

# Tema 2. Medios de Transmisión. Codificación. Topologías

## 1. Medios de Transmisión

Un medio de transmisión es el camino físico entre el Tx y el Rx en el cual la información viaja en forma de ondas electromagnéticas. Los medios de transmisión se dividen en medios guiados y no guiados, en función del ámbito de dispersión de la onda electromagnética.

La selección de un medio de transmisión u otro depende de determinados factores de diseño:

- Ancho de banda del medio: mayor ancho de banda proporciona mayor velocidad de transmisión.
- Distancia máxima entre dos extremos. Depende directamente de la atenuación del medio: a mayor atenuación, menor distancia máxima.
- Sensibilidad a las interferencias. En entornos electromagnéticamente saturados es necesario utilizar un medio con baja sensibilidad.
- Número de receptores.
- Precio.

El espectro de ondas electromagnéticas para la transmisión de datos se representa en la figura 1

### 1.1. Medios guiados

En estos medios de transmisión, la onda electromagnética viaja enclaustrada a través de un medio diferenciado del entorno y definido. Fundamentalmente se utilizan 3 tipos de medios guiados: el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica. No obstante se pueden utilizar otros medios, como los cables de alimentación, o tubos acústicos.

#### 1.1.1. Par trenzado

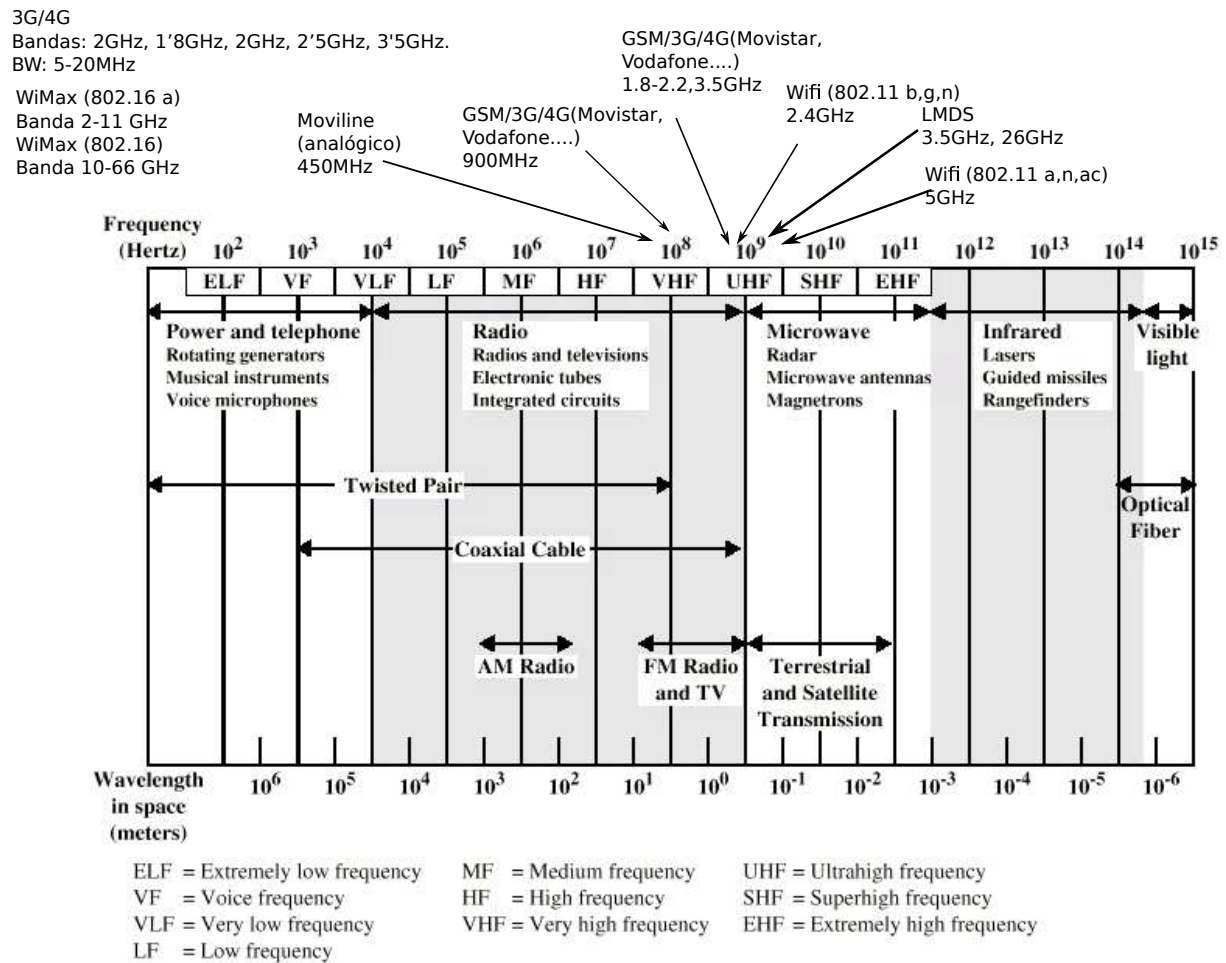
Un par trenzado es un conjunto de dos cables de cobre aislados, entrelazados formando una espiral (ver figura 2). El paso del trenzado es variable y depende del grado de atenuación, de entrada de interferencias que se tolera y sobre todo para evitar ciertos grados de diafonía (cuando parte de la señal que pasa por un par, entra en el otro par). En general suelen ir varios pares en una envoltura.

Es actualmente el medio mas común, aunque comienza a ser sustituido por fibra óptica. Las aplicaciones mas corrientes son:

- Red telefónica: entre abonado y central local (bucle de abonado). Se utiliza cable de categoría UTP 3.
- Dentro de los edificios: centralitas privadas (Private Branch Exchange PBX). Se utiliza cable de categoría UTP 3.
- Redes locales: 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps. Se utilizan cables de categoría UTP 5 para 10/100 Mbps y de categorías 5e, 6 y 7 tanto UTP como FTP/STP para 1/10 Gbps.

Sus características principales son:

- Es el medio mas común gracias a la universalidad de los conectores RJ45.
- Económico y fácil de manejar.



**Figure 4.1 Electromagnetic Spectrum for Telecommunications**

Figura 1: Espectro electromagnético

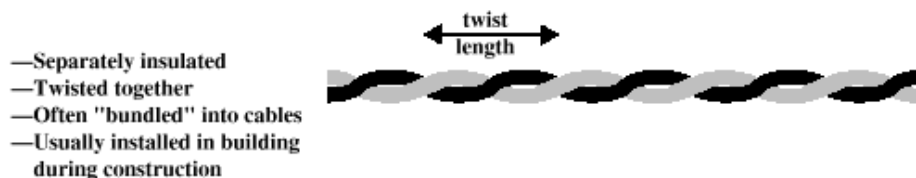


Figura 2: Medios guiados. Par trenzado

- Baja velocidad de transferencia en medio rango de alcance, y corto rango de alcance en LAN para mantener la alta velocidad de transferencia (100m).
- Tiene gran atenuación y una clara relación inversa entre la distancia y la velocidad de transmisión. En transmisión analógica, necesita amplificación cada 5/6 km. En transmisión digital de datos, como mínimo un repetidor cada 2/3 km con velocidades inferiores a 2Mbps. En redes de área local, se necesita un repetidor cada 100m para mantener velocidades de 10/100Mbps.
- Susceptible a interferencias y ruidos (líneas de alimentación).
- Existe en formatos apantallados y sin apantallar. El objetivo del apantallamiento es evitar interferencias electromagnéticas.
  - Sin apantallar: (Unshield Twisted Pair UTP)
  - Apantallado: (Shielded Twisted Pair STP, Super Shielded Twisted Pair SSTP o Foiled Twisted Pair FTP)
    - FTP: apantallamiento general del conjunto de pares.
    - STP: apantallamiento de cada par en particular.
    - SSTP: apantallamiento con mas de una pantalla por par y general.

