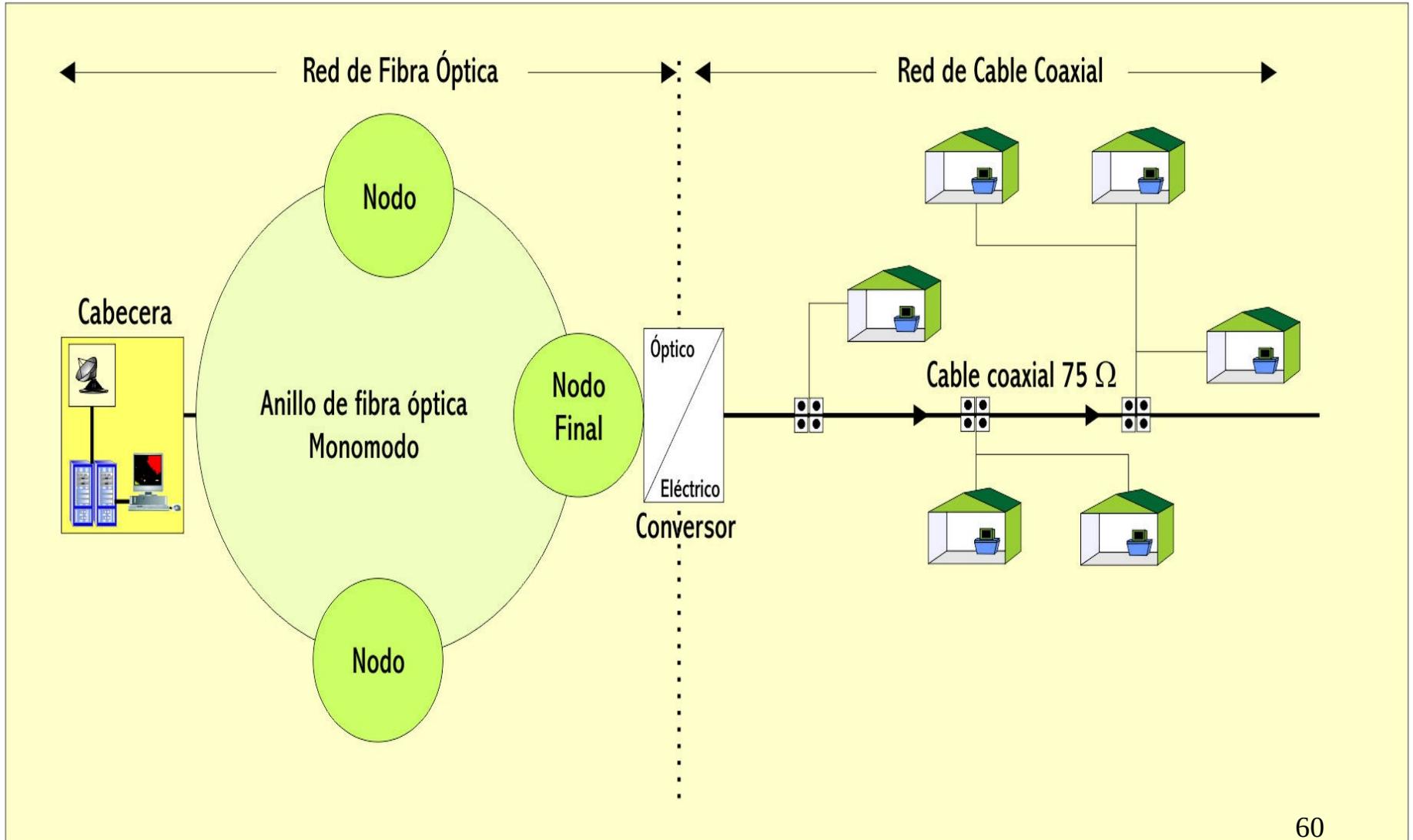
Para la conexión con Internet se utilizan las redes de distribución de señales de televisión por cable.

Las primeras redes tenían cables coaxiales de cobre, luego se formaron redes híbridas con transporte de fibra óptica y distribución en cobre.

Red de TV por cable de cobre



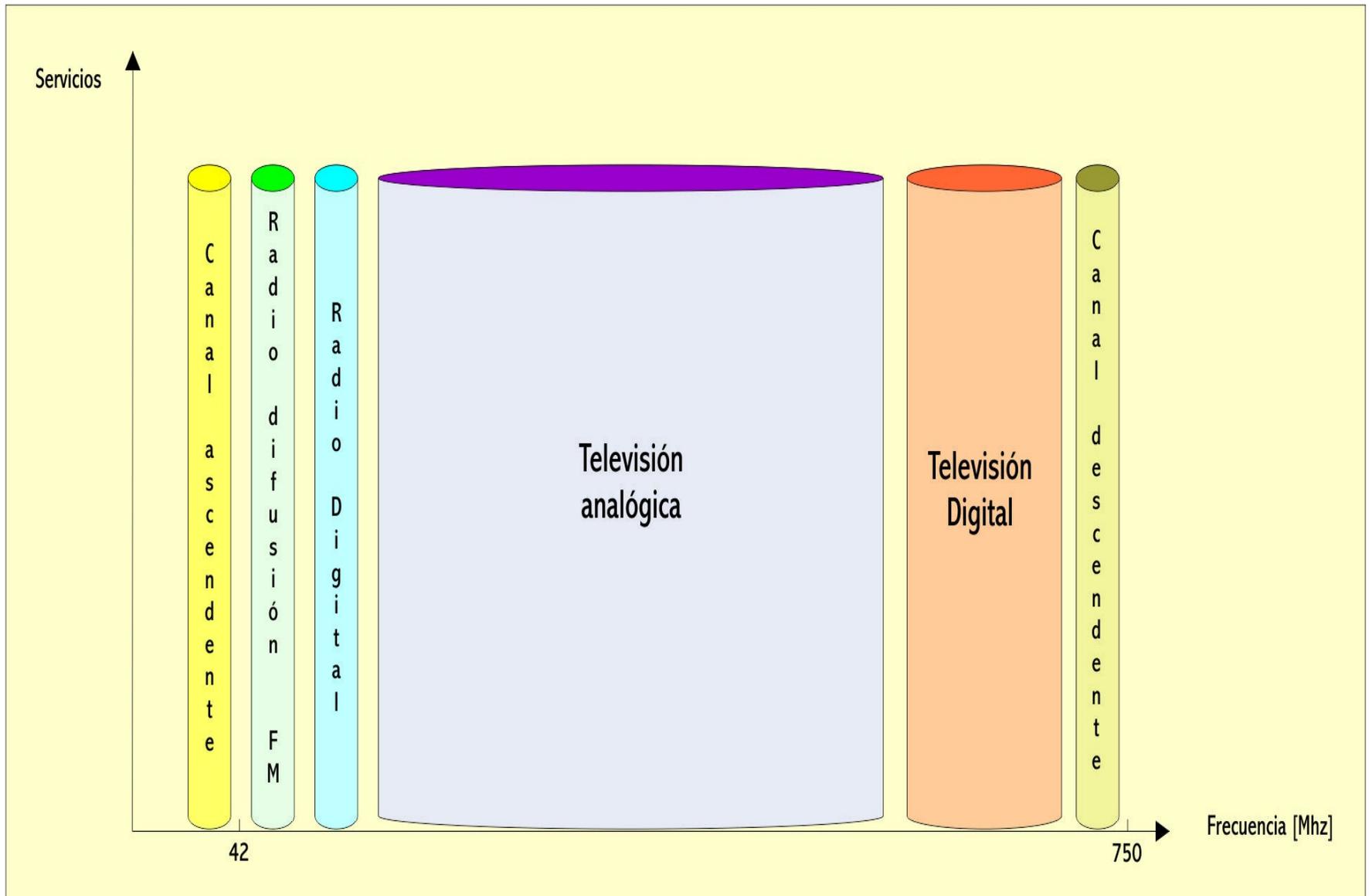
Red de TV híbrida (por cables de fibra y de cobre)



Servicios

El Cable Modem permite proveer servicios con protocolos que establecen un canal transparente entre la cabecera y el usuario final:

- Televisión analógica.
- Televisión Digital.
- Radio difusión FM.
- Radio digital.
- Acceso a la Red Internet.
- Telefonía.
- Servicios multimedia con calidad de servicio.
- Administración de los servicios.



Equipo Cable Módem

Los equipos cable módem pueden ser externos o internos.

-Los externos se conectan directamente al computador por Ethernet o USB.

Trabajan con la mayoría de los sistemas operativos y plataformas de *hardware*.

Tienen incorporado un *splitter* que permite conectar a ellos el televisor y el computador.

-Los internos se colocan como una tarjeta adicional a un bus PCI.

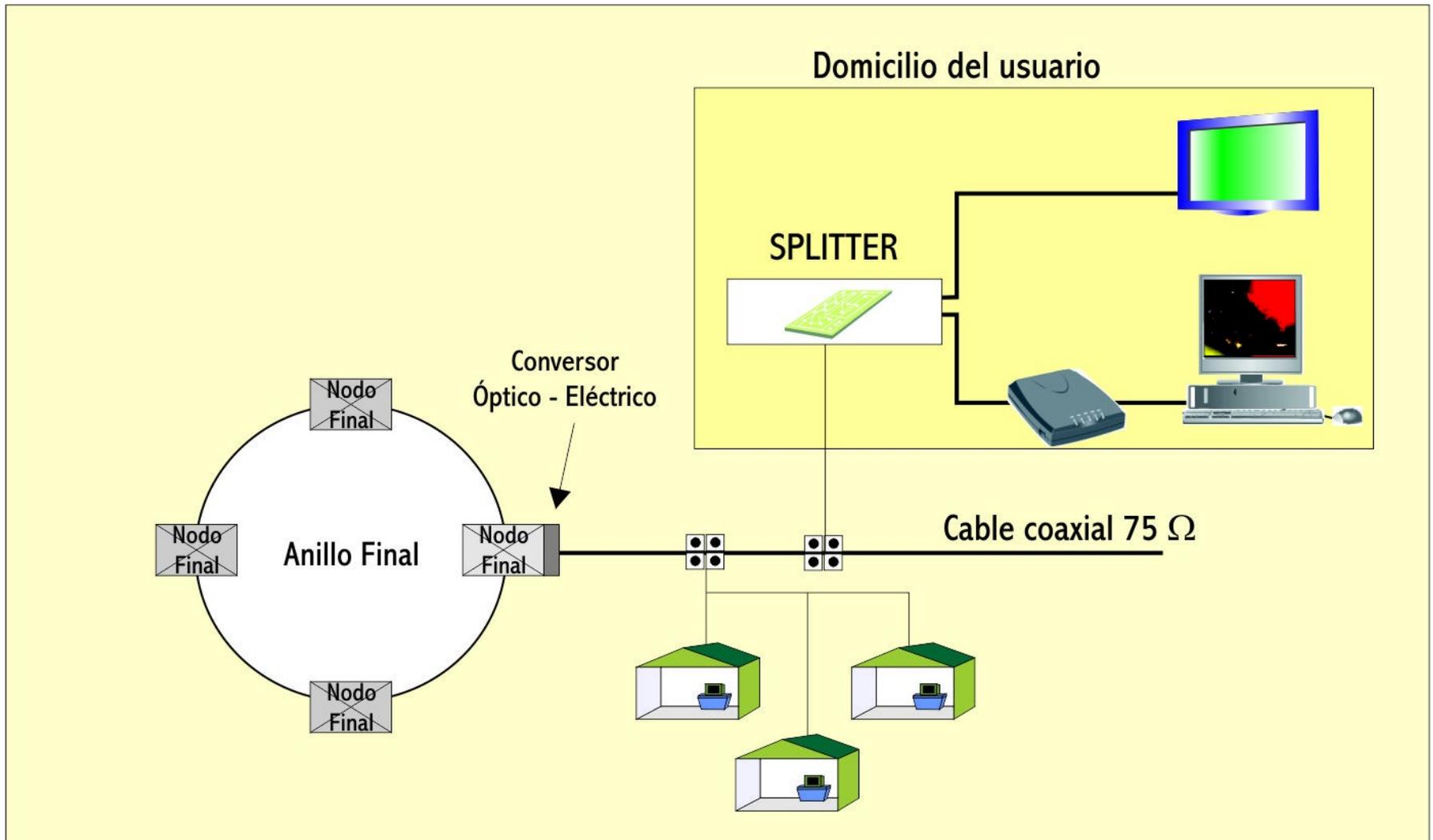
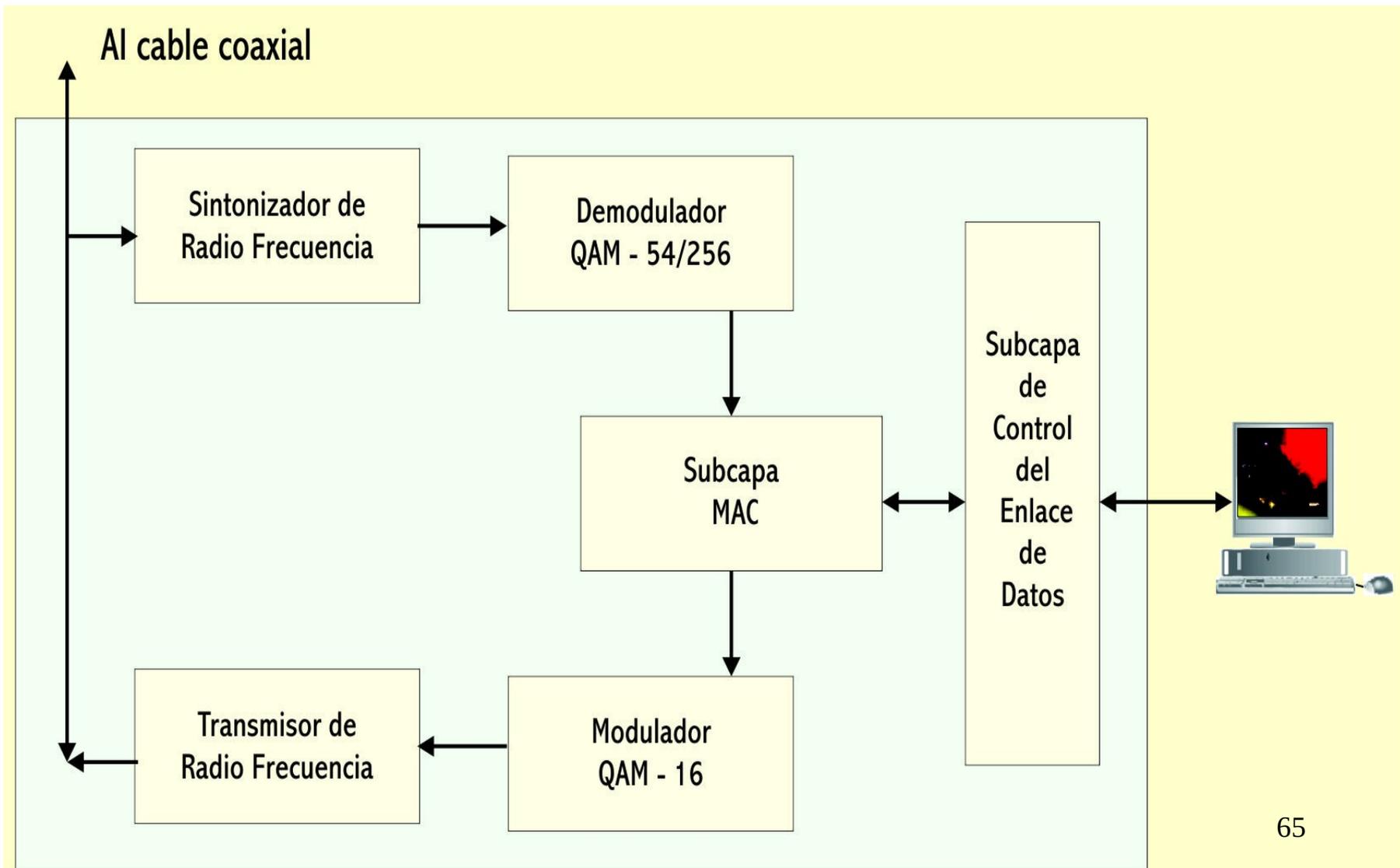


Diagrama en bloque de un cable modem:



Las especificaciones DOCSIS

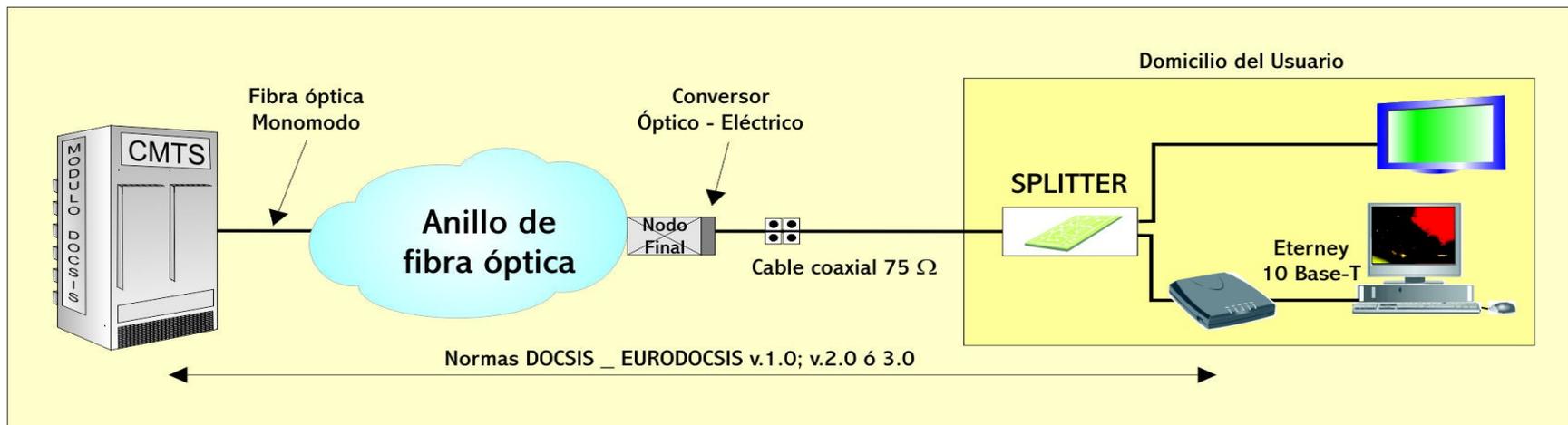
Son un conjunto de estándares para transmisión de datos sobre redes de televisión por cable.

Disponibles en la página **Docsis.org**

Utilizan esquemas de modulación QAM y QPSK RF.

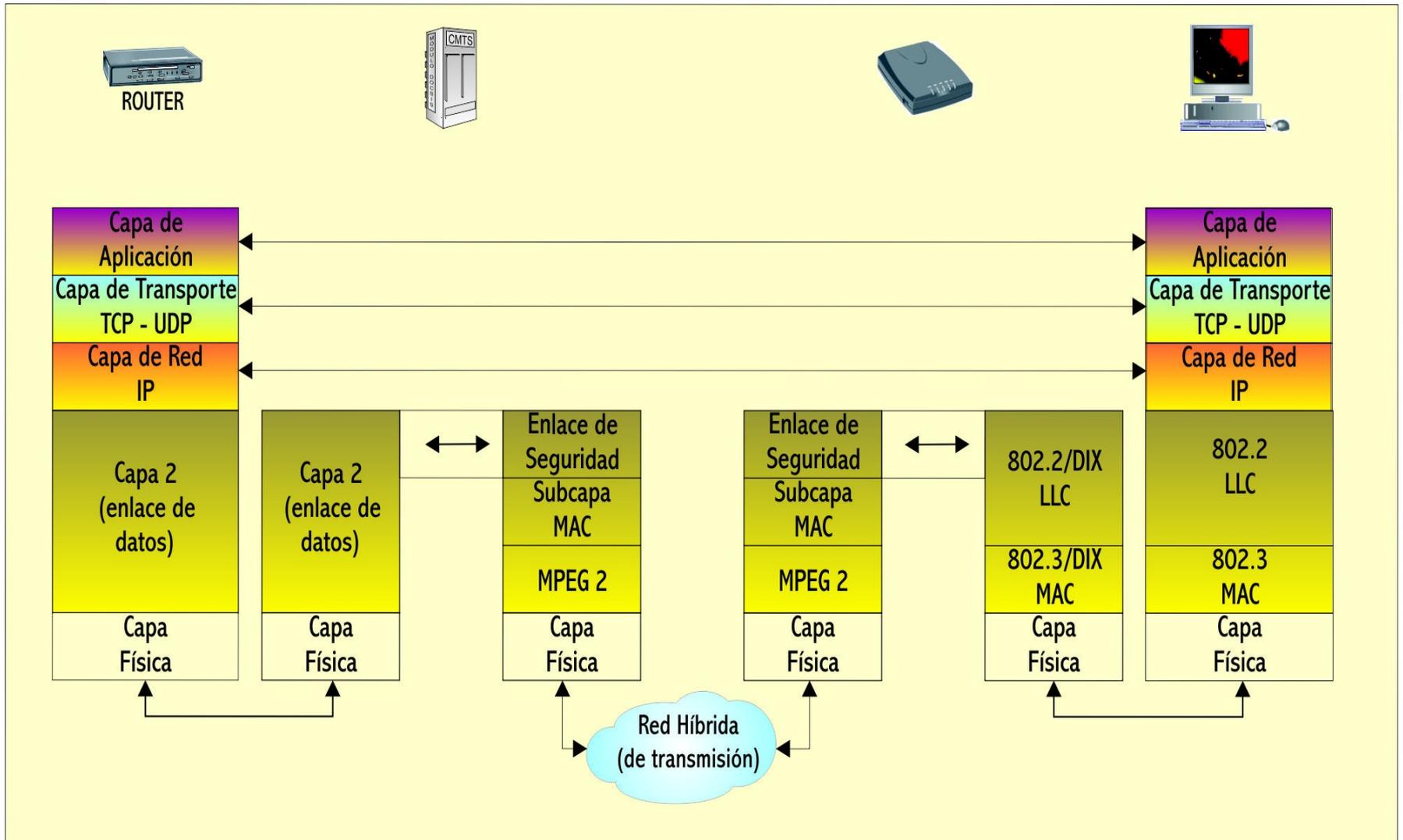
Dos tipos de normas DOCSIS:

- europeas (EuroDocsis): canales de 8 MHz con Norma PAL, elaboradas por **Cable Europe Labs**
- americanas: canales de 6 MHz con Norma NTSC, elaboradas por **CableLabs**.



Versión	Canal descendente		Canal ascendente	
	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS EURODOCSIS	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS/EURODOCSIS
1.0	1	42.88 Mbps 55.62 Mbps	1	10.24 Mbps
2.0	1	42.88 Mbps 55.62 Mbps	1	30.72 Mbps
3.0 ¹	No están definidos	42.88 Mbps 55.62 Mbps	No están definidos	30.72 Mbps

Protocolos utilizados en las normas DOCSIS



Comparación entre la tecnología XDSL y Cable Módem

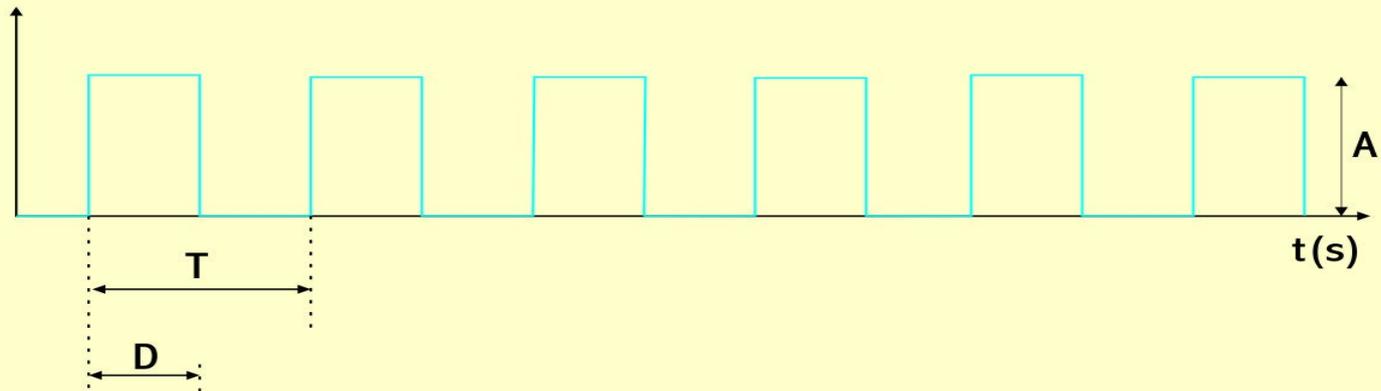
CARACTERÍSTICA	CABLE MÓDEM	ADSL
Fecha de desarrollo	1990	1987
Cableado utilizado	Coaxial 75 Ω más fibra óptica	Par telefónico
Multiplexación	Si - TDMA	No
Codificación	QAM	DMT
Ancho de banda utilizado	Descendente (NTSC) 6 MHz Descendente (PAL) 8 MHz Ascendente 2 Mhz	Descendente 160 a 1.104 kHz Ascendente 2 Mhz
Velocidades máximas	55,62 Mbps . EURODOCSIS	20 mbps (ADSL2+ - Anexo J)
Requiere amplificadores	Si - Bidireccional	No
Soporte de QoS	Si	Si
Telefonía	Si	Si
Alcance geográfico	Teóricamente ilimitado	\pm 6 km según el par
Servicios adicionales posibles	Si	No - Solo telefonía
Es alternativa a redes WAN	No	Si

MODULACION POR PULSOS

La señal moduladora modifica una señal portadora constituida por un tren de pulsos.

Los parámetros que pueden ser alterados son los siguientes:

- Amplitud.
- Periodo.
- Posición del pulso.



Donde:

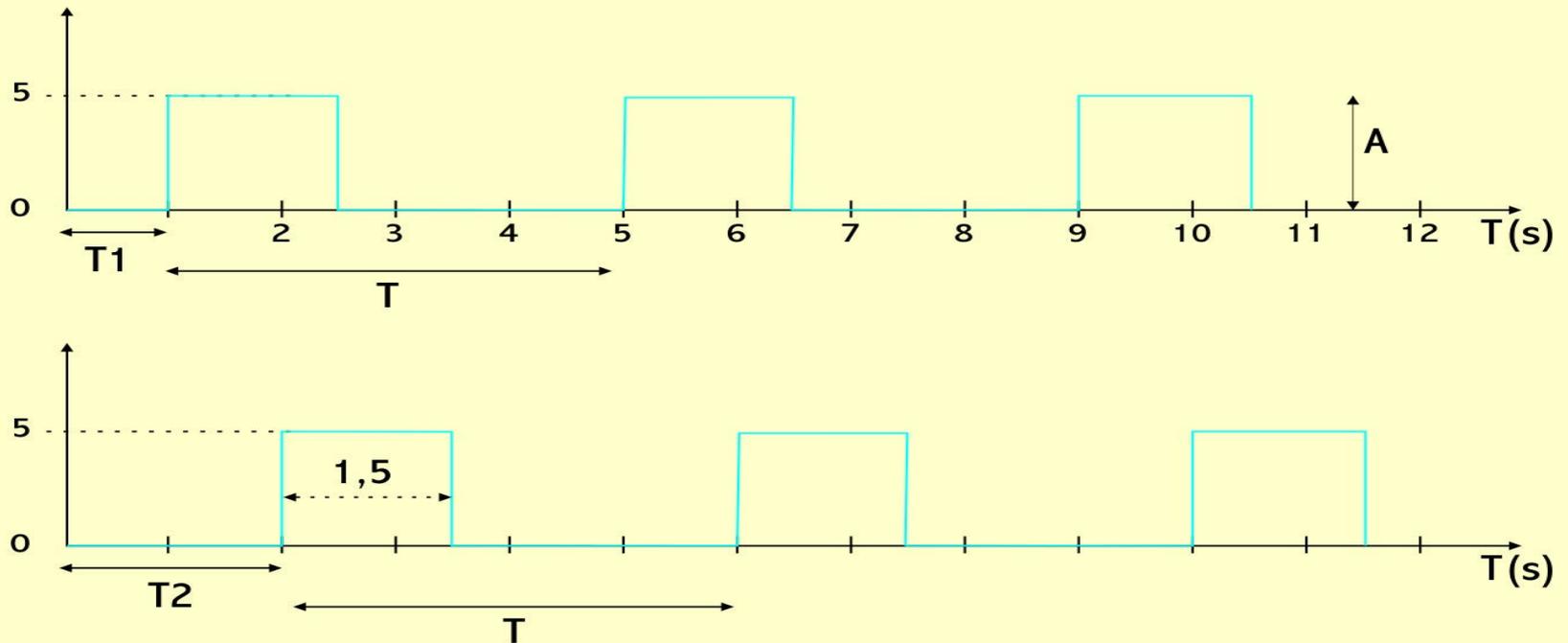
T = Período

A = Amplitud

D = Duración o ancho de banda
dentro del período

t : tiempo entre el inicio de un periodo y el comienzo de un pulso.

Dos trenes de pulsos de idéntica amplitud y periodo, con distintas posiciones de pulsos. (t_1 y t_2).



Valores:

$T_1 = 1$ segundo Período;

$T_2 = 2$ segundos;

Amplitud = 5;

Período = 4 segundos;

Duración = 1,5 segundos;

Clasificación de la modulación por pulsos

Modulación por pulsos analógica

El tren de pulsos puede ser modulado tomando infinitos valores, según tres métodos:

- PAM (Modulación de Amplitud de Pulso)
- PDM (Modulación por Duración de Pulso)
- PPM (Modulación por Posición de Pulso)

Modulación por pulsos digital

El tren de pulsos puede ser modulado tomando un número finito de valores, según tres métodos:

- PCM (Modulación por Pulsos Codificados)
- Modulación Delta
- Modulación Delta Diferencial.

Comparación con la modulación por onda continua

Ventajas

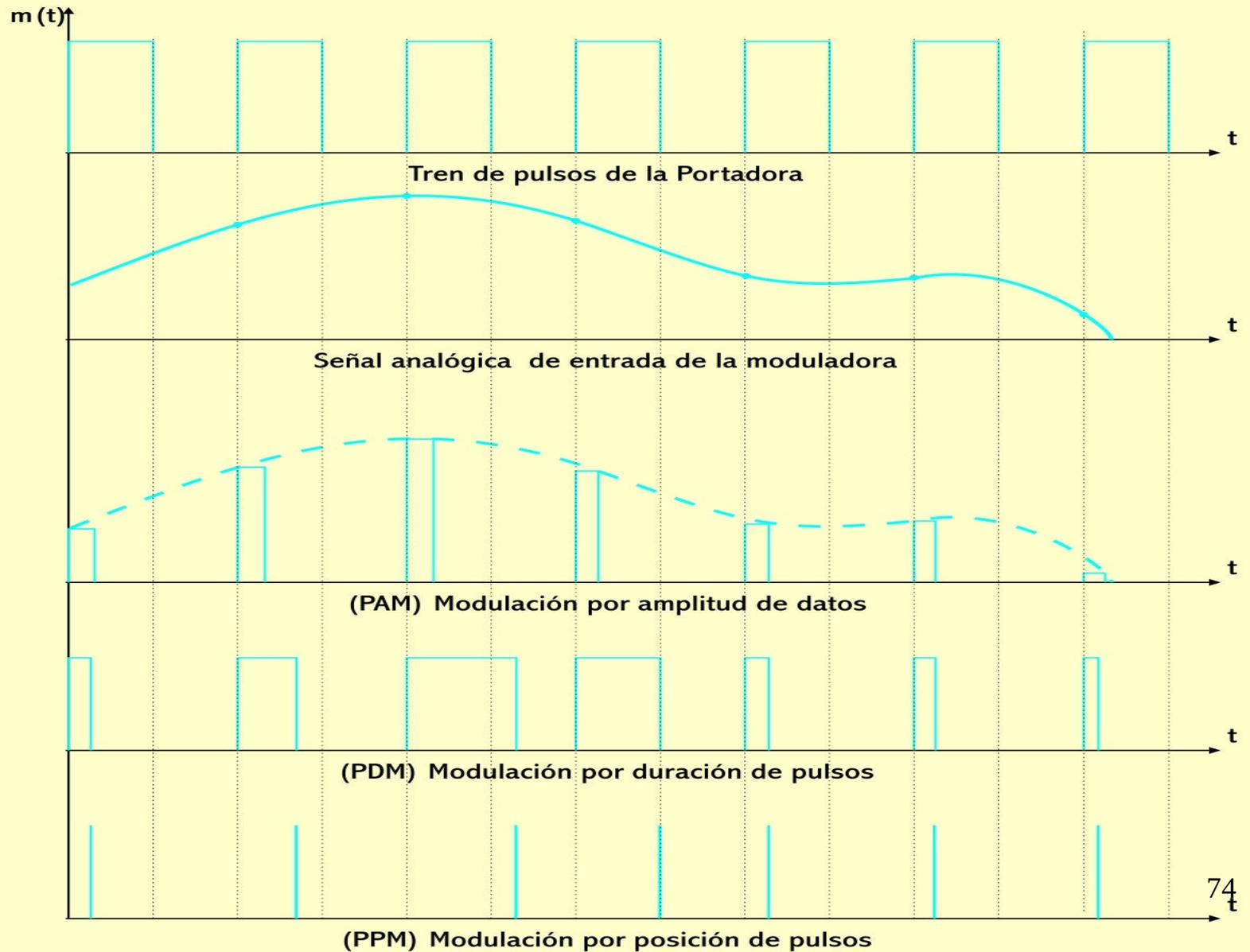
La potencia transmitida puede estar concentrada en ráfagas cortas, en lugar de entregarse en forma continua (hay almacenamiento y retransmisión a alta velocidad).

- Permiten realizar procesos de multiplexado.
- Mayor nivel de calidad que los otros procedimientos de modulación vistos antes.

Desventajas:

- Las señales analógicas deben ser convertidas en digitales y luego nuevamente en analógicas.
- Las transmisiones digitales requieren un mayor ancho de banda para transmitir señales analógicas.
- Las señales digitales requieren sincronización del transmisor y receptor.

Modulación de pulsos analógica



Tipos de modulación

PAM (Modulación de pulsos por amplitud): la señal de salida varía su amplitud siguiendo la señal moduladora, sin cambiar la duración de los pulsos o su ubicación.

PDM (Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso): la señal de salida varía la duración de su periodo siguiendo la señal moduladora, sin cambiar la amplitud de los pulsos o su ubicación. Requiere mayor ancho de banda.

PPM (Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso): la señal de salida se retarda o avanza siguiendo la señal moduladora, sin cambiar el ancho y la amplitud de los pulsos.

- PDM y PPM se utilizan en comunicaciones especiales, y en aplicaciones militares.

DIGITALIZACION DE SEÑALES

La irrupción de la electrónica digital y los computadores en los sistemas de comunicaciones ha llevado a la migración de las redes analógicas hacia las digitales.

Se deben convertir en digitales las señales analógicas:

- Video
- Música de alta fidelidad
- Imágenes

Hay tres pasos en la digitalización:

- Muestreo
- Cuantificación
- Codificación

Teorema de Nyquist o del muestreo

Dada una función cuya energía esta enteramente contenida en un ancho de banda cuya frecuencia máxima es f_{max} , si se muestrea a una frecuencia igual o mayor a $2 f_{max}$, la función original puede ser totalmente recuperada por medio de un filtro pasa bajos ideal.

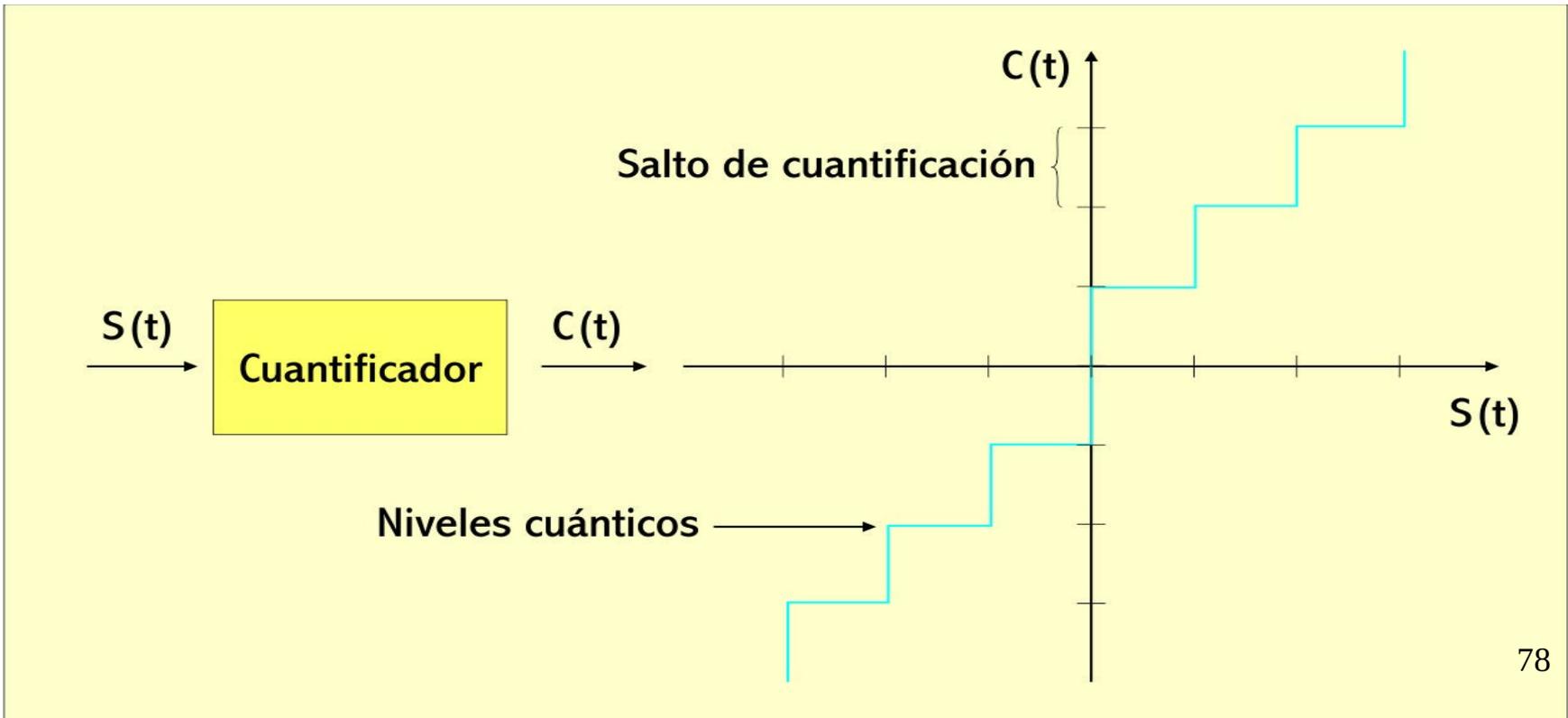
La frecuencia mínima de muestreo será: $f_{m_{min}} = 2 f_{max}$

La $f_{m_{min}}$ es la “frecuencia de Nyquist”.

Después del muestreo de una señal senoidal quedan muestras cuya amplitud representa la amplitud de la señal en los momentos de ser muestreada (señal PAM).

Cuantificación

Es la transformación de los niveles de amplitud continuos de la señal muestreada en un conjunto de niveles discretos establecidos (nivel cuántico o escalón) que son potencias de 2 (64, 128 o 256).



Error de cuantificación

La cuantificación implica una pérdida de información y será imposible reconstruir exactamente la señal analógica original a partir de la señal cuantificada.

No es un problema porque el oído humano solo puede percibir diferencias finitas de intensidad.

Error de cuantificación es la diferencia entre:

- la señal de entrada $S(t)$ y
- su versión cuantificada $C(t)$.

También se lo denominar ruido de cuantificación o distorsión por cuantificación.