Categorías de cables de par trenzado:

- Cat 3: Cable de un sólo par. Utilizado para telefonía en edificios. La longitud del trenzado de 7'5 cm a 10 cm. El mas utilizado en el bucle de abonado. Su vida ha aumentado gracias a mejores calidades de materiales y la disminución de distancias. Con diseño apropiado y distancias limitadas hasta 16Mhz con datos, por lo que ha permitido servir de base física a las tecnologías XDSL. Su conector habitual es el RJ11.
- Cat 5: Cable de 4 pares. La longitud del trenzado es de 0'6cm a 0'85cm. Es el mas utilizado en redes locales y en cableado instalado en edificios de oficinas. Permite anchos de banda de hasta 100MHz. Útil para velocidades de 10/100 Mbps.
- Cat 5e: Cable de 4 pares. Es el de categoría 5 mejorado. Puede ser aceptable para conexiones Gigabit.
- Cat 6: Cable de 4 pares. Hasta 250MHz (por tanto en 4 pares, 1Gbps).
- Cat 7: Cable de 4 pares. Es de tipo SSTP. Cada par está apantallado. Útil para conexiones Gigabit.

### 1.1.2. Cable coaxial

Es un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor y del que le separa un aislante. Es mas versátil que el par trenzado en lo que a velocidad de transmisión y distancia alcanzable se refiere. También es mas inmune al ruido y dispone de mas ancho de banda (500MHz), con lo que las velocidades de transmisión son mucho mas elevadas.

El cable coaxial era muy utilizado para enlaces de larga distancia tanto terrestres como submarinos, pero actualmente ha sido prácticamente sustituido por la fibra óptica. En transmisión analógica se empleaba para las transmisiones de voz, pudiendo llevar hasta 10.000 llamadas simultáneas utilizando multiplexación por división en frecuencia (FDM). En transmisión digital permite mas de 7000 canales de 64Kbps utilizando multiplexación por división en el tiempo (TDM).

Sus aplicaciones principales son:

- Distribución de televisión.
- TV por cable, hasta cientos de canales.
- Telefonía a larga distancia.
- Redes de Área local. Cada vez menor, pues su topología es en bus, y un problema en un nodo podía comprometer a toda la red, y era difícil de ubicar.

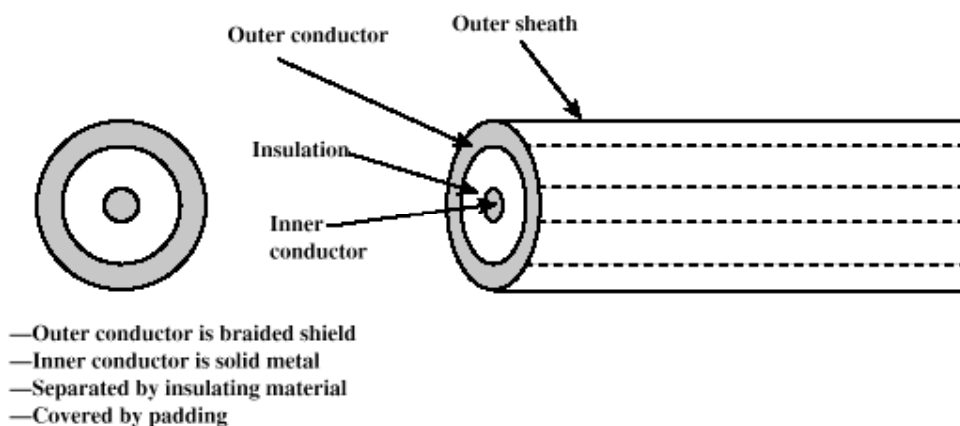


Figura 3: Medios guiados. Cable coaxial

- Actualmente es imprescindible como “Pigtail” para la conexión de la antena a los dispositivos de transmisión inalámbrica.

Sus características principales de transmisión:

- Transmisión analógica:
  - Amplificadores cada pocos kilómetros
  - Amplificadores mas cerca de mayores frecuencias de trabajo
  - Hasta 500MHz
- Transmisión Digital:
  - Repetidores cada 1 Km.
  - Repetidores mas cerca de mayores velocidades de transmisión.
  - Hasta 500 Mbps

### 1.1.3. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que consiste en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz se propaga por el interior de la fibra utilizando una fuente de luz que puede ser un láser o un LED.

Su uso es ampliamente utilizado en telecomunicaciones y posiblemente sea el medio de transmisión guiado mas utilizado en el futuro/presente, ya que permite enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades en algunos casos muy superiores a las de radio o cable. Tiene amplias ventajas, a resaltar que es inmune a las interferencias electromagnéticas.

Consta fundamentalmente de tres partes:

- Núcleo: una o varias hebras o fibras muy finas de cristal o plástico.
- Revestimiento: cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. Cada fibra está rodeada de su propio revestimiento.
- Cubierta: plástico para proteger de humedades y entorno.

A veces, la cubierta engloba múltiples fibras.

Sus aplicaciones principales son:

- Enlaces entre nodos, Backbones, ATM.

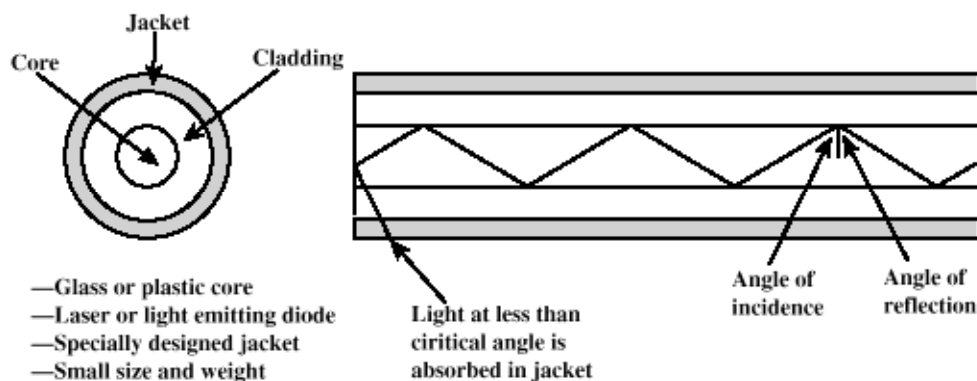


Figura 4: Medios guiados. Fibra óptica

- LAN's; Gigabit Ethernet, largas distancias y situaciones de mucho ruido electromagnético.