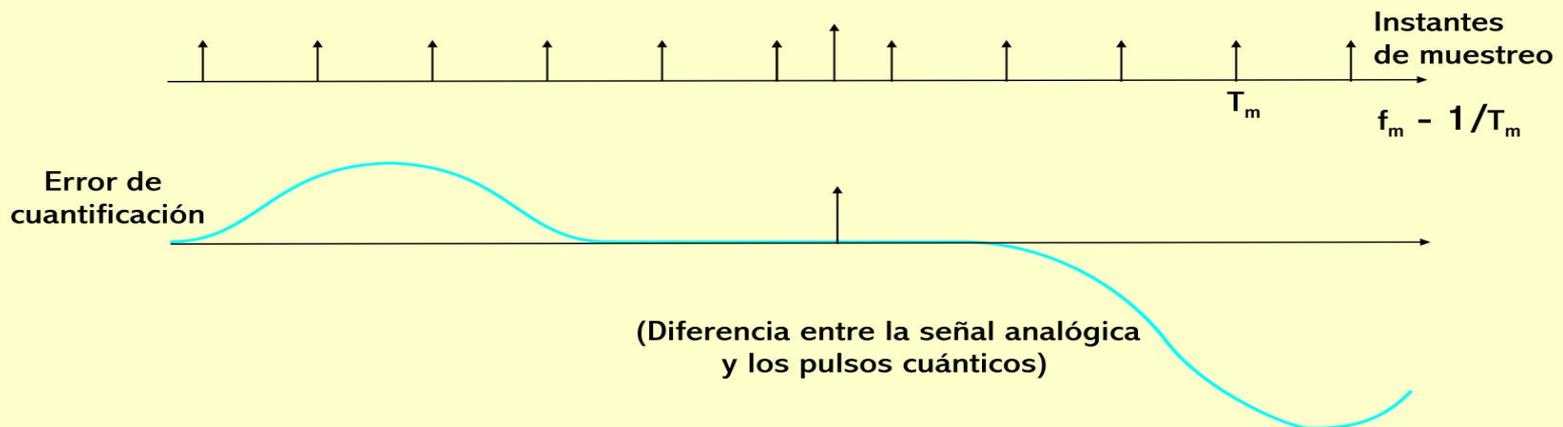
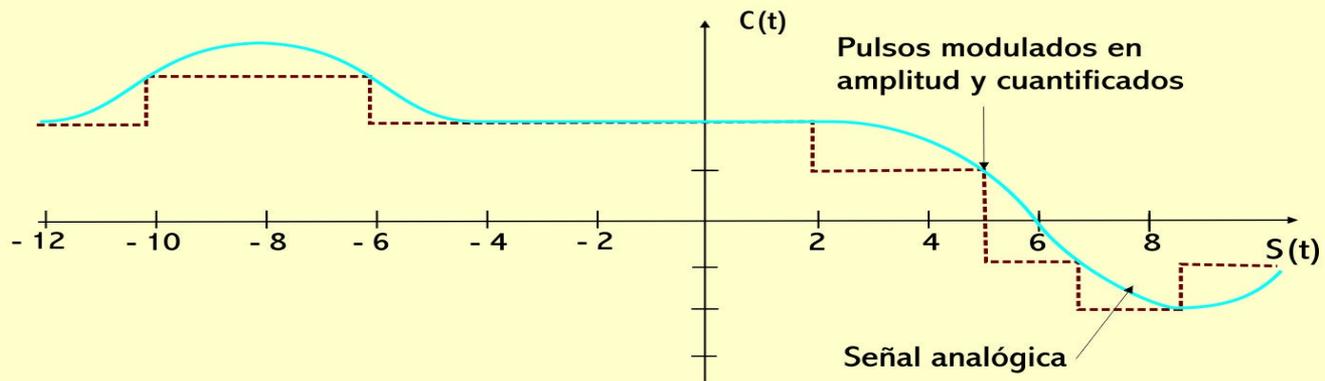
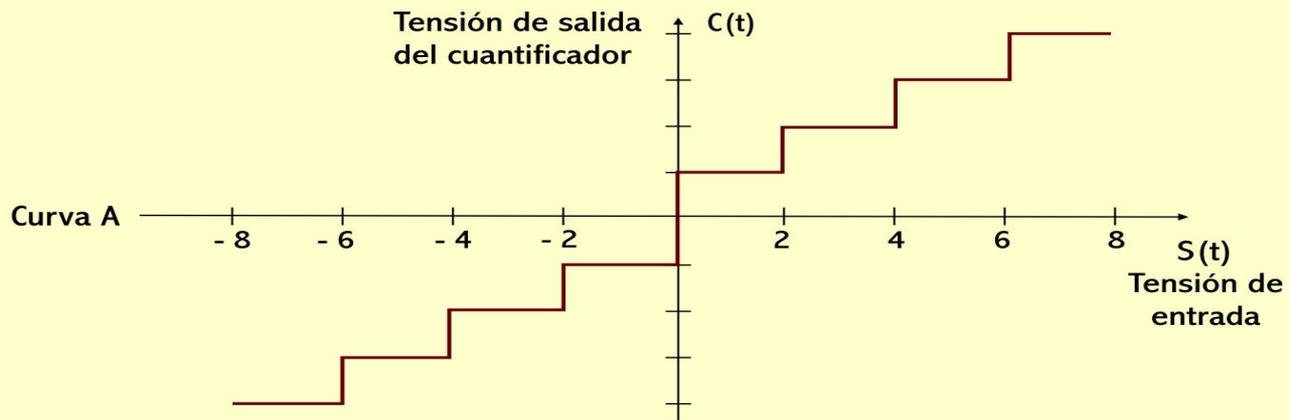
Tipos de cuantificación

Hay dos tipos: uniforme y no uniforme

Cuantificación uniforme o lineal: los distintos niveles cuánticos tienen la misma medida.

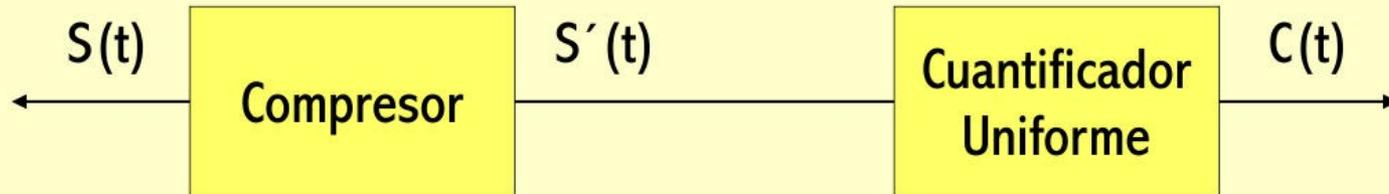
El error de cuantificación es constante e independiente de la señal.

No es apta para señales de bajo nivel porque el error de cuantificación constante es del orden de la señal.



Cuantificación no uniforme: los distintos niveles cuánticos se comprimen en proximidades al valor cero y se expanden hacia los extremos.

Equivale a hacer pasar la señal por un compresor y luego por un cuantificador uniforme.



$S(t)$ = Señal de entrada del compresor

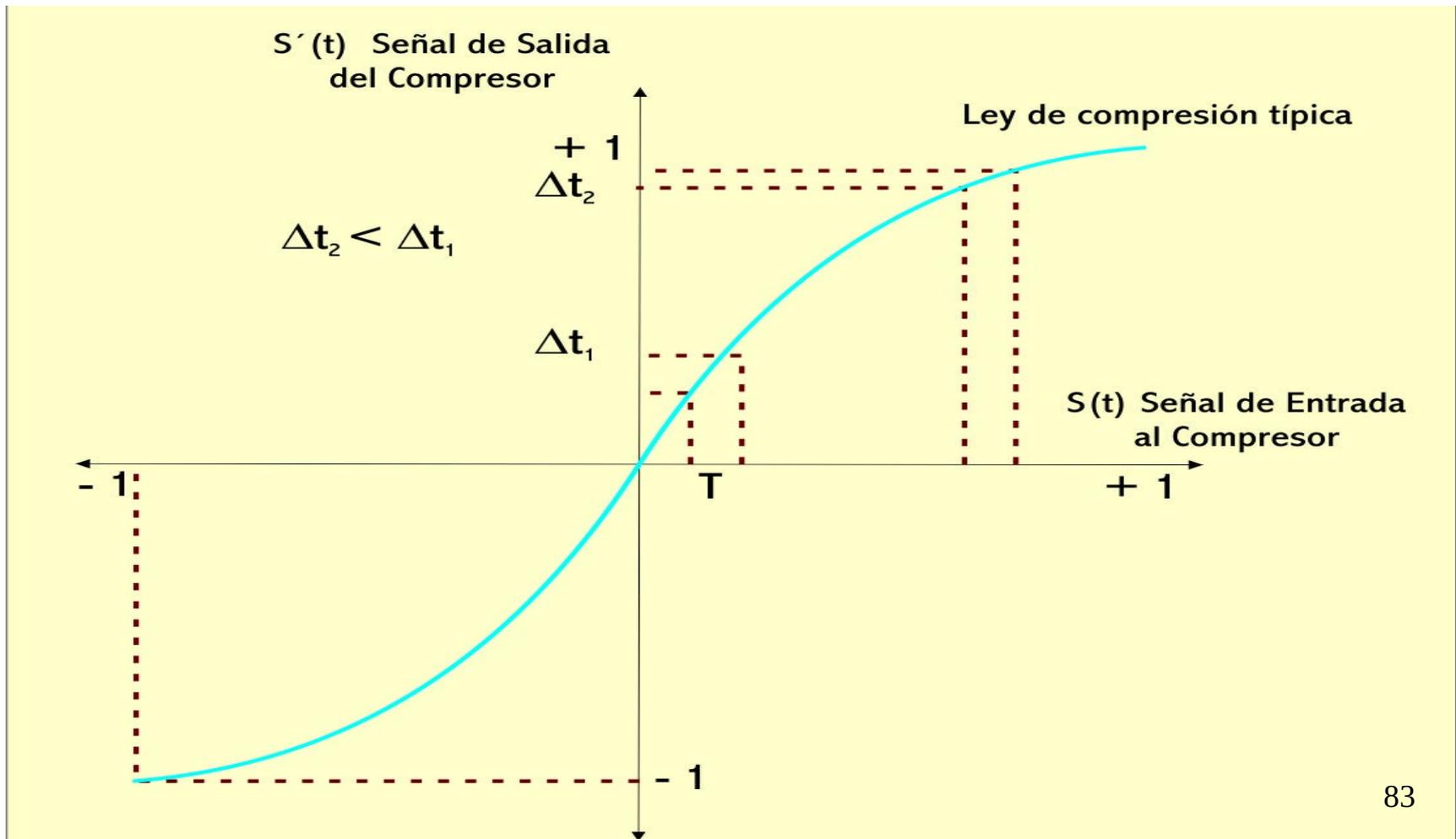
$S'(t)$ = Señal de salida del compresor



Proceso de cuantificación no uniforme

Compansión

Consiste en comprimir la señal en la fuente y expandirla en el destino mediante una ley del tipo logarítmica.



Leyes de Cuantificación

Se usan dos tipos de leyes de características logarítmicas denominadas Ley μ y Ley A .

Están definidas por el UIT – T en la norma G.711.

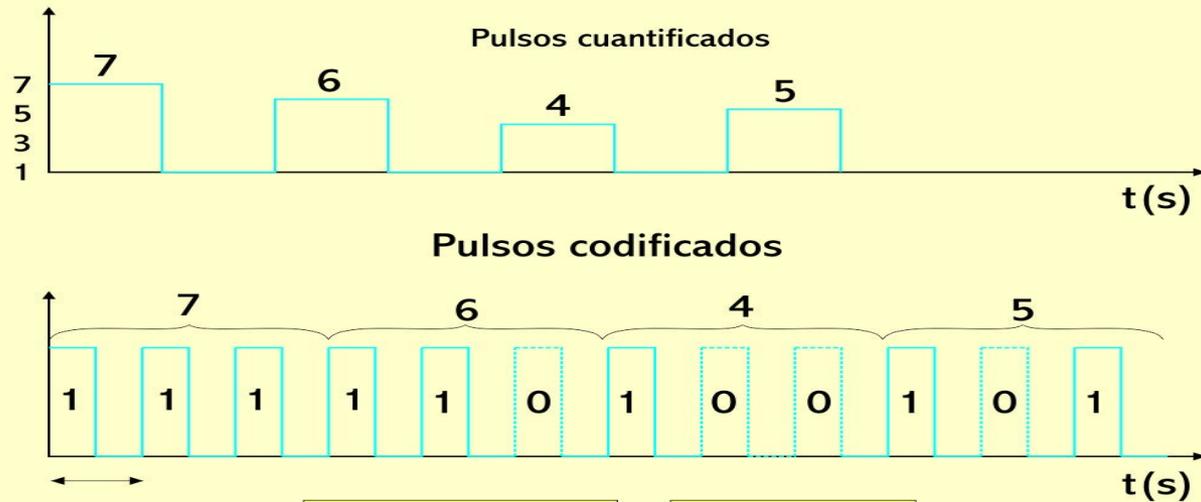
En la práctica se usa una aproximación por trazos que divide las curvas en segmentos de recta (Ley A en 13, Ley μ en 15).

El objetivo es tener una relación señal/ruido de cuantificación constante para todo nivel de señal, para lo cual se debe utilizar una cuantificación no uniforme.

- Cuando la señal es pequeña se toman más niveles cuánticos, reduciéndose dicho ruido.
- Cuando la señal es alta se toman menos niveles, el ruido aumenta y la relación señal/ruido es la misma.

Codificación

Convierte los pulsos cuantificados en un grupo de pulsos binarios de amplitud constante siguiendo un código dado por una tabla.



Pulsos PAM	Señal digital codificada
Niveles de Amplitud (en volts)	Código binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Modulación por pulsos codificados (MIC)

Transmisión de información analógica en forma de señales digitales mediante un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación.

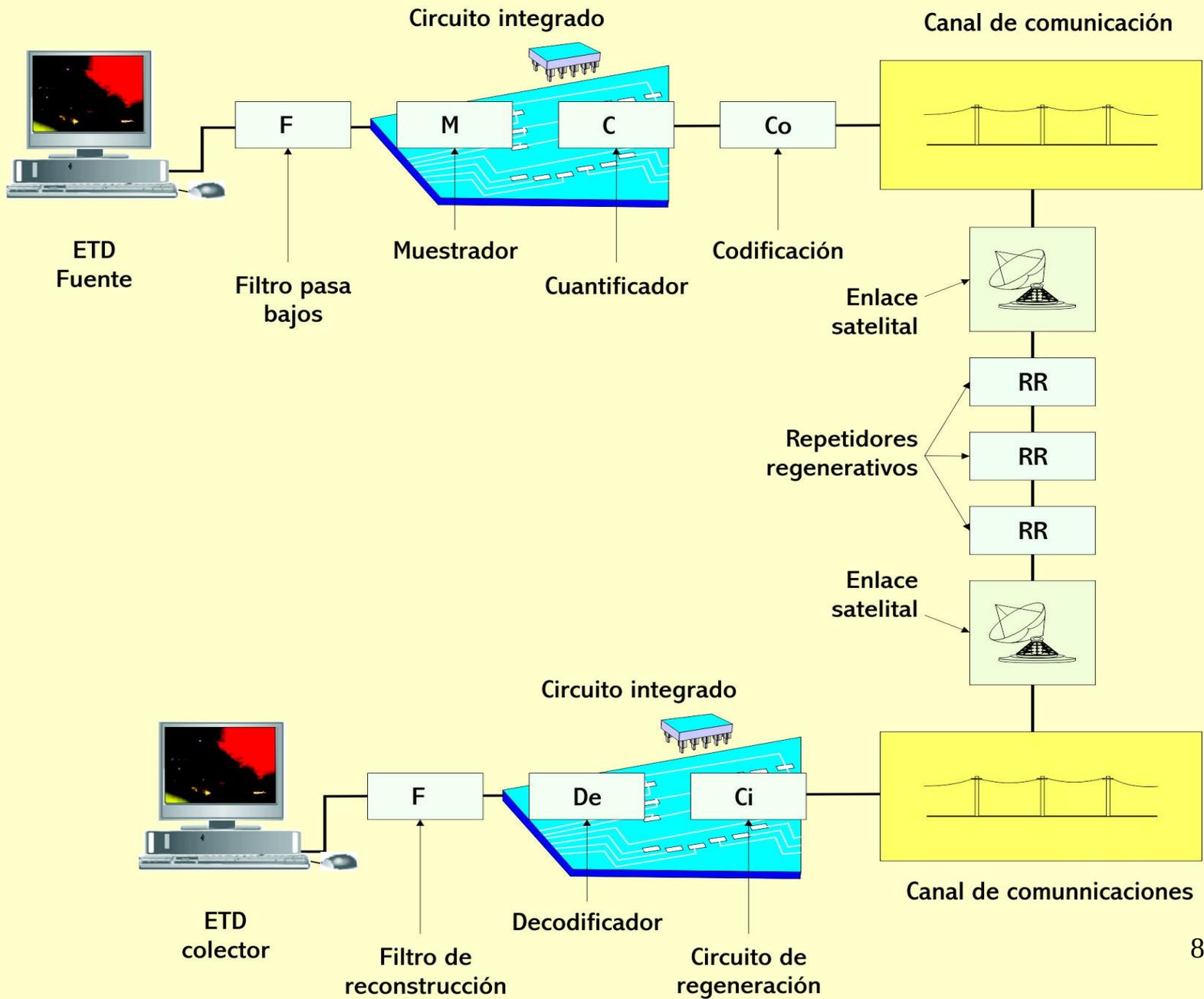
Conocida por la sigla en inglés (PCM).

El transmisor tiene cuatro etapas:

- Sistema de filtros pasa bajos.
- Muestreador.
- Cuantificador.
- Codificador.

El receptor tiene tres etapas:

- Regeneración
- Decodificador
- Filtro de reconstrucción de la señal original.



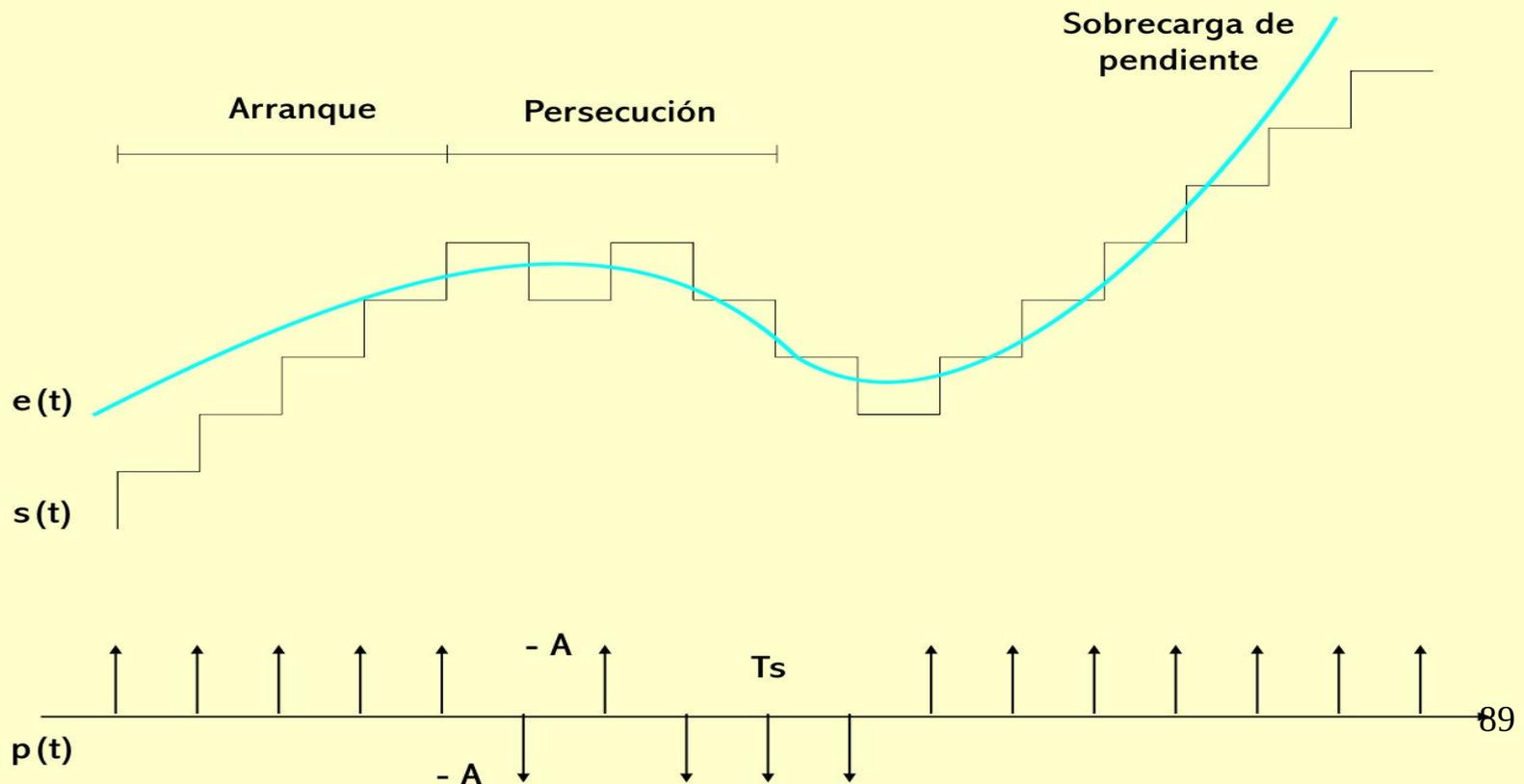
Cálculo de la velocidad de transmisión en PCM

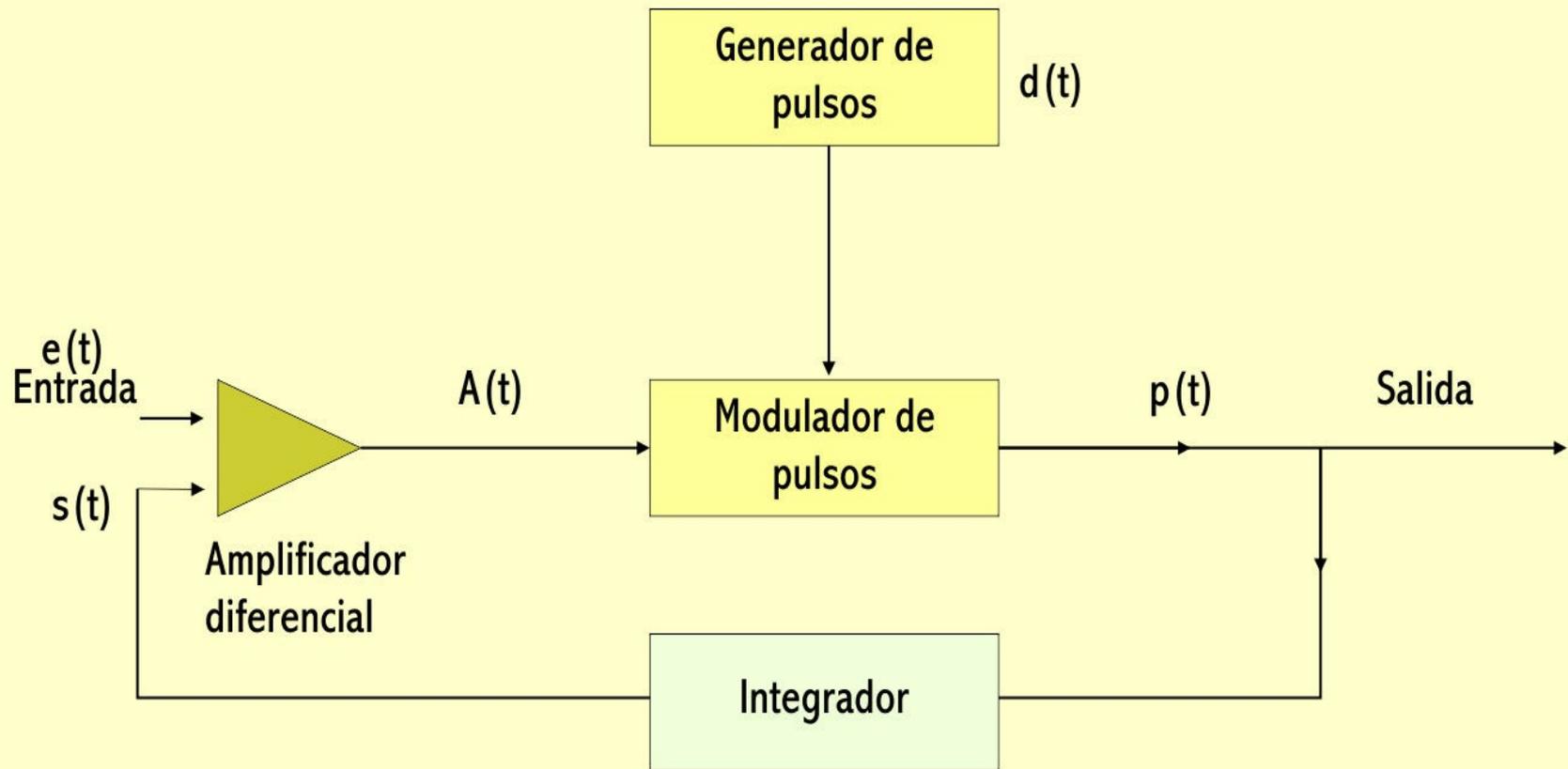
- 1) La señal analógica se filtra en 4 kHz porque las frecuencias superiores tienen poco nivel.
 - La señal se puede muestrear a $2 \times 4 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$ (Nyquist)
 - Se generan 8.000 muestras por segundo
- 2) En los sistemas **europeos** cada muestra es cuantificada entre 256 niveles (2^8)
 - Cada muestra es codificada con 8 bits
 - Cada segundo se generan $8.000 \times 8 \text{ bits} = \mathbf{64 \text{ kbps}}$
- 3) En los sistemas **americanos** cada muestra es cuantificada entre 128 niveles (2^7)
 - Cada muestra es codificada con 7 bits
 - Cada segundo se generan $8.000 \times 7 \text{ bits} = \mathbf{56 \text{ kbps}}$

Modulación delta (DM)

Consiste en generar una onda escalonada que siga las variaciones de la señal de entrada.

Se emplean impulsos de igual polaridad si crece la señal, o de polaridad contraria si disminuye.

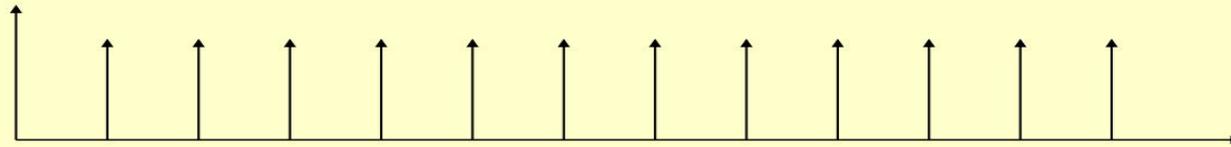




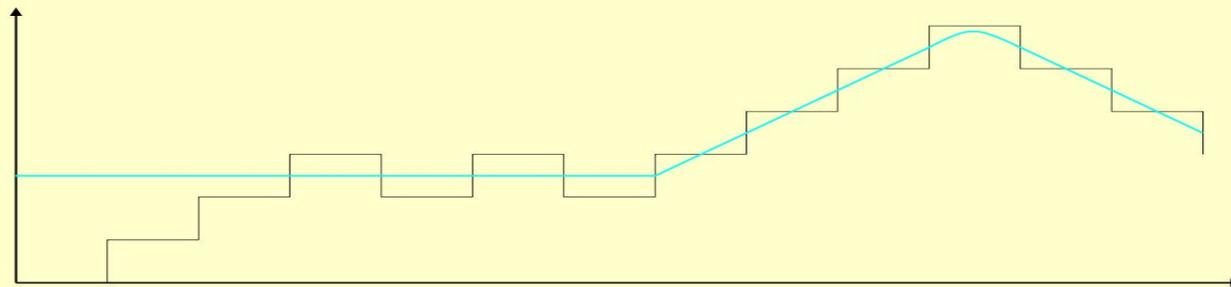
$d(t)$ = pulsos provenientes del generador de pulsos $p(t)$ = pulsos de salida del modulador delta
 $e(t)$ = señal analógica de entrada al modulador elta $s(t)$ = señal de aproximación escalonada



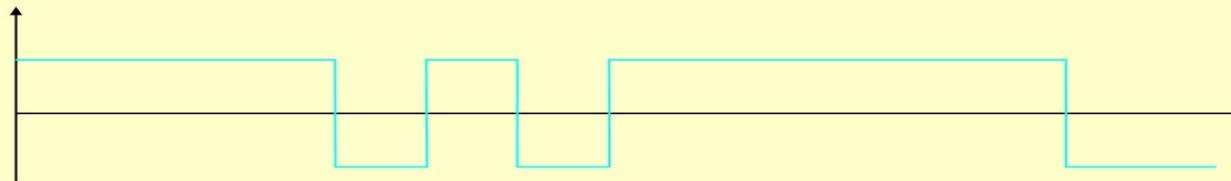
Instantes de muestreo



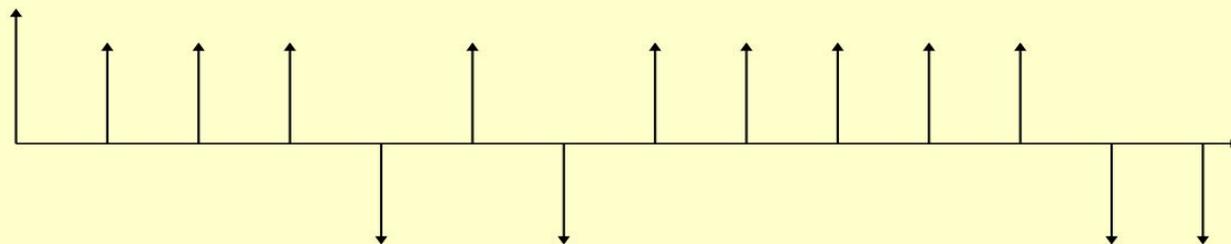
$d(t)$ Señal del generador de pulsos



$s(t)$ Señal escalonada



$a(t)$ Señal de salida del amplificador diferencial

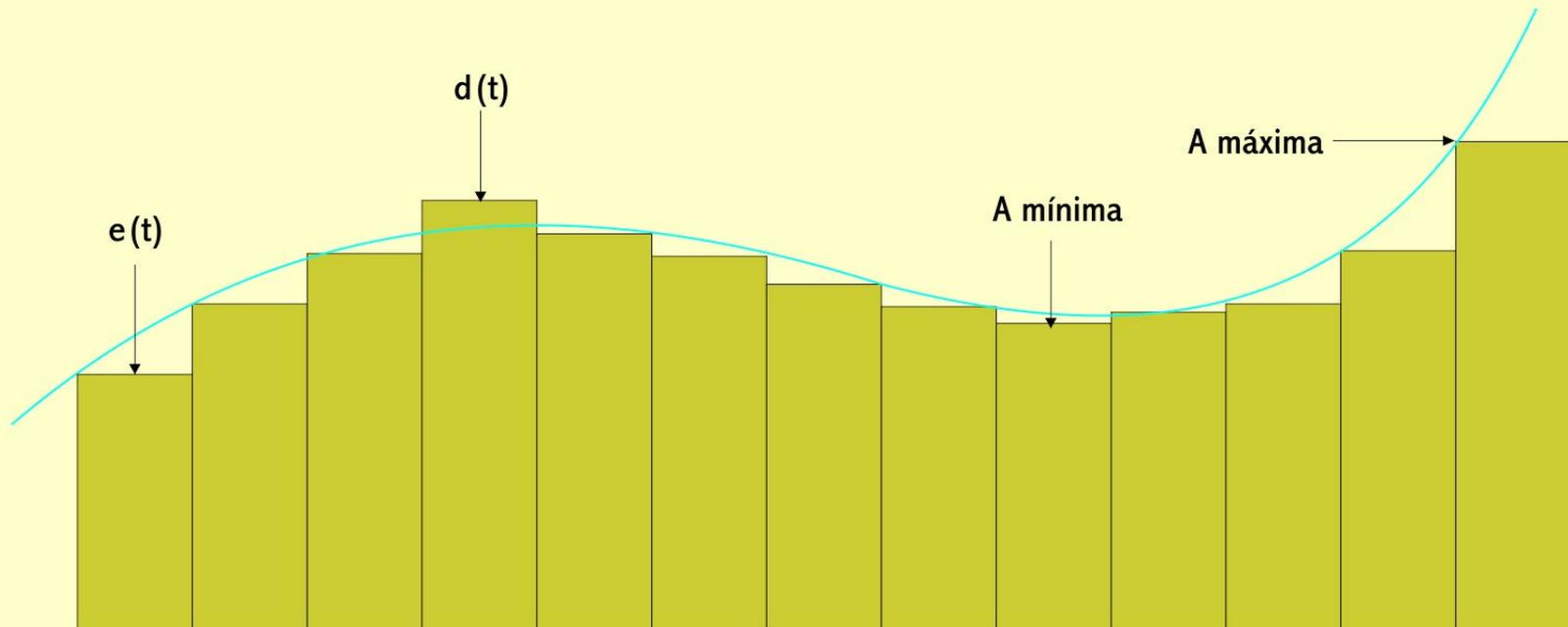


$p(t)$ Señal de salida del modulador delta

Modulación delta adaptativa

Este sistema soluciona los dos inconvenientes existentes en la modulación delta: el ruido granular y la sobrecarga de pendiente, originadas en el tamaño del escalón.

La modulación delta adaptativa ajusta este valor en función de la variación de la señal de entrada.



(Altura del escalón variable entre
 A mínima y A máxima)

Modulación PCM diferencial

Combina la modulación delta con la codificación PCM.

Reemplaza el modulador de pulsos por un dispositivo cuantificador – muestreador que genera pulsos iguales en polaridad que los de salida de un modulador delta, pero con amplitud proporcional a la diferencia entre la señal de entrada y la señal escalonada.

Dicha señal, correspondiente a cada muestra de error cuantificada, es transmitida como una palabra código de n bits.

Comunicaciones

Clase 10

Transporte de señales

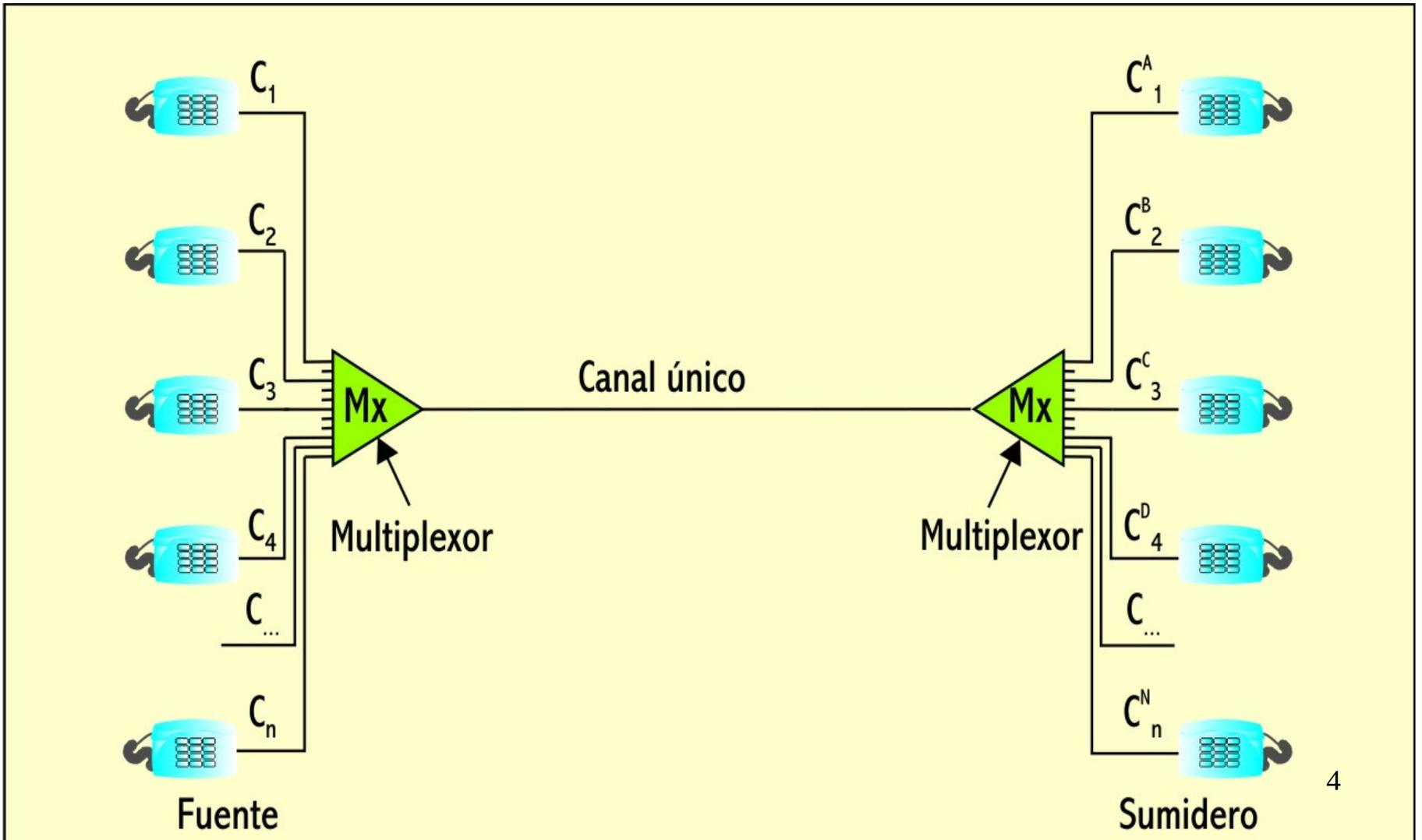
Mejoras de la capacidad de un canal

- Transmisiones multinivel: limitado por la relación señal ruido.
- Aumentar la velocidad de modulación
- Enviar varias comunicaciones simultáneas usando multiplexación
- Utilizar al máximo el ancho de banda disponible en el medio con el hardware necesario.

MULTIPLEXACION

Técnica que permite que por un único canal físico se cursen varias comunicaciones simultáneas sin interferirse entre sí.
Se utilizan equipos **multiplexores**.

Multiplexar es repartir un único canal de comunicaciones de capacidad C entre n_i subcanales de entrada de capacidades C_i cuya suma de velocidades no puede superar el valor C .



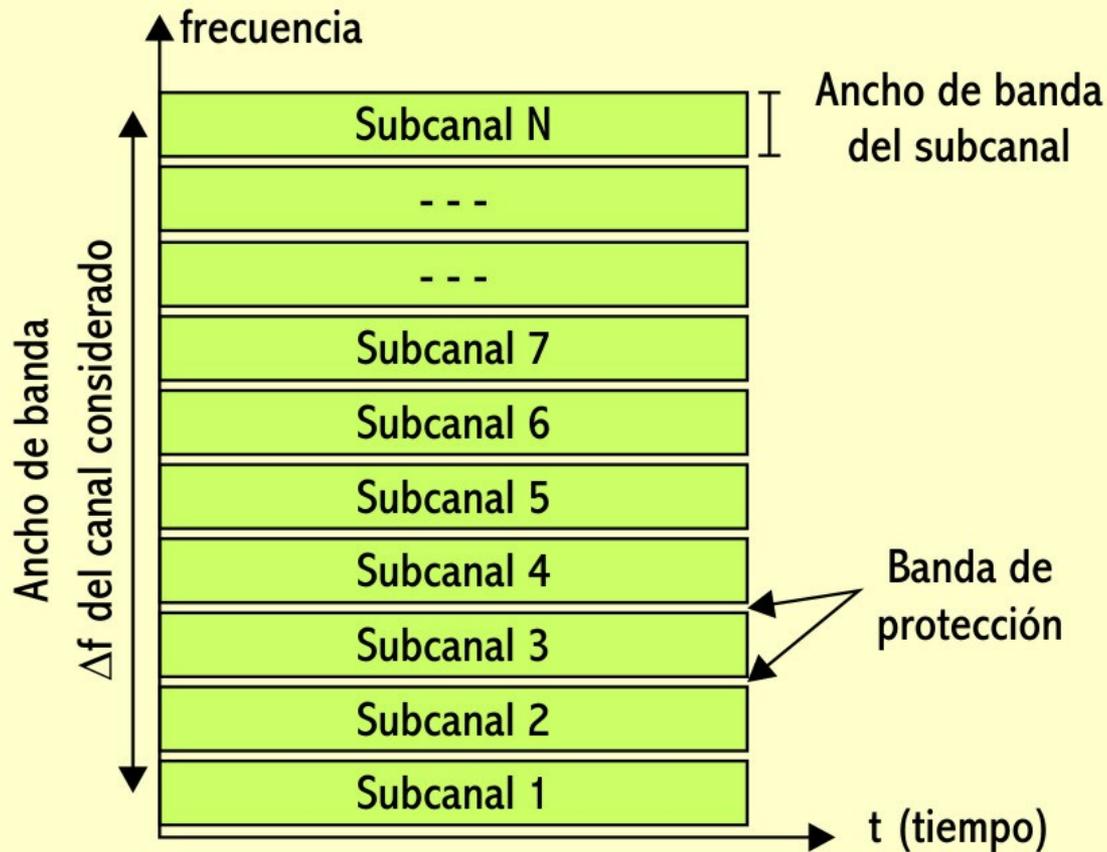
Técnicas de multiplexación

- Multiplexado por división de frecuencia
(**FDM** - *Frequency Division Multiplexing*).
- Multiplexado por división de tiempo
(**TDM** - *Time Division Multiplexing*).
- Multiplexado por división de tiempo estadístico
(**STDM** - *Statistical Time Division Multiplexing*).

Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

Divide el ancho de banda disponible en varios subcanales independientes con una banda útil de 300 a 3.400 Hz.

Cada subcanal está separado del anterior y del posterior por una banda de protección, con una banda total de 4.000 Hz.



Formación de un grupo primario

Hay doce canales de 4 kHz y cada uno es modulado en amplitud con una portadora diferente.

Se forma un grupo primario de 60 a 108 kHz.

CANAL DE VOZ	FRECUENCIA DE LA PORTADORA	ANCHO DE BANDA USADO
Canal 1	64 KHz	60 a 64 KHz
Canal 2	68 KHz	64 a 68 KHz
Canal 3	72 KHz	68 a 72 KHz
Canal 4	76 KHz	72 a 76 KHz
Canal 5	80 KHz	76 a 80 KHz
Canal 6	84 KHz	80 a 84 KHz
Canal 7	88 KHz	84 a 88 KHz
Canal 8	92 KHz	88 a 92 KHz
Canal 9	96 KHz	92 a 96 KHz
Canal 10	100 KHz	96 a 100 KHz
Canal 11	104 KHz	100 a 104 KHz
Canal 12	108 KHz	104 a 108 KHz

Formación de grupos superiores de las jerarquías analógicas

Los grupos básicos se van modulando para obtener grupos superiores que transportan hasta 2.700 canales telefónicos.

Ancho de frecuencia de voz (kHz)	Ancho de banda (kHz)					
1 — 0 - 4						
2 — 4 - 8			2 -	1 (60 canales)	1 (300 canales)	1 (900 canales)
3 — 8 - 12			3 -	2 -	2 -	2 -
4 — 12 - 16			4 -	3 -	3 -	3 -
5 — 16 - 20			5 -	4 -		
6 — 20 - 24				5 -		
7 — 24 - 28						
8 — 28 - 32						
9 — 32 - 36						
10 — 36 - 40						
11 — 40 - 44						
12 — 44 - 48						
Grupo Primario		Grupo Secundario	Grupo Terciario	Grupo Cuaternario	Grupo Quinario	
Ancho de Banda		Ancho de Banda	Ancho de Banda	Ancho de Banda	Ancho de Banda	
48 kHz 60-108 kHz		240 kHz 312-552 kHz	1200 kHz 312-1552 kHz	3716 kHz 312-4028 kHz	12026 kHz 8 312-12338 kHz	

Acceso múltiple por división de frecuencia

Divide el ancho de banda en varios canales en función del servicio.

Se accede al medio a través de uno de los canales disponibles.

Los usuarios usan el ancho de banda asignado sin interferirse.

Esta técnica es utilizada en sistemas GSM (telefonía móvil de segunda generación).

Multiplexación por división de frecuencias ortogonales

La técnica OFDM envía un conjunto de subcanales con ondas portadoras ortogonales de diferentes frecuencias separadas por anchos de banda pequeños.

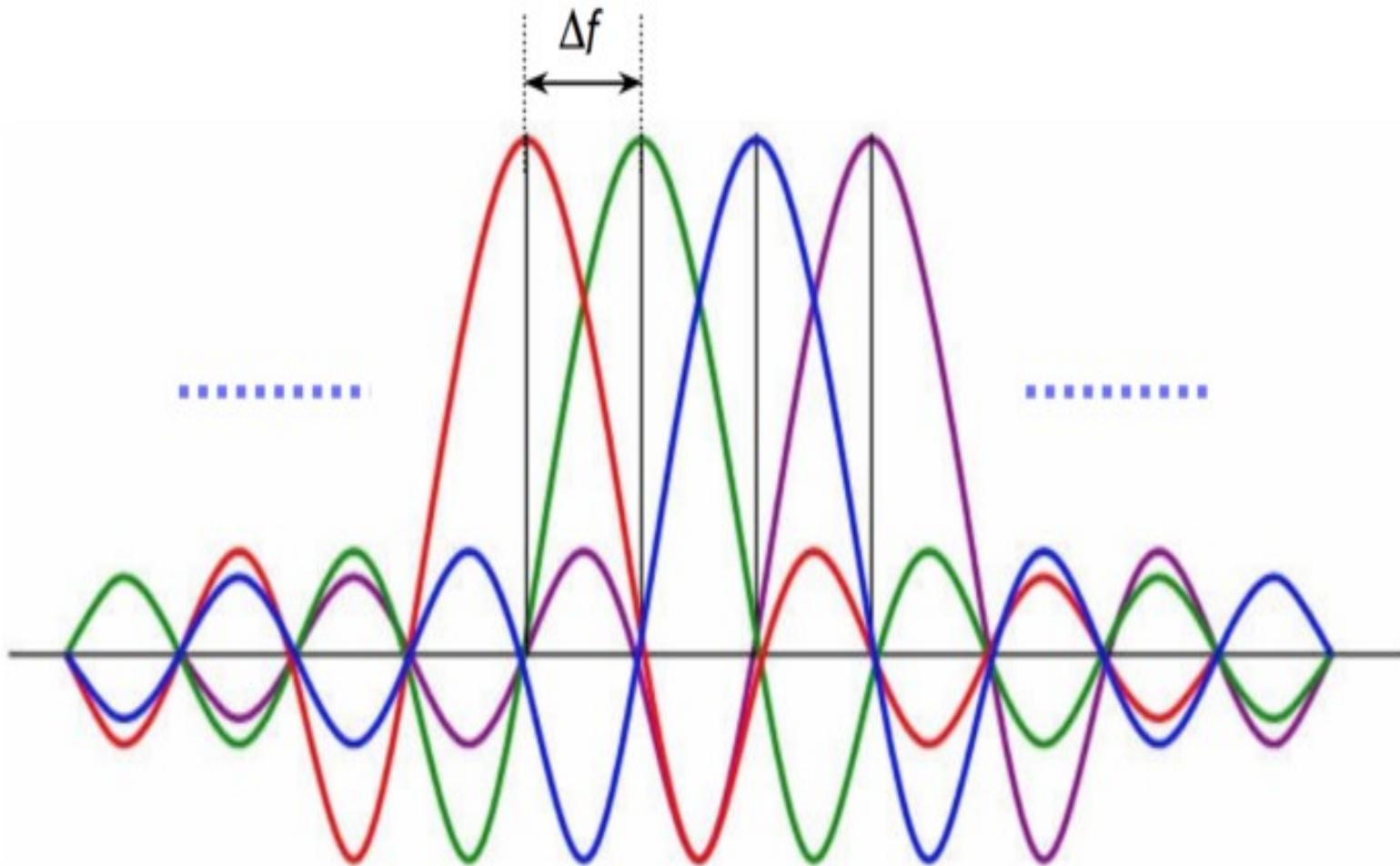
Al ser ortogonales no se interfieren a pesar de la cercanía.

Cada una se puede modular por QAM o PSK.

Aplicaciones:

- Redes inalámbricas IEEE 802.11a, g y n (Wi-Fi).
- Redes de telefonía celular de cuarta generación (4G).
- Acceso de banda ancha móvil: IEEE 802.16e (WiMax).
- Sistemas para transmisión digital de señales de vídeo (TVDT).

Señal OFDM



Multiplexación por división de tiempo (TDM)

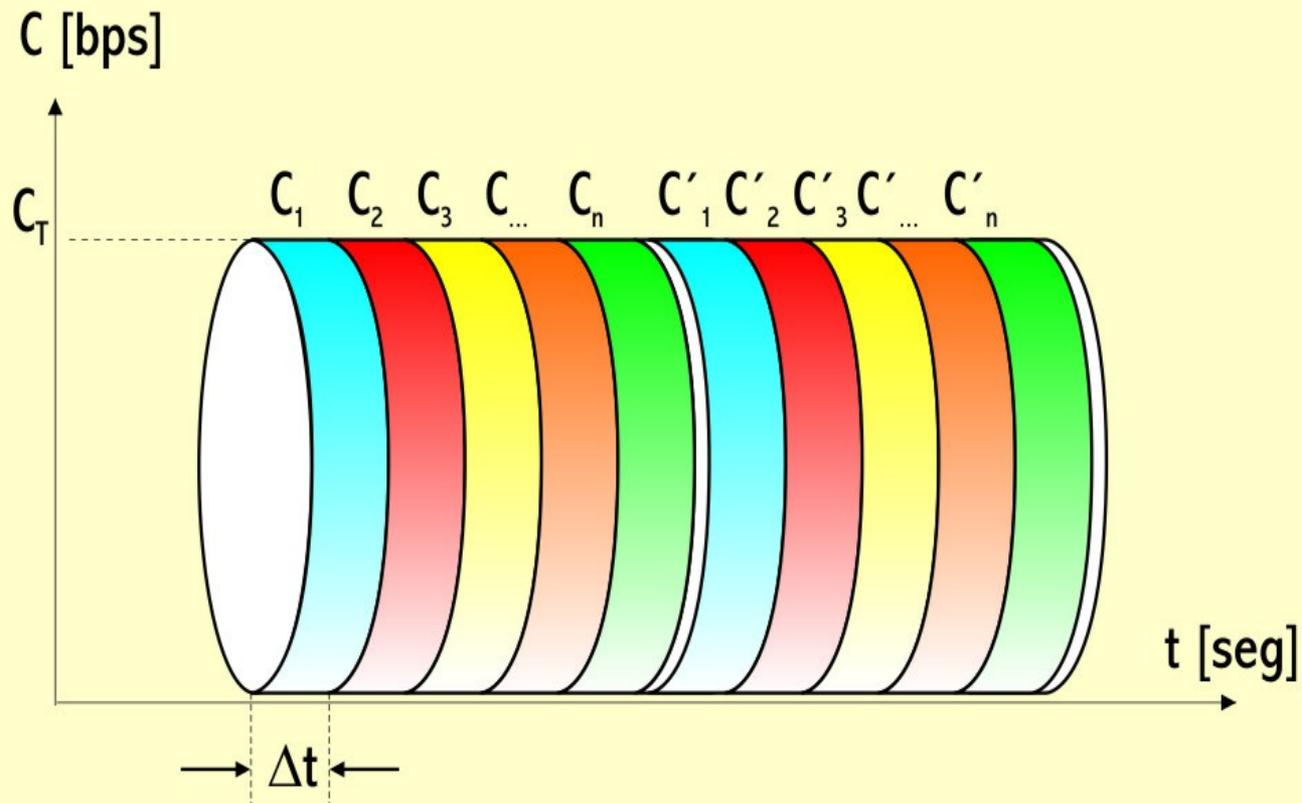
Divide el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un segmento de dicho tiempo.

Se crean **ranuras de tiempo** que el multiplexor adjudica a los subcanales o señales de entrada.

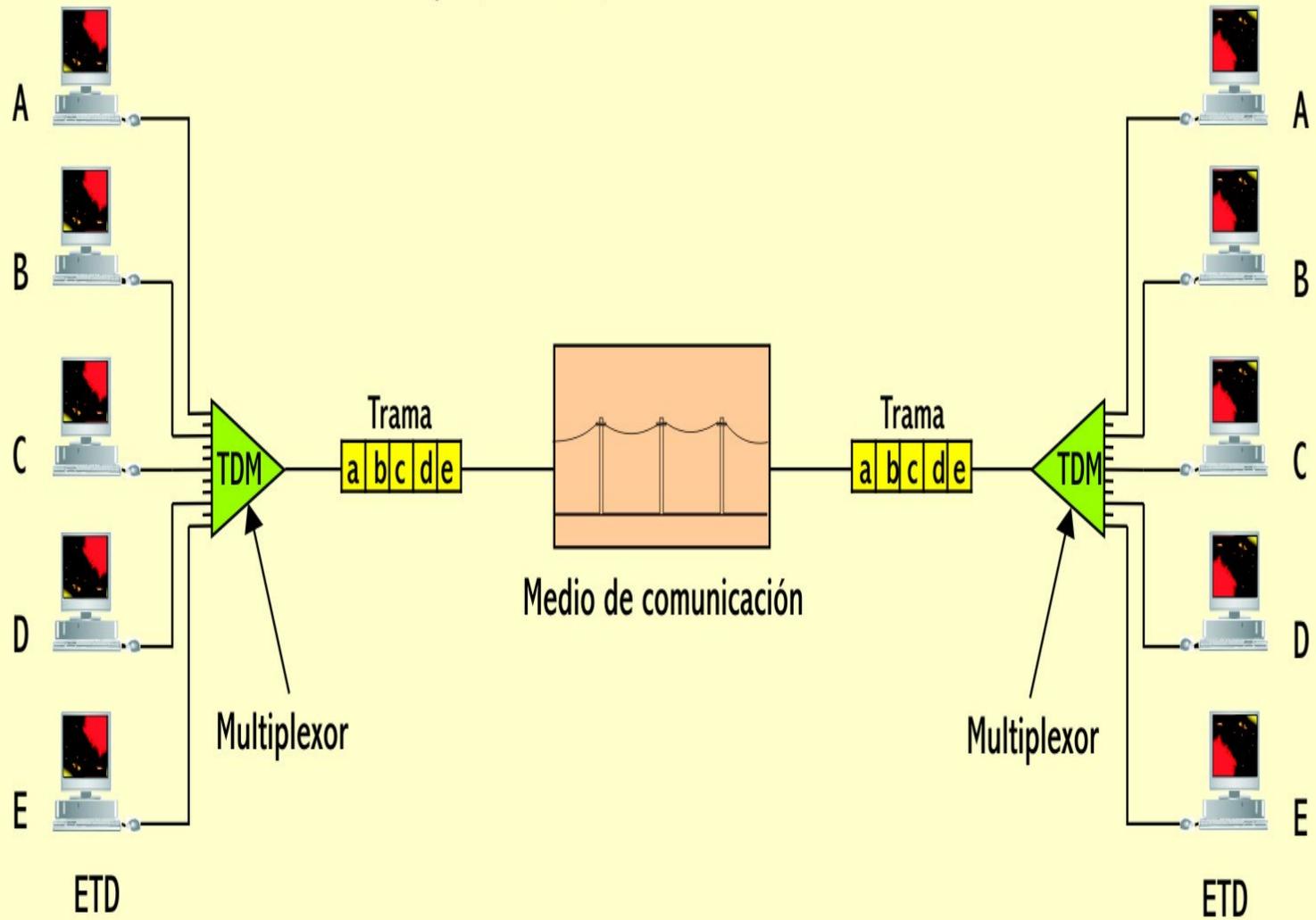
Con los datos aportados por los subcanales se arman una **trama** que se envía a la línea de transmisión.

Es esencial que el transmisor y el receptor estén sincronizados para armar y desarmar la trama, compuesta por la información de los usuarios y por información de control del sistema.

En la TDM los equipos terminales toman todo el ancho de banda del canal, una parte del tiempo.

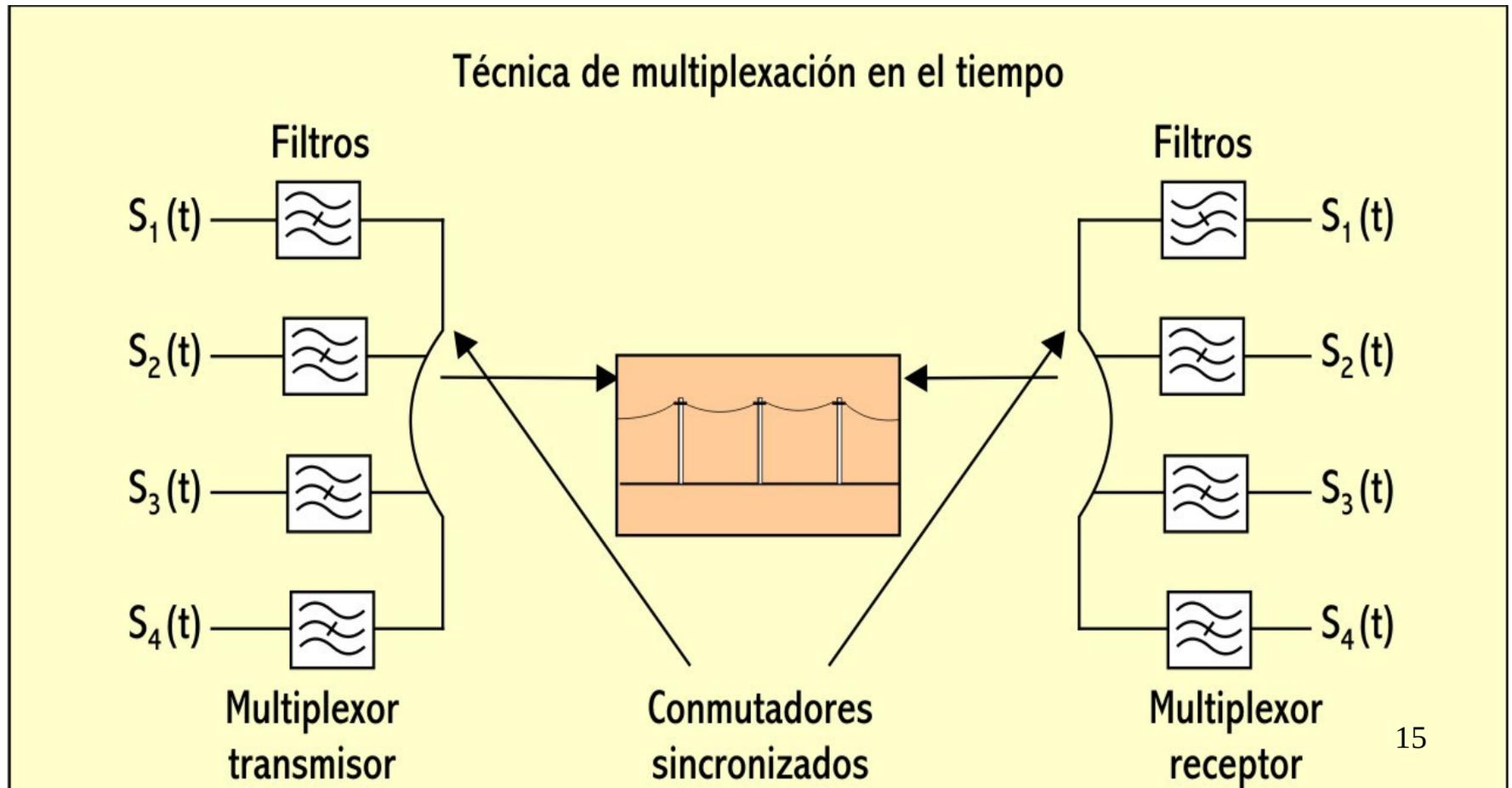


Ejemplo de esquema de funcionamiento



Funcionamiento de la TDM

La podría hacer un conmutador rotativo electrónico en el transmisor, que tome secuencialmente muestras de cada señal
En el receptor existirá otro conmutador rotativo similar, sincronizado con el del transmisor.

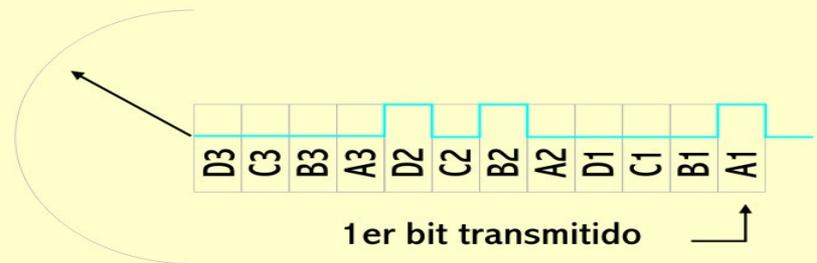
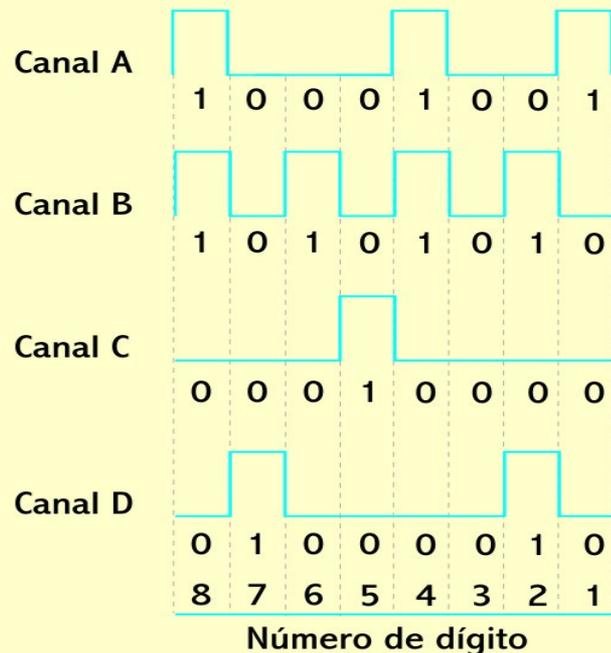


Armado de las tramas

Hay dos formas para adjudicar las ranuras de tiempo o *slots*:
Entramado de bits: cada período de tiempo o *slot* se ajusta para que transporte un solo bit de cada terminal (dígito por dígito).

Cada trama está formada por los bits de sincronismo y por un bit de cada terminal.

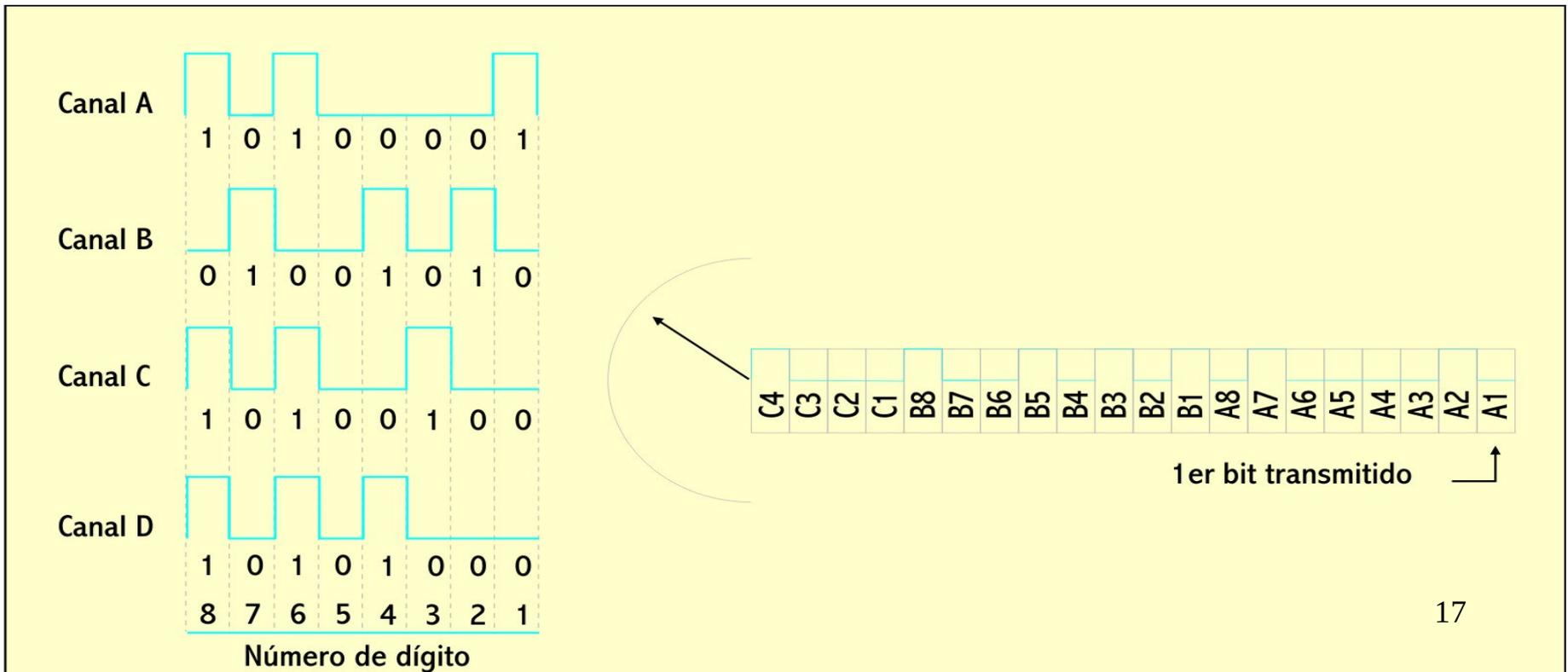
Es económico en electrónica, no requiere almacenamiento



Entramado de caracteres: se usa para señales compuestas por un grupo de caracteres que deben mantener su integridad.

La llave rotativa del multiplexor deberá detenerse en cada entrada de canal mientras está siendo transferido el carácter.

Requiere almacenamiento local mientras se espera la siguiente transferencia.



Formación de grupos básicos

En la norma europea las señales de voz se codifican en PCM en 64 kbit/s (canal E0).

Se forman grupos de 30 canales de voz y dos canales adicionales para sincronismo y señalización.

$32 \times 64 = 2.048$ kbit/s, aproximadamente 2 Mbits/s (canal E1).

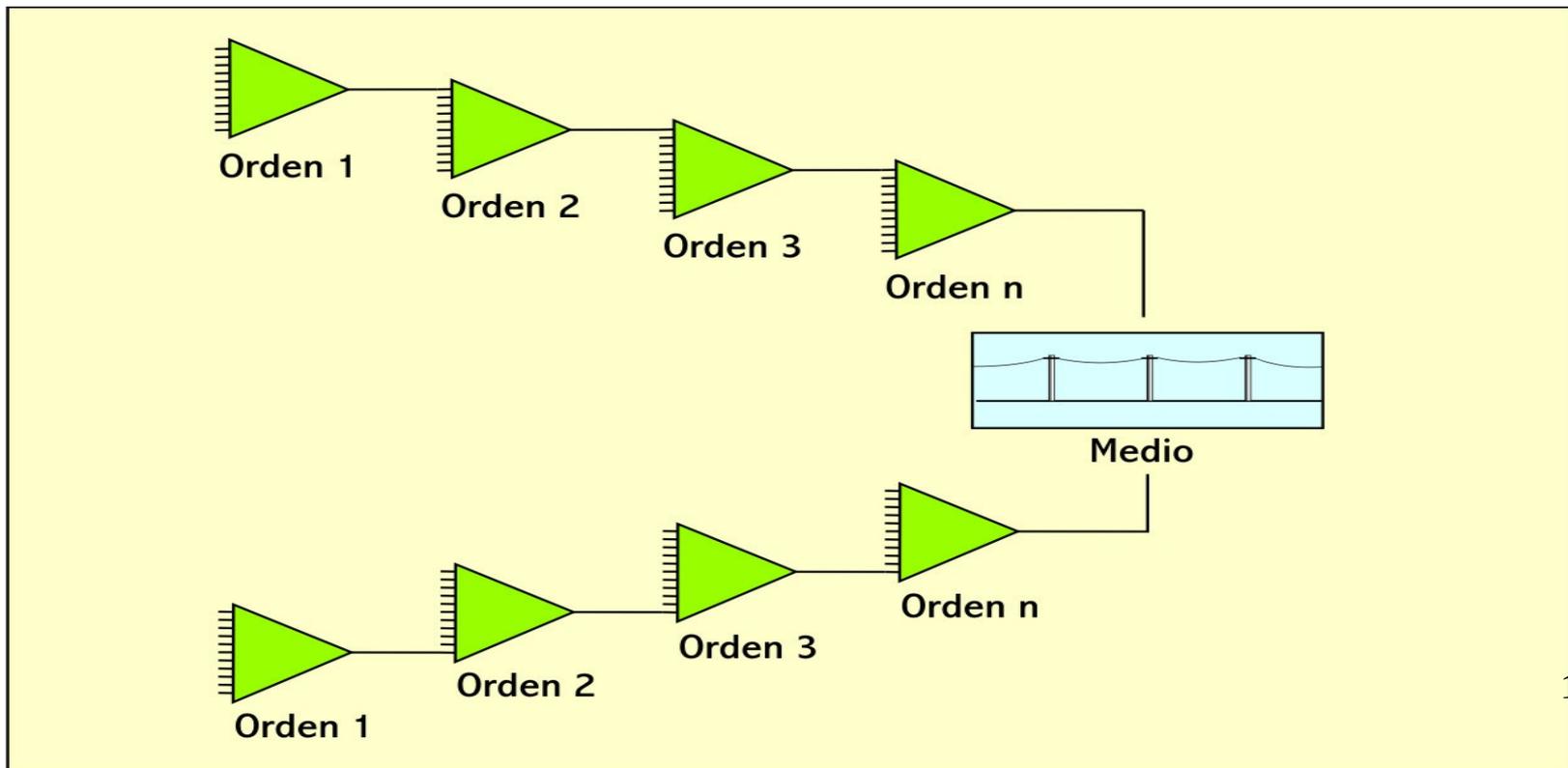
En la norma americana las señales de voz se codificaban en PCM en 56 kbit/s pero luego pasaron a 64 kbit/s (canal T0).

Se forman grupos de 24 canales de voz con un sincronismo resultando 1.544 kbit/s, aproximadamente 1,5 Mbits/s (canal T1).

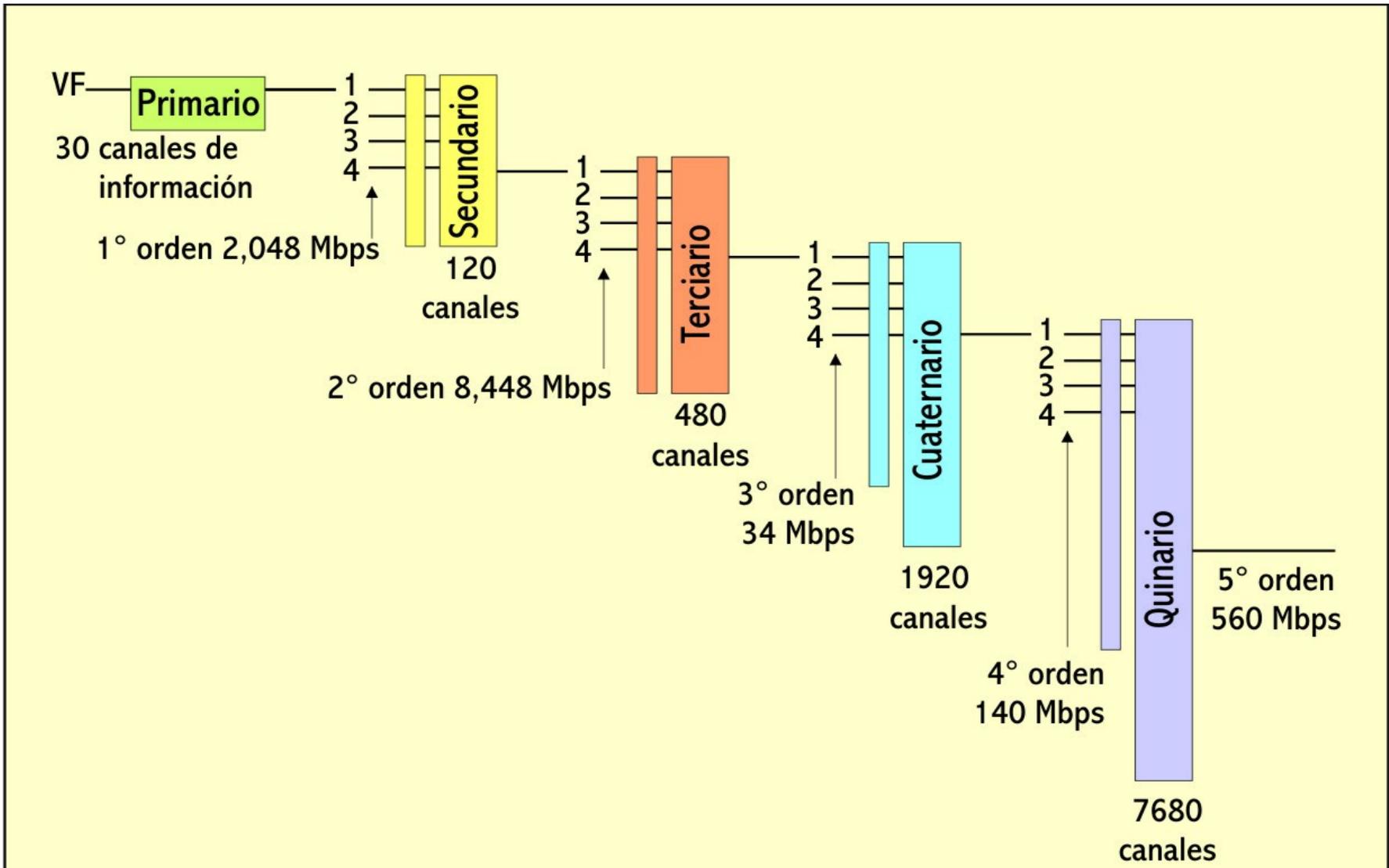
Formación de órdenes superiores de multiplexación

La primera generación de TDM son los Sistemas Plesiócronicos (casi sincrónicos) porque tienen una tolerancia amplia con las tramas (pueden variar 50 ppm).

El conjunto de los distintos niveles forma la **Jerarquía Digital Plesiócrona (UIT - T en Recomendación G.701)**.



Orden	Velocidad de transmisión	Cantidad de bits por trama	Duración de la trama μ s	N° de Canales
1	2,048 Mbps	256	125,00	30
2	8,448 Mbps	848	100,38	120
3	34,368 Mbps	1536	44,69	480
4	139,264 Mbps	2904	20,85	1920
5	564,992 Mbps	2688	4,70	7680

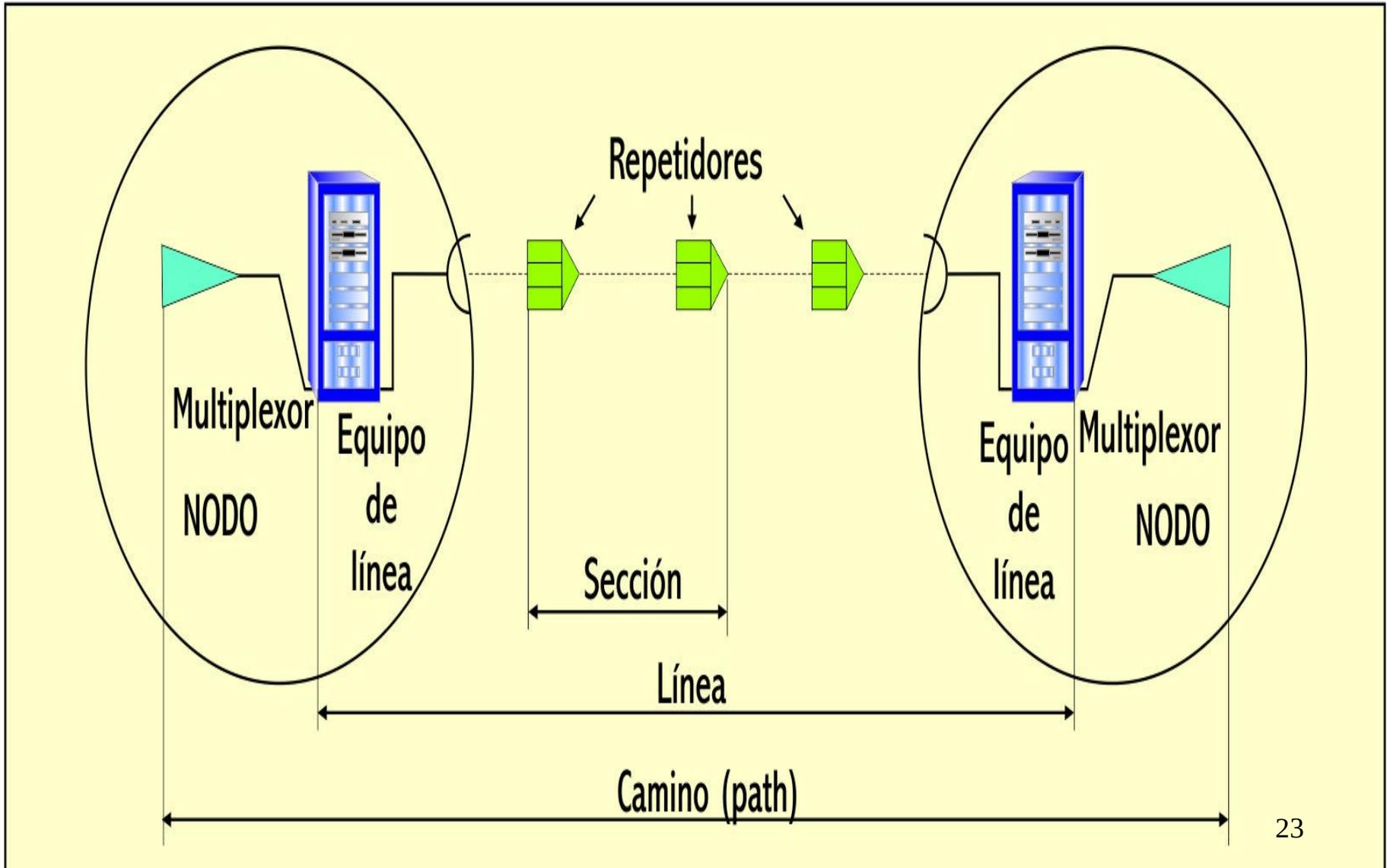


JERARQUIA DIGITAL SINCRONICA (SDH)

Transporta las señales tributarias PDH y nuevos servicios. Hay cinco niveles jerárquicos que parten de una velocidad básica 155,22 Mbps.

Denominación	Velocidad exacta	N	Número de canales	Velocidad simplificada
STM - 1	155,520 Mbps	1	1.890	155 Mbps
STM - 4	622,060 Mbps	4	7.560	620 Mbps
STM - 16	2488,320 Mbps	26	30.240	2,5 Gbps
STM - 64	9953,280 Mbps	64	120.960	10 Gbps
STM - 256	39813,120 Mbps	256	483.840	40 Gbps ²²

Esquema de sistema SDH

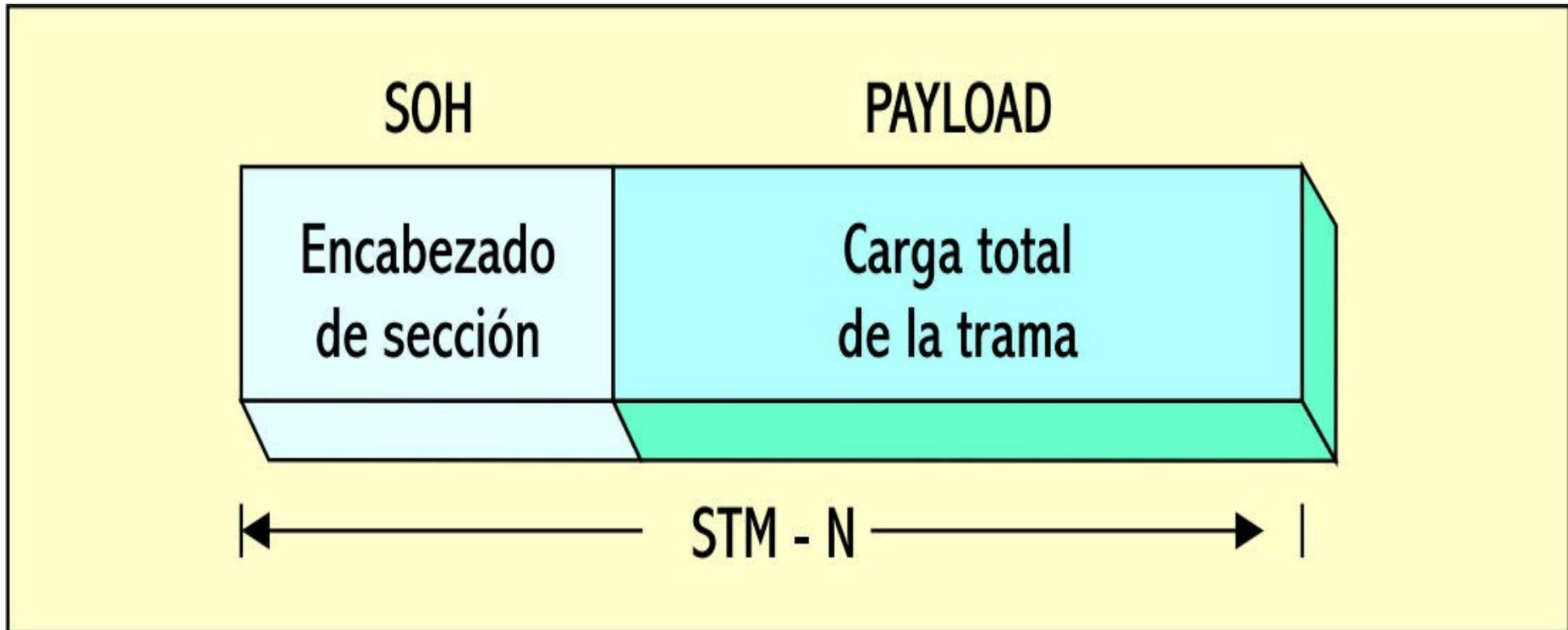


Tramas SDH

Las tramas SDH se analizan en dos dimensiones.

La trama STM - N (Módulo para el Transporte Sincrónico para el nivel N) tiene dos secciones:

- Section Overhead - SOH* (encabezado de sección)
- Payload* (capacidad total de carga de la trama).