Características de transmisión:

- Principio de “reflexión total”. Índice de refracción del entorno mayor que el del medio de transmisión.
- Guía ondas de 10<sup>14</sup> Hz a 10<sup>15</sup> Hz. Todo el visible y parte del infrarrojo.
- Transmisores:
  - LED (Light Emitting Diode): transmisor económico y con mayor vida media. Tiene rangos de funcionamiento mas alto a temperaturas altas.
  - ILD (Injection Laser Diode): es mas eficiente, pero con coste mayor. Tiene mayor velocidad de transferencia.
- Multiplexación por división en longitud de onda (WDM) para llevar varios canales por una sola fibra. Es el mismo concepto que la FDM (multiplexación por división de frecuencias), pero con diferentes técnicas: multiples canales, cada uno en diferentes longitudes de onda (policromático).
- La fibra óptica utiliza transmisión síncrona. La tecnología de capa física se unificó en SONET, ampliada por el CCITT con recomendaciones llamadas SDH. De ahí el término “tecnología SONET/SDH” utilizado actualmente en todas las transmisiones por fibra óptica.
- Una fibra (en la actualidad) puede llevar hasta 80 haces con 10Gbps cada uno.

La fibra óptica tiene dos modos de transmisión:

- Monomodo: largas distancias, mas cara, mas velocidad, pues no hay distorsión multimodal. Las fibras suelen tener color amarillo, y las interfaces están etiquetadas como SMF (Single Mode Fiber).
- Multimodo: cortas distancias, mas barata, menos velocidad (100Mbps) hay distorsión multimodal. Las fibras suelen tener color anaranjado y las interfaces están etiquetadas como MMF (Multi Mode Fiber).

## 1.2. Medios no guiados o inalámbricos

Estos medios de transmisión no tienen un confinamiento de la señal en un área lineal, reducida y protegida, aunque algunos enlaces inalámbricos muy directivos pueden tener características similares.

El medio utilizado es el medio atmosférico o el vacío y las interfaces transmisoras son antenas.

Las grandes ventajas son la movilidad, el alcance de largas distancias, la difusión y el bajo precio. Como desventaja está la necesidad de licencias de uso para el control y la no saturación del medio.

Se clasifican por la banda del espectro que utilizan estos medios, y disponen de tecnologías de transmisión de datos. Existen diversas clasificaciones.

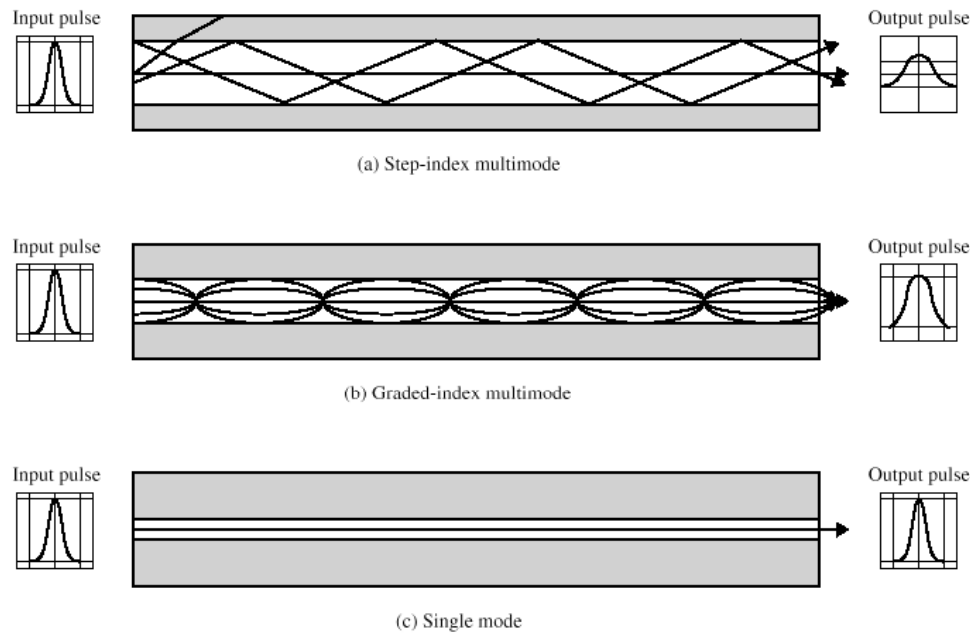


Figura 5: Medios guiados. Fibra óptica. Modos de transmisión

### 1.2.1. Microondas terrestres

Se ubica en la banda 300-3000MHz, con algunos canales de bandas superiores (3'5GHz, 26GHz).

Es utilizada fundamentalmente para enlaces punto a punto, para acceso por telefonía móvil o para redes de área local. Algunas tecnologías:

- LMDS (Local Multipoint Distribution System): permite enlaces punto a multipunto. Utilizada en redes de acceso de polígonos industriales.
- Enlaces punto a punto entre redes de área local o LAN.
- LAN inalámbrica o WLAN. Varias bandas: WLAN 802.11b/g/n trabaja entre 2'4 GHz  $\rightarrow$  2'485 GHz, WLAN 802.11a/n/ac trabajan en la banda de 5GHz.
- Telefonía móvil, UMTS, 3G, 4G (o LTE).

### 1.2.2. Microondas por satélite

Se ubica en la banda 3-30GHz aunque tiene canales muy específicos para atravesar la ionosfera. Se utiliza fundamentalmente para difusión aunque también tiene otros usos, como enlaces punto a punto a largas distancias. Algunos ejemplos son la difusión de señales de televisión vía satélite, la transmisión telefónica a larga distancia o enlaces privados punto a punto.

### 1.2.3. Ondas de Radio

Se ubica en la banda 3KHz a 300GHz. Engloba a las anteriores en la denominación general y es poco precisa. Es utilizada para transmisión analógica y digital.

- Transmisión analógica:
  - Difusión de televisión analógica y TDT.
  - Difusión de radio.
- Transmisión digital:

- WLAN. Estándar 802.11.
- WiMax. Estándares 802.16
  - 802.16 banda entre 10 y 66 GHz.
  - 802.16a banda entre 2 y 11 GHz.

#### 1.2.4. Infrarrojos

Se utiliza la banda entre 300GHz y 380THz. Tiene requerimientos de transmisión altamente directivos, aunque puede aprovechar rebotes y distorsiones.

Se utiliza en enlaces punto a punto.

## 2. Codificación de datos

- Datos digitales sobre señales digitales. Menos complicado y menos costoso.
- Datos analógicos sobre señales digitales. Técnicas recientes para transmisión digital.
- Datos digitales sobre señales analógicas. Medios no guiados solo permiten señales analógicas.
- Datos analógicos sobre señales analógicas. La modulación permite compartir el medio de transmisión.