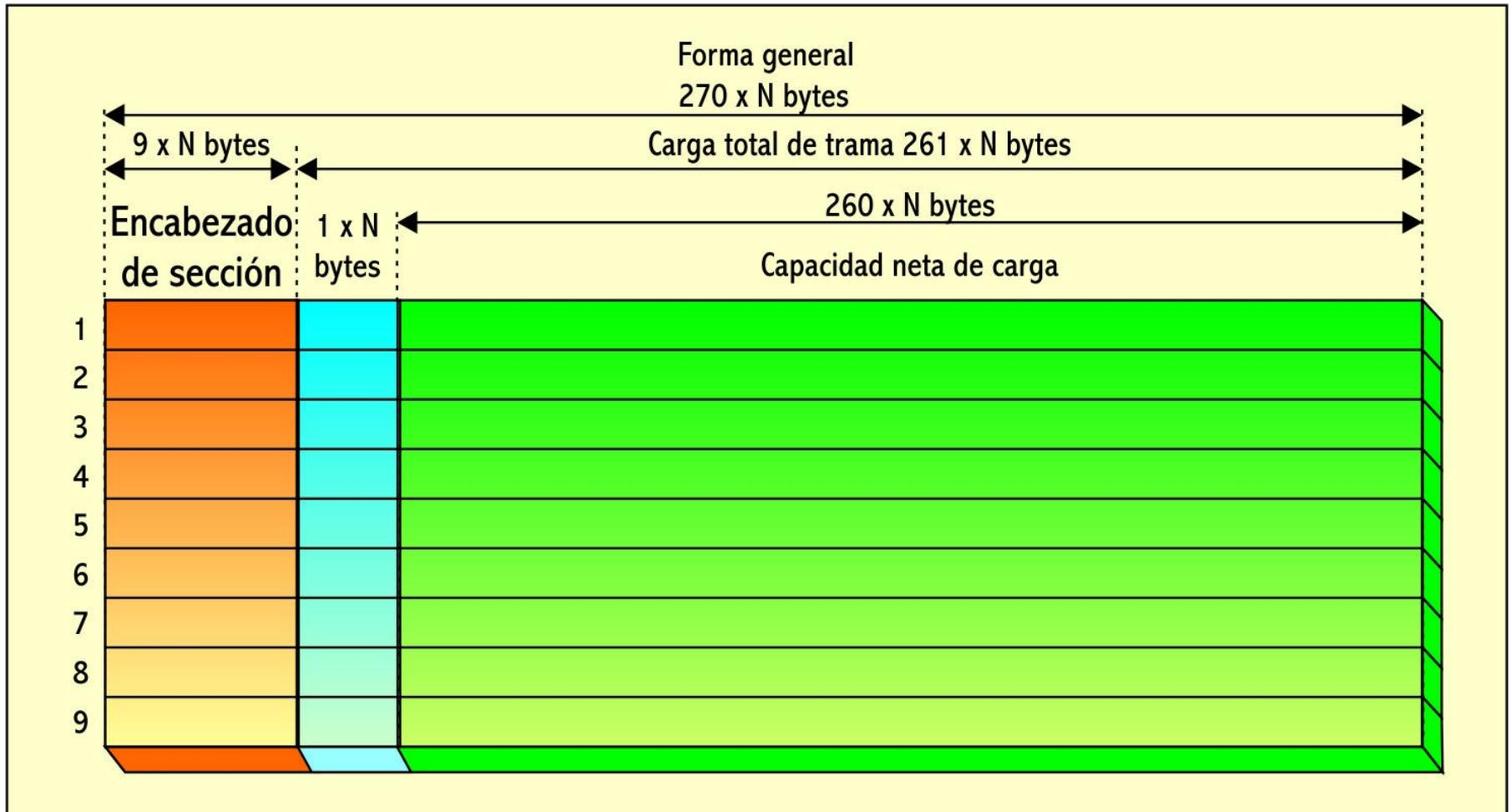


Módulo de Transporte Sincrónico STM – 1

-tiene 270 columnas de 9 bytes = 2.430 bytes/trama

-hay 8 bits por byte y 8.000 tramas por segundo

-luego son $2.430 \times 64.000 = 155,520$ Mbps



Contenedores virtuales

El sistema SDH puede transportar señales multiplexadas por equipos PDH mediante Contenedores Virtuales (VC) que permiten transportar la información útil (Capacidad Neta de Carga).

Número	Designación del Contenedor	Velocidad de la multiplexación PDH
1	VC - 11	1,544 Mbps
2	VC - 12	2,048 Mbps
3	VC - 2	6,048 Mbps
4	VC - 3	34,368 y 44, 736 Mbps
5	VC - 4	139,264 Mbps

La capacidad total neta de carga de una trama se podrá llenar con variadas combinaciones de contenedores que podrán transportar sistemas tributarios plesiócronicos de orden inferior. Se pueden formar contenedores de orden superior con combinaciones de orden inferior.

Contenedor Virtual	Combinaciones posibles con otros valores
VC - 4 - 139,264 Mbps	Una señal cuaternaria plesiócrona de igual valor Tres contenedores VC - 3 (34,368 ó 44,736 Mbps)
VC - 3 - 34,368 ó 44,736 Mbps	7 contenedores VC - 2 28 contenedores VC - 11 21 contenedores VC - 12 Combinaciones de los anteriores, sin superar el valor máximo

SONET

Es la versión americana del SDH con distintas tramas y velocidades.

La Jerarquía SONET comienza en STS-1 (51,84 Mbps).

Los niveles se denominan "OC - n" (Optical Carrier).

NIVELES		VELOCIDADES		
OPTICO	ELECTRICO	ENCABEZAMIENTO	UTIL	TOTAL
OC - 1	STS - 1	1,728 Mbps	50,112 Mbps	51,840 Mbps
OC - 3	STS - 3	5,184 Mbps	150,336 Mbps	155,520 Mbps
OC - 9	STS - 9	15,552 Mbps	451,008 Mbps	466,560 Mbps
OC - 12	STS - 12	20,736 Mbps	601,334 Mbps	622,080 Mbps
OC - 18	STS - 18	31,104 Mbps	902,016 Mbps	933,120 Mbps
OC - 24	STS - 24	41,472 Mbps	1.202,688 Mbps	1.244,160 Mbps
OC - 36	STS - 36	62,208 Mbps	1.804,032 Mbps	1.866,240 Mbps
OC - 48	STS - 48	82,994 Mbps	2.405,376 Mbps	2.488,320 Mbps
OC - 96	STS - 96	165,888 Mbps	4.810,752 Mbps	4.976,640 Mbps
OC - 192	STS - 192	331,776 Mbps	9.621,504 Mbps	9.953,280 Mbps
OC - 768	STS - 768	1.327,104 Mbps	38.486,016 Mbps	39.813,120 Mbps

Multiplexación por división de tiempo estadística

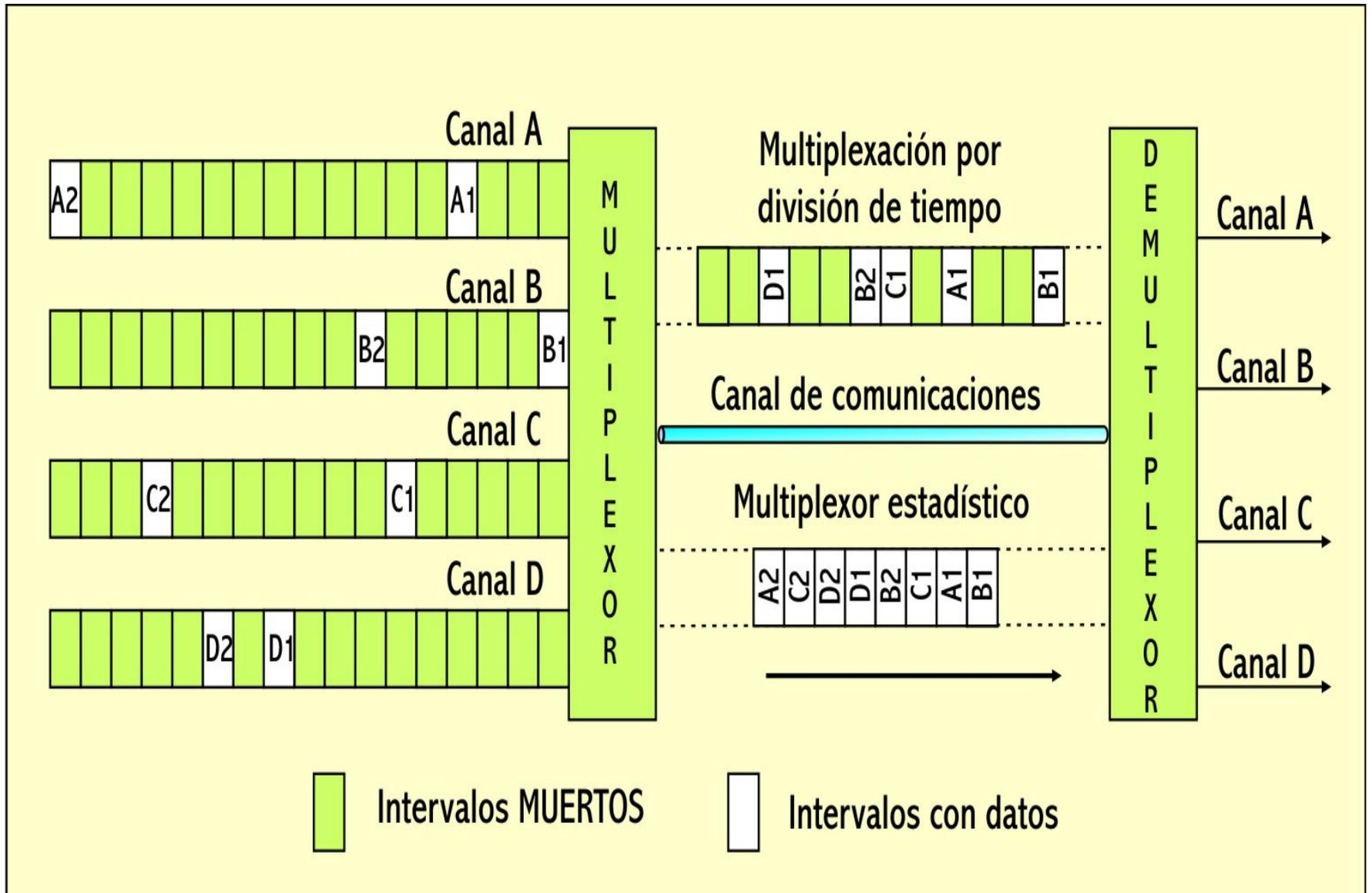
Statistical Time Division Multiplexing (STDM), es una variante de la **TDM** que trata de aprovechar los tiempos muertos de transmisión en las líneas.

Se denominan **estadísticos** por asignar un régimen de tiempo de transmisión a los terminales según una base estadística y no **igual valor temporal para cada equipo terminal**.

La base estadística se determina en función de la actividad de los terminales.

Se pueden aprovechar todos los segmentos de transmisión.

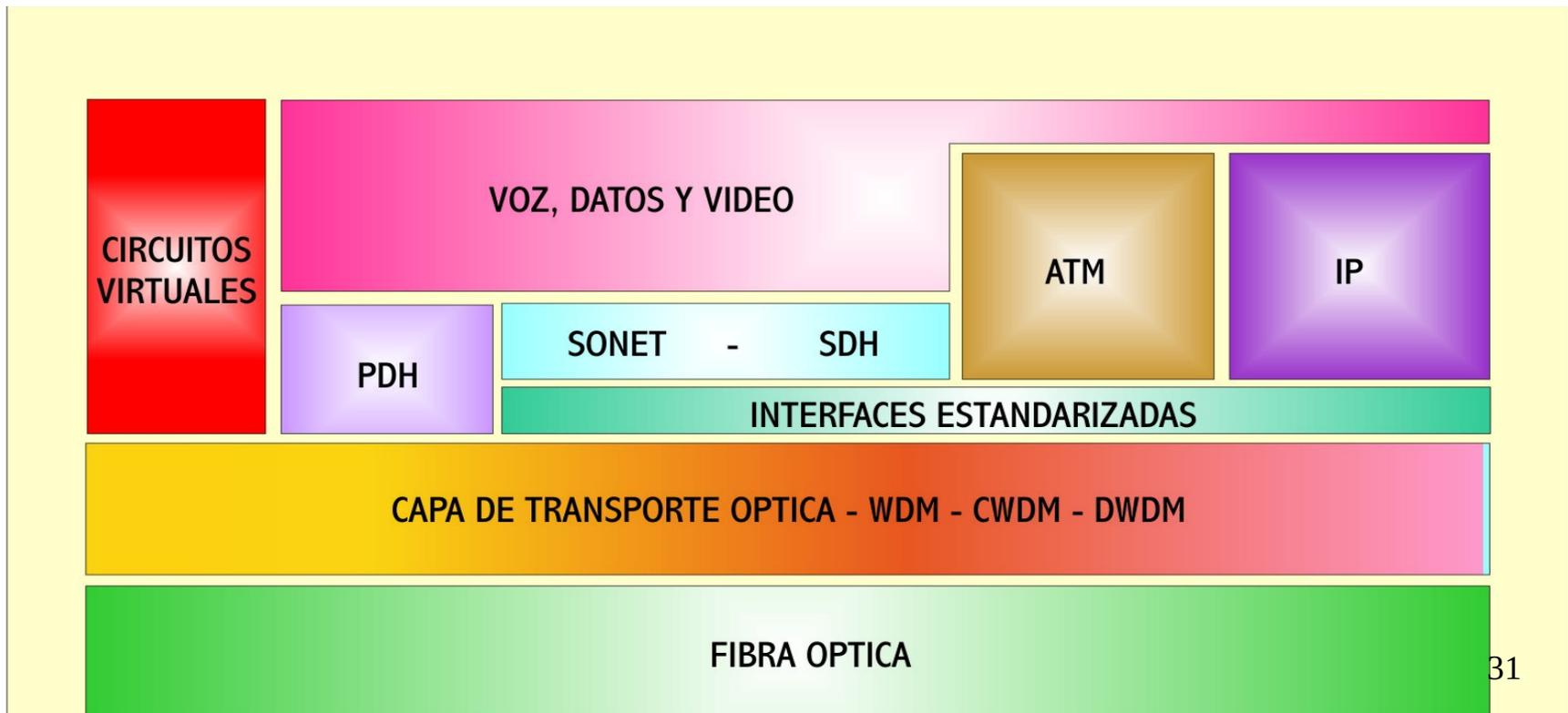
Se reduce el número de caracteres de sincronismo utilizando tramas largas.



REDES OPTICAS

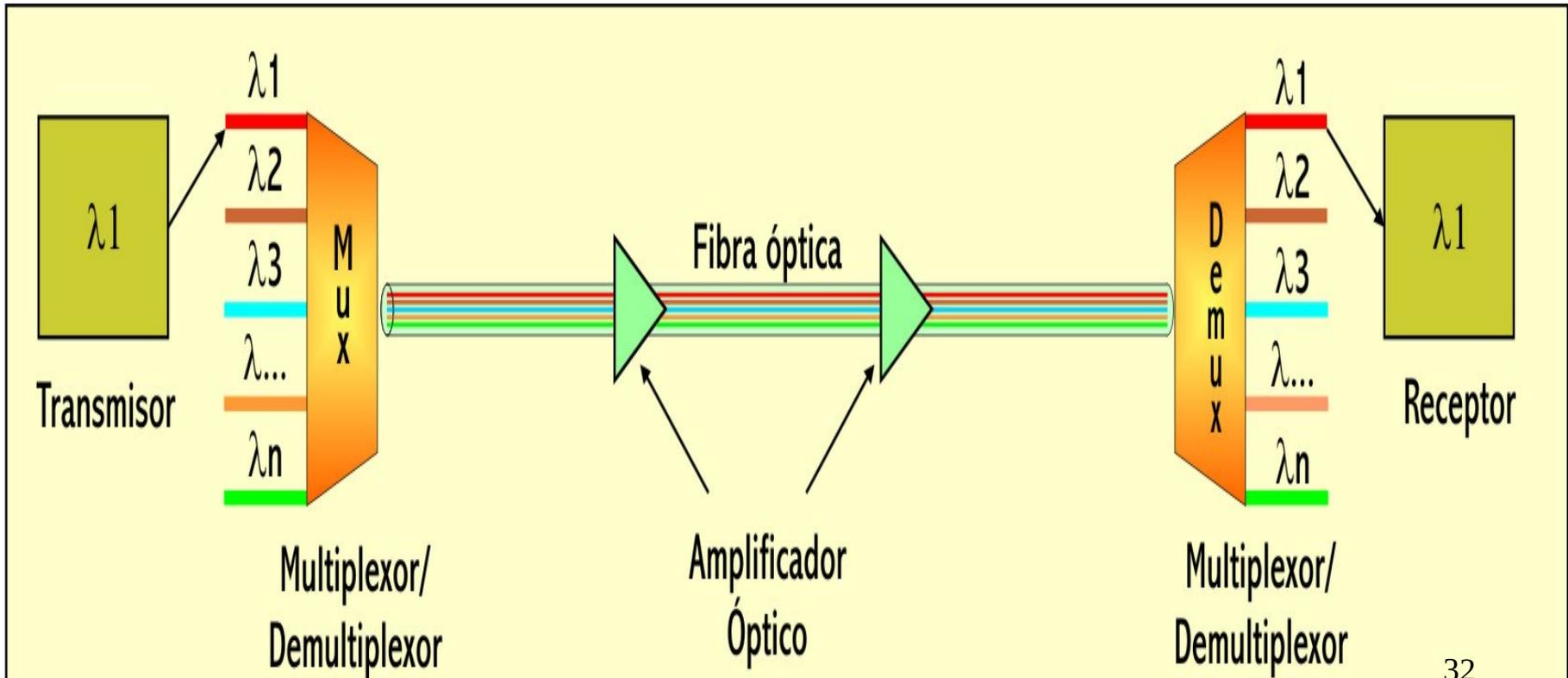
Nodos interconectados por enlaces de fibra óptica que proporcionan funciones de transporte, multiplexación, enrutamiento y gestión (Capa de Transporte Óptica).

Sobre la misma funcionan diversas tecnologías que la usan como Capa Física del Modelo OSI (Recomendación G.872).



La Capa de Transporte Óptico permite brindar servicio a distintas capas de diferentes protocolos (ATM, IP, SDH).

La Capa de Transporte Óptico requiere fibras ópticas, transponder (convertidores de longitud de onda), multiplexores ópticos, amplificadores, preamplificadores y otros dispositivos.



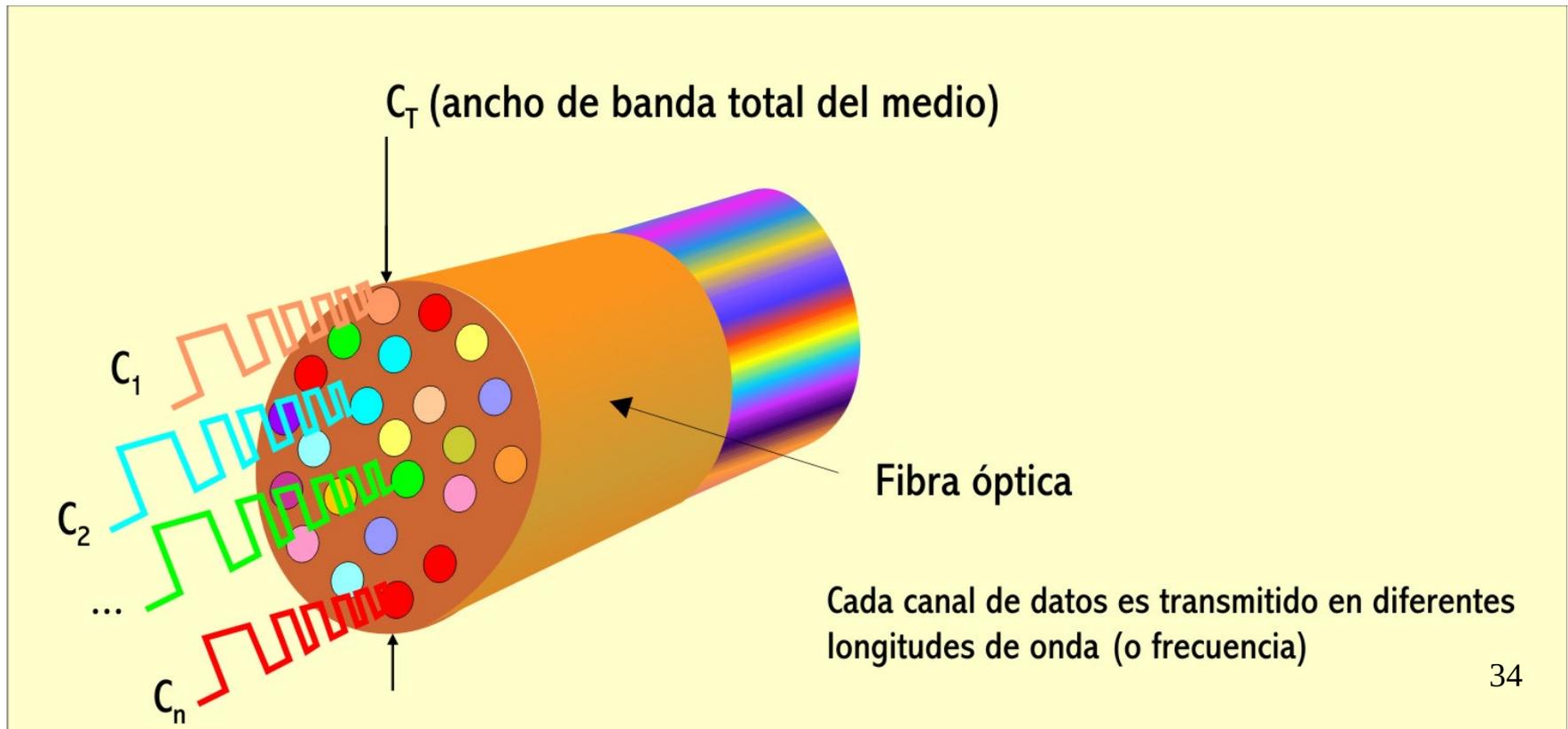
Ventajas de las redes ópticas

- Grandes anchos de banda.
- Compatibles con los servicios de voz, datos y vídeo.
- Avances tecnológicos continuos, en especial en DWDM.
- Cables contruidos con muchas fibras .
- Son inmunes a las interferencias electromagnéticas.
- Poseen tasas de errores reducidas.
- Atenuación muy baja, permite grandes distancias sin amplificadores.
- Mayor seguridad que los enlaces de cable de cobre o los inalámbricos.

Multiplexación por división de longitud de onda

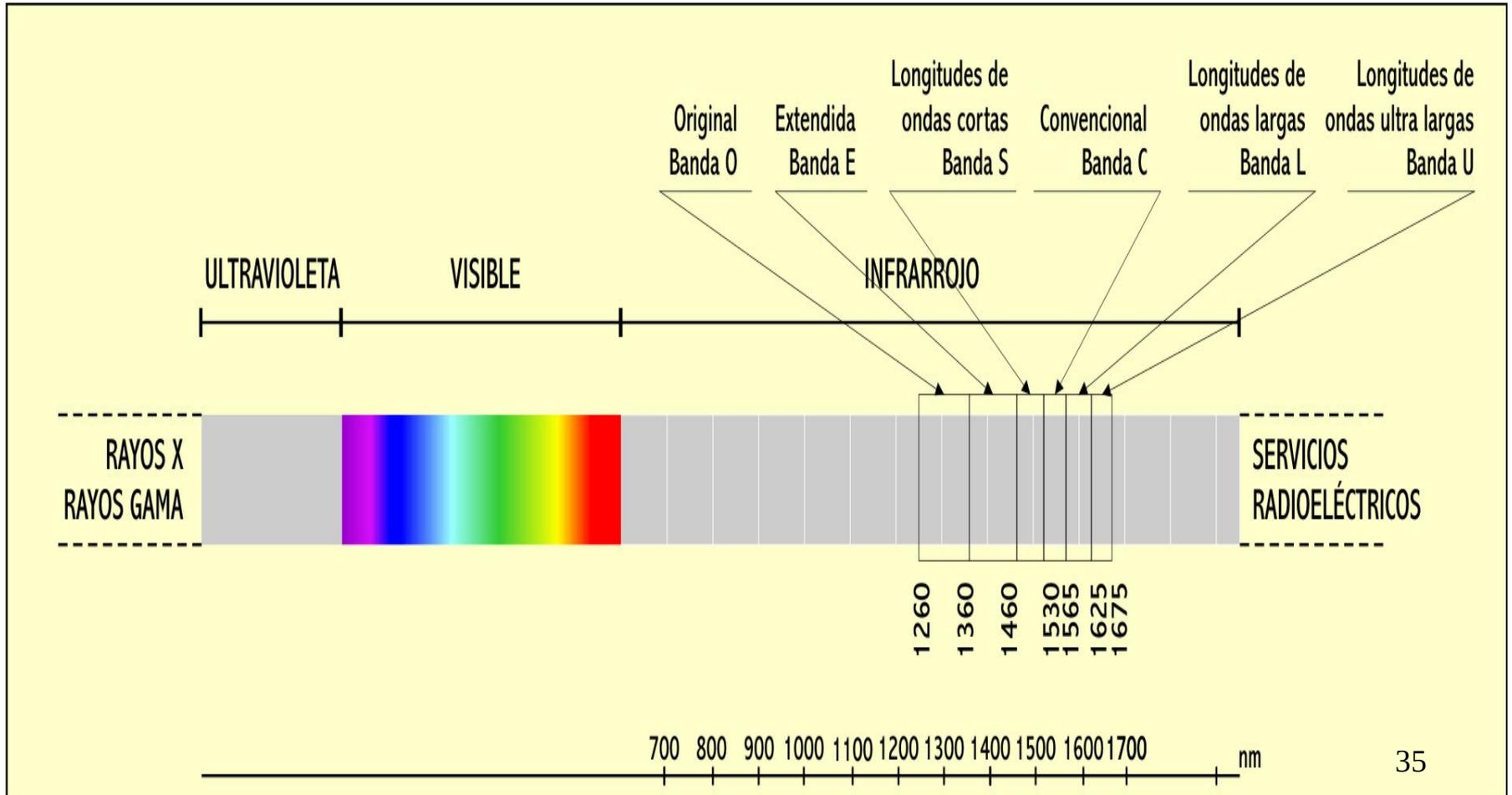
En el rango de las frecuencias muy elevadas usadas para los rayos de luz, se habla de la longitud de onda más que de la frecuencia.

Se puede enviar por una única fibra óptica varios canales diferentes, cada uno con su propia longitud de onda.

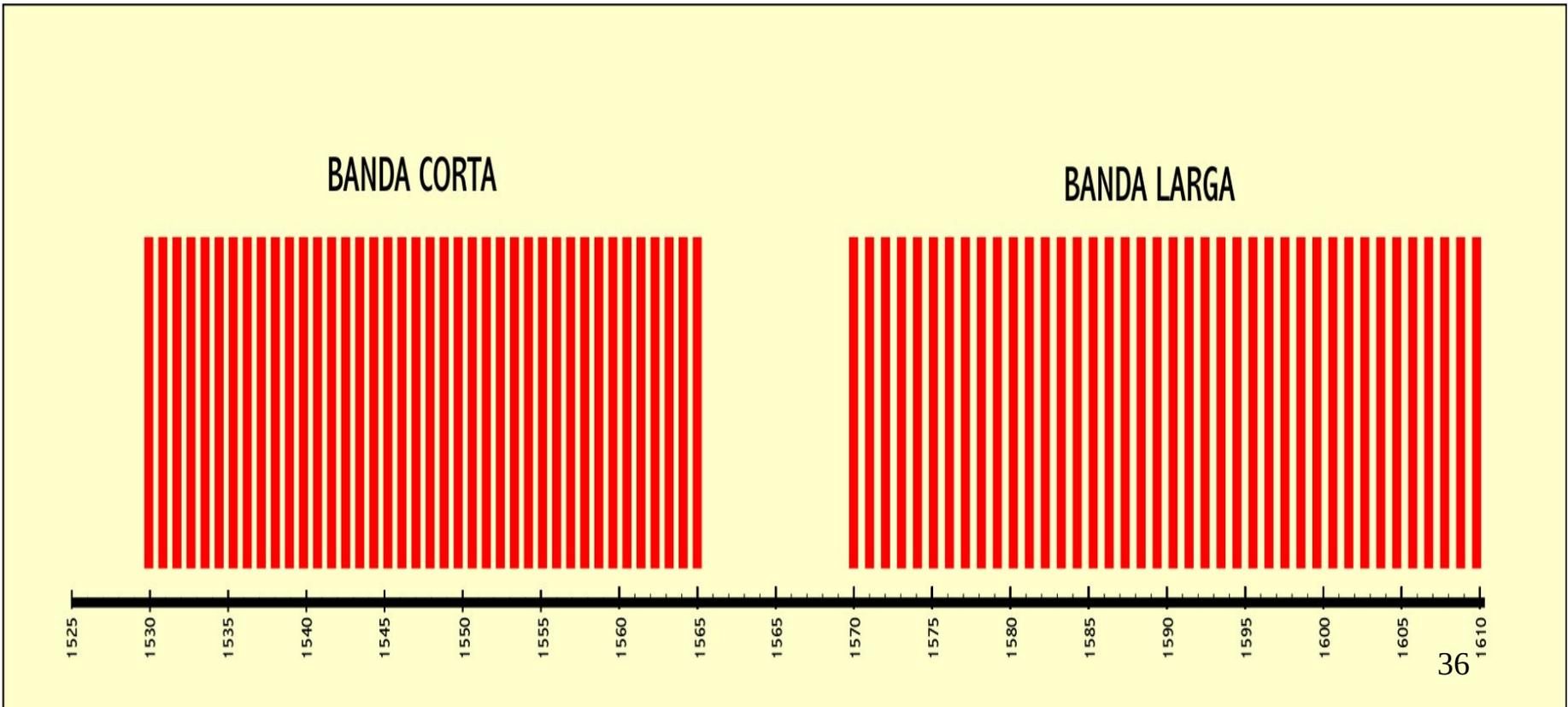


Sistemas ópticos WDM

Hacen multiplexación por división de longitud de onda para tener muchos canales por la misma fibra.



Con atenuación media de 0,2 dB/km se logra 200 Mbps en enlaces de 43 a 50 km en modo bidireccional (un par de fibras). Se puede multiplexar la longitud de onda inicialmente en ocho canales, posteriormente en diez y luego a cuarenta operando en la banda C (tercera ventana).

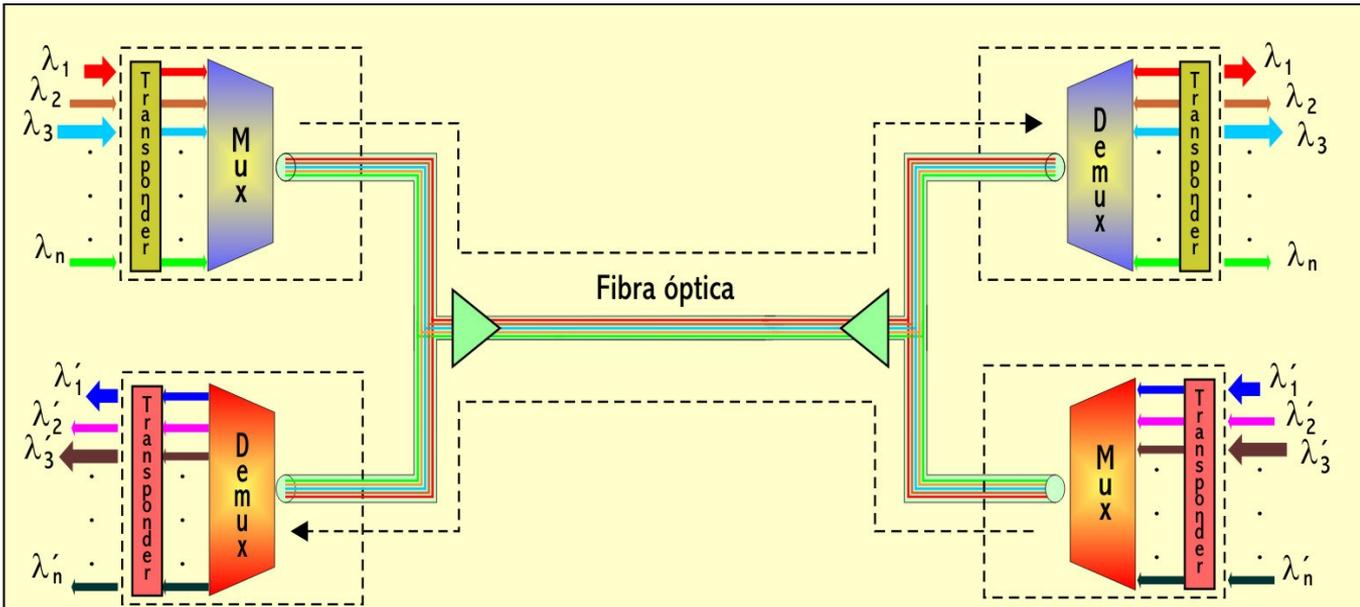
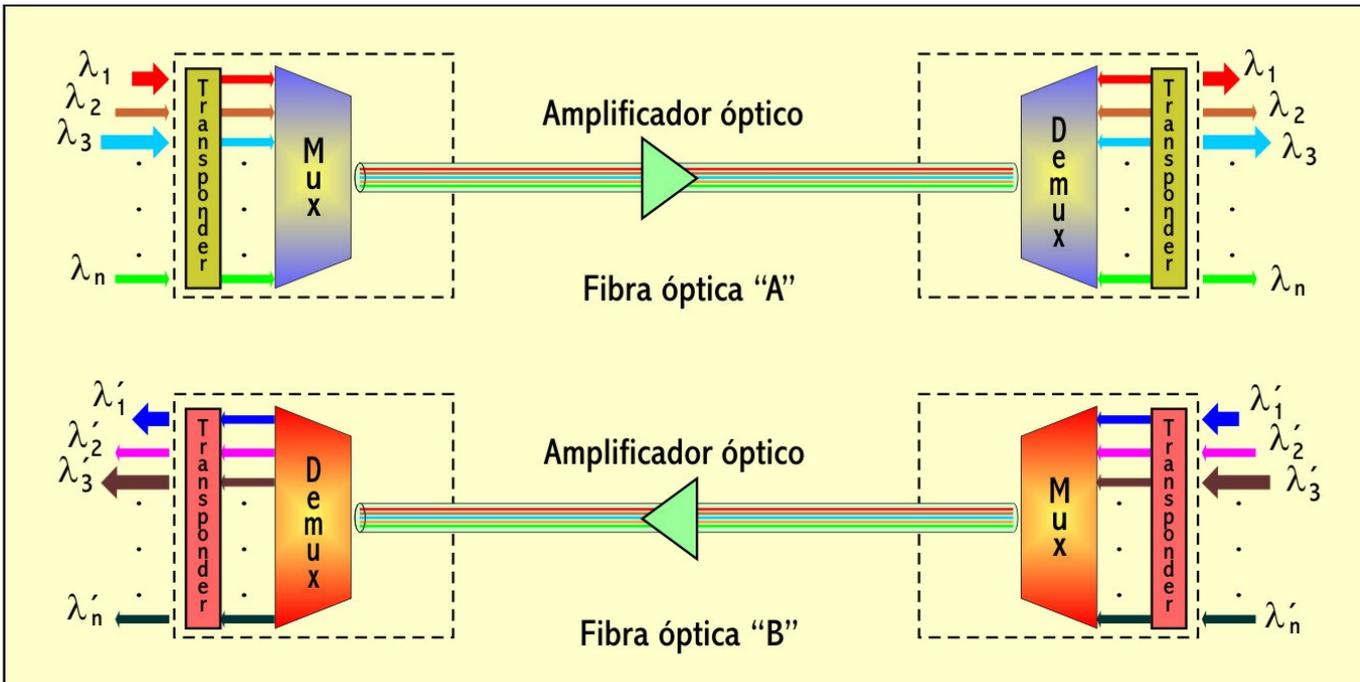


Los sistemas WDM sobre una única fibra pueden funcionar en forma unidireccional o bidireccional (en dos ventanas)

Usando una sola ventana para la transmisión en ambos sentidos se deben utilizar dos fibras: una para transmisión y otra para recepción.

Las normas que utilizan los fabricantes se denominan:

- DWDM (*dense*) Multiplexación Densa
- CWDM (*coarse*) Multiplexación Gruesa



Capacidad de las fibras

DWDM permite distintas configuraciones:

- 40 canales separados a 100 GHz
- 80 canales separados a 50 GHz
- 160 canales separados a 25 GHz.

Cuanto mayor es el número de canales, menor es la velocidad a la que se puede transmitir por cada uno.

Hay sistemas de distintos fabricantes:

- 80 canales de 2,5 Gbps (200 Gbps en total)
- 40 canales de 10 Gbps (400 Gbps)
- 80 canales de 10 Gbps (800 Gbps).

Amplificadores ópticos

La propagación a través del sistema sufre atenuaciones debido a las fibras, los acopladores, multiplexores, *transponder*, etc.

Para restaurar el nivel de calidad se utilizan regeneradores que convierten señales ópticas a eléctricas y nuevamente en ópticas.

Actualmente se usan **amplificadores ópticos** que no requieren la conversión óptica- eléctrica-óptica y permite transmitir señales ópticas a distancias mucho mayores.

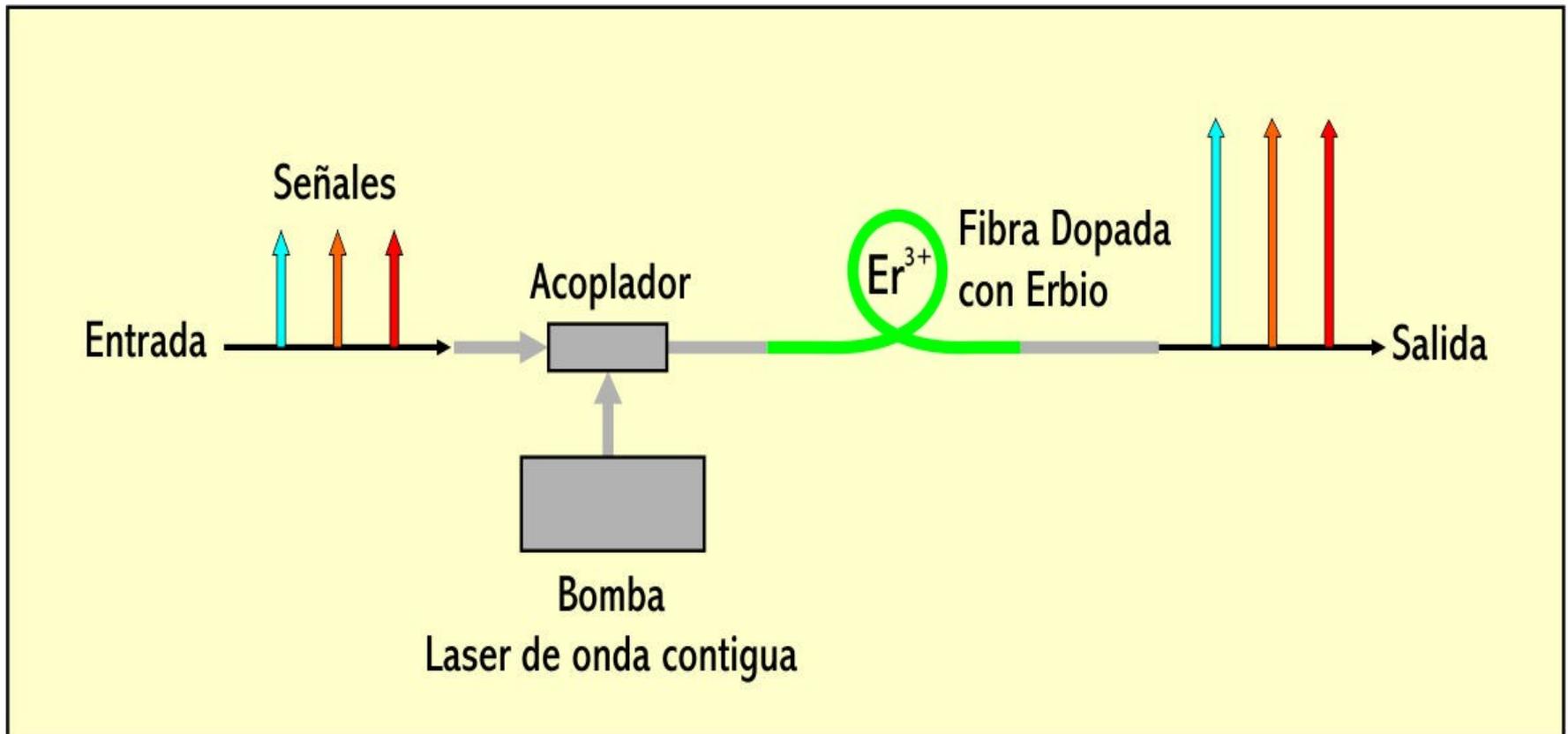
Hay de tres tipos:

- de fibra dopada
- Raman
- semiconductores

Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA)

Usan fibras dopadas con tierras raras, en particular erbio ionizado en forma trivalente (erbio Er^{3+}).