### 2.1. Datos digitales sobre señales digitales.

- Señal digital
  - Discreta, pulsos de tensión discontinuos.
  - Cada pulso es un elemento de señal
  - Los datos binarios están codificados mediante elementos de señal.
  - Menos complicado y menos costoso. Hay que realizar pocas operaciones.
  - Terminología:
    - Señal unipolar. Todos los elementos de señal tienen el mismo signo algebraico.
    - Señal bipolar: Un elemento de señal se representa con un nivel de tensión en la señal positivo y el otro mediante un nivel negativo.
    - Elementos de datos: un uno o cero binario es un bit.
    - Razón de datos R: velocidad de transmisión de los datos en bits por segundo.
    - Duración o longitud de bit.
      - ◊ Tiempo empleado por el transmisor en enviar un bit.
      - ◊ Igual al inverso de R.
    - Elemento de señal o símbolo: pulso de tensión constante.
    - Tasa o velocidad de modulación D.
      - ◊ Velocidad a la cual cambia el nivel de la señal.
      - ◊ Se mide en baudios (símbolos/seg).
      - ◊ Depende del esquema de codificación elegido.
      - ◊ Puede ser distinta de R.
  - Interpretación de las señales
    - El receptor necesita conocer:
      - ◊ Cuando empieza y acaba cada elemento de señal.
      - ◊ El nivel enviado
    - El reconocimiento del símbolo enviado se realiza muestreando en la mitad del símbolo enviado y comparando el nivel obtenido con un umbral.
    - El éxito o fracaso de la interpretación del receptor depende de:
      - ◊ La relación señal-ruido ( $S/NdB$ )

- ◊ La razón de datos  $R$ .
  - ◊ El ancho de banda.
- Se puede afirmar que:
  - ◊ Si la relación señal-ruido aumenta se reduce la tasa de error por bit.
  - ◊ Mas ancho de banda permite un incremento de la razón de datos.
- Esquema de codificación.
  - Es la correspondencia entre los elementos de datos (bits) y los elementos de señal (símbolos).
  - El esquema de codificación puede mejorar las prestaciones de la transmisión.
  - Criterios de comparación:
    - Se busca un esquema de codificación que haga que el espectro de la señal transmitida posea las siguientes características:
      - ◊ Falta de componentes altas de frecuencia
      - ◊ Falta de componente continua por tanto se puede transmitir a través de transformadores acoplados.
      - ◊ Concentración de las componentes de la señal en la parte central de la banda.
    - La sincronización permite determinar el principio y el fin de cada bit.
      - ◊ Transmitir una señal de reloj por separado es costoso.
      - ◊ La sincronización puede ir incluida en el propio esquema de codificación.
    - Detección de errores. Puede ser construido en el esquema de codificación (capa física).
    - Inmunidad frente al ruido y frente a interferencias.
    - Coste y complejidad.
      - ◊ Mayor tasa de datos implica lógica digital mas costosa.
      - ◊ Algunos códigos requieren una razón de elementos de señal mayor que la velocidad de transmisión real de datos.
  - NRZ, no retorno a cero.
    - Dos voltajes distintos para 0 y 1.
    - Tensión constante durante el intervalo
      - ◊ Unipolar: 0 voltios para 0 lógico y  $V$  voltios para 1 lógico
      - ◊ Bipolar:  $-V$  voltios para 0,  $+V$  voltios para 1.
  - NRZI, no retorno a cero invertido.
    - Tensión constante durante el intervalo
    - La información va en las transiciones, ejemplo de codificación diferencial .
    - Una transición representa un 1, ninguna transición representa un 0.
    - Ambos fáciles de construir
    - Defectos: tiene componente continua y falta de sincronización.
    - No detectan errores.
    - Menos errores: si hay ruido, es mas fácil detectar transiciones
  - Binario multinivel
    - Mas de dos niveles en la señal.
    - Ejemplo: bipolar AMI; 0 representado por 0 voltios, 1 representado por pulsos positivos y negativos alternados.
    - No se pierde sincronismo si hay una cadena larga de 1s, sí de 0s.
    - Ninguna transición representa un 0.
    - La pseudoternaria representa un 1 por la ausencia de señal y un 0 por pulsos positivos y negativos alternados.
    - Son capaces de detectar ciertos errores.
  - Bifase



- Manchester
  - ◇ Transición en medio de cada periodo
  - ◇ La transición sirve de reloj para el sincronismo.
  - ◇ La transición de un nivel bajo a uno alto representa un 1.
  - ◇ La transición de un nivel alto a uno bajo representa un 0.
  - ◇ Usado en la IEEE 802.3 (CSMA/CD Bus.)
- Diferencial Manchester
  - ◇ Siempre hay una transición en mitad del símbolo
  - ◇ La transición al comienzo de un periodo representa un 0.
  - ◇ La no-transición al comienzo de un periodo representa un 1.
  - ◇ Usado en la IEEE 802.5
- Ventajas
  - ◇ Fácil sincronización
  - ◇ No hay componente continua
  - ◇ Detección de errores
- Inconvenientes
  - ◇ Mas ancho de banda, al menos una transición, y a veces dos por período de símbolo.
  - ◇ Limitada velocidad de transferencia (100MHz).
  - ◇ Susceptible a interferencias y ruidos.
- Velocidad de modulación
  - La razón de datos (bits/seg) es aquella a la cual se generan los datos.
  - La velocidad de modulación (baudios) es aquella a la cual se generan los elementos de señal.

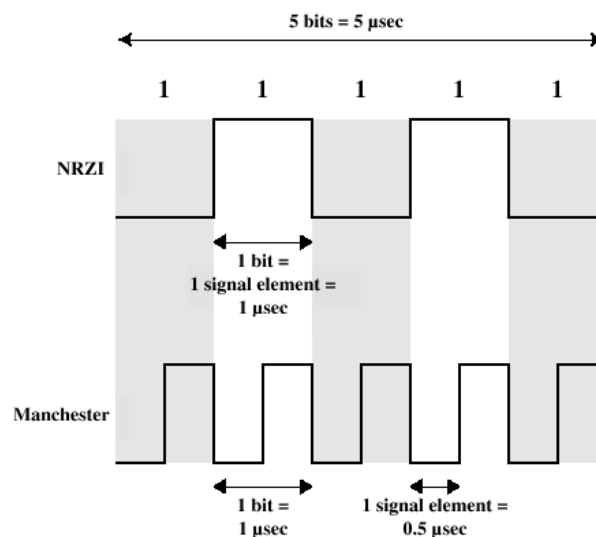


Figura 6: Codificación. Razón de datos

- Técnicas de Scrambling o altibajos.
  - Los esquemas bifase en LAN, pero difícilmente aplicables a largas distancias (WAN).
  - Reemplazan secuencias de bits que dan lugar a niveles de tensión constante, pues pueden hacer perder el sincronismo al receptor.
  - Varias técnicas:
    - ◇ B8ZS (Bipolar with 8 Zero Substitution).
    - ◇ HDB3 (High Density Bipolar-3 Zeros).