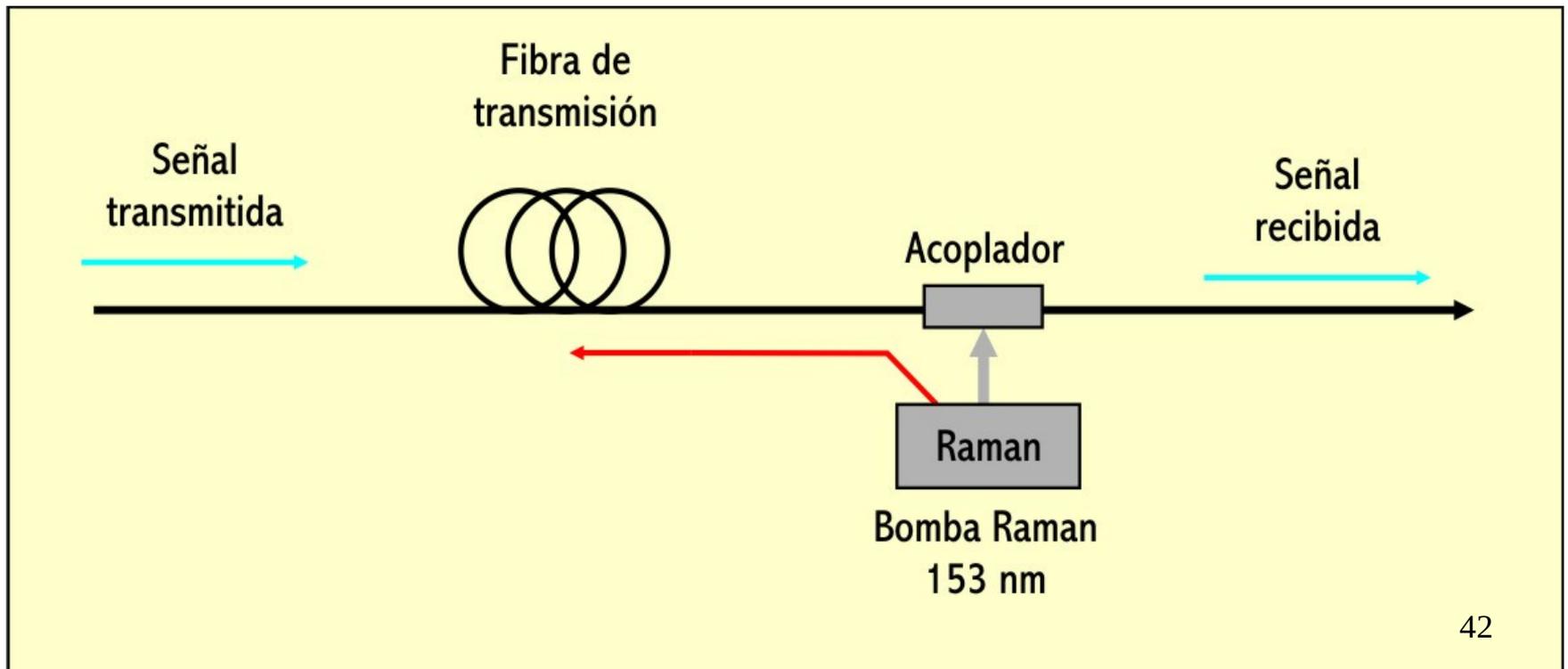
Utilizan el fenómeno de emisión estimulada, que se concentra en la misma dirección y sentido del haz de luz que actúa como estimulador.



Amplificador de Raman

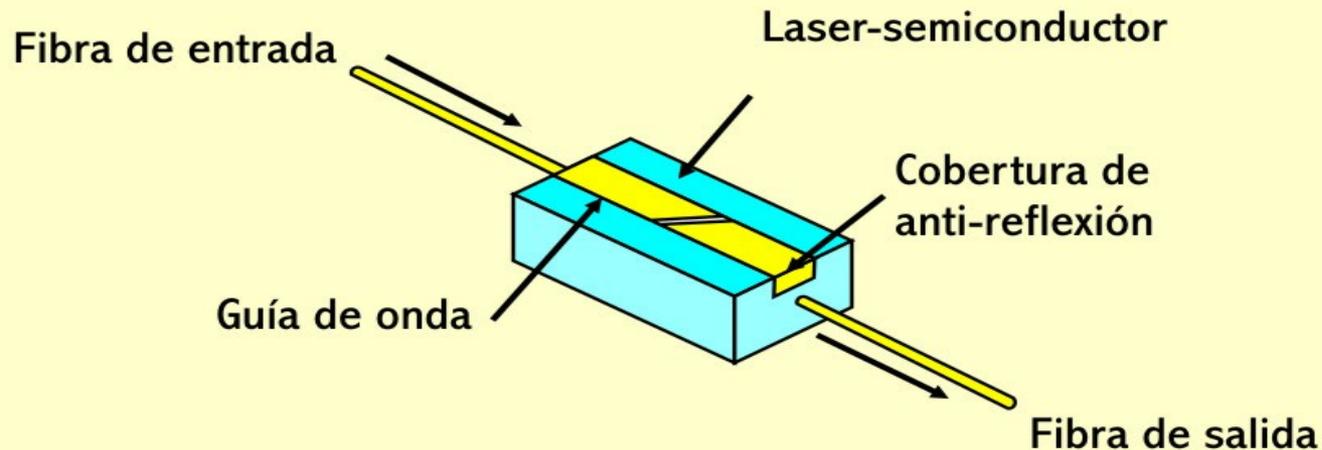
Utilizan el efecto Raman que es una interacción no lineal entre la señal óptica y una señal generada por una bomba de gran potencia implementada con diodos láser.

Las fibras monomodo usadas con amplificadores Raman no requieren ser dopadas con tierras raras.



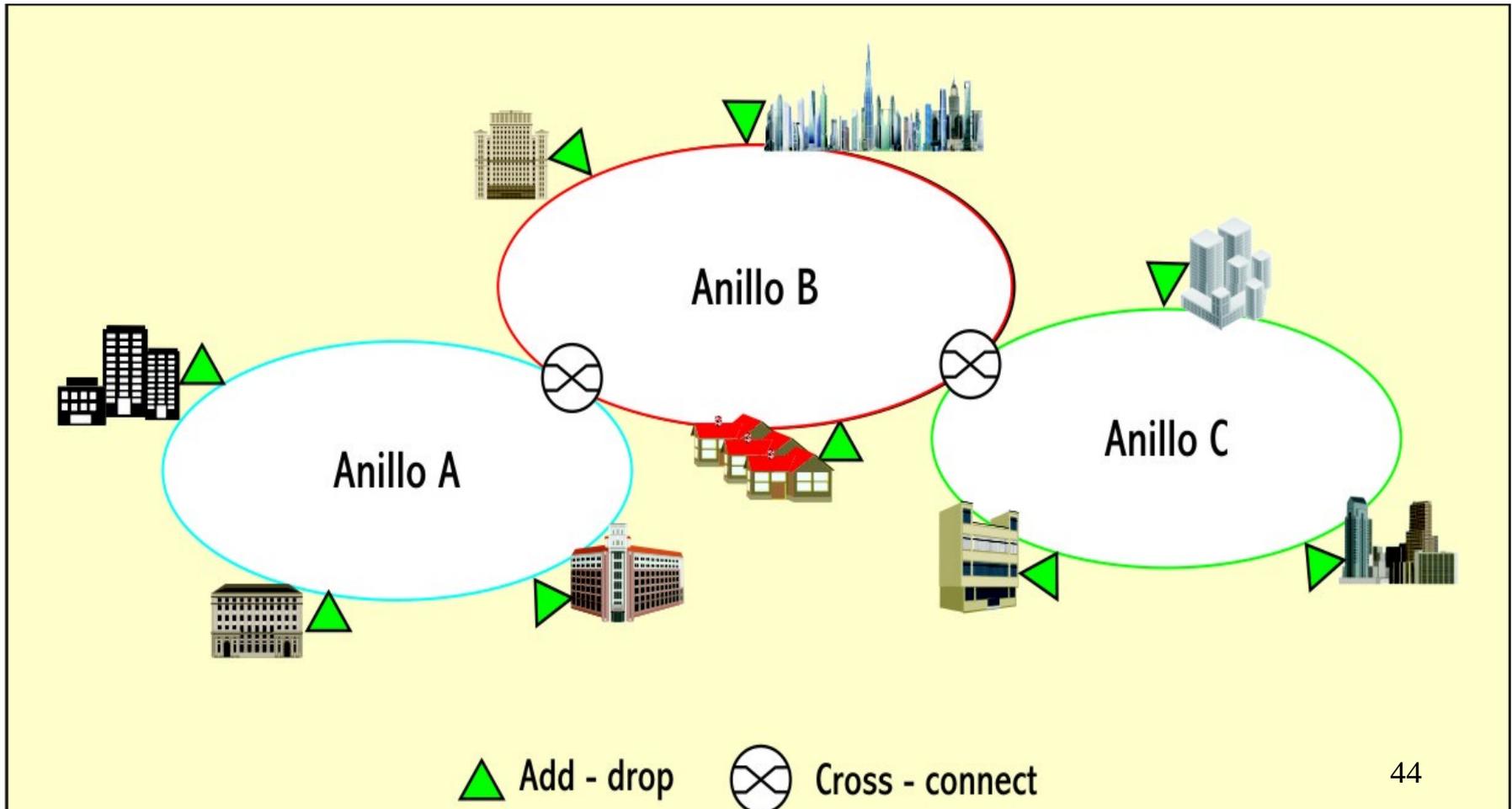
Amplificador óptico de semiconductores

Son diodos láser sin espejos finales con fibras unidas en cada extremo. Poseen una capa antireflectante y una guía de onda cortada en ángulo para evitar que se comporte como un láser. Comparados con los EDFA, tienen menos ganancia, altas pérdidas por acoplamiento, mayor factor de ruido, fuerte dependencia de la polarización y un comportamiento alineal.



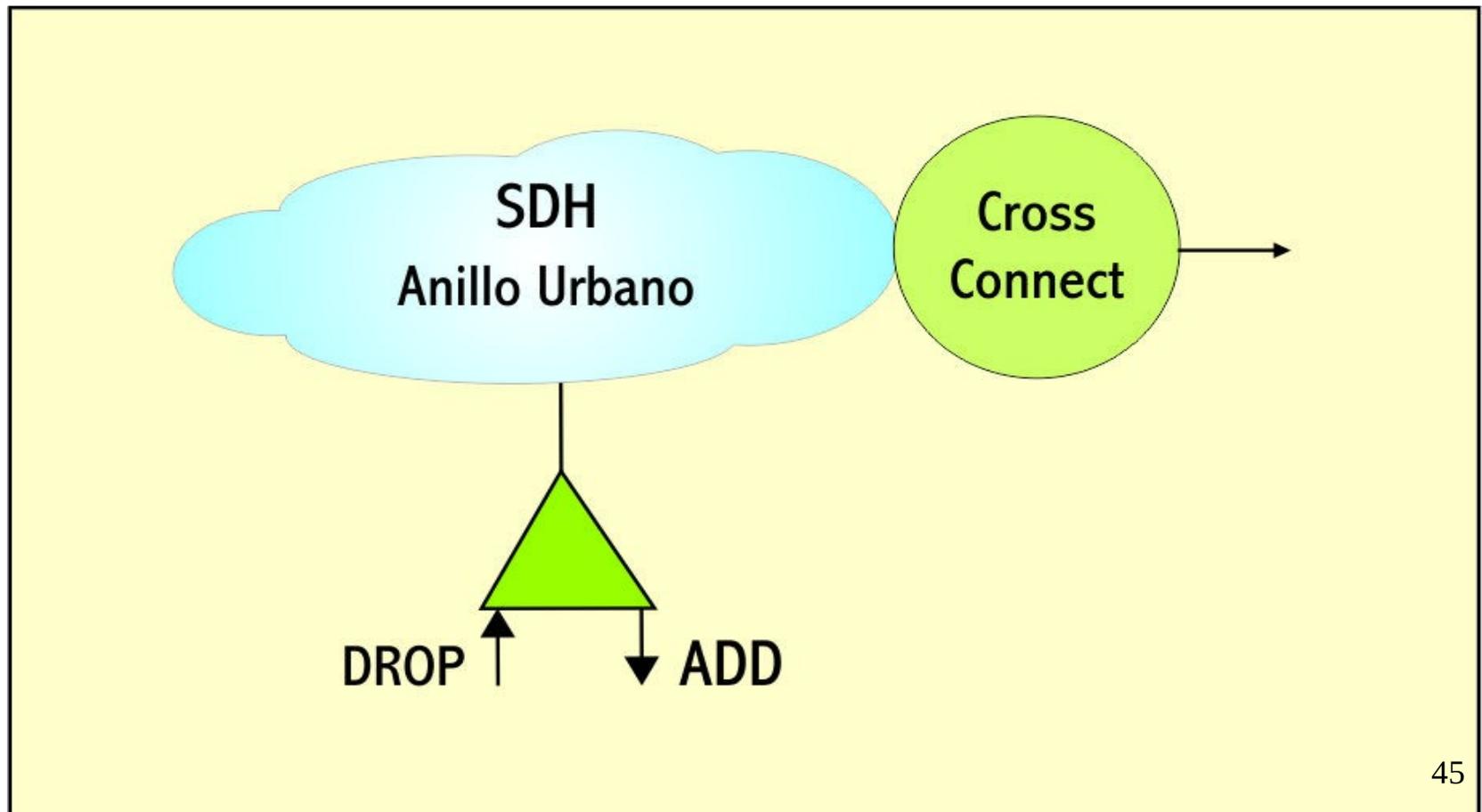
Comunicaciones por redes ópticas

Las fibras ópticas se utilizan en Redes de Área Local, en anillos ópticos y en enlaces punto a punto.

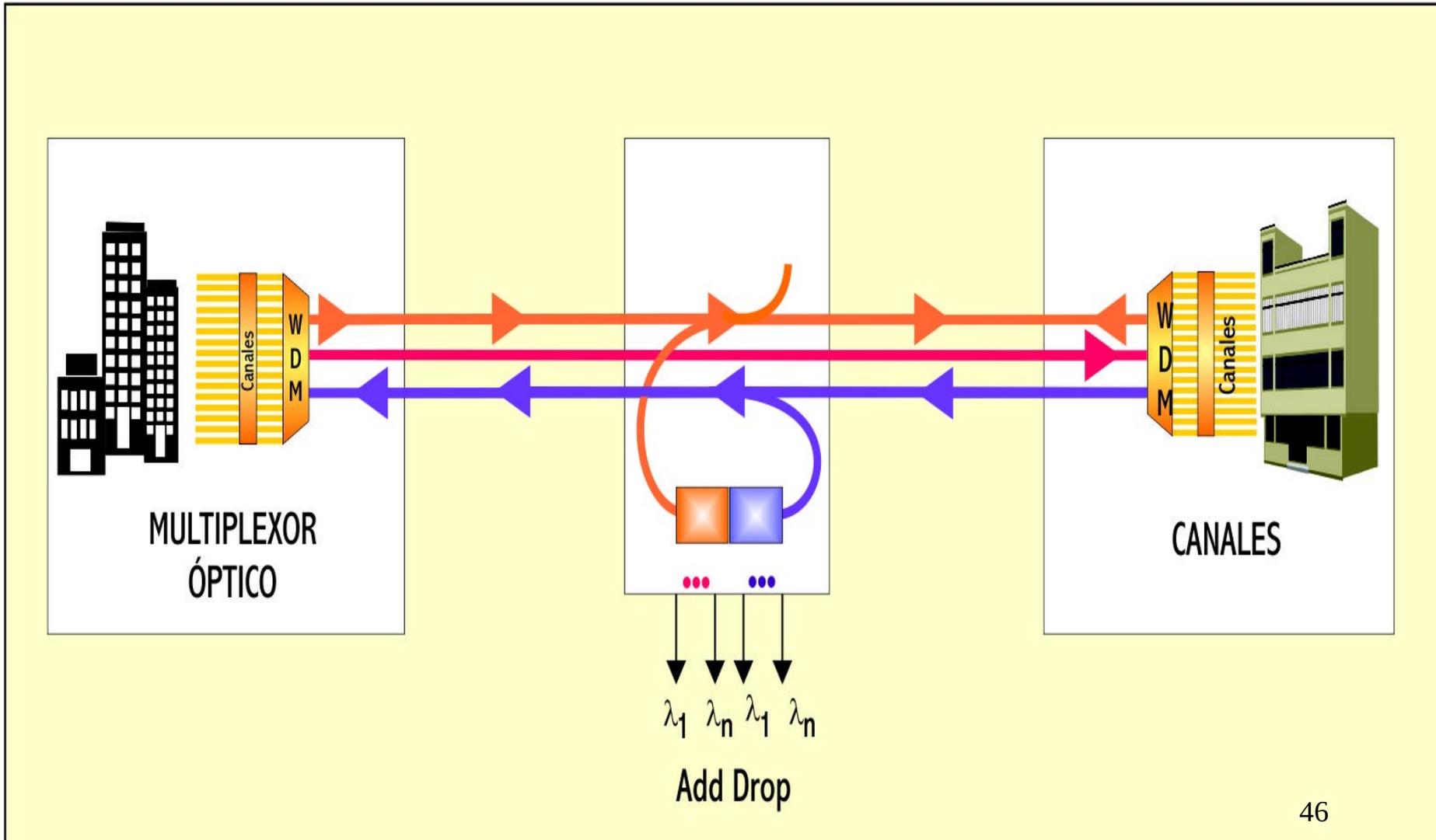


En enlaces punto a punto donde las fibras usen WDM en cada extremo se instalan terminales multiplexores para extraer los canales que transporta cada fibra.

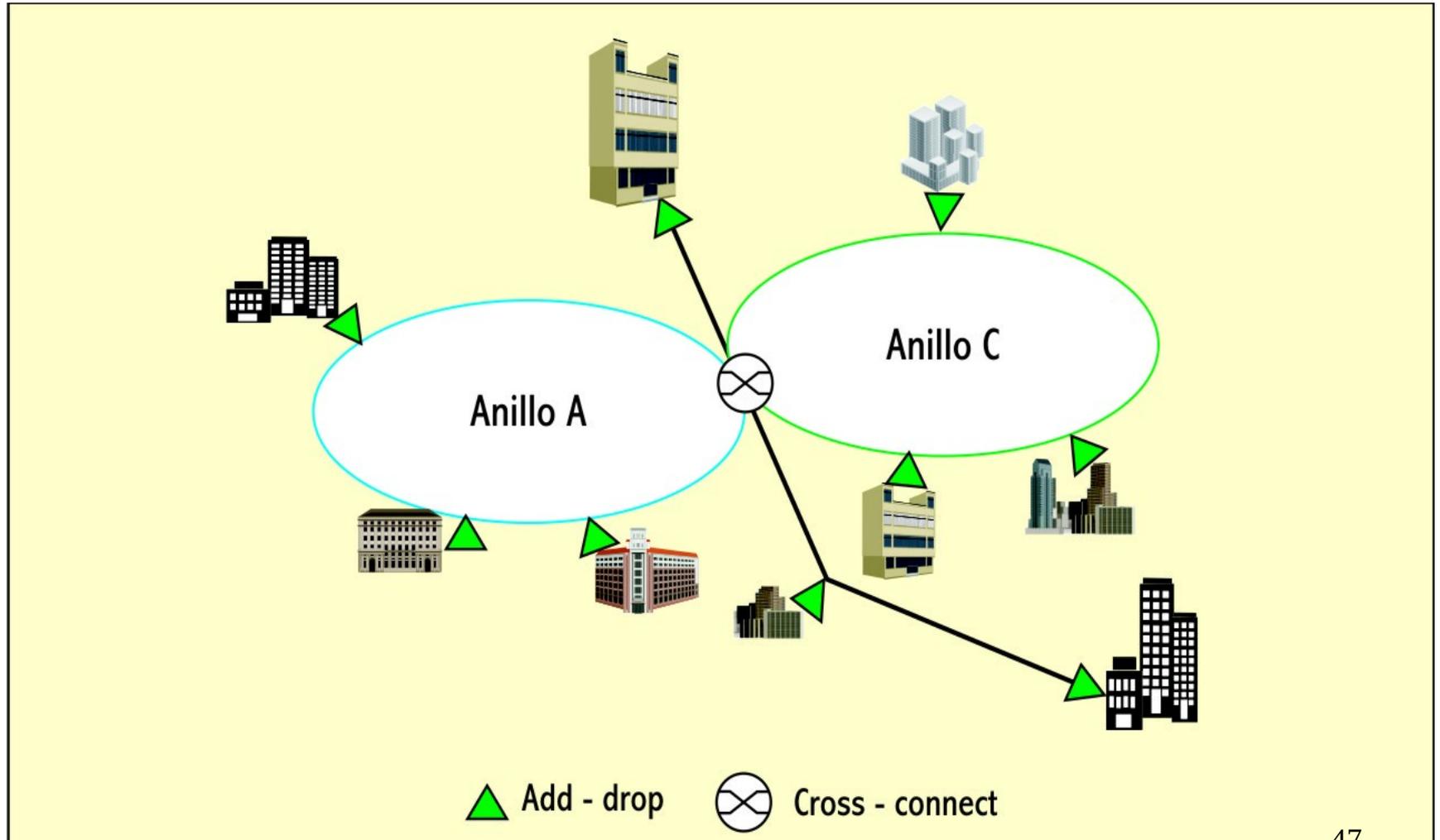
Hay equipos ***crossconnect*** y ***add/drop*** con un anillo óptico.



Enlaces punto a punto con derivaciones add/drop en la mitad del recorrido.



Enlace con derivaciones usando equipos cross-connect y add/drop.



Funciones de transporte y conmutación

Las redes con anillos ópticos permiten que ante un corte en una parte del anillo, el tráfico automáticamente se redirecciona para que las dos partes en las que el anillo quedó dividido permanezcan con servicio.

Los tiempos para esta conmutación son menores a los 50 milisegundos.

Los equipos cross-connect permiten:

- la conmutación de las tramas, o parte de ellas
- transportar tramas desde un anillo hacia otro anillo adyacente

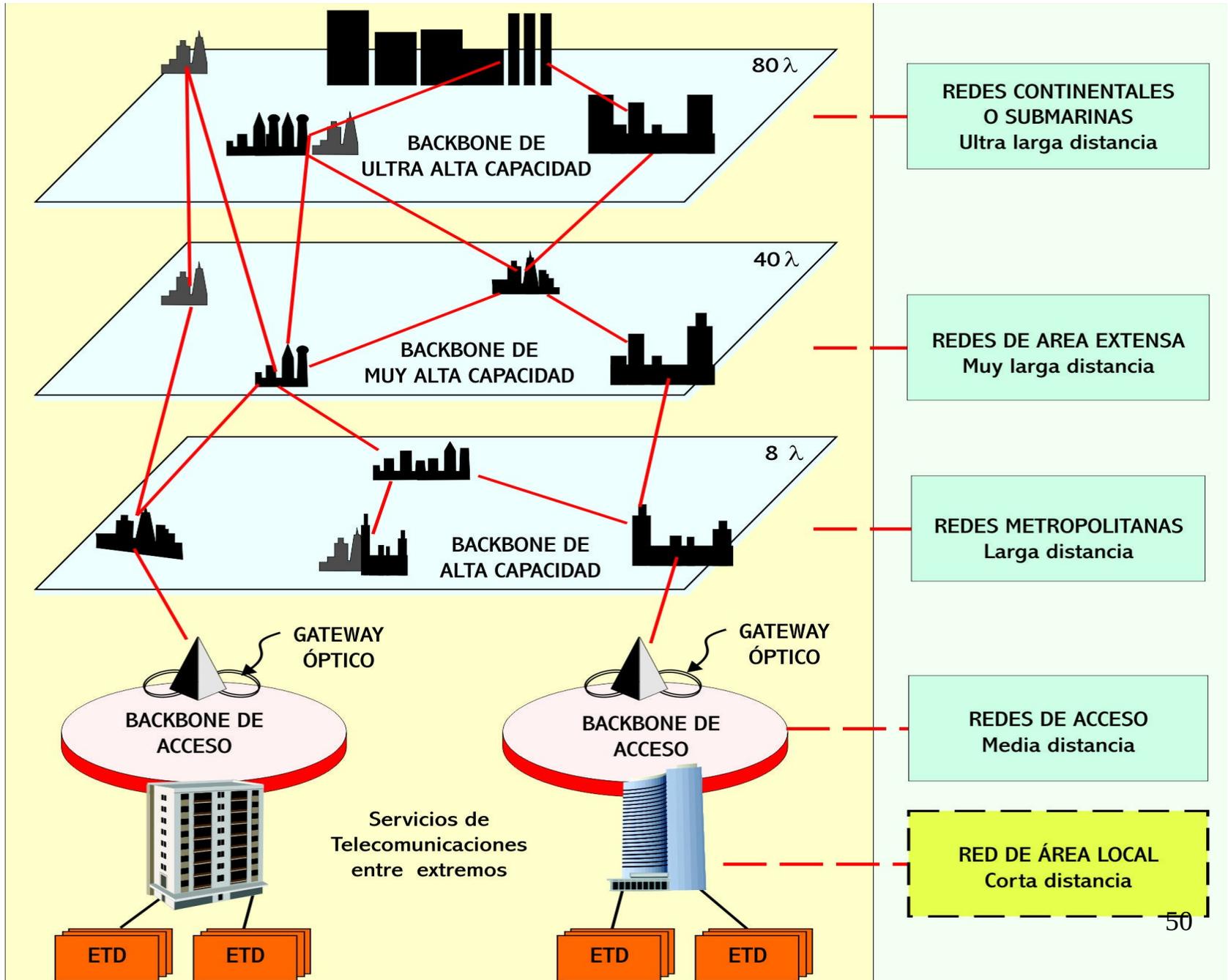
Clasificación de las redes ópticas de transporte

La clasificación clásica es en área local (LAN), metropolitana (MAN) y extensa (WAN).

Esto no coincide con los criterios de las redes ópticas, donde mayor cubrimiento geográfico supone mayor capacidad posible.

Diferentes tipos de redes:

- Redes de Acceso.
- Redes Metropolitanas.
- Redes Regionales (LH) Alta Capacidad o de Larga Distancia.
- Redes Continentales o Submarinas (ULH) de muy Alta Capacidad o de Ultralarga Distancia.



Comunicaciones

Clase 11

Redes de telecomunicaciones

INTRODUCCION

Desde el siglo XIX, y hasta los años 60 la red telefónica cursaba exclusivamente servicios de voz mediante conmutación de circuitos con enlaces de cables en pares.

Luego aparecieron enlaces interurbanos con cables coaxiales y microondas analógicas y los primeros servicios de datos.

En los últimos 20 años del siglo XX la red soportaba servicios analógicos y digitales, tales como la conmutación de paquetes (red ARPAC).

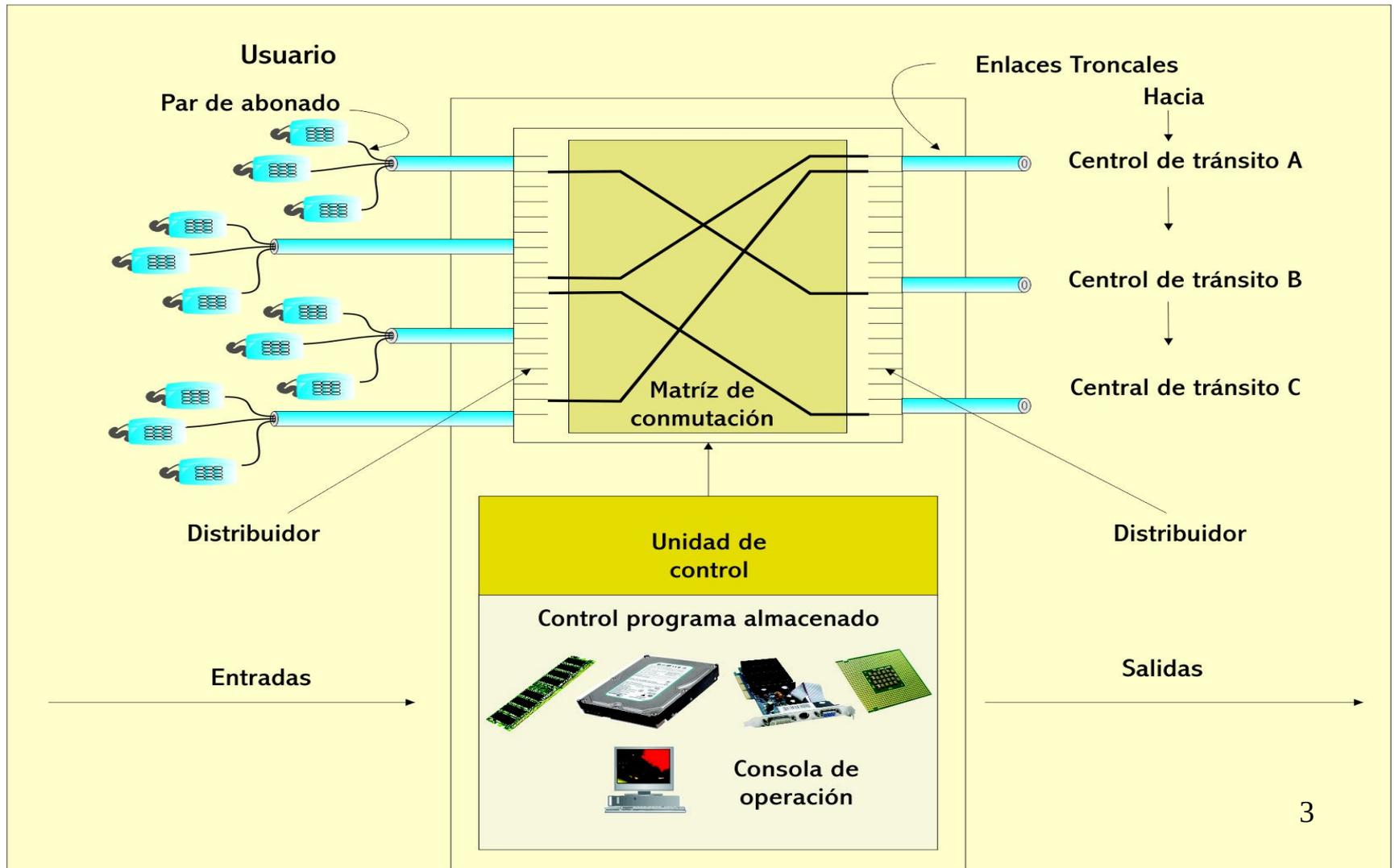
En los años 80 aparecen los enlaces interurbanos de fibra óptica y las redes celulares.

Con el siglo XXI para distribuir Internet en las ciudades aparecen las tecnologías:

- ADSL sobre la red telefónica
- cable modem sobre redes de cables de TV
- fibra óptica hasta el usuario

CONMUTACION TELEFONICA

Permite compartir pocas líneas troncales con muchos internos.



CENTRALES TELEFONICAS

Realizan la conmutación entre líneas internas (abonados) y externas (troncales).

Hay centrales públicas (de los prestadores del servicio básico) y privadas (internas de las empresas).

Las centrales privadas de una empresa se conectan mediante enlaces troncales propios formando redes cerradas llamadas PAX.

Cuando se conectan a las líneas públicas se llaman PABX.

Hasta los 80 las centrales eran electromecánicas, ahora son digitales.

Los servicios telefónicos están migrando a telefonía IP.

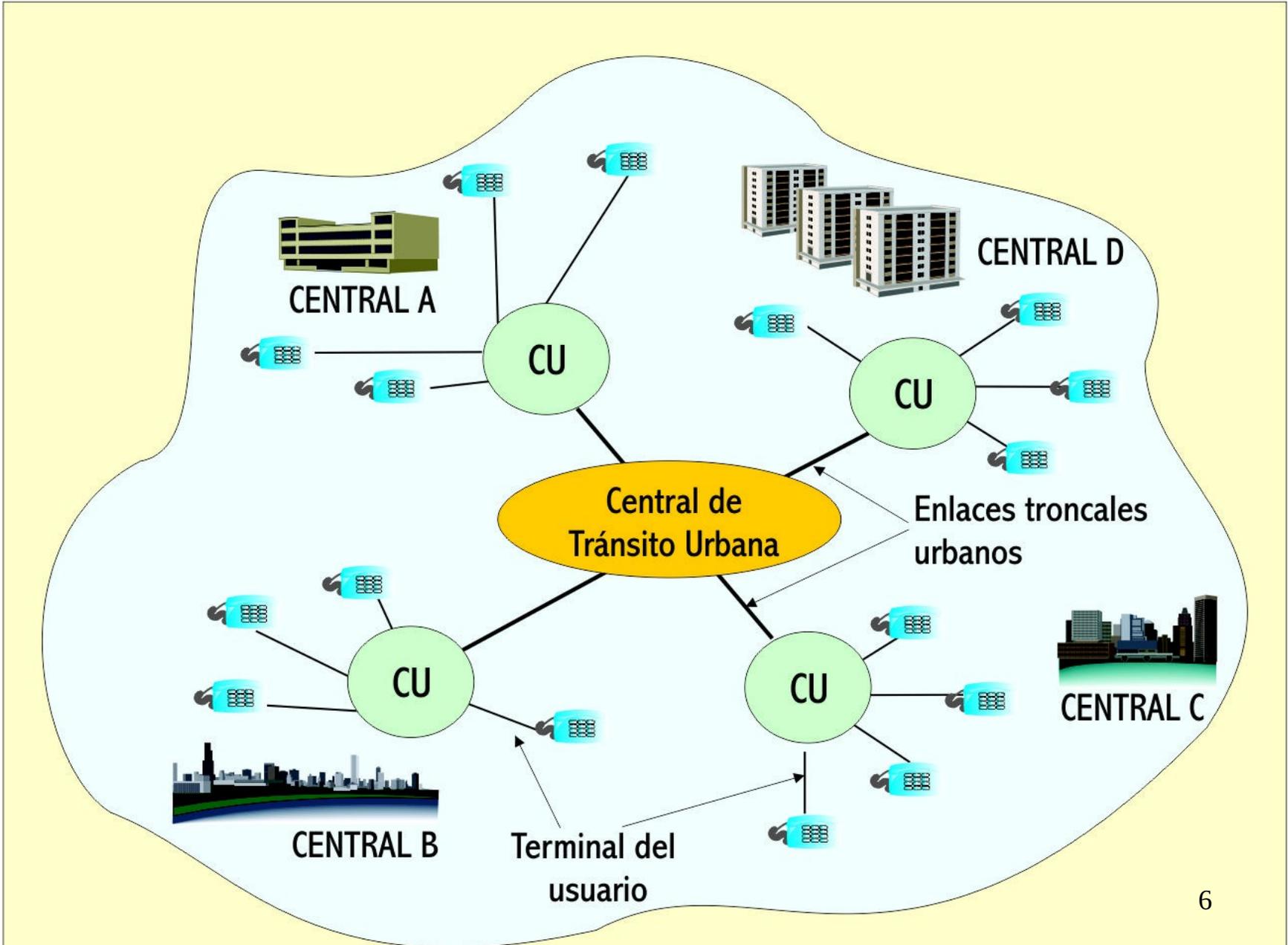
Tipos de centrales

En las redes hay centrales de tránsito que interconectan a las centrales locales mediante troncales a cuatro hilos.

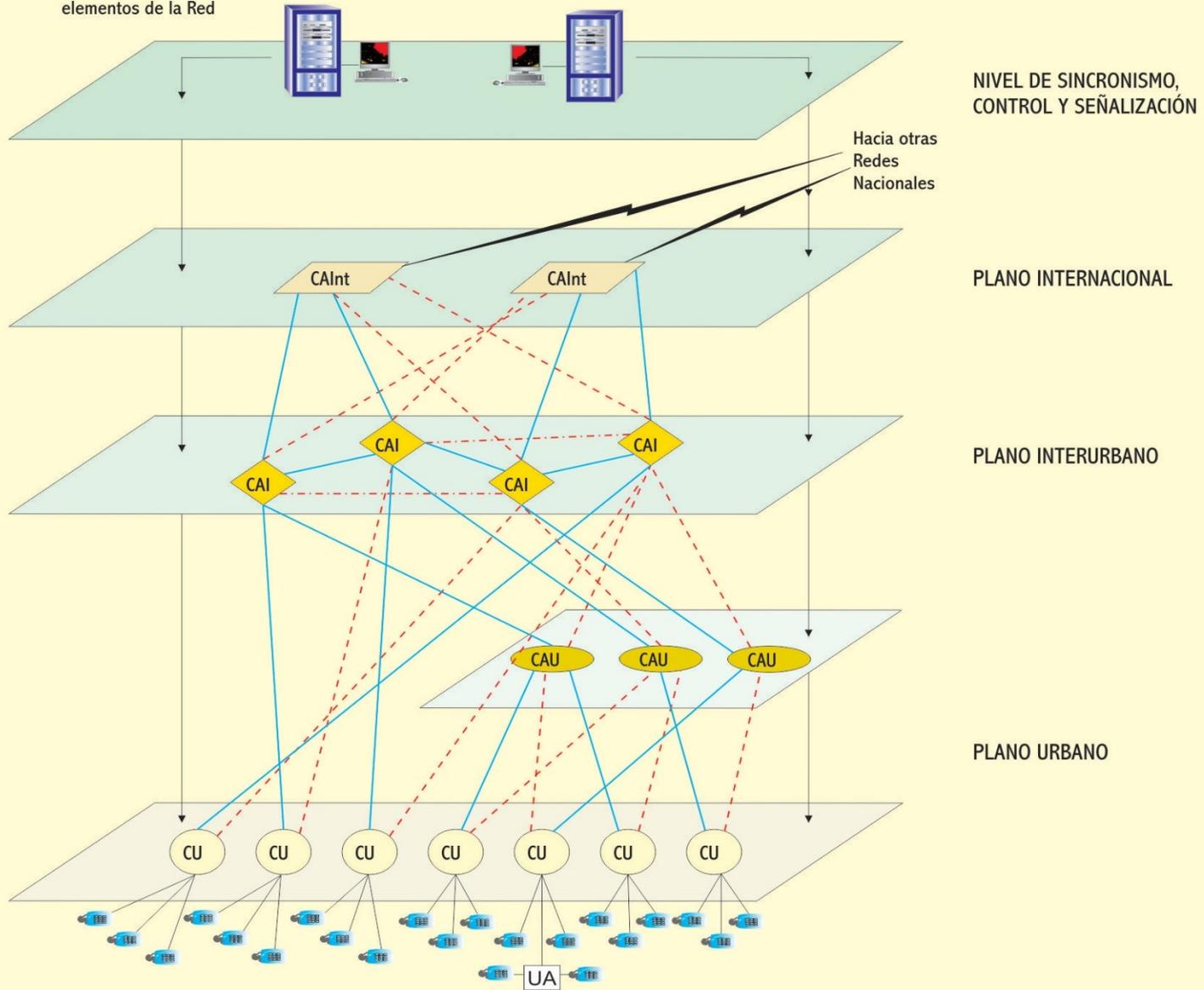
No poseen usuarios conectados a ellas, conmutan centrales locales o interurbanas, y se las conoce como:

- Centros Automáticos Urbanos
- CA Interurbanos
- CA Internacionales

Las centrales que conectan a los abonados tienen conmutación a dos hilos.



Control de los distintos elementos de la Red



CAInt : Centro Automático Internacional
CAI : Centro Automático Interurbano
CAU : Centro Automático Urbano

CU : Central Urbana
UA : Unidad Automática

— Camino Principal
- - - Camino de desborde o secundario

Plan de numeración

Define la numeración de los abonados y de las centrales en un orden jerárquico que depende de la topología.

Cada central tiene 10.000 abonados.

Hay códigos para cada ciudad y cada país.

Hay un Plan de Encaminamiento que establece las rutas, y sus alternativas, para cada uno de los enlaces posibles.

Procedimientos de discado

Antes se seleccionaba el destino con un disco que generaba pulsos en la línea.

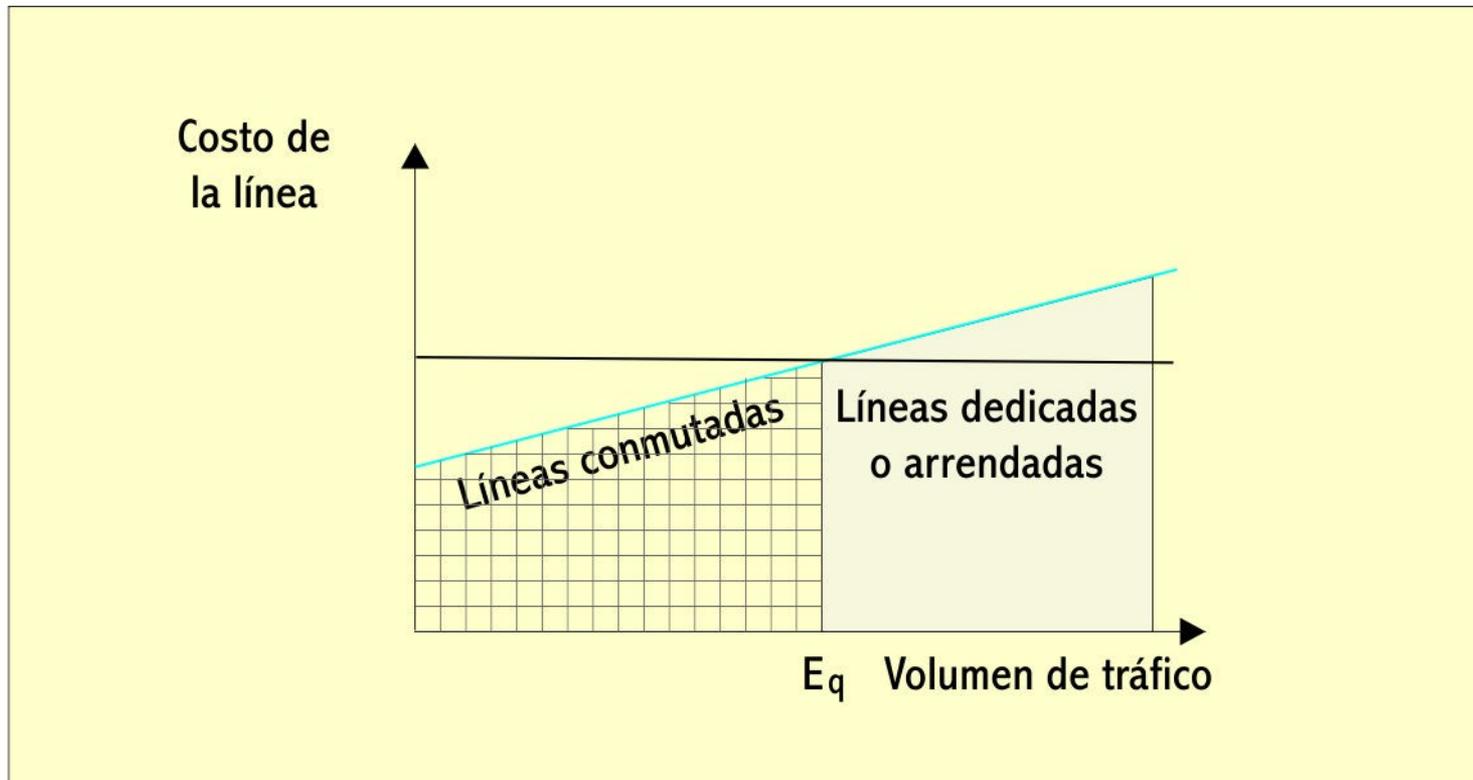
Ahora se usan teclados digitales donde cada tecla genera dos tonos de distinta frecuencia.



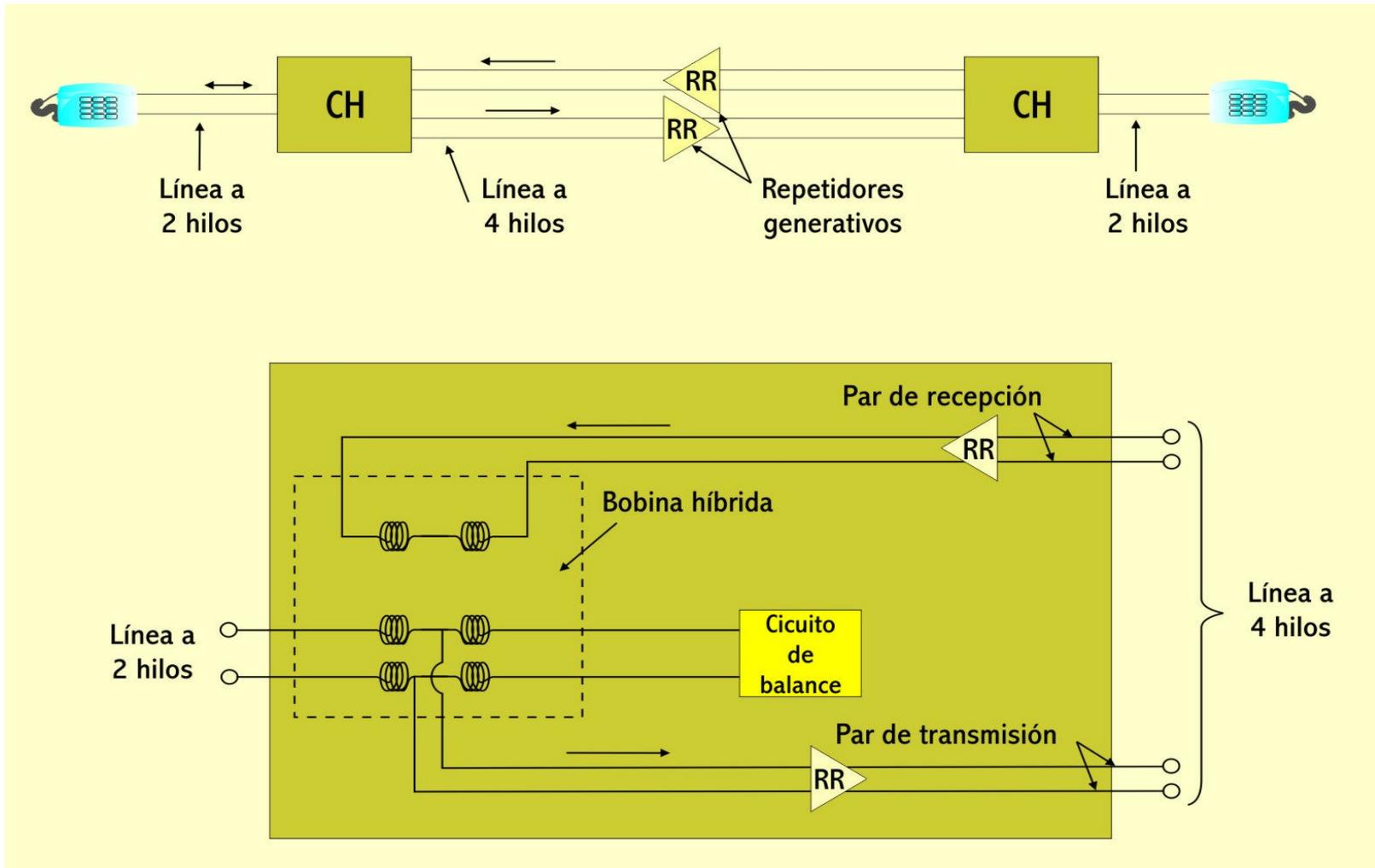
	1209 Hz	1336 Hz	1447 Hz	
Fila 1	1	2	3	697 Hz
Fila 2	4	5	6	770 Hz
Fila 3	7	8	9	852 Hz
Fila 4	*	0	#	943 Hz
	Columna 1	Columna 2	Columna 3	

Circuitos conmutados y arrendados

- Los circuitos conmutados permiten compartir el uso de líneas troncales entre varios abonados.
- Cuando el tráfico es muy alto conviene pedir circuitos arrendados, de uso exclusivo y de mejor calidad.

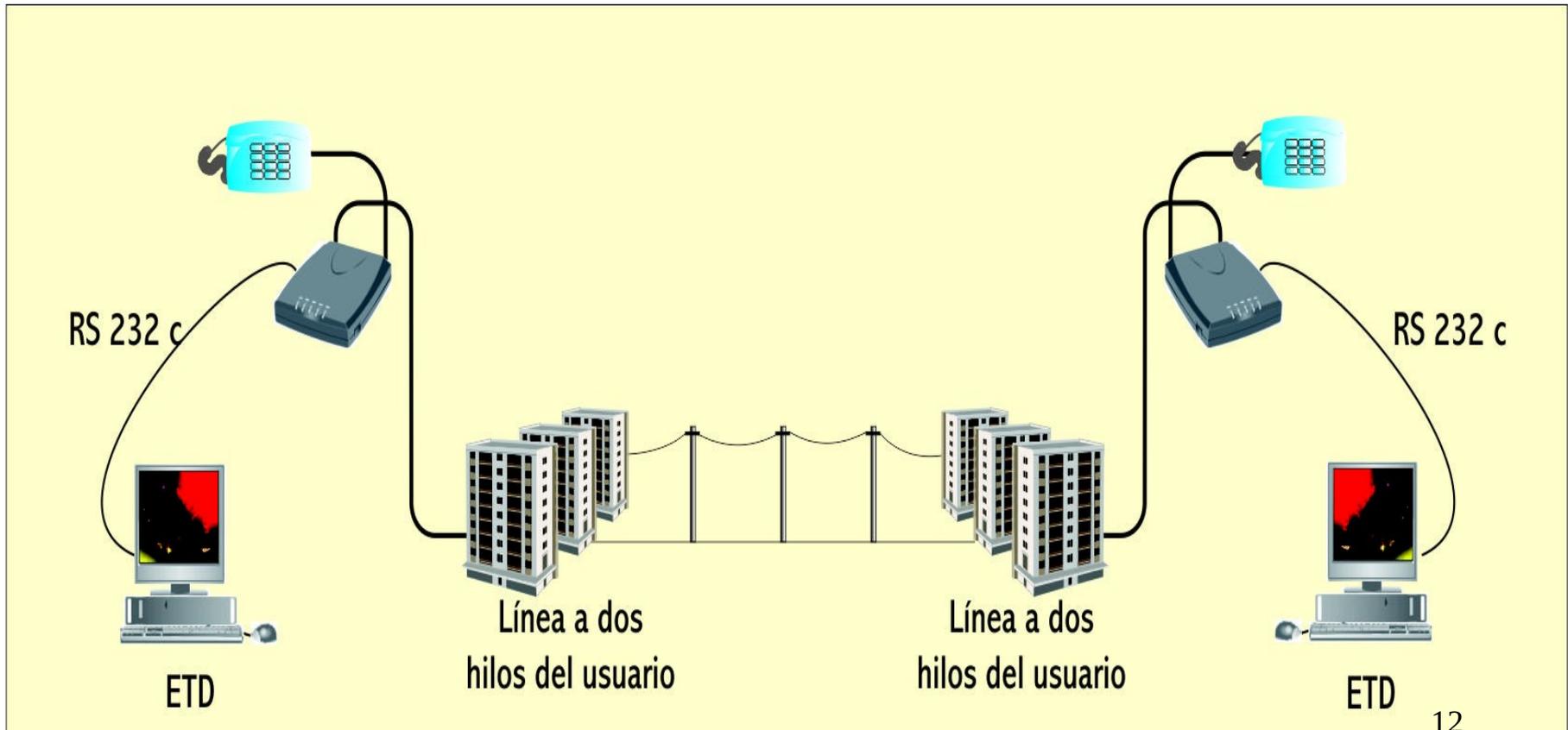


Los circuitos telefónicos tienen tramos de 2 y 4 hilos

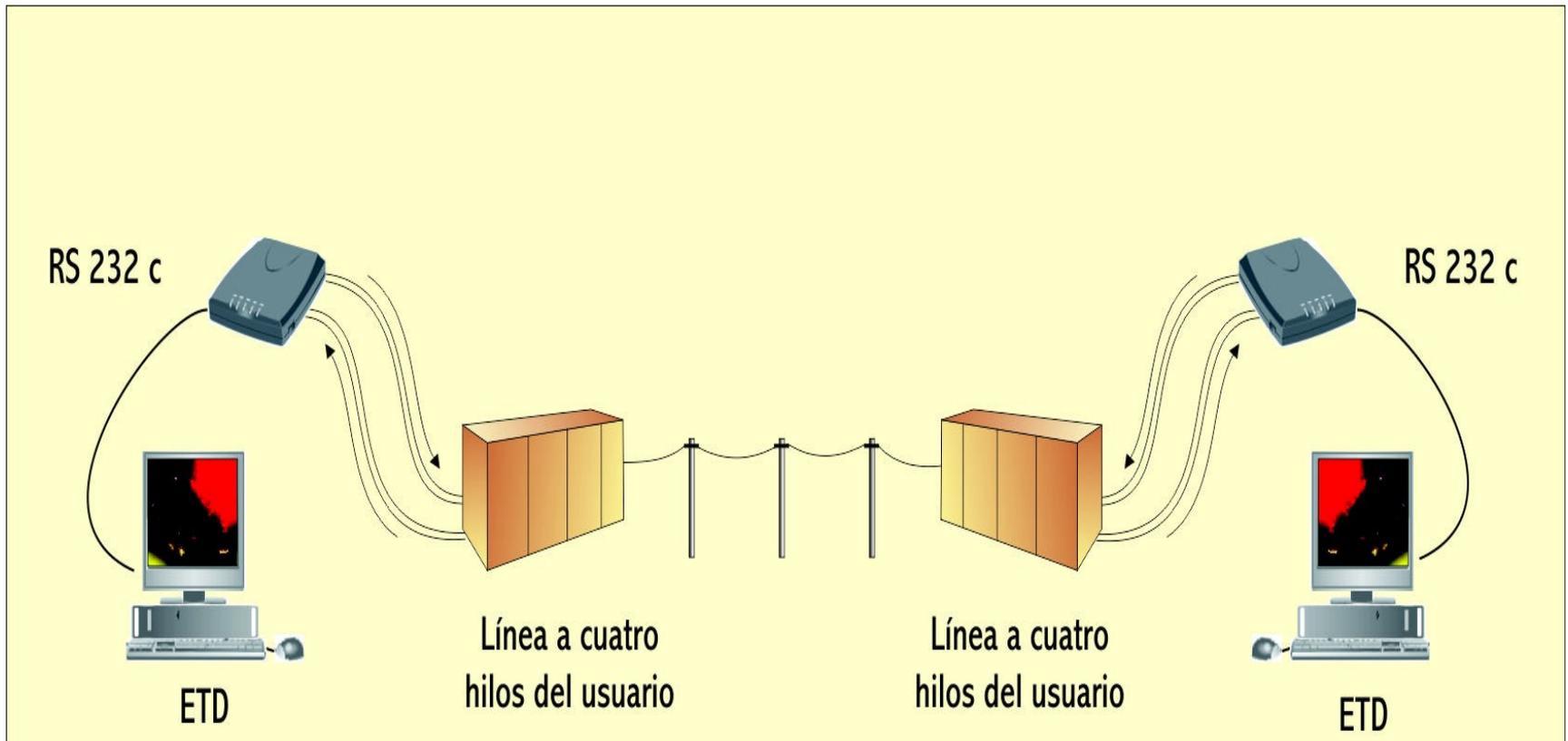


Trasmisión de datos por circuitos de 2 y de 4 hilos

Circuitos a dos hilos permiten servicios semi dúplex o dúplex de baja velocidad de datos.



Circuitos arrendados a cuatro hilos permiten servicios dúplex .

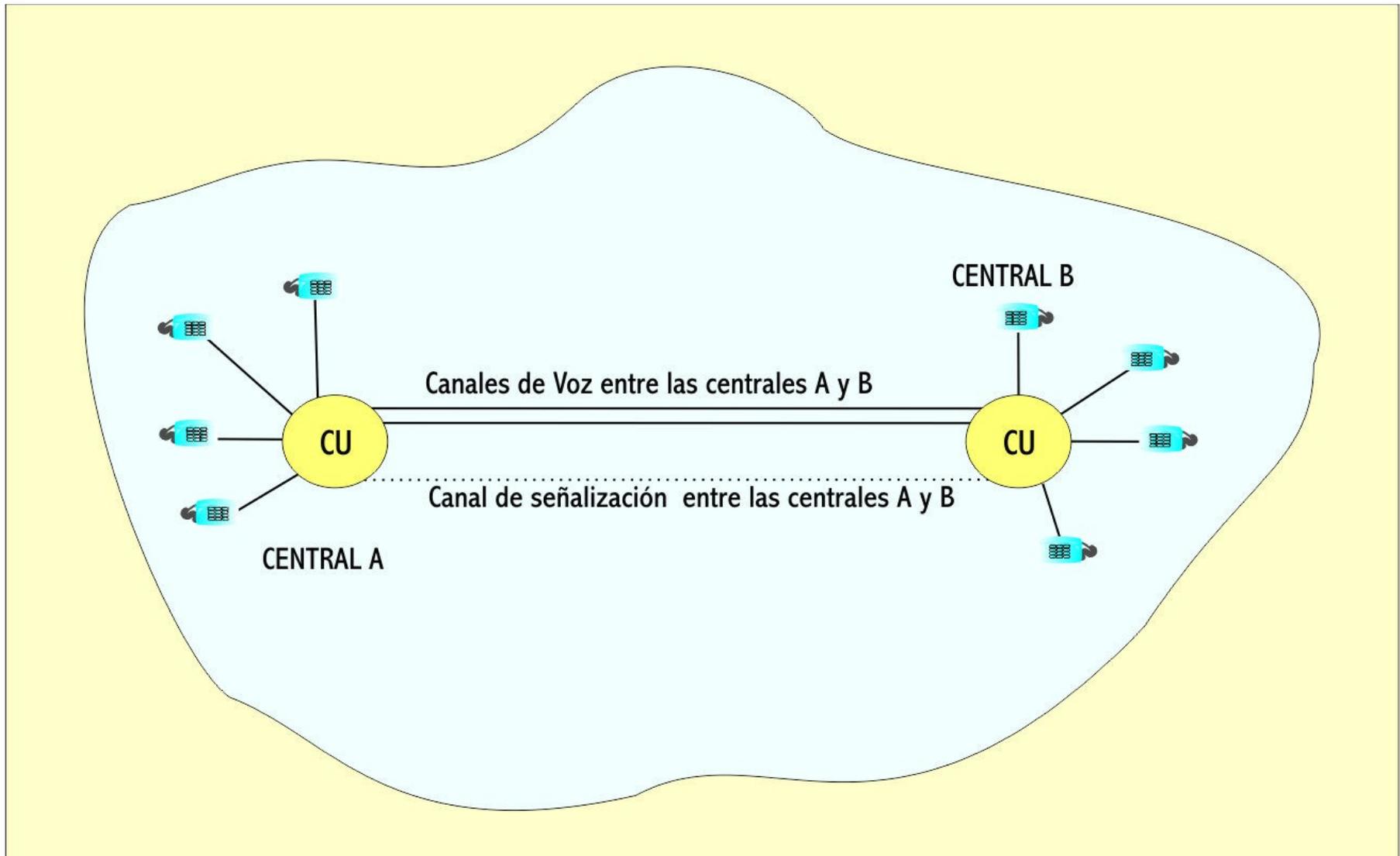


Señalización entre centrales

Es el intercambio de información relacionada con el establecimiento, mantenimiento, liberación y control de las llamadas.

Se realiza a través de información codificada por cada canal o por un canal independiente exclusivo.

Actualmente se usan protocolos avanzados que siguen el modelo OSI.



Red inteligente

Concepto que se aplica sobre las mismas redes de telecomunicaciones clásicas para ofrecer nuevos servicios facilitados por su digitalización.

Redes privadas virtuales

Usan los recursos físicos y lógicos de un operador publico con red inteligente para configurarla como una red dedicada.

El hardware de la red puede ser mixto, en parte propio y en parte facilitado por el operador.

Ingeniería de tráfico

El dimensionamiento de las centrales y la cantidad de enlaces troncales necesarios, ha ido cambiando con la tecnología.

Las decisiones surgen de mediciones que hace el software.

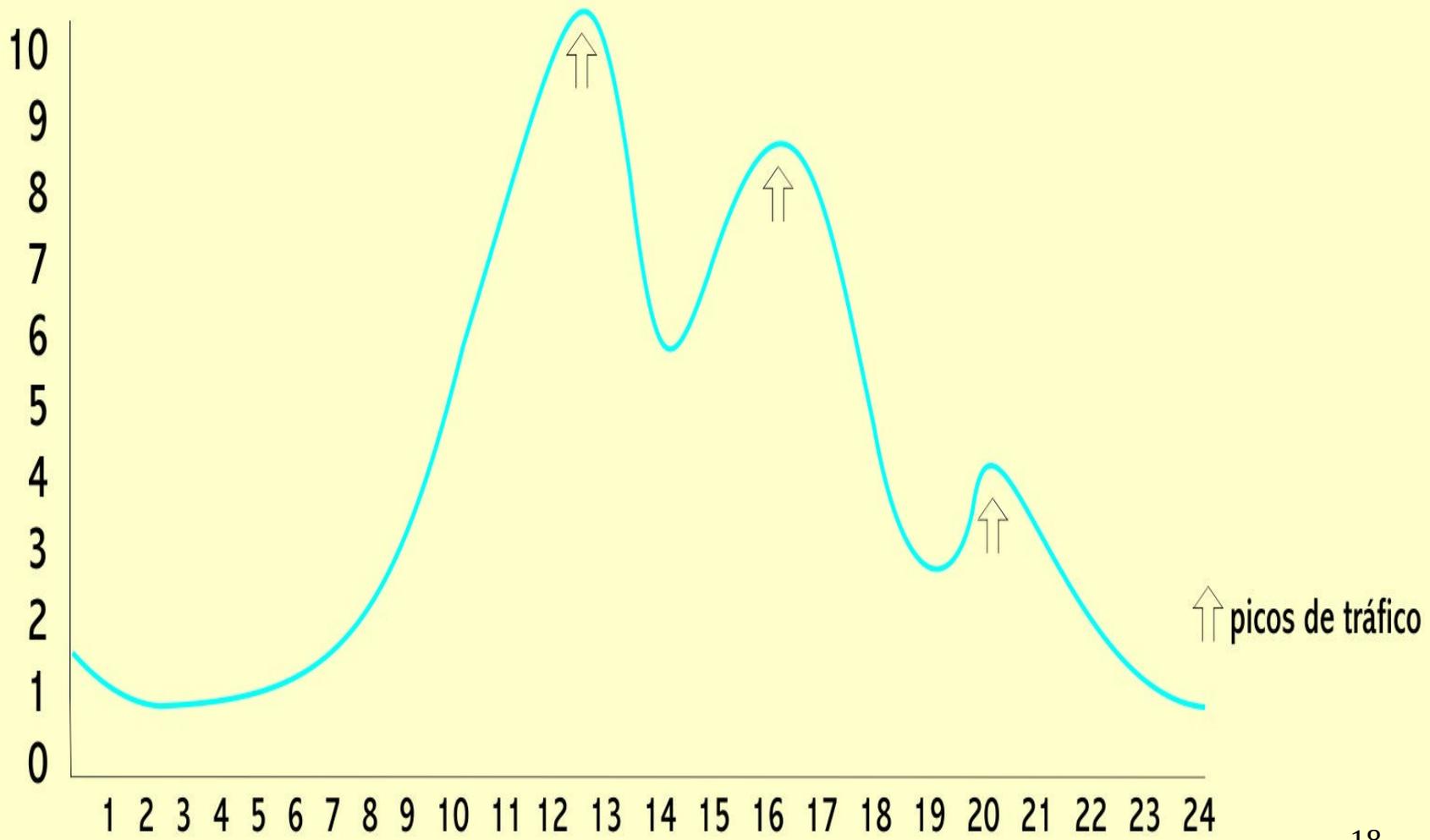
El tráfico telefónico es de naturaleza aleatoria que se estudia en forma estadística.

Presenta períodos con máximos (hora pico) y mínimos.

Cada usuario realiza llamadas de variadas duraciones.

Intensidad de tráfico es el número de llamadas por unidad de tiempo.

Tiempo de retención es el tiempo promedio que dura cada llamada.



Flujo de tráfico

Flujo de tráfico sobre un nodo, o en un vínculo de comunicaciones, es el producto de la intensidad de tráfico por el tiempo de retención.

La unidad de flujo de tráfico es el *Erlang*.

Los nodos de conmutación instalados como centrales telefónicas de las redes públicas con conmutación están dimensionados para poder atender a N abonados de un total de M conectados.

El grado de servicio es la probabilidad de que el equipo conmutador pueda bloquearse en la hora pico.

Se calcula en base a modelos matemáticos de Erlang y Poisson.

Redes de fibra óptica

Las tecnologías ya fueron detalladas en clases anteriores.

En nuestro país los tendidos en las ciudades comenzaron en los 80 y los tendidos interurbanos comenzaron en los años 90.

Las redes fueron desarrolladas por las compañías telefónicas y por las celulares.

La red ARSAT cubre todo el país con tendidos entre las ciudades principales, que se complementan con tendidos provinciales para llegar a cada población.

Hay varias empresas que distribuyen Internet y prestan servicios de datos mediante redes propias o enlaces de alta capacidad que alquilan a los *carriers*.

Redes LAN/WAN

- Las redes LAN están ubicadas en edificios de oficinas y son administradas con recursos propios de cada empresa.
- Las distintas LAN de la misma empresa se vinculan por enlaces contratados a los proveedores de servicios para formar una WAN.
- La red de transporte (*backbone*) vincula los nodos del proveedor
- La red de acceso incluye el equipamiento en la sala del cliente y los enlaces hasta el punto de presencia (POP) más cercano de la red del proveedor.

Enlaces MPLS

- Hoy los proveedores de servicios disponen de esta tecnología de transporte.
- Los usuarios tienen dos alternativas:
 - desde los terminales MPLS del backbone se le extienden los servicios por la red de acceso hasta su LAN
 - Se usa la red de acceso para extender la red MPLS hasta la sala del cliente
- Los enlaces están supervisados por el proveedor desde su centro (NOC) pero el cliente debe tener acceso para controlar el estado de su servicio.

Consideraciones para alquilar enlaces

- Se deben relevar las necesidades internas de transmisión de datos hacia otras oficinas propias y hacia el exterior.
- Con las tecnologías anteriores el servicio de Internet lo contrataba la casa central y lo distribuía entre las sucursales junto con el tráfico interno.
- Actualmente se contrata una conexión a Internet en cada sucursal.
- Antes las tarifas tenían en cuenta la distancia entre sucursales, ahora solamente la velocidad y la calidad.

Parámetros

- Para cada aplicación que requiere datos externos se debe determinar:
 - Velocidad de transmisión (kbit/s)
 - Retardo máximo admisible (ms)
 - Jitter o variación del retardo (ms)
 - Porcentaje de paquetes que admite perder
- Se deben agrupar las aplicaciones con necesidades similares y se les asigna una clase de servicio (CoS) que se implementan con redes privadas virtuales (VPN).
- Para cada proveedor hay una denominación comercial de las CoS que ofrece.

Caso Telecom

- Ofrece tres CoS
 - Tiempo Real (TR): garantiza los cuatro parámetros
 - Misión crítica (MC): garantiza velocidad y pérdida de paquetes máxima
 - Estandar (ES): no asume compromisos
- La velocidad del enlace de acceso se divide entre CoS:
 - TR: 40%
 - MC: 50%
 - ES: 10%
- Para el tráfico en exceso en TR se descarta, pero en las otras se trata según prioridad

Caso Telefónica

- Ofrece seis CoS
 - Tiempo Real (tráfico telefónico)
 - Video (menos requisitos de retardo)
 - Datos
 - Platino (bases de datos)
 - Oro
 - Plata (correo, transferencia de archivos)
 - Bronce

Disponibilidad

- Los servicios deben estar disponibles cuando el usuario los necesita.
- Los horarios de oficina se están extendiendo y hay servicios que deben funcionar las 24 hs de los 365 días.
- La disponibilidad indica qué porcentaje del tiempo total está disponible el enlace

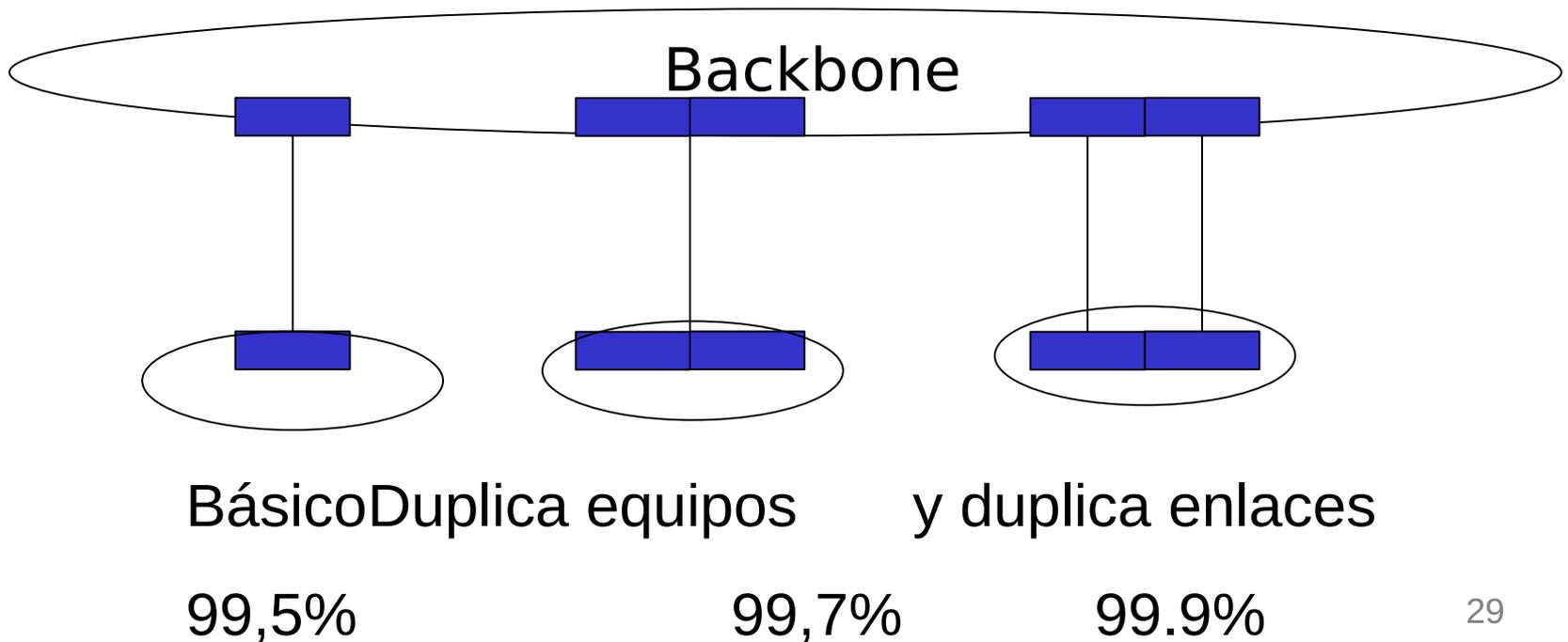
$$D (\%) = \text{Tiempo en servicio} / \text{Tiempo total}$$

- La indisponibilidad indica qué porcentaje del tiempo total está cortado el enlace:

$$I (\%) = \text{Tiempo de corte} / \text{Tiempo total}$$

- En valores decimales es: $D + I = 1$
- Es importante definir el período de observación, que puede ser mensual o anual.
- Los sistemas miden el tiempo de duración de todos los cortes en ese período y calculan la disponibilidad.
- Ejemplo: si me garantizan una $D = 99,5\%$ quiere decir que la suma de todos los cortes no debe superar al 0,005 del tiempo total, que en un mes son 3,6 horas.

- La disponibilidad del backbone del proveedor es muy alta, por lo que la disponibilidad que recibe cada cliente depende del diseño de su red de acceso:



Otros temas

- La disponibilidad de los equipos depende de la alimentación: entregar energía no asegurada y que el proveedor ponga su UPS.
- Los sistemas requieren seguridad: agregar firewall en los extremos y configurarlos según políticas propias.

Redes de fibra óptica hasta el usuario

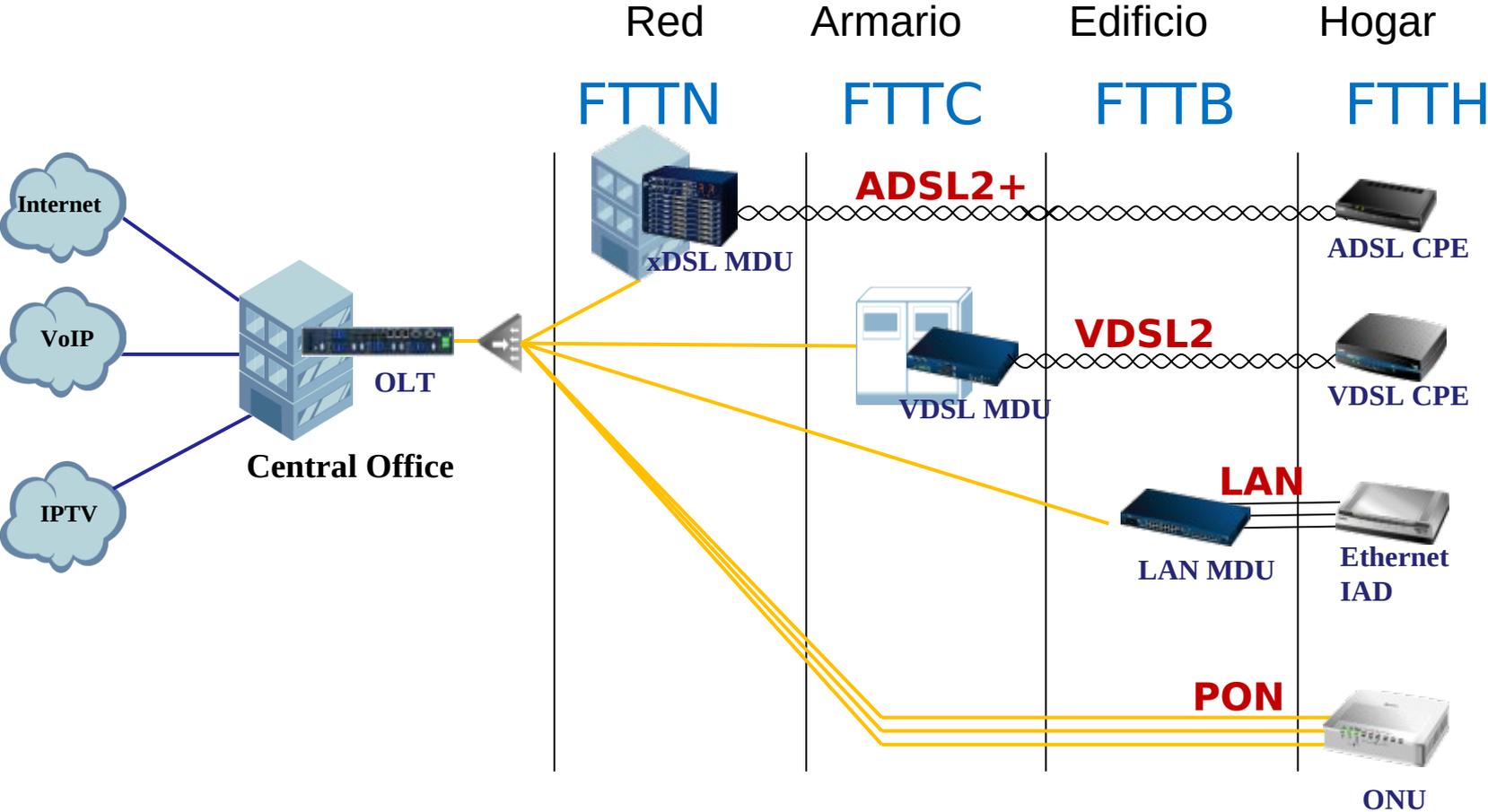
La fibra óptica estaba reservada para las vincular los nodos de una red de transporte, pero actualmente se extiende también a las redes de acceso desde esos nodos hasta el usuario.

La convergencia permite utilizar una sola red para distribuir varios servicios:

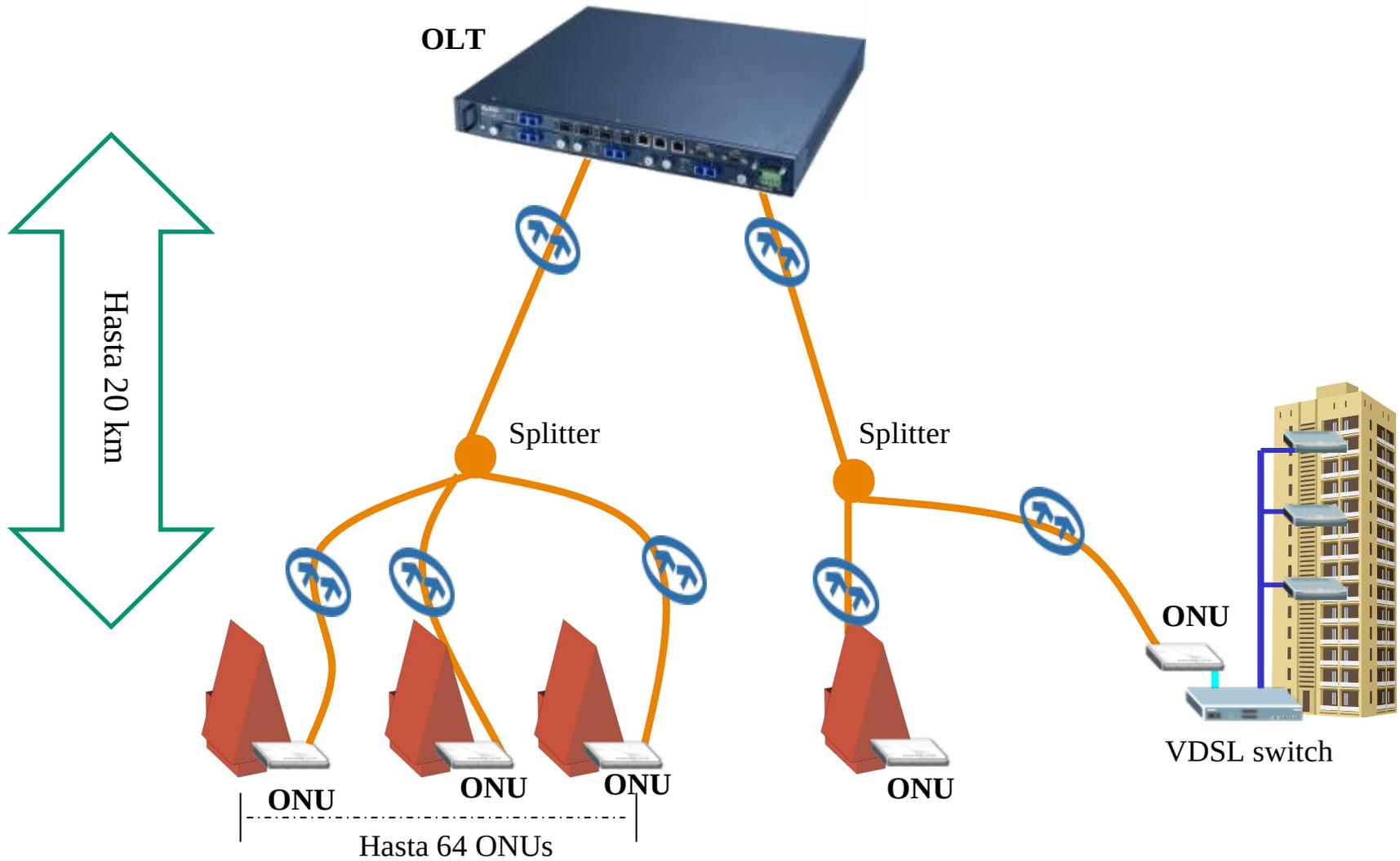
- Telefonía
- Televisión
- Internet

Estas redes comenzaron a tenderse en barrios nuevos por medio de operadores independientes de los proveedores de contenidos.

FTTx describe los distintos accesos con fibra óptica entre la central de telecomunicaciones hasta el usuario o CPE.



Arquitectura de la red



Generaciones de redes celulares

- 1G: fue la única analógica (voz), las otras son digitales
- 2G: protocolo GSM (voz y datos de 9,6 kbps)
- 2,5G: protocolo GPRS (voz y datos de 144 kbps)
- EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) datos a 384 kbps
- 3G: protocolo UMTS (datos a 1,2 Mbps)
- 3,5G: protocolo HSDPA (datos a 3,6 Mbps)
- 4G: protocolo LTE (datos a 326 Mbps)
- 5G: varios protocolos (datos a 1 Gbps)

Redes 4G

- Trabaja con varias antenas (MIMO) y modulación OFDM
- LTE (Long Term Evolution) es un nuevo estándar de la norma 3GPP en el mundo IP.
- Velocidades
 - Bajada: 326,5 Mbps para 4x4 antenas
172,8 Mbps para 2x2 antenas.
 - Subida: 86,5 Mbps
- Permite más de 200 usuarios por celda.

Comunicaciones

Clase 12

La capa física

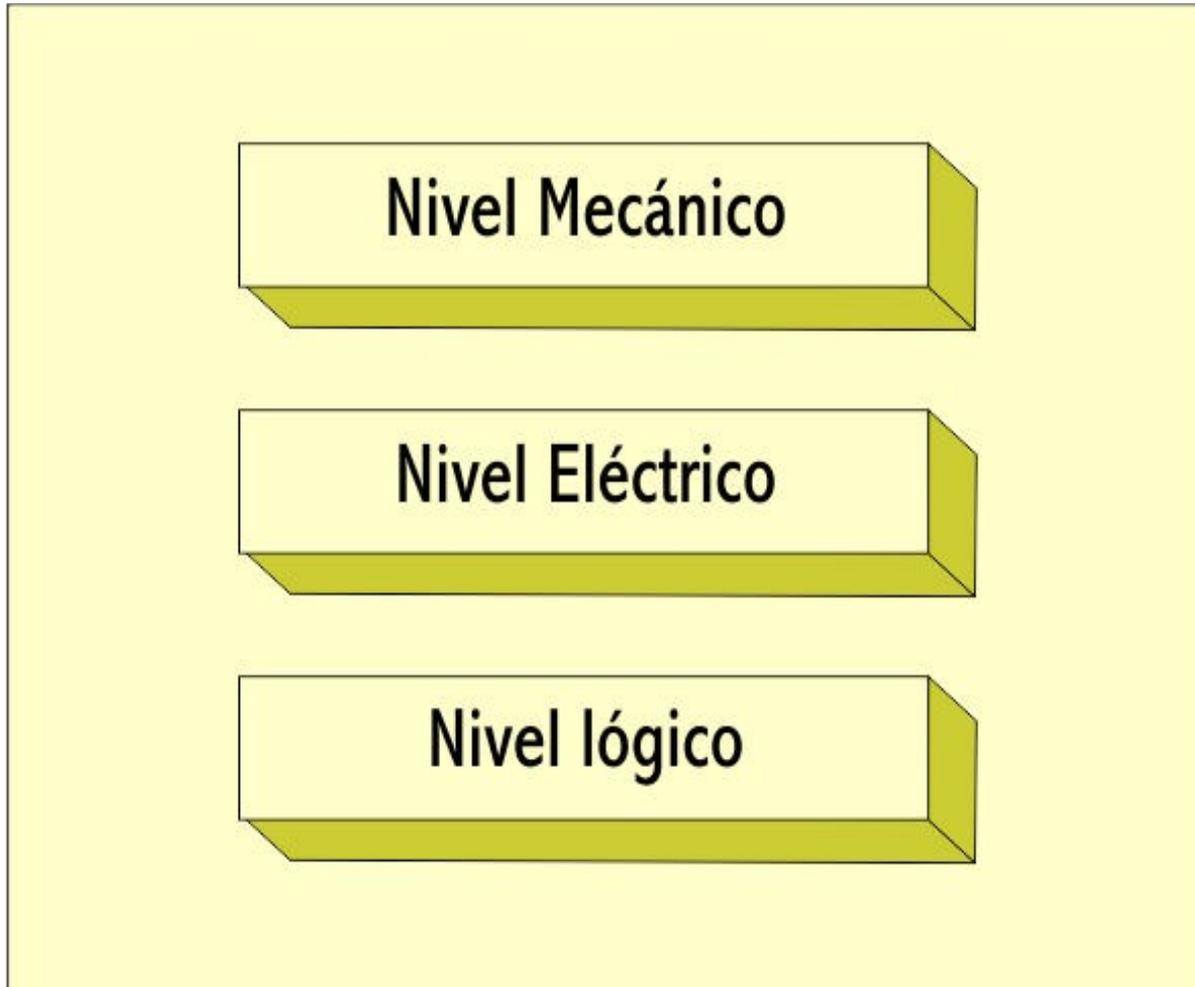
Definición

La comunicación a nivel de capa física entre dos equipos se realiza a través de interfaces o buses digitales estandarizados vinculados por cables.