Algunos esquemas de codificación se presentan en la figura 7

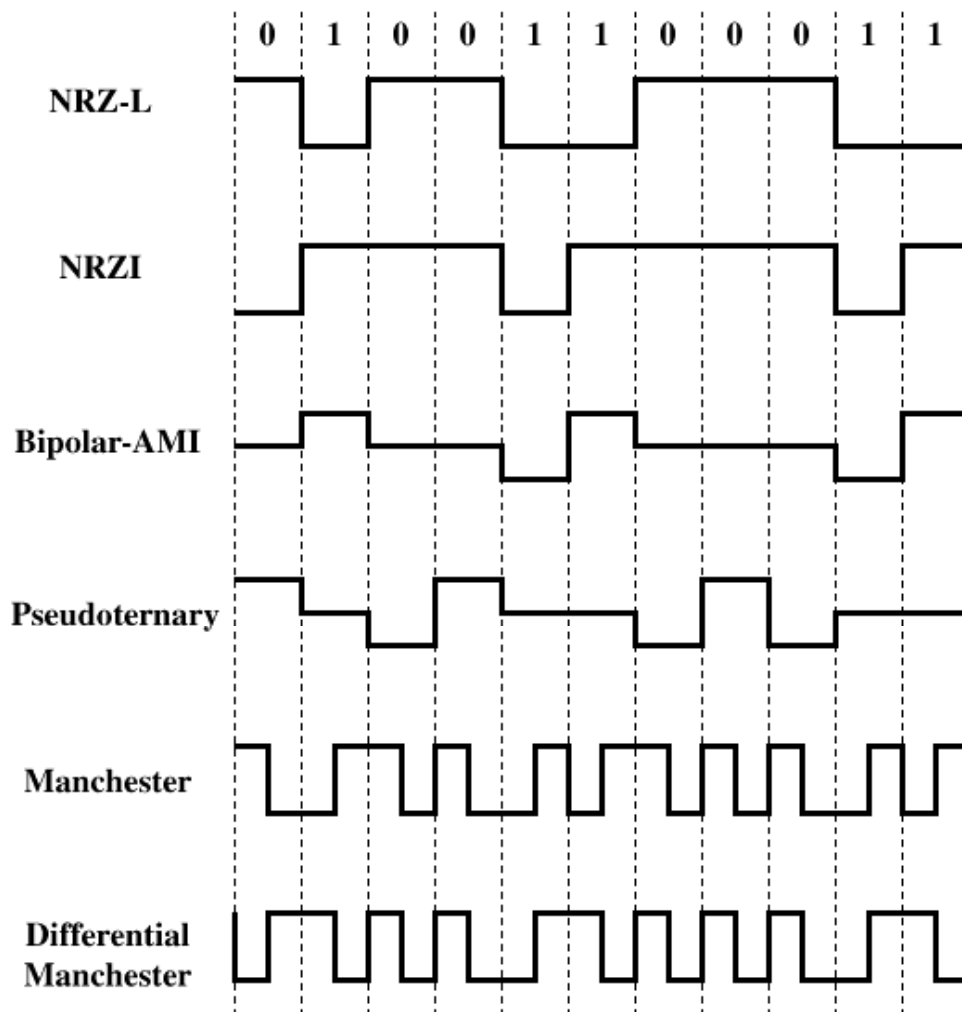


Figura 7: Codificación. Datos digitales sobre señales digitales

## 2.2. Datos Digitales sobre señales Analógicas

El caso mas común de este esquema de codificación es el sistema de telefonía pública. Este sistema transmite en el rango de frecuencias de voz entre 300 y 3400 Hz. El dispositivo codificador es el módem (modulador-demodulador).

Existen tres técnicas básicas de codificación, y en todos los casos, la señal resultante ocupa un ancho de banda centrado en torno a la frecuencia portadora.

- Desplazamiento en Amplitud o ASK (Amplitude-Shift keying)
  - Los valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora.
  - Es usual que una sea cero, en tal caso, en recepción se usa un mecanismo de recepción tipo presencia o ausencia de portadora.
  - Hasta 1200 bps en líneas de voz.
  - Usado en fibra óptica, en este caso se emite una señal de baja intensidad en lugar de “ausencia de señal”, y esta señal de baja intensidad sirve de señalización.
- Desplazamiento de Frecuencia o FSK (Frequency-Shift Keying)
  - Los dos valores binarios se representan por dos frecuencias diferentes próximas a la frecuencia de la portadora.
  - Menos susceptible a error que ASK
  - Hasta 1200 bps en líneas de voz.
  - Usado en radio-frecuencias (3 MHz a 30 MHz) y en LAN coaxial.

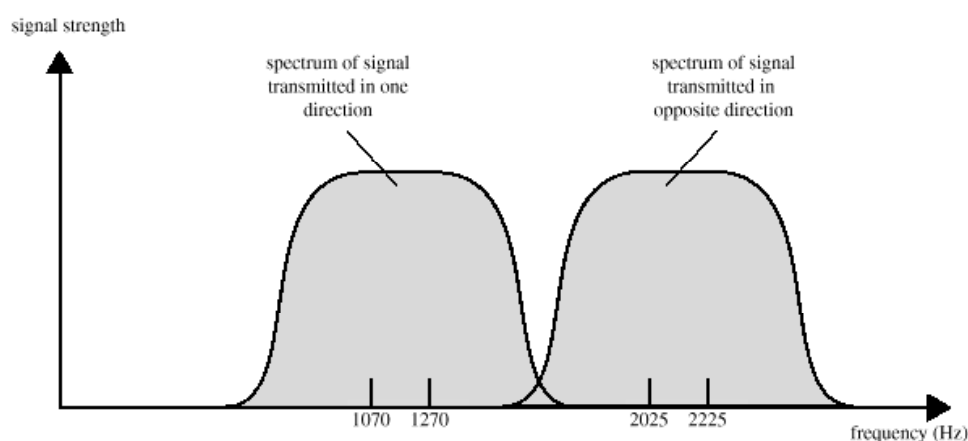


Figura 8: Codificación. Datos digitales a través de módem

- Desplazamiento de fase o PSK (Phase-Shift Keying)
  - La fase de la portadora es cambiada para representar los datos
  - PSK diferencial, un 1 se representa por un cambio de fase.
  - Tiene varias modalidades en función de la velocidad de símbolo
    - Desplazamiento de fase en cuadratura o QPSK.
      - ◊ Uso mas eficaz del ancho de banda si cada elemento de señal transmite mas de un bit.
      - ◊ Con desplazamiento de  $90^\circ$  se pueden transmitir 2 bits por elemento de señal. Con desplazamientos de  $45^\circ$  3 bits etc.
      - ◊ Los módems de 9600 baudios usan 12 ángulos, cuatro de los cuales tienen dos amplitudes.
      - ◊ El análisis en el receptor de la transmisión es estadístico.

Las diferentes modulaciones de datos digitales sobre señales analógicas se presentan en la figura 9.

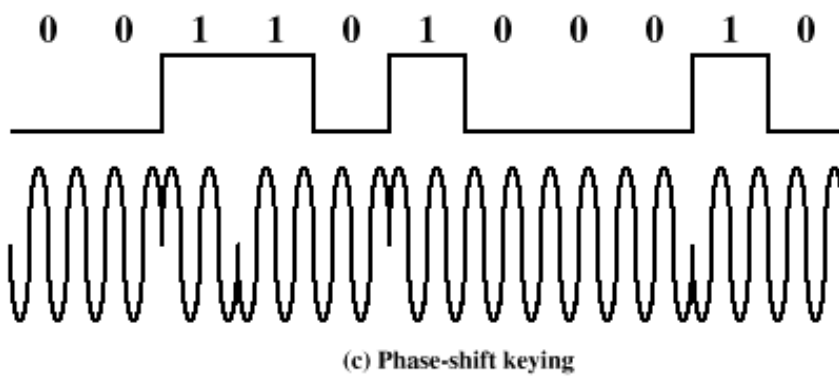
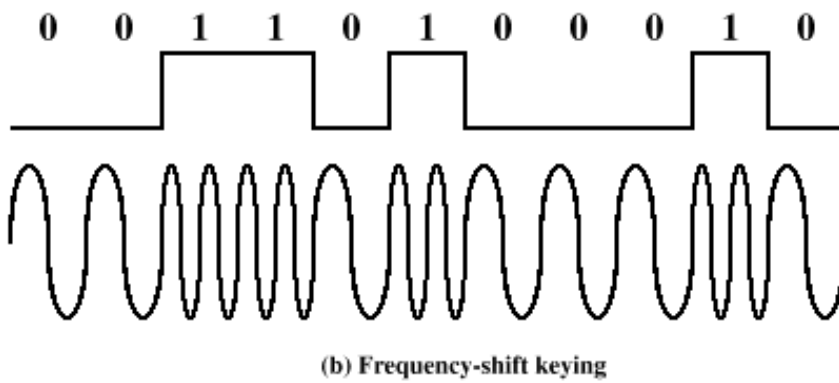
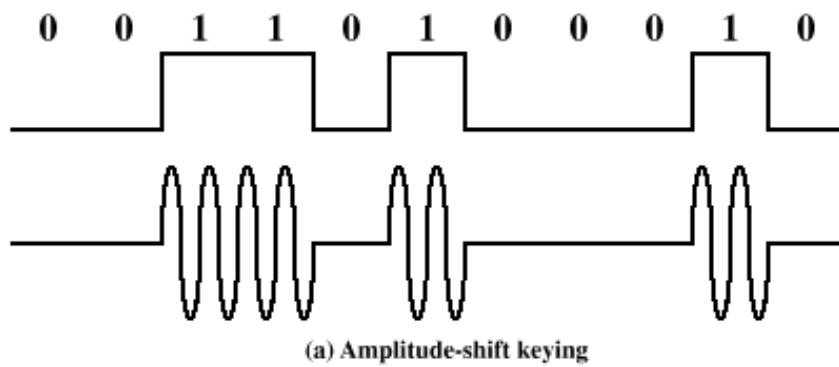