La normalización permite interconectar diferentes equipos de diferentes fabricantes.

Interfaz o bus digital estándar: conjunto de normas mecánicas, eléctricas y lógicas que permiten que las señales digitales puedan ser transmitidas a través de un vínculo físico.

Hay tres niveles de normalización de las interfaces de la capa física:



Interfaces y buses en modo paralelo

Hay un conjunto de interfaces y buses normalizados por los propios fabricantes de hardware.

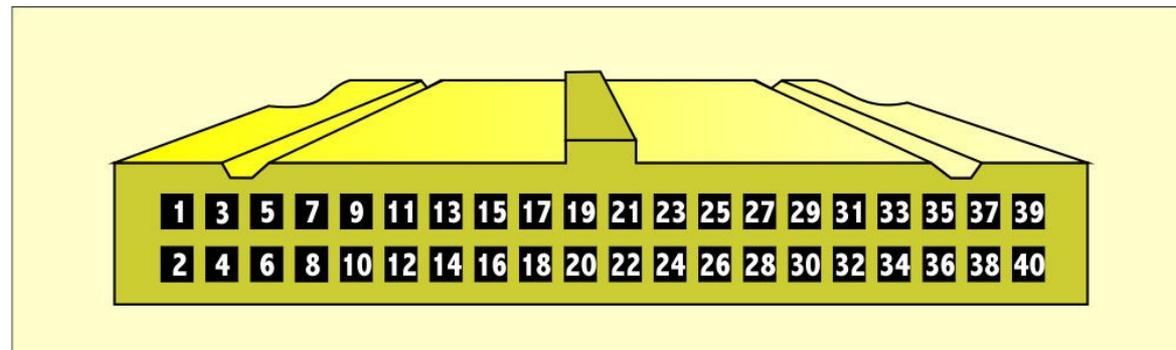
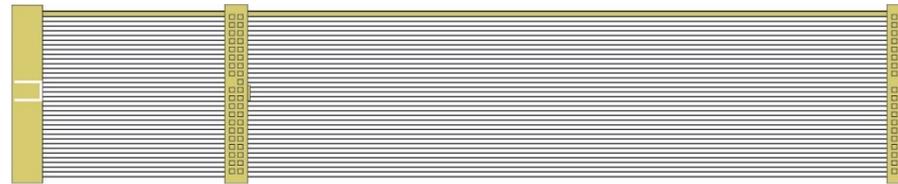
Intercambian información entre componentes internos del computador y periféricos.

Ventajas: aumenta la velocidad de transmisión en distancias cortas.

Interfaz ATA

Advance Technology Attachment (ATA) empleada para interconectar el motherboard con los discos rígidos y los dispositivos de almacenamiento y de lectura (CD-ROM o DVD).

Mantenida y actualizada por el Comité Técnico N.º 13 del Comité Internacional para los Estándares en Tecnología de la Información (ANSI).



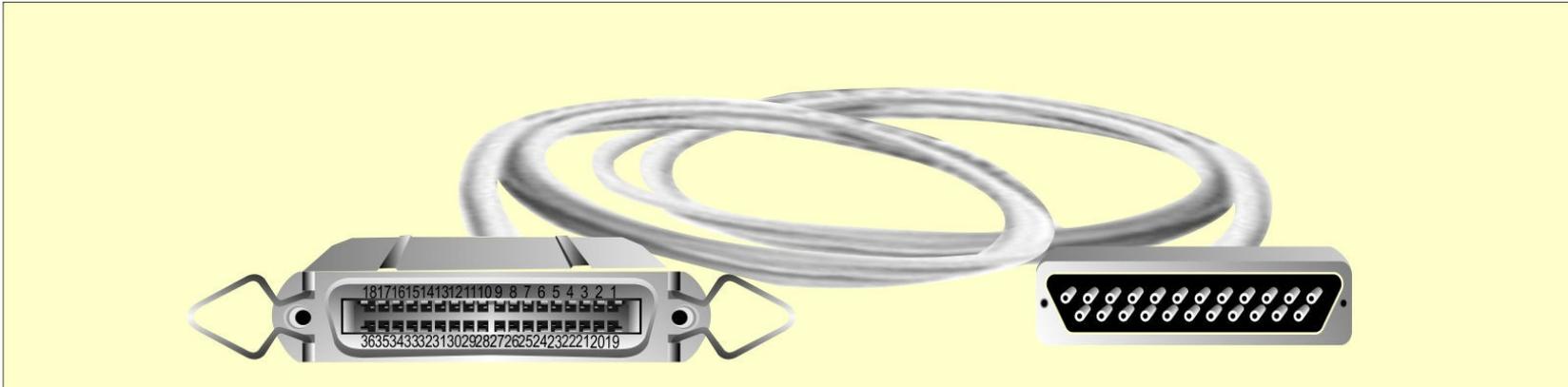
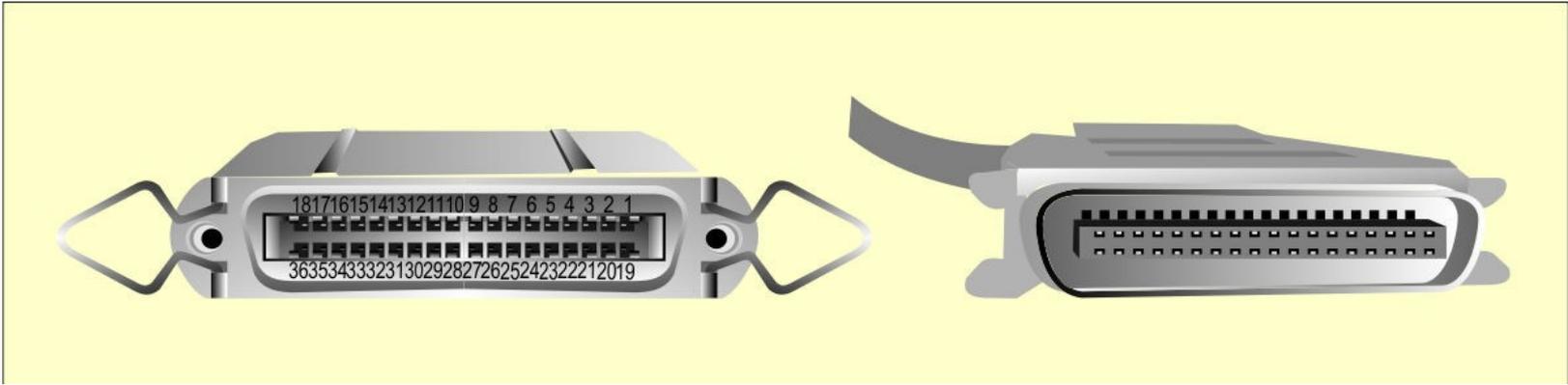
Interfaz IEEE 1284 - Centronics

Interfaz en paralelo, bidireccional, con velocidad máxima de *150 kbyte* por segundo.

Intercambia *8 bits* por unidad de tiempo en forma simultánea.

El puerto de la impresora (LPT) intercambia señales diferentes:

- Las señales de control
- Las señales de estado
- Las señales de datos
- Las señales de tierra.



Buses e interfaces en modo serie

Las primeras fueron las interfaces descritas por dos normas parecidas pero no iguales:

- **V.24 y V.28** de la UIT-T
- **RS 232** de la EIA (actualmente **TIA 232**).

Características técnicas principales

- Distancia máxima entre equipos: 15 metros (50 pies).
- Velocidad máxima de transferencia de datos: 20 kbps.
- Cantidad máxima de usuarios por conectar: 2 usuarios (enlaces punto a punto).

Esta recomendación no acepta interconexiones del tipo multipunto.

- Susceptible al ruido existente en el medio ambiente.
- Rangos de voltaje de trabajo para el intercambio de señales de:
 - + 3 a 25 Volt.
 - 3 a - 25 Volt.
- Codificación en banda base NRZ-L.

Principales limitaciones que presenta

- Reducida velocidad de transferencia de datos (hoy es limitante).
- Distancia máxima entre equipos insuficiente para algunas aplicaciones.

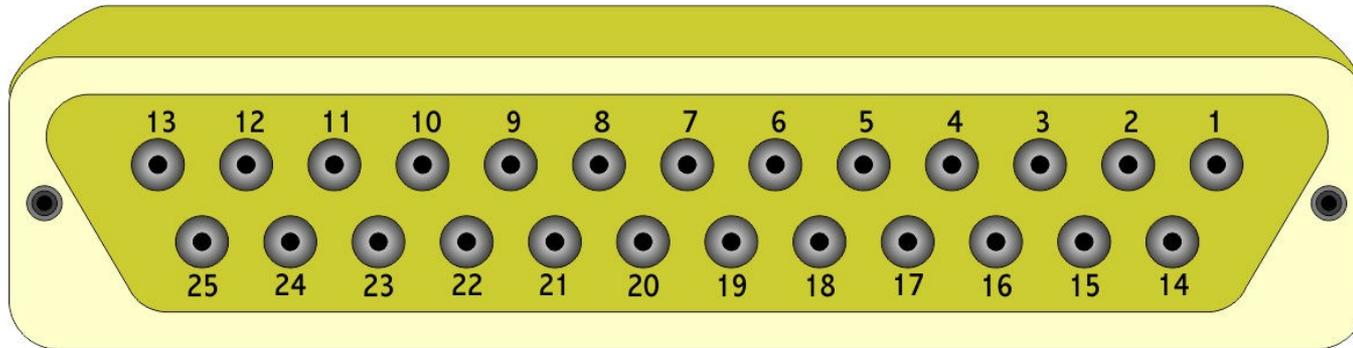
Los 15 metros son suficientes para la conexión de un modem de datos a un computador.

En algunas aplicaciones se necesita simultáneamente velocidad y distancia.

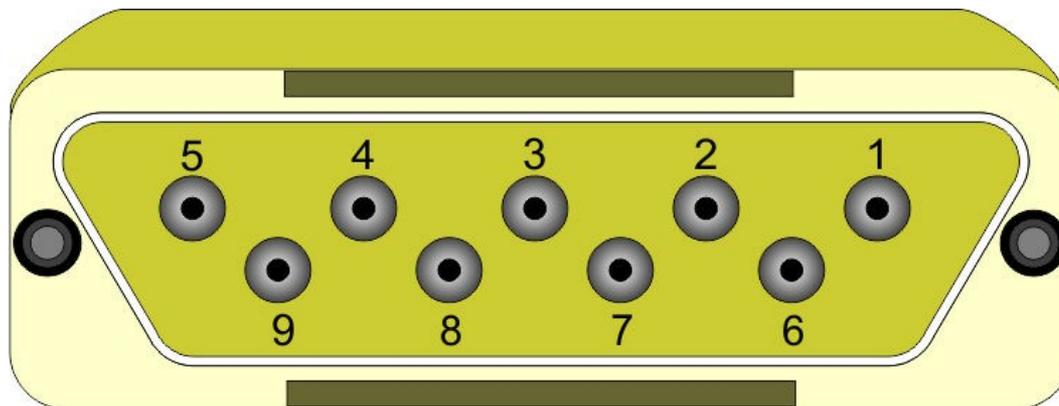
La norma estipula una capacitancia máxima de 2500 pF total entre puntas; valor que se alcanza a los 15 metros.

Características de normalización para el nivel mecánico

Para la interfaz RS 232 se utiliza un conector tipo **Cannon** de 25 contactos, especificado en la ISO 2110, conocido como DB 25.



Si se necesitan menos contactos se puede utilizar el conector normalizado ISO 4902/TIA 564, conocido como DE-9.



DE-9

Características de normalización para el nivel eléctrico

- V.28: circuitos asimétricos para equipos con componentes discretos.
Hasta 20 kbps (bajas velocidades).
- V.10: circuitos asimétricos para equipos con circuitos integrados.
De 20 a 100 kbps (altas velocidades).
- V.11: circuitos simétricos para equipos con circuitos integrados.
Hasta 10 Mbps (muy altas velocidades).

Características de normalización para el nivel lógico

- Dos clases de circuitos: Primarios y Secundarios.
Para cada uno de ellos se indica el sentido de las señales (hacia ETCD o ETD).
- Características y funciones de los circuitos:
Señales de datos desde el ETD:
 - por el Circuito N° 103 (contacto 2) para transmitir
 - por el Circuito N° 104 (contacto 3) para recibir.
- Si el ETCD utilizara canal secundario desde el ETD:
 - Circuito N° 118 (contacto 14) para transmitir
 - Circuito N° 119 (contacto 16) para recibir.

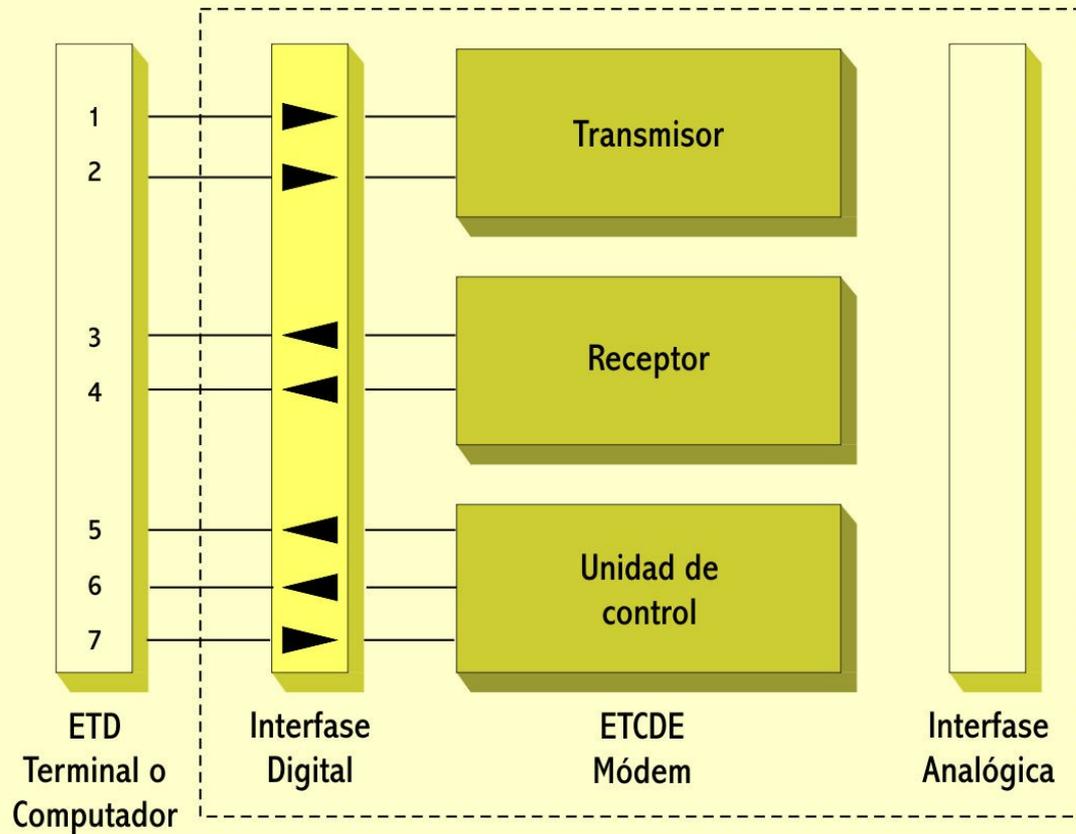
Tipo de señal	Nº de circuito	Nº de Contacto	Denominación	Señales	
				Hacia el ETCD	Desde el ETCD
Señales de datos	103	2	transmisión de datos	X	
	104	3	recepción de datos		X
	118	14	transmisión de datos (sec)	X	
	119	16	recepción de datos (sec)		X
Señales de tiempo	113	24	sincronismo en transmisión	X	
	114	15	sincronismo men transmisión		X
	115	17	sincronismo en recepción		X
Señales de control	105	4	petición de emisión	X	
	106	5	preparado para transmitir		X
	107	6	módem preparado		X
	108/1	20	conéctese el a.d.d.a. línea	X	
	108/2	20	terminal de datos preparado	X	
	109	8	detector de portadora en línea		X
	110	21	detector de calidad de señales en línea	X	X
	111	23	selector de velocidad binaria		X
	125	22	detector de señal de llamada	X	
	126	11	selector de frecuencia de transmisión	X	
	120	19	transmisión señales línea (sec)		X
	121	13	listo para transmitir (sec)		X
	122	12	detector de señales de línea recibido (sec)		
	Conexión a tierra	101	1	tierra de protección	
102		7	tierra de señalización o retorno común		

a.d.d. = aparatos de datos
(sec) = canal secundario o de retorno

Tipo de señal	Nº de circuito	Denominación	Señales	
			Hacia el ETCD	Desde el ETCD
Señales de tiempo	128	sincronismo en recepción		
	131	temporizadores para los caracteres recibidos		
Señales de control	112	selector de velocidad binaria		X
	116	selector de instalaciones (r)	X	
	117	indicador de instalaciones (r)		
	123	detector de calidad de señales (sec)		X
	124	selección grupos de frecuencia	X	
	127	selección de la frecuencia de recepción	X	
	129	petición de recibir	X	
	130	transmitir el tono (sec)	X	
	132	retorno al modo no datos	X	
	133	preparado para recibir	X	
	134	datos recibidos presentes		X
	136	nueva señal	X	
	140	conexión en bucle	X	
	141	conexión en bucle total	X	
	142	indicador de prueba		X
191	respuesta vocal transmitida	X		
192	respuesta vocal recibida		X	
Conexión a tierra	120a	tierra de señalización o retorno común de equipo de datos		
	102b	retorno común del módem		
	102c	retorno común		

(r) = de reserva
(sec) = canal secundario o de retorno

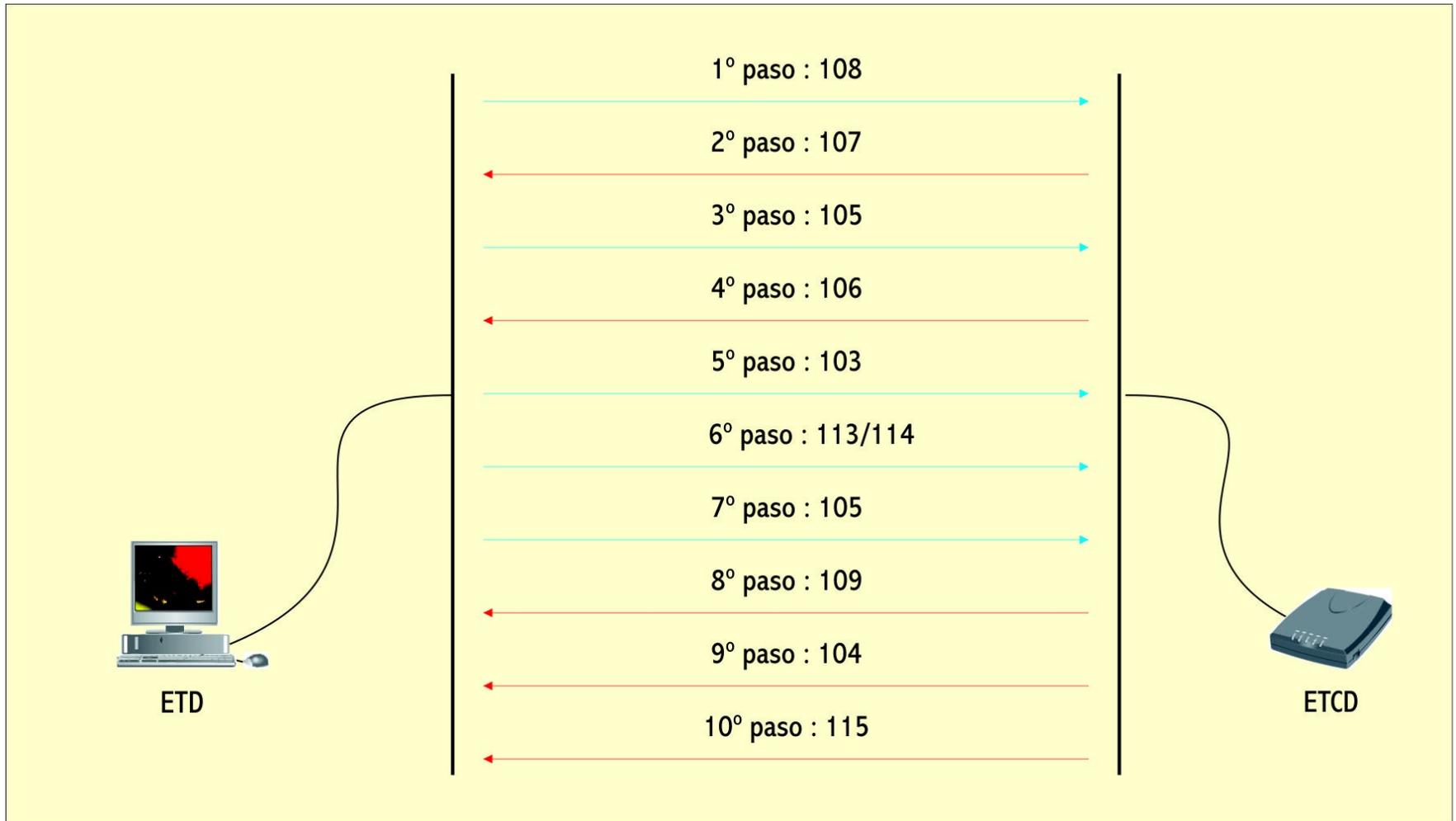
Diagrama en bloques de un ETCD



Señales:

- 1: Entrad de datos desde el terminal o computador
- 2: Reloj para mantener el sincronismo de los datos de entrada al módem
- 3: Salida de datos desde el módem hacia el terminal o computador
- 4: Reloj para mantener el sincronismo de los datos de entrada al terminal o computador
- 5: Señal de datos recibidos
- 6: Señal de preperado par transmitir
- 7: Señal de petición de transmisión

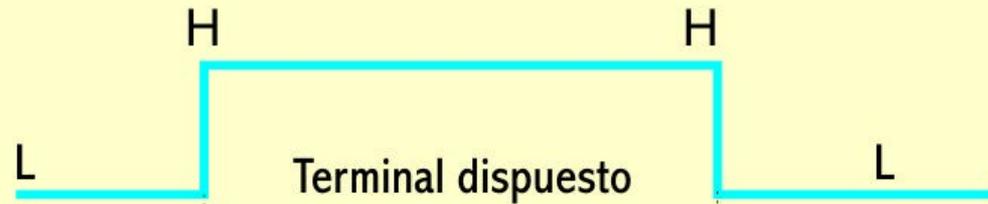
Descripción del procedimiento de enlace



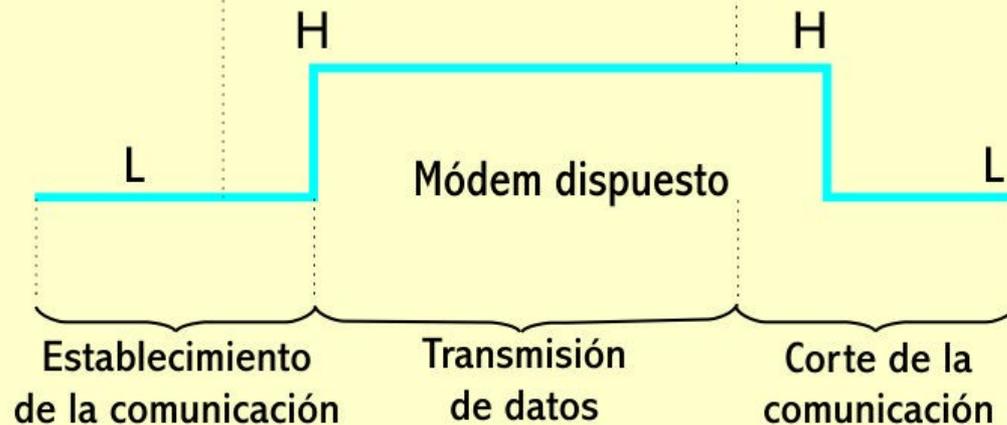
Tipo de señal

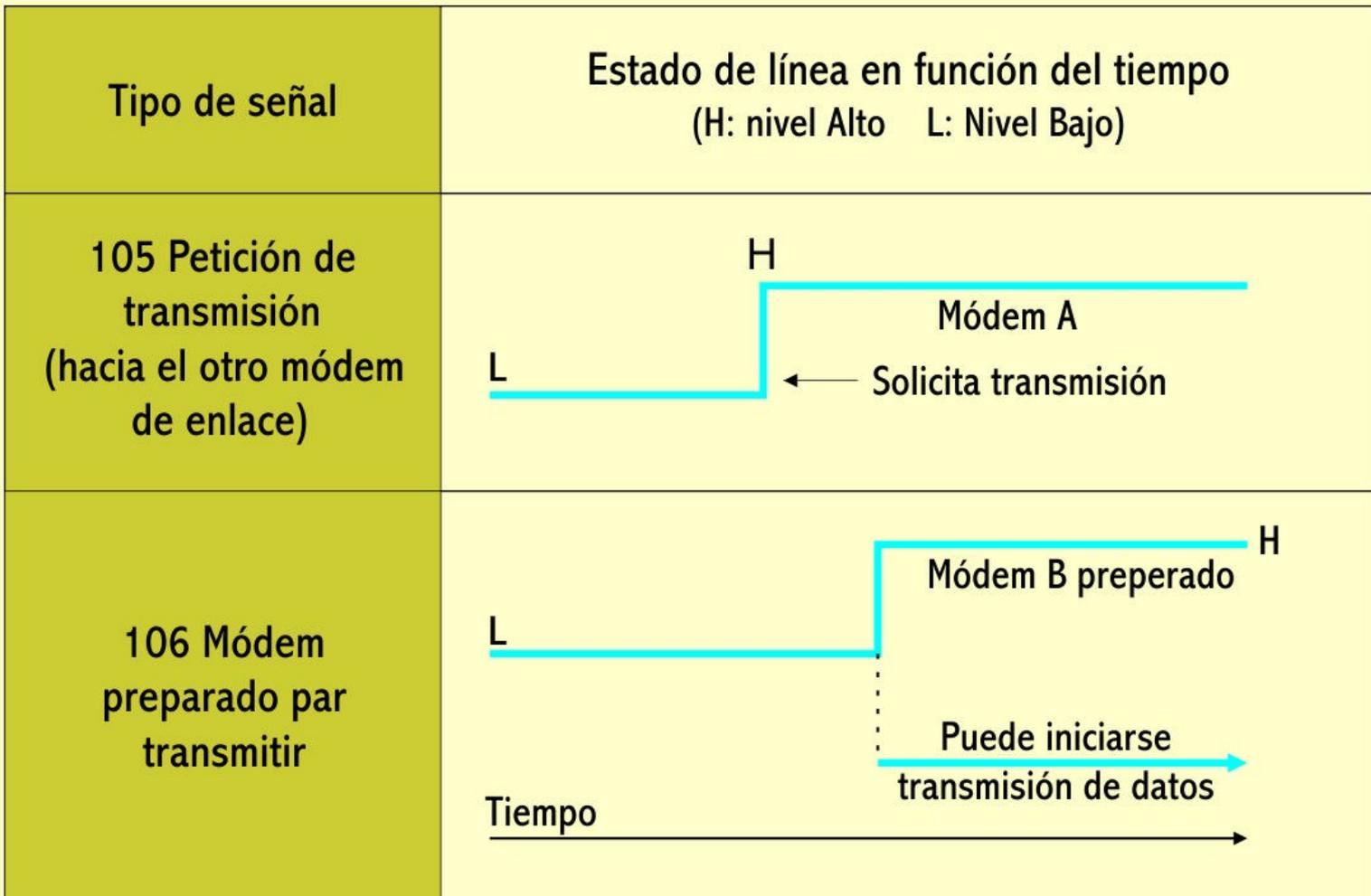
Estado de línea en función del tiempo
(H: nivel Alto L: Nivel Bajo)

108/1 Terminal
conectado a la línea
(Terminal Dispuesto)



107 Módem
dispuesto





Circuito	Tipo de señal	Estado de la línea en función del tiempo
109	Detección de señal de portadora de línea	<p>H</p> <p>L</p> <p>Indicación del módem B que la portadora módem A está en línea</p>
103	Transmisión de datos desde el módem A	<p>L</p> <p>1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0</p>
104	Recepción de datos desde el módem B	
113/114	Reloj de transmisión	
105	Reloj de recepción	

Recomendación V.35

Norma de 1968 del Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT) para modem de datos de banda ancha:

- transmisión a 48 kbps
- usa circuitos del grupo primario de 60 a 108 kHz (FDM).

Es obsoleta y en 1988 se desaconsejó el uso.

Características de normalización para el nivel mecánico

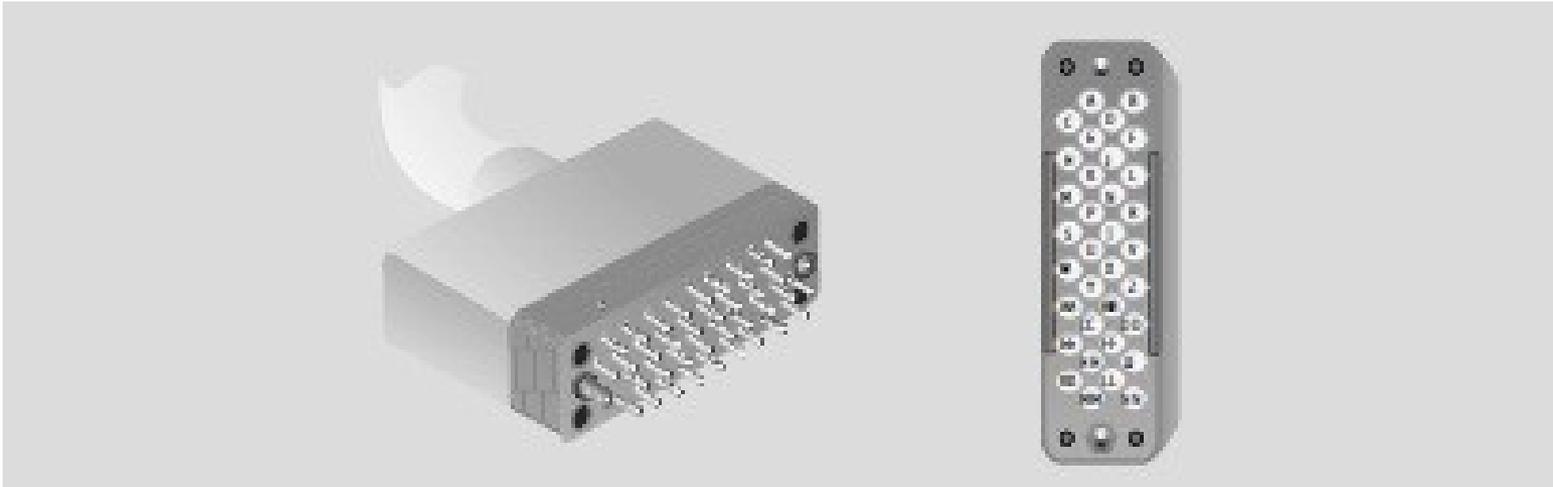
Conector hembra conocido como M34 Winchester de 34 pines (norma ISO 2593).

Características de normalización para el nivel eléctrico

Combina señales balanceadas y no balanceadas.

Señales de control son no balanceadas.

Señales de datos y de sincronismo: solamente balanceadas (evitan problemas por la tierra común de la interfaz RS 232).



Características de normalización para el nivel lógico

Se utiliza para velocidades de 56 a 2048 kbps

Puede llegar a 34 Mbps

Tipo de señal	Nº de Circuito	Función
Tierra	102	Tierra de referencia para los circuitos de enlace
Datos	103	Transmisión de datos
Datos	104	Recepción de datos
Control	105	Petición de transmitir
Control	106	Preparado para transmitir
Control	107	ETCD preparado
Control	109	Detector de portadora en línea
Sincronismo	114	Sincronismo de transmisión
Sincronismo	115	Sincronismo de recepción

Recomendación X.21

Desde 1969 se requiere normalizar las líneas de abonado digitales.

En 1972 salen la Recomendación X.21 y la X.21 bis.

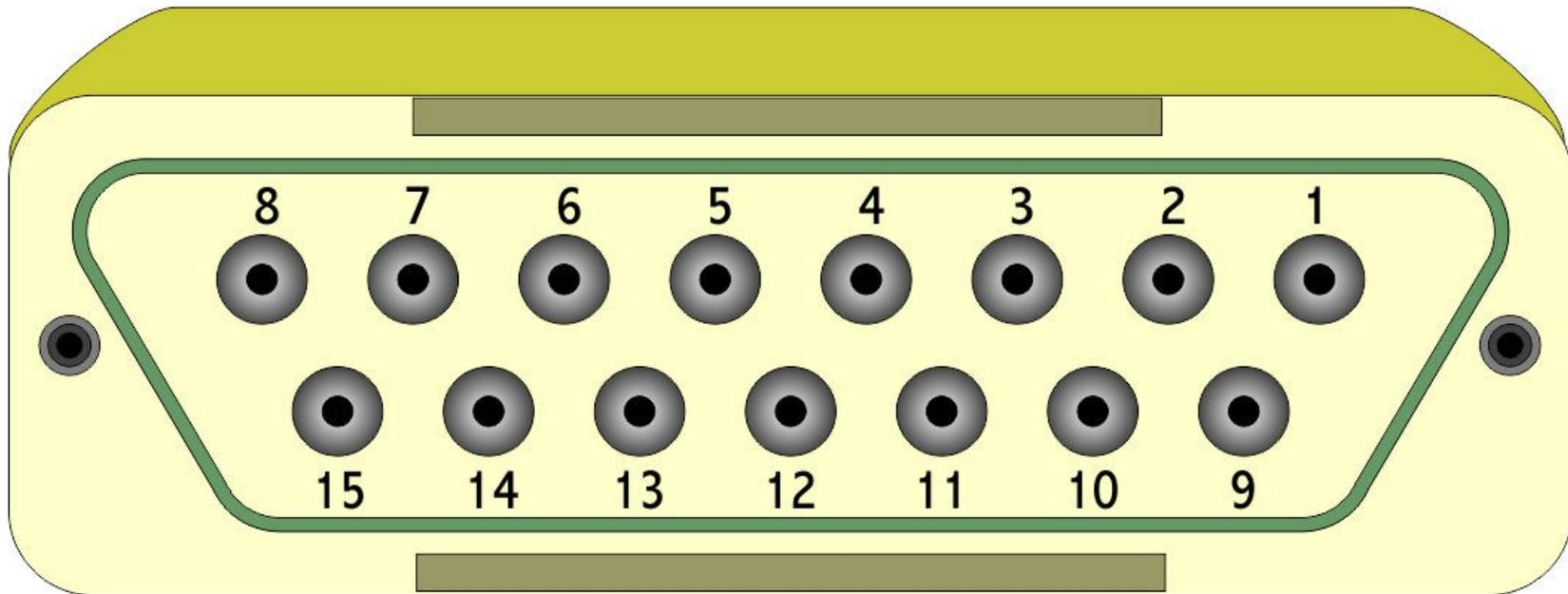
Especifica la manera en que el ETD establece y libera las llamadas mediante el intercambio de señales con el ETCD.

Fuente	Señales	PIN	Ficha	PIN	Señales	Fuente
Común	Tierra de la señal (SG)	B		A	Tierra de chasis (GND)	Común
ETCD	Preparado para recibir (CTS)	D		C	Petición para transmitir (RTS)	ETD
ETCD	Detección portadora de línea (DCD)	F		E	Equipo listo para recibir (DSR)	ETCD
ETCD	Indicación de llamada (RI)	J		H	Terminal listo para recibir (DTR)	ETD
-	No asignada	L		K	No asignada	-
-	No asignada	N		M	No asignada	-
ETCD	Recepción de datos (A)	R		P	Transmisión de datos (A)	ETD
ETCD	Recepción de datos (B)	T		S	Transmisión de datos (B)	ETD
ETCD	Recepción de sincronismo (A)	V		U	Sincronismo del terminal (A)	ETD
ETCD	Recepción de sincronismo (B)	X		W	Sincronismo del Terminal (B)	ETD
-	No asignada	Z		Y	Transmisión de sincronismo (A)	ETD
-	No asignada	BB		AA	Transmisión de sincronismo (B)	ETD
-	No asignada	DD		CC	No asignada	-
-	No asignada	FF		EE	No asignada	-
-	No asignada	JJ		HH	No asignada	-
-	No asignada	LL		KK	No asignada	-
-	No asignada	NN		MM	No asignada	-

Características de normalización para el nivel mecánico

Conector de 15 contactos (ISO 4903 o DA 15).

Solamente son utilizados ocho contactos.



Características de normalización para el nivel eléctrico

Hay dos especificaciones: una para circuitos no equilibrados y otra para circuitos equilibrados.

Recomendación X.26: transmisión **asimétrica** y circuito **desbalanceado**.

Equivalente a la Recomendación **V.10**:

X.26 (V.10): características eléctricas de circuitos de intercambio desequilibrados, de doble corriente, de uso general con equipos integrados en el campo de las comunicaciones de datos.

Recomendación X.27: circuito **balanceado** y transmisión **simétrica**.

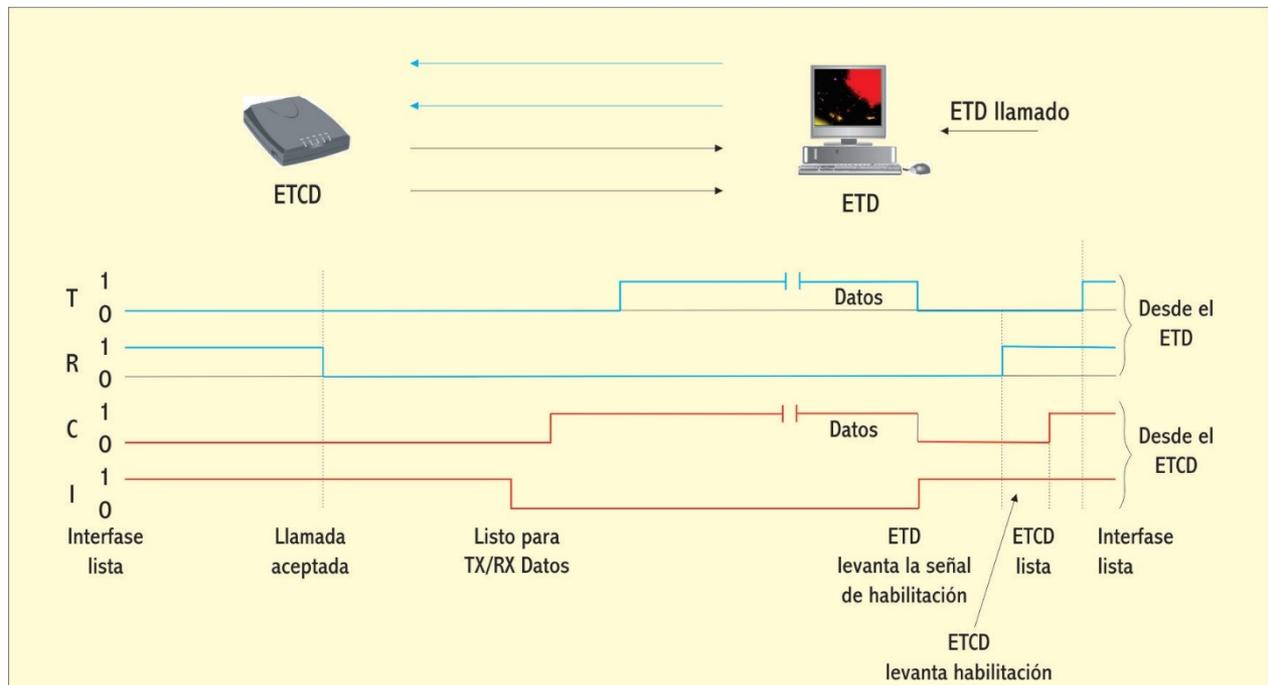
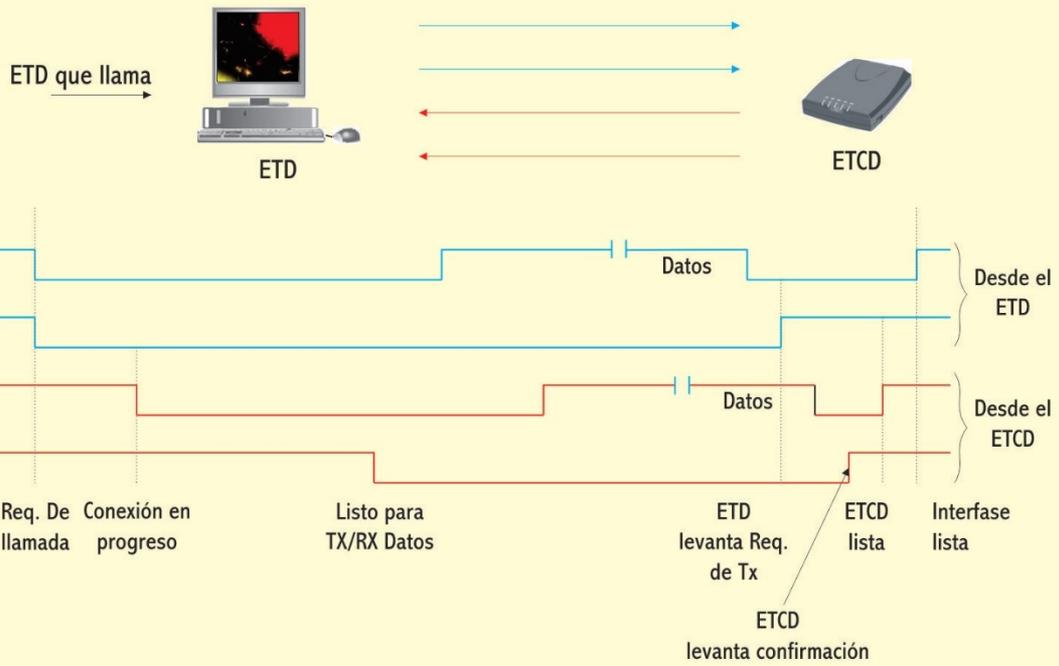
Alcanzar hasta 10 Mbps, dependiendo de la distancia.

Equivalente a la Recomendación **V.11**:

X.27 (V.11): características eléctricas de circuitos de intercambio equilibrados, de doble corriente, de uso general con equipos integrados en el campo de las comunicaciones de datos.

Características de normalización para el nivel lógico

- Descripción de los circuitos.
- La norma establece cuatro tipos de circuitos:
 - Circuitos de datos
 - Circuitos de control
 - Circuitos de sincronización
 - Circuitos de tierra
- Características de los procedimientos
 - Establecimiento de la llamada
 - Transferencia de datos: es dúplex (circuitos T y R)
 - Liberación de la llamada: se produce por la vuelta a 0 (estado inactivo) de los circuitos C e I.
 - Sincronismo: el circuito S se utiliza para la sincronización del ETD y del ETCD (comunicaciones sincrónicas). El circuito B se usa opcionalmente.



Interfaz USB

La interfaz USB es similar a la RS 232 o a la IEEE 1242 (Centronics) pero permite conectar múltiples dispositivos al mismo tiempo, por cuanto funciona como un bus.

Universal Serial Bus (USB): desarrollada y estandarizada en 1995 por un conjunto de empresas.

Versiones:

- ***Versión 1.0 Low Speed USB*** (1996) hasta 1,5 Mbps.
- ***Versión 1.1 Full speed USB*** (1998) hasta 12 Mbps.
- ***Versión 2.0 High speed USB*** (2000) hasta 480 Mbps.
- ***Versión 3.0 Superspeed USB*** (2008) hasta 5 Gbps.

Características particulares

- Permite la interconexión de diferentes dispositivos y equipos.
- Juego de conectores adaptado para distintas aplicaciones.
- La interfaz estandarizada, simple, práctica y económica.
- No requiere un conjunto de diferentes cables o conectores.
- Permite la **conexión en caliente**(conexión de dispositivos encendidos)

USB 2.0 habla de *attach/removal*

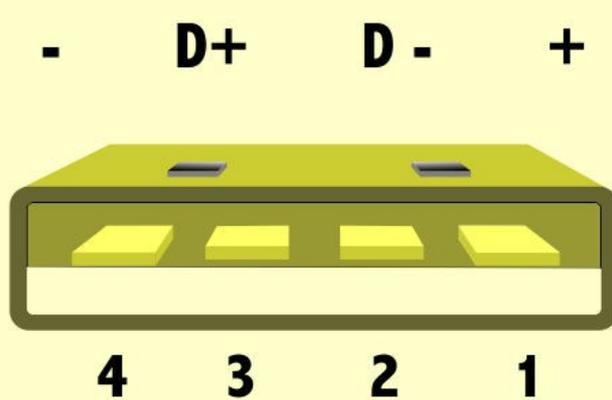
USB 3.0 habla de *hot insertion/removal*.

- **Plug and Play:** el sistema operativo identifica automáticamente un dispositivo ni bien este es conectado y carga el drive apropiado para que el mismo esté inmediatamente operativo.

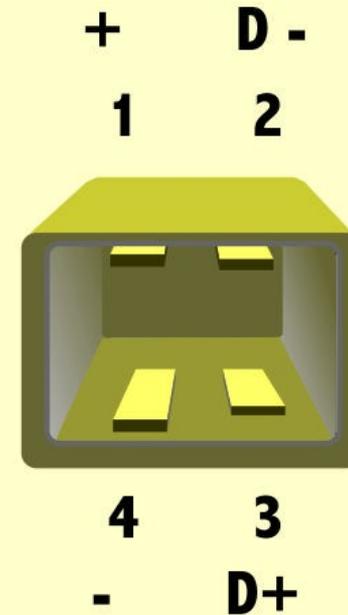
- Como bus admite **hasta 127 periféricos** (no todos a la vez).
- **Proporciona energía eléctrica** a ciertos dispositivos conectados a la interfaz USB, que no requieren un elevado consumo de potencia.
- **Bajo costo** de implementación.
- Protocolo complejo ejecutado fundamentalmente por el equipo que tiene los periféricos conectados.

USB

Estándar A



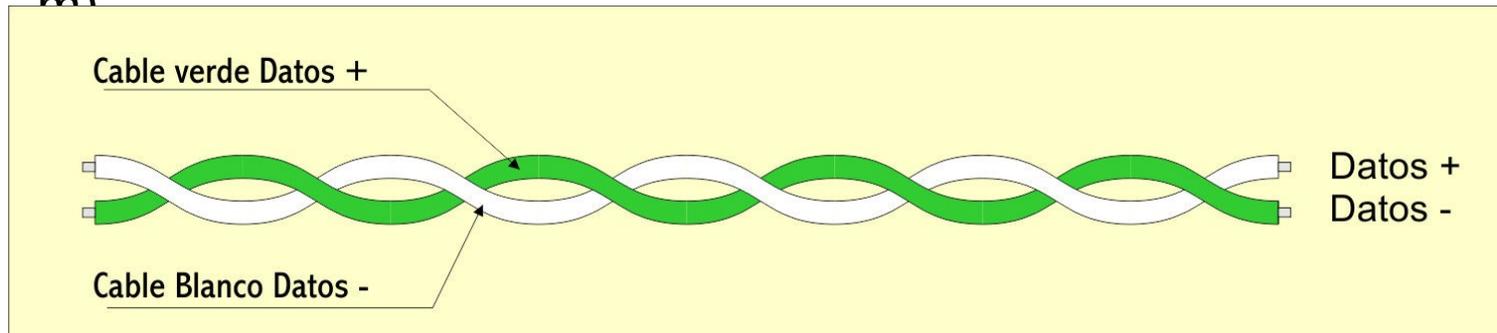
Estándar B



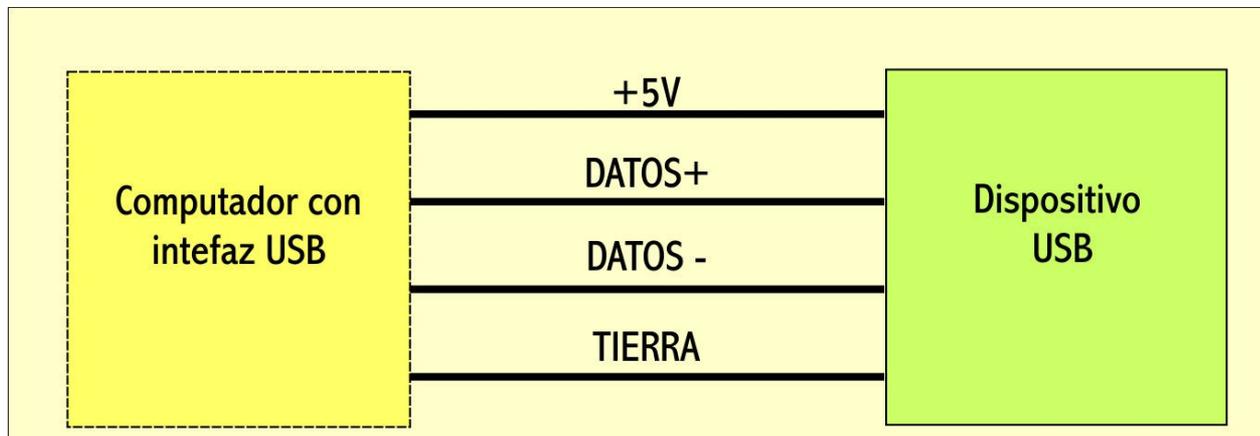
Pin	Nombre	Color del cable	Descripción
1	VCC	Rojo	+ 5 v
2	D -	Blanco	Datos -
3	D+	Verde	Datos +
4	GND	Negro	Tierra

Los hilos se denominan D+ y D-

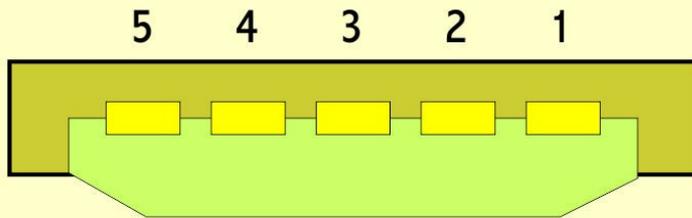
Señalización diferencial en semidúplex para combatir los efectos del ruido electromagnético en enlaces mas largos (estos no pueden tener mas de 5 m)



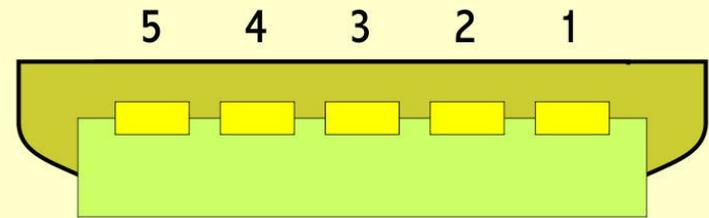
Interconexión de dos dispositivos que funcionan con el bus USB:



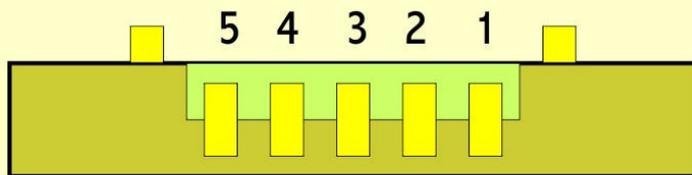
Hay otro tipo de conectores (Mini-A, Mini-B, Micro-AB y Micro-B) para distintas aplicaciones.



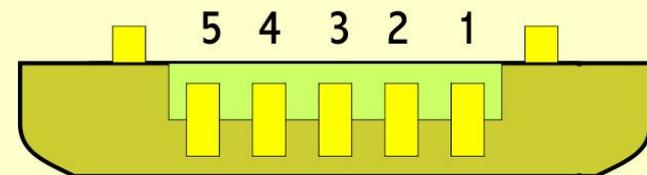
Mini - A



Mini - B



Micro - AB



Micro - B

Características de normalización para el nivel eléctrico

La normalización del nivel eléctrico de la interfaz USB comprende los aspectos que hacen a la señalización, la distribución de potencia y otras especificaciones que corresponden a la capa física.

En la operación **High-Speed** (480 Mbps), el cable debe estar conectado en cada extremo a través de una resistencia a tierra mitad de la impedancia diferencial del cable, o sea 45Ω .

Señales:

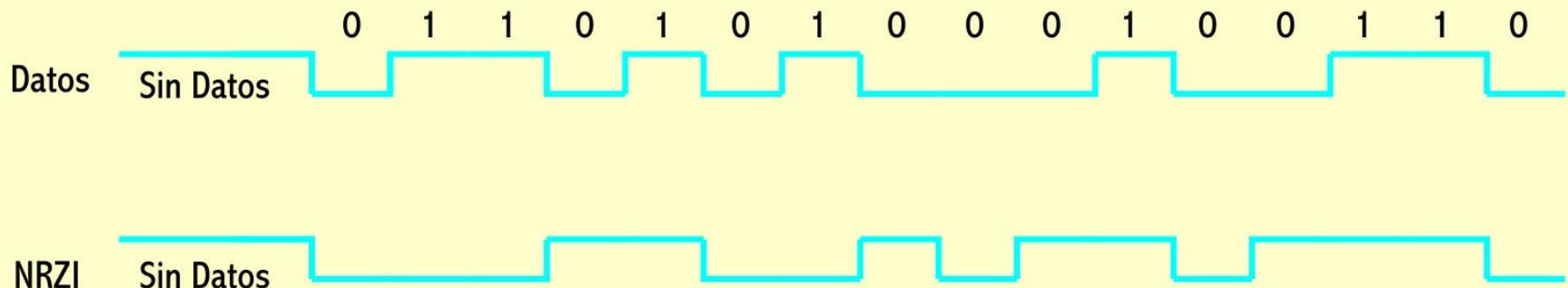
- La tensión entre positivo y tierra: $5,25 \text{ Volt} \geq V \geq 4,75 \text{ Volt}$ (5 V — 5%).
- La corriente para USB 2.0 es de 500 mA para cinco dispositivos externos. Para USB 3.0 es de 900 mA para seis dispositivos.

Características de las señales

Para la transmisión de paquetes utiliza el código banda base NRZI.

La codificación de un “0” es representada por un cambio de nivel.

La transmisión de un “1” es representada sin cambio.



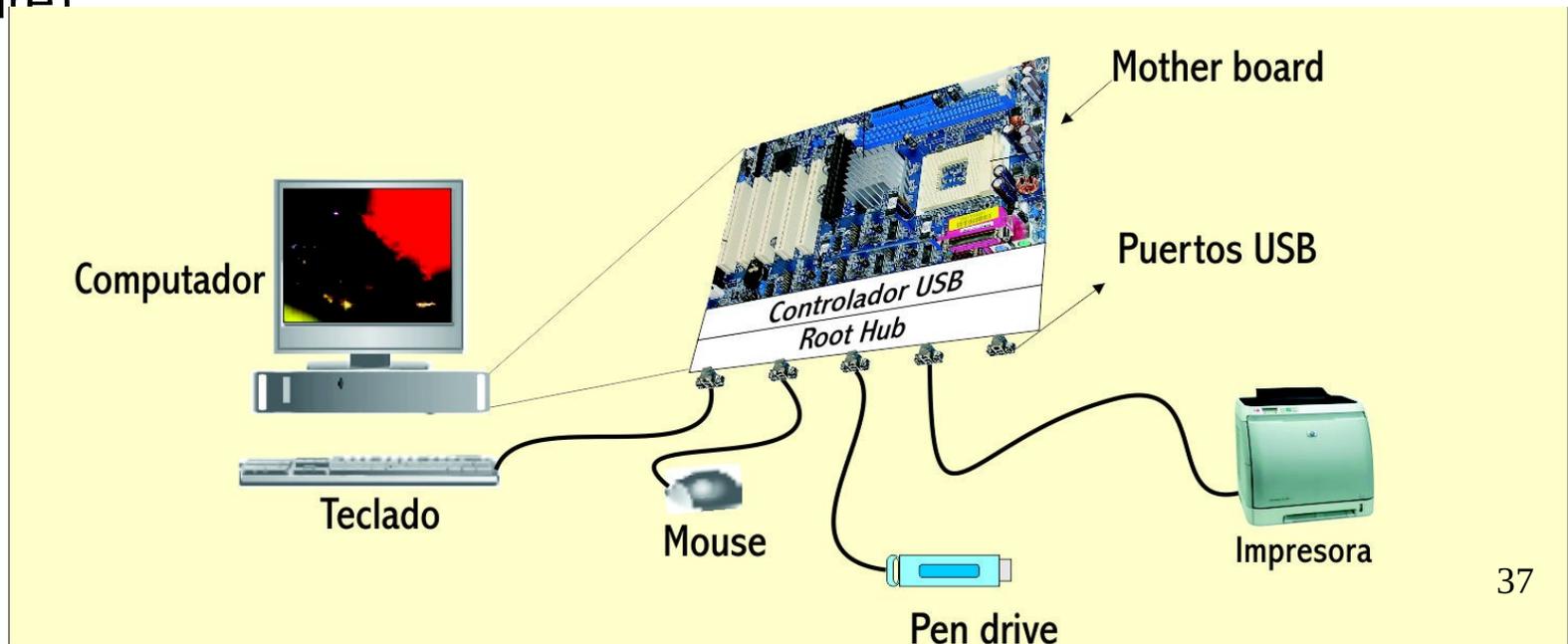
Conexión de dispositivos a través de hub

La conexión de varios dispositivos a un solo computador se puede hacer:

- mediante la existencia de varios puertos USB
- mediante la existencia de un **hub** que centralice las conexiones.

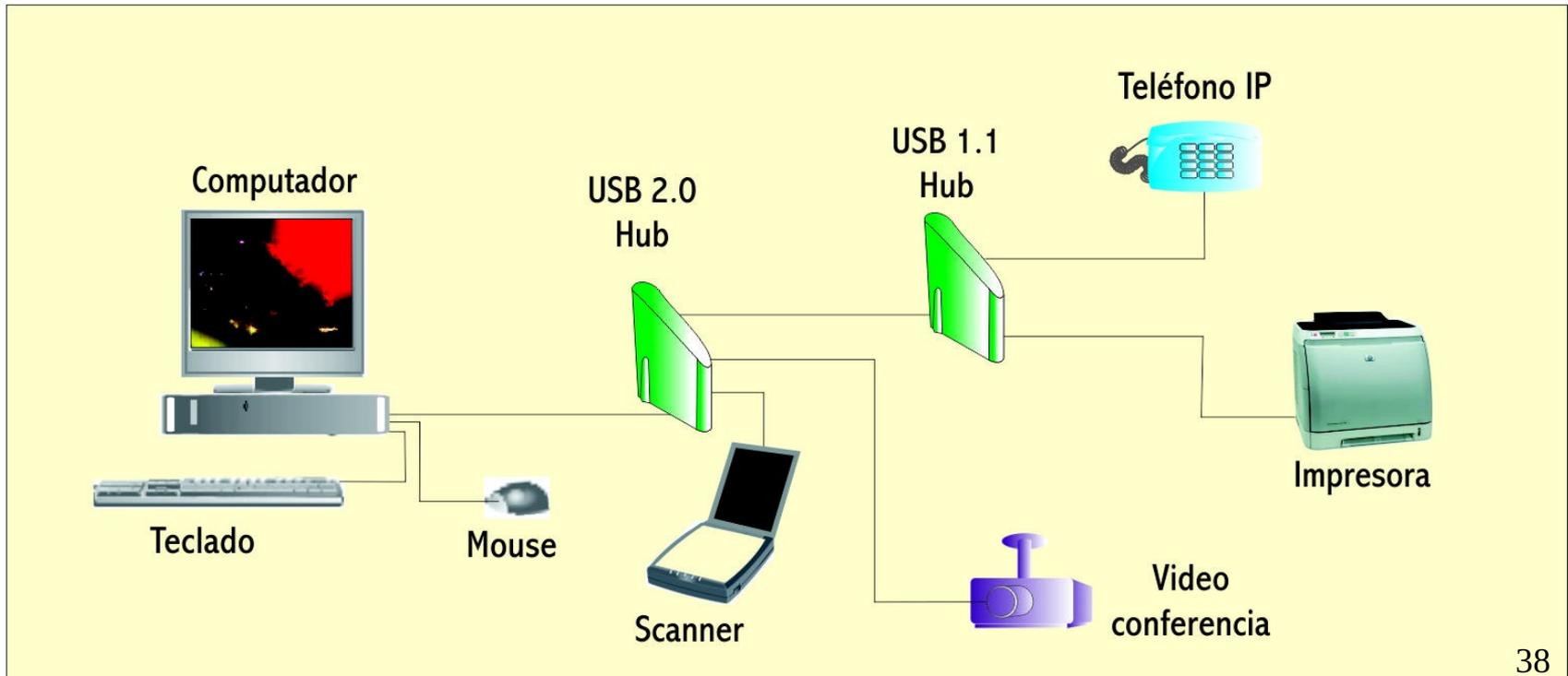
En el computador varios dispositivos periféricos se conecten directamente a el mediante el **root hub** (hub raiz), administrado por el hardware de la USB.

Se pueden instalar varios puertos sobre el mismo **mother board** (placa madre)



Los equipos pueden tener distintas versiones de la interfaz.

Los *hub* externos se pueden instalar en cascada hasta en cinco niveles.



Interfaz FireWire-IEEE 1394

Bus que opera en la capa física.

Interconecta a muy alta velocidad en modo serie.

Usado para la transferencia de datos en tiempo real de dispositivos multimedia, tales como videocámaras, dispositivos de audio y video.

La comunicación no depende de un control centralizado.

Es un modelo de protocolo ***peer-to-peer***.

Características particulares

- Opera en forma totalmente digital, evitando las conversiones.
- Conectores con dimensiones reducidas y cable delgado.
- Enlaces punto a punto hasta una distancia de 4,25 metros con topología de árbol.

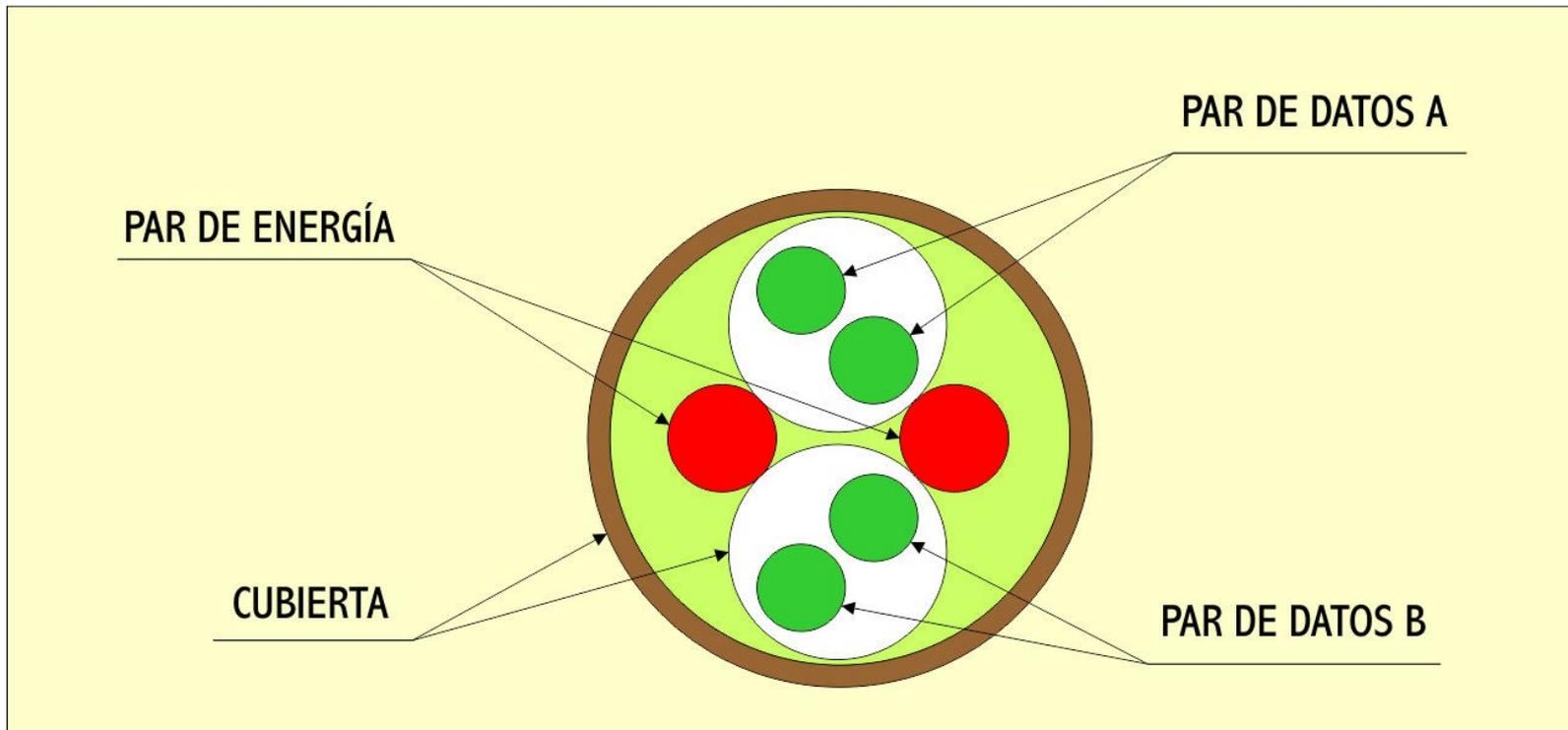
Con repetidores puede ser extendido hasta los 100 metros o más con cable UTP o fibra.

- Permite la conexión ***Plug and Play***.
- Soporta hasta 64 dispositivos sobre una red.
- Permite la conexión en cadena (denominada Daisy Chained), es decir, sin necesidad de contar con un *hub* o un *switch*.
- Interconecta dos o mas dispositivos sin necesidad de que la interfaz requiera de un computador para su funcionamiento.
- Puede trabajar en modo sincrónico o asincrónico.

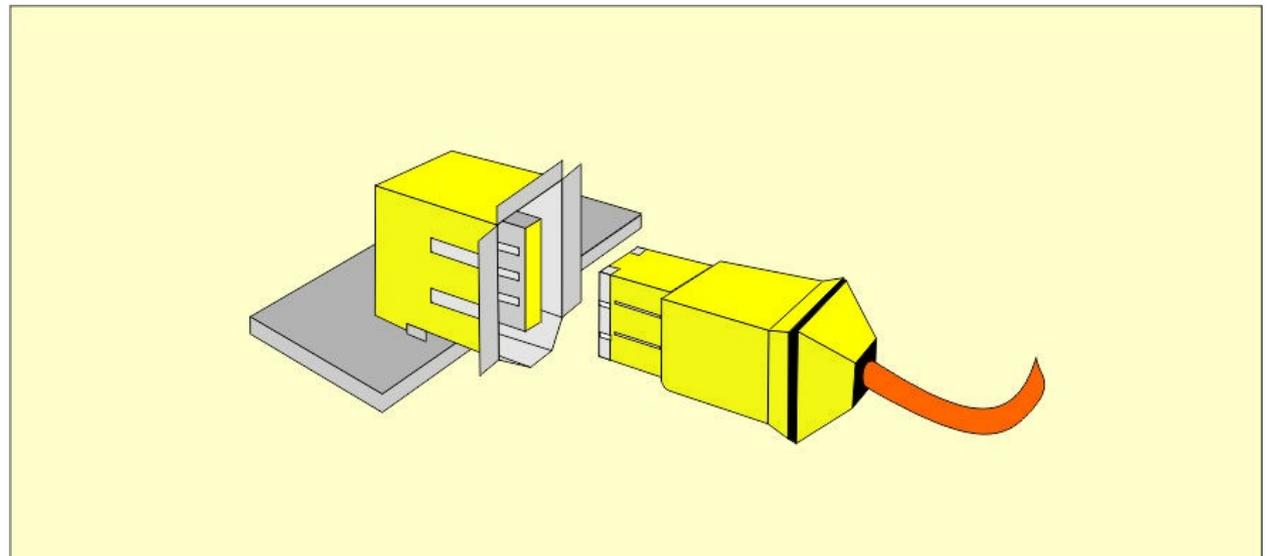
Características técnicas del cable y los conectores

Los cables y conectores utilizan seis o cuatro contactos.

Dos pares llevan las señales de datos y un par, las de alimentación de potencia. También pueden usarse cables sin alimentación de energía.



Conector de 4 pin	Conector de 6 pin	Señales	Descripción
	1	Tensión	+30v unregulater DC
	2	Tierra	TIERRA
1	3	datos B	Par trenzado B
2	4	datos B	
3	5	datos A	Par trenzado A
4	6	datos A	



Sincronismo

El receptor debe adquirir una señal de reloj para alinear los bits recibidos.

El sincronismo es fundamental en los sistemas de transmisión, para que diferentes equipos intercambien datos sin errores.

Diferentes partes de un sistema alinean sus escalas de tiempo o a adoptan una base de tiempo común.

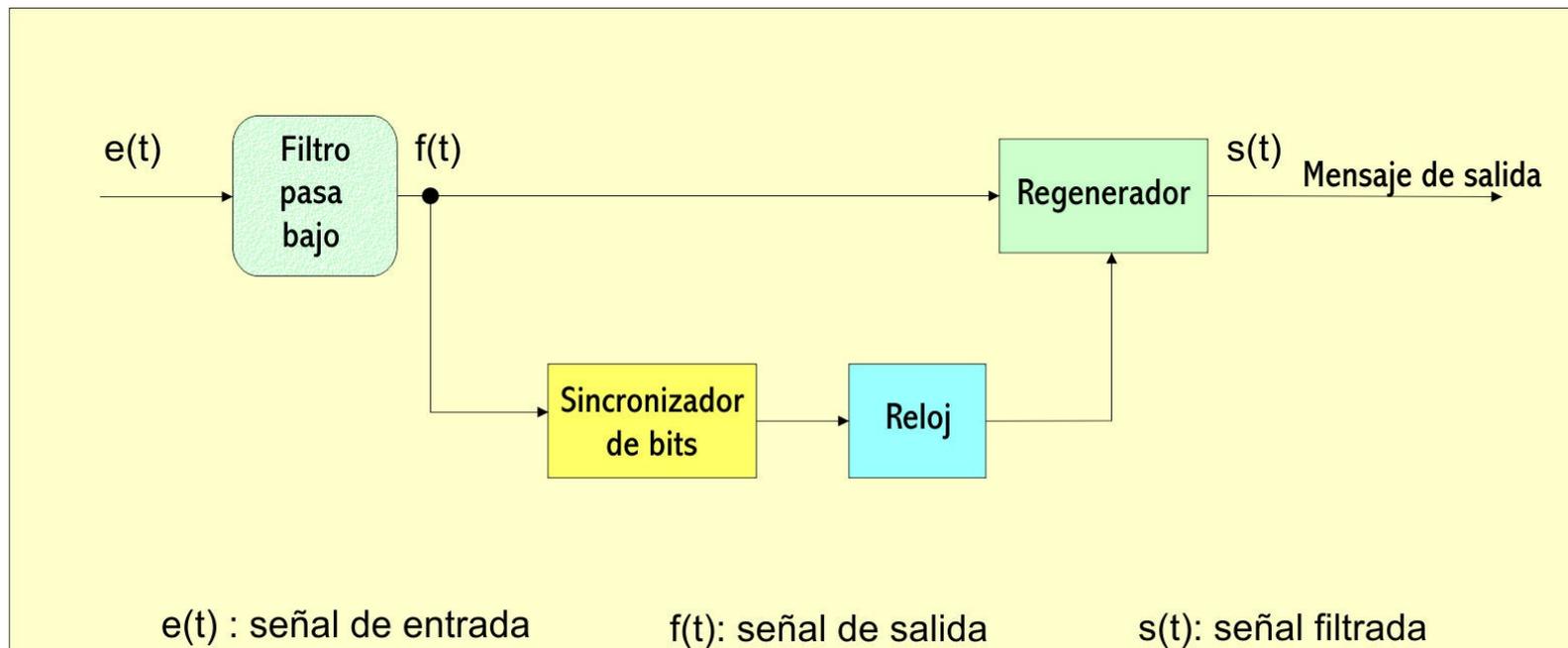
Hay sincronismo para bit, para byte, para bloque, para trama, etc.

Sincronismo de bit

Procedimiento para determinar el momento en que se debe empezar a contar un bit y para asegurar que se mantenga su periodo constante.

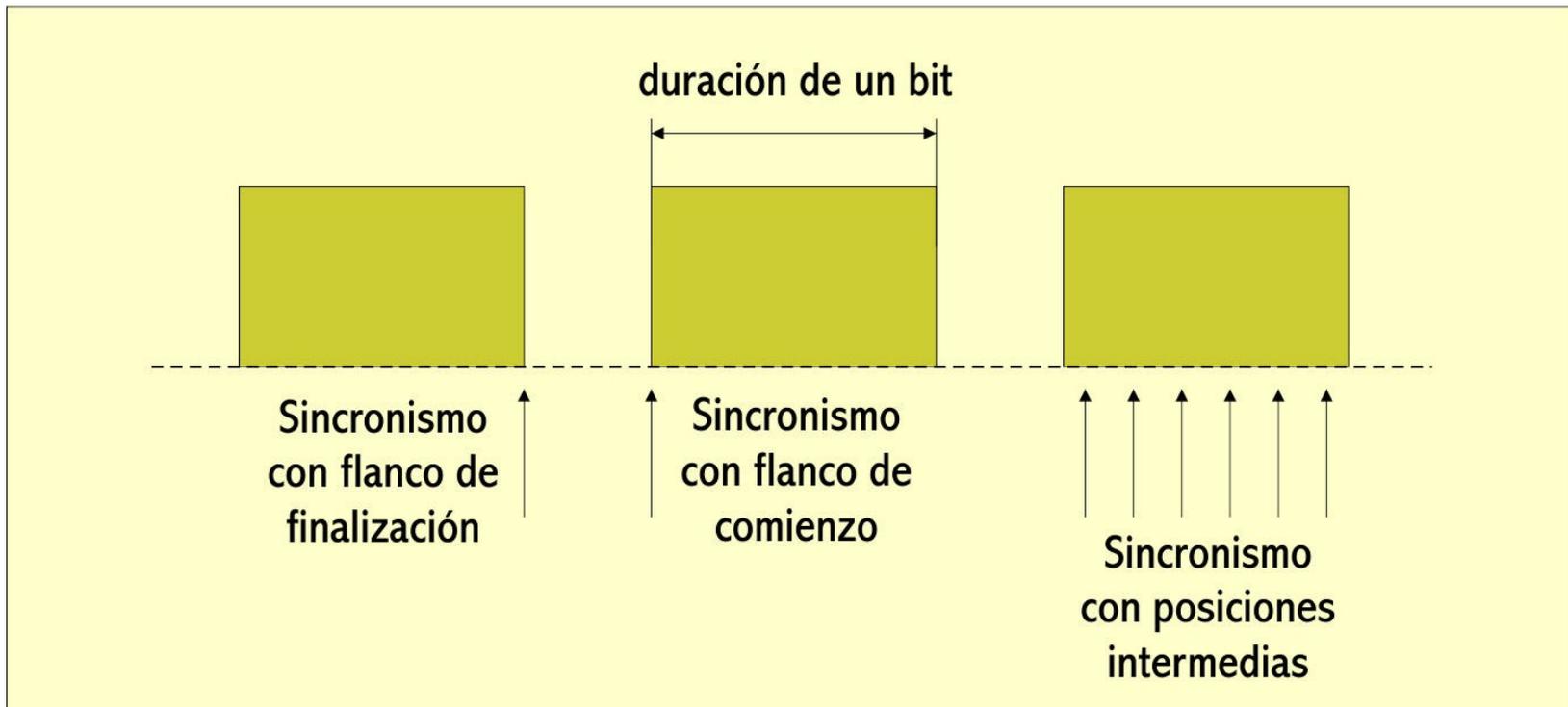
Se genera una señal de reloj que sincroniza el flujo de datos del código en banda base.

Otra técnica extraer la señal de sincronización de la propia señal recibida.



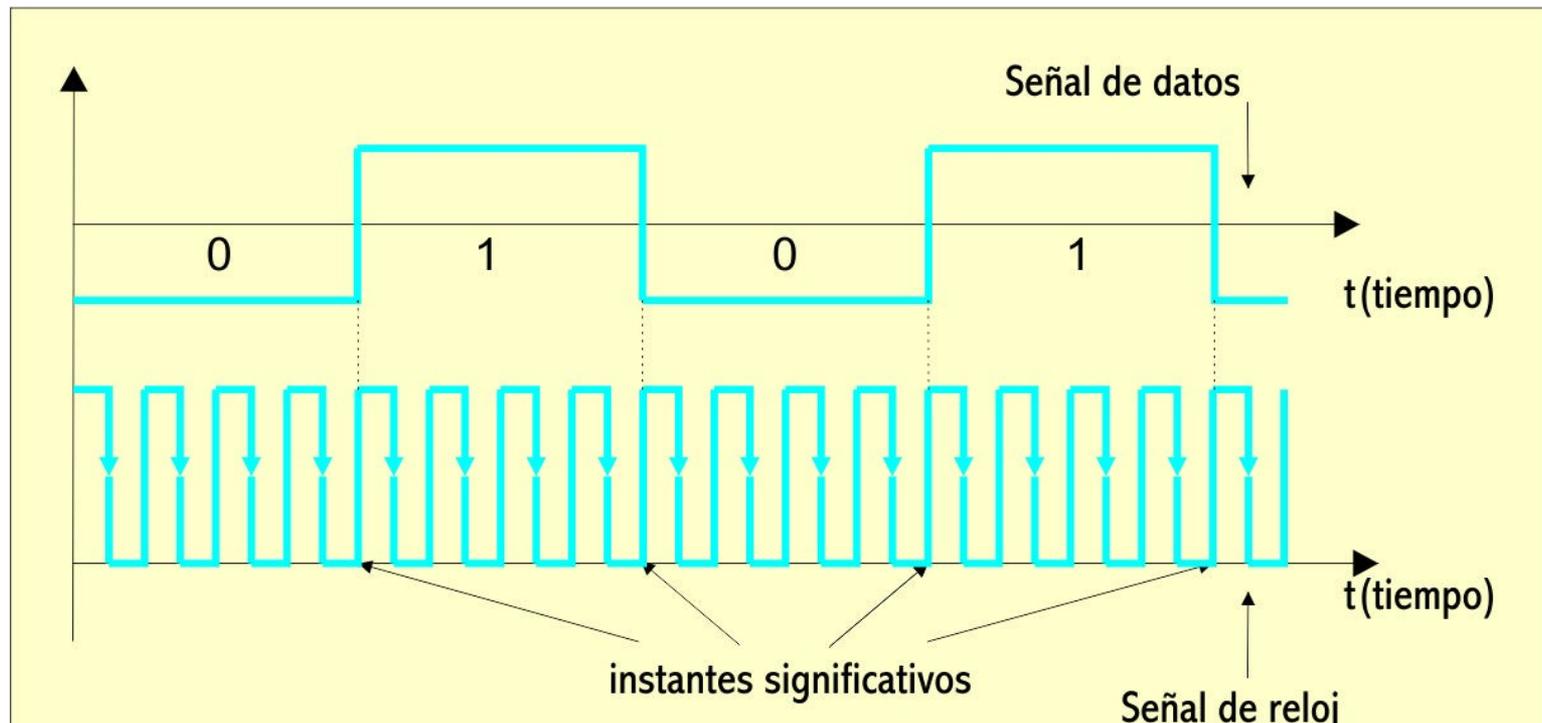
Alternativas del sincronismo de bits: el periodo se puede empezar a contar al principio, durante un estado intermedio o al final.

La frecuencia del reloj que muestrea la línea de comunicaciones debe ser mucho mayor que la velocidad con que llegan los datos por la misma línea.



El sincronismo de bit permite :

- en un receptor conocer con precisión los datos recibidos
- en un repetidor regenerativo regenerar las señales digitales deformadas.



Sincronismo de byte

Procedimiento para determinar el comienzo y la finalización de la transmisión de un byte ó carácter.

Muy importante en el caso de la transmisión asincrónica.

Hay bits especiales para marcar inicio y fin del carácter.

Sincronismo de trama

Procedimiento para sincronizar la unidad de datos que se utiliza en el nivel de enlace.

Hay un mecanismo de detección de errores en un campo específico de la trama.

Estrategias de sincronización de tramas:

- Cuando el receptor pierde el sincronismo de trama, realinea a través de los bits de sincronismo.
- Cuando está sincronizado se controlan los delimitadores.

Sincronismo de paquetes

Técnica de paquetes: divide el mensaje en segmentos y agrega una cabecera.

Los paquetes son ruteados según el estado de la red y la programación de los conmutadores de paquetes o *routers*.

Los paquetes pueden ser de longitud variada o fija.

Paquetes de longitud fija son llamados comúnmente celdas.

El intercambio de paquetes es efectiva para integrar datos, voz u otro tipo de trafico en tiempo real en una sola red.

Debido a las colas dentro de la red, los paquetes sufren demoras (o *delay*) aleatorias y podrían arribar a sus destinos desordenados.

No es factible recuperar el sincronismo a nivel de paquetes en el extremo receptor sin incorporar procedimientos específicos independientes del sincronismo a nivel de bits de la capa física.

Sincronismo de red

El sincronismo de red distribuye señales de tiempo y frecuencia desde los relojes patrones a los distintos equipos utilizando los vínculos existentes.

Funciones:

- Sincronizar los relojes patrones.
- Alinear los relojes ubicados en los equipos
- Sincronizar las redes satelitales, las móviles y sus respectivos terminales.
- Alinear las fases de los distintos conjuntos de antenas.
- Permitir el posicionamiento para facilitar la navegación.

Relojes patrones de cesio son el **estándar primario**.

Son osciladores atómicos que operan en la frecuencia de resonancia del Ce 133.

Los relojes patrones de cesio no requieren un ajuste de frecuencia pero admiten la introducción de una señal externa de referencia de sincronismo.

Relojes patrones para **estándar secundario** son los relojes de **rubidio** o de **cuarzo**