Figura 9: Codificación. Datos digitales sobre señales analógicas

## 2.3. Datos analógicos sobre señales digitales

- Partir de una información analógica desde el primer “sensor”.
- Digitalización:
  - Conversión de datos analógicos en digitales.
  - Los datos digitales pueden transmitirse usando NRZ u otros códigos
  - Los datos digitales pueden ser transmitidos por señales analógicas
  - La conversión analógico-digital la hace un codec (codificador-decodificador).
  - Modulación por codificación de impulsos
  - Modulación delta.
- Modulación por Codificación de impulsos PCM
  - Teorema del muestreo: si una señal es muestreada a intervalos regulares a una velocidad el doble de su componente de mayor frecuencia, estas muestras contienen la misma información que la señal original.
  - La voz está limitada a 4000 Hz por tanto se requieren 8000 muestras por segundo.
  - Las muestras analógicas reciben el nombre de PAM (Pulsos Modulados en Amplitud), y cada PAM se le asigna un valor digital.
  - Una digitalización de 4 bits proporciona 16 niveles
  - Error o ruido de cuantización. Cada bit adicional mejora la S/N en 6dB, es decir, un factor de 4.
  - Cuantización no lineal
    - El error de cuantización es mayor en muestras de pequeña amplitud por tanto los elementos pequeños están en términos relativos más distorsionados
    - Puede mejorarse la cuantización usando un número mayor de niveles de cuantización para señales de poca amplitud y un número menor para señales de gran amplitud.
    - También se puede hacer con una función de compresión y una cuantización lineal.
    - En voz, mejoras de 24 a 30dB
  - Modulación Delta, DM
    - Una señal analógica es aproximada por una función escalera
    - Se sube o se baja un nivel en cada intervalo de muestreo. “La transición hacia (arriba o hacia abajo) por cada intervalo se elige de tal forma que la función escalera aproxime de la mejor forma la señal original”.
    - La salida de la modulación Delta se puede representar como un único bit por cada muestra.
    - Parámetros importantes son:
      - ◊ Cuanto de amplitud (ruido de cuantización). “Tamaño del escalón”.
      - ◊ Frecuencia de muestreo (ruido de sobrecarga de pendiente).
    - Implementación muy sencilla
  - Prestaciones de la transmisión digital de señales analógicas en la transmisión de voz.
    - Una buena calidad se puede conseguir con PCM de 128 niveles, es decir, con 7 bits.
    - Partiendo de voz con ancho de banda de 4kHz, se necesitan 56 kbps para PCM. ( 4kHz entonces por Nyquist 8000 muestras/seg, 8k/seg \* 7 bits = 56 kbps)
    - Si el PCM viaja mediante un AMI bipolar (o cualquier esquema de codificación de 2 símbolos) se necesitarían 28 kHz de ancho de banda, pero tiene ventajas:
      - ◊ No hay ruido aditivo.
      - ◊ No se usa FDM (modulación por división de frecuencia) sino TDM (modulación por división en el tiempo).
      - ◊ Posibilidad de conmutaciones de forma más sencilla.
    - Se pueden usar técnicas de compresión, en imágenes se puede reducir de 92 Mbps (el color de cada punto se codifica con 10 bits) a 15 Mbps. En secuencias que varíen poco hasta 64 kbps

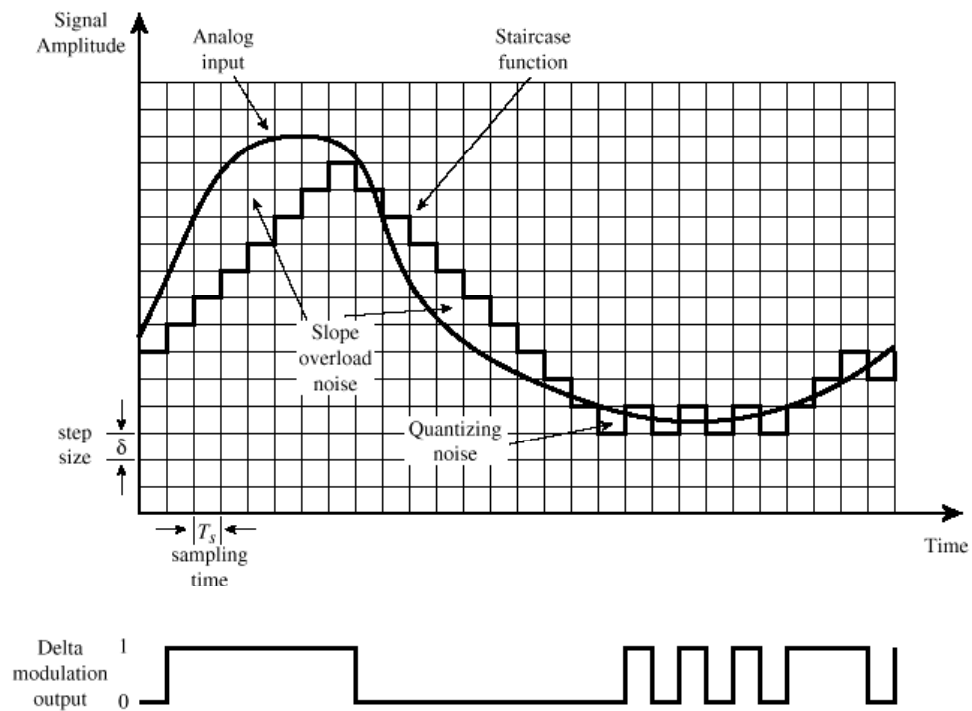


Figura 10: Codificación. Datos analógicos sobre señales digitales. Modulación delta DM.

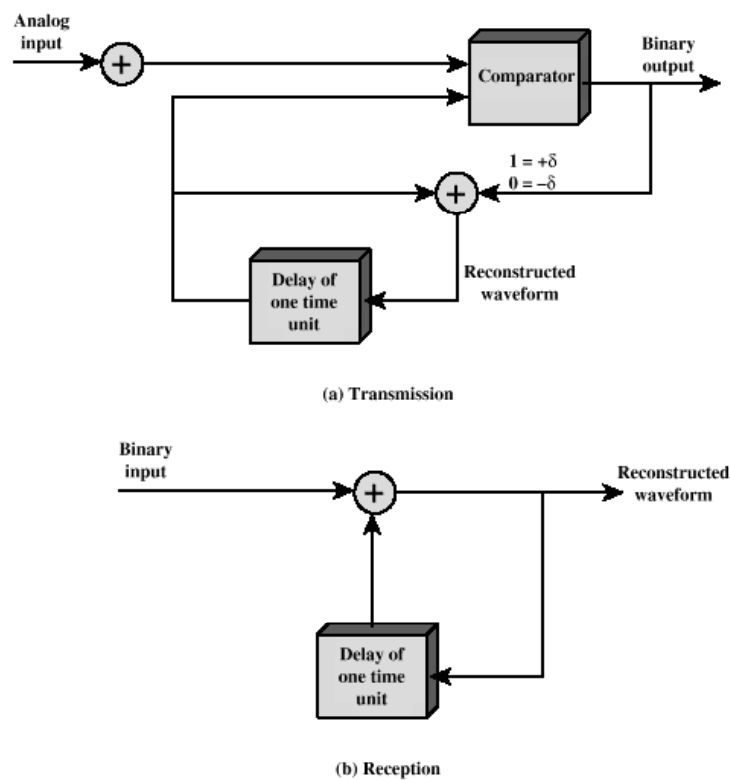


Figura 11: Codificación. Datos analógicos sobre señales digitales. Implementación de la modulación delta DM.

## 2.4. Datos analógicos sobre señales analógicas

- Las señales analógicas se modulan para que la transmisión sea mas efectiva
- Se comparte el medio mediante multiplexación de frecuencia FDM.
- Tres tipos de modulación:
  - Modulación en amplitud
  - Modulación en fase
  - Modulación en frecuencia

## 3. La Interfaz en las comunicaciones de datos

- En comunicaciones se estudia la transmisión serie. Elementos de señal de uno en uno.
- Dos Tipos
  - Transmisión Asíncrona:
    - Basada en transmisión de caracteres de longitud fija e información de paridad y parada. Hace disminuir el efecto del error de temporización, haciendo que esta dure menos (solo un carácter)
    - Ejemplo: El receptor se sincroniza mediante transiciones de 1 a 0, y solo tiene que temporizar  $8 + 2$  bits como máximo.
    - Mal rendimiento: 2 bits adicionales como parada y comienzo (como mínimo)
  - Transmisión Síncrona:
    - la señal de datos lleva implícita la sincronización (codificación Manchester, etc).
    - Lleva información de comienzo de bloque y de final de bloque
    - Al conjunto se le llama trama.
- Dos configuraciones:
  - Full-Duplex.
  - Half-Duplex.

## 4. Control de Enlace de Datos

- Necesidad de un control por errores de transmisión y control de la velocidad de recepción.
- Basado en:
  - Control de flujo
    - Parada-espera.
    - Ventana deslizante
  - Detección de errores
    - Comprobación de paridad.
    - Comprobación de redundancia cíclica (CRC). Es un procedimiento de aritmética binaria. CRC-CCITT en Europa.
  - Control de errores
    - Gama ARQ (Automatic Repeat reQuest).
      - ◊ ARQ parada y espera
      - ◊ ARQ vuelta atrás-N y ARQ rechazo selectivo. Ambos para ventana deslizante.
- HDLC (High-level Data Link Control)

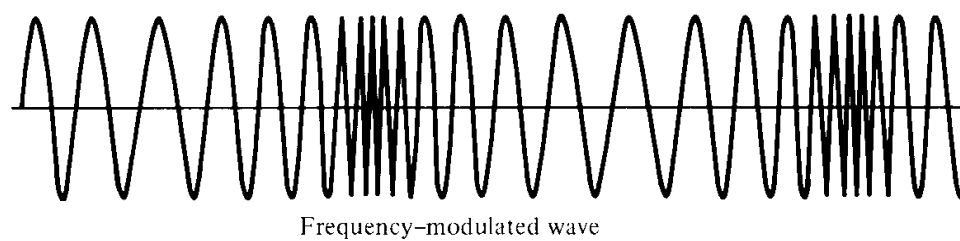
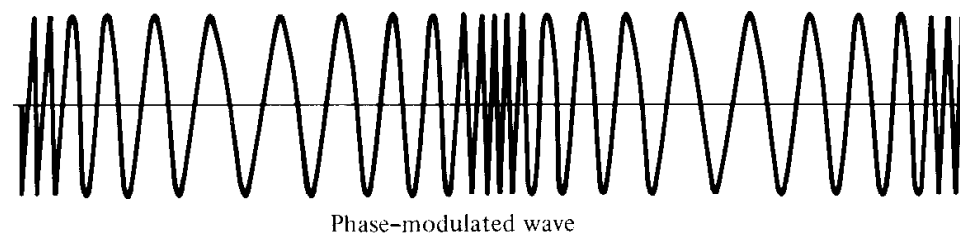
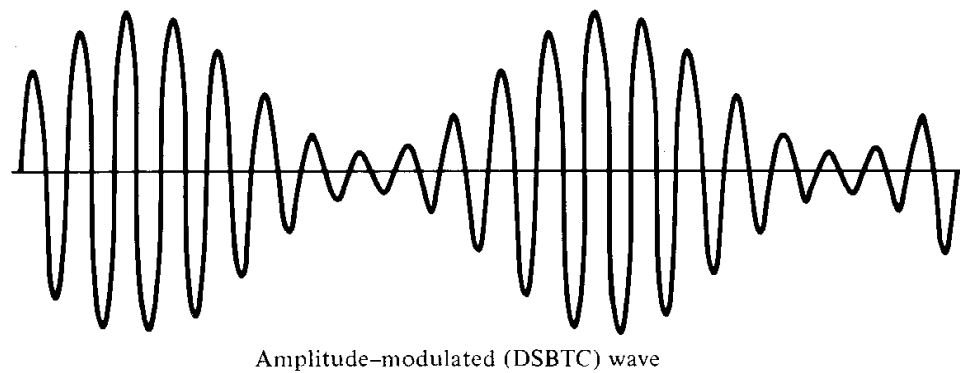
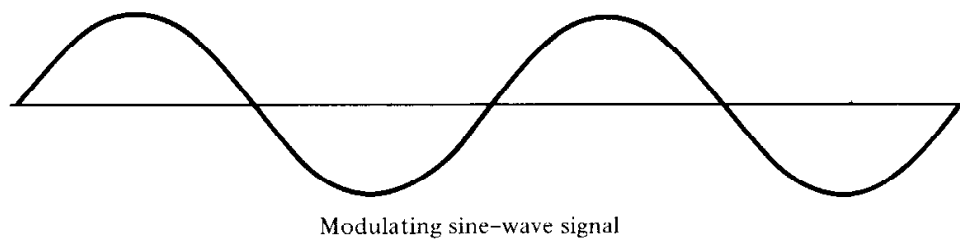
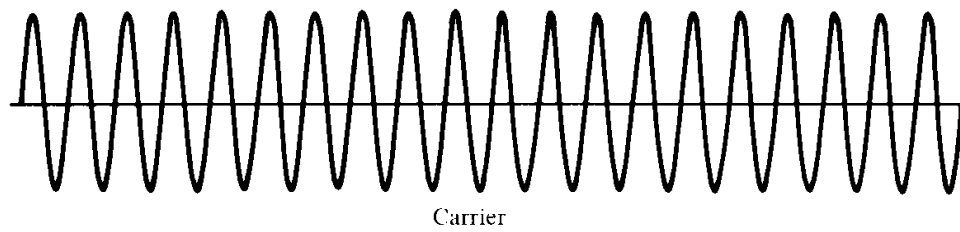


Figura 12: Codificación. Datos analógicos sobre señales analógicas.



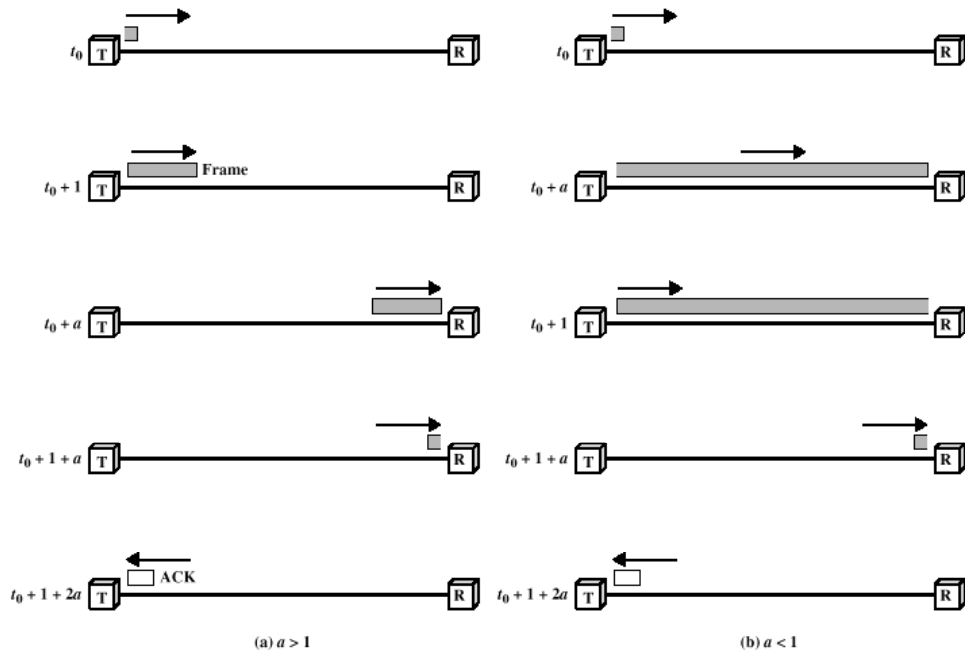


Figura 13: Control de enlace. Control del flujo por parada-espera.

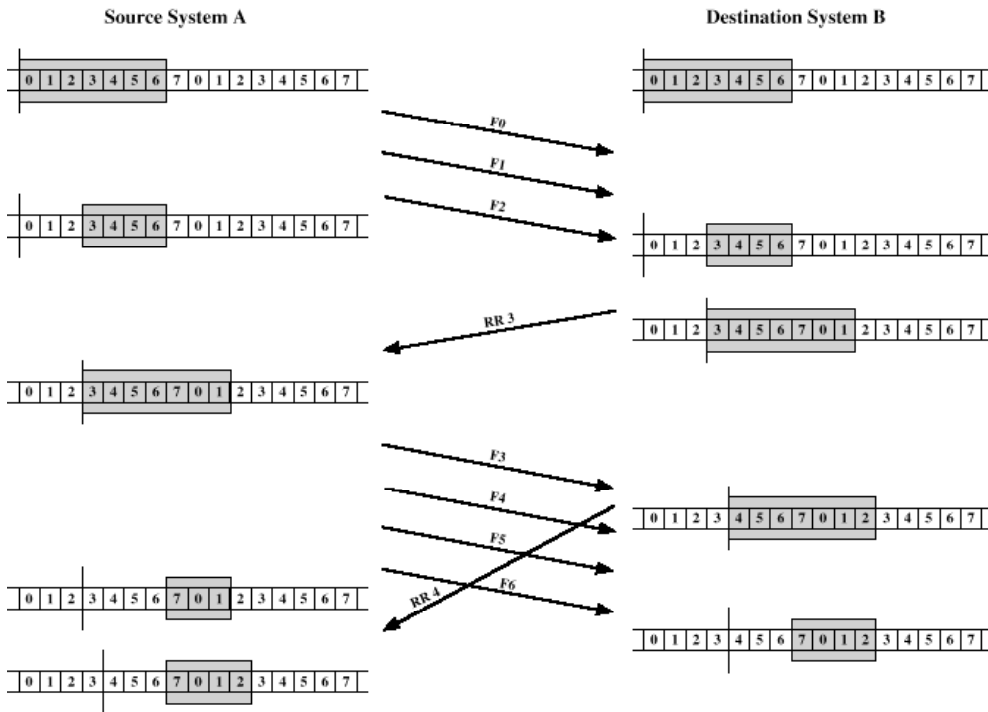


Figura 14: Control de enlace. Control del flujo por ventana deslizante.

- Muy usado y el mas importante.
- Define 3 tipos de estaciones, 2 configuraciones del lenguaje y 3 modos de operación.
  - Estaciones:
    - ◊ Primaria
    - ◊ Secundaria
    - ◊ Combinada
  - Configuraciones:
    - ◊ No balanceada (1 primaria, 2 o mas secundarias)
    - ◊ Balanceada ( 2 o mas combinadas)
  - Modos de transferencia
    - ◊ NRM. Modo de respuesta normal.
    - ◊ ABM. Modo balanceado asíncrono.
    - ◊ ARM. Modo de respuesta asíncrono.
- En él se basa la mayoría de protocolos de enlace.
- Es síncrono por lo que utiliza tramas para los intercambios. (Así puede delimitar el comienzo y fin de trama)
- Flag = delimitador (01111110)
- Dirección: habitualmente 8 bits pero extensible a múltiplos de 7 bits tras una negociación entre emisor y receptor. En enlaces punto a punto no es necesario pero se hace para uniformizar el protocolo.
- Control: informa del tipo de paquete, sobre todo del ARQ de errores y flujo (número de secuencia).
- FCS : comprobación de trama
- Otros protocolos:
  - LAPB. Balanceado. ABM. Frame Relay.
  - LAPD. Controla el canal D de RDSI. ABM
  - LLC (LAN's). En LAN's no existe el concepto de estación primaria o secundaria.
    - No usa todo el HDLC y añade otras características.
    - Dos subcapas:
      - ◊ MAC
      - ◊ LLC
  - LAPF (Frame Relay). ABM
  - ATM. No basado en HDLC. El resto sí.

## 5. Multiplexación

- Para poder compartir el medio de transmisión.
  - FDM
    - Señales moduladas con diferentes frecuencias portadoras.
    - Solo cuando el ancho de banda del canal de transmisión es mayor que el de la señal a transmitir.
    - Ejemplo televisión por cable, radio etc.
  - WDM (Multiplexación por división de longitud de onda): es igual que el FDM, pero en rangos de luz visible para la transmisión a través de fibra óptica. En estos rangos de frecuencias se opera mejor con longitudes de onda, pues así trabaja la luz.)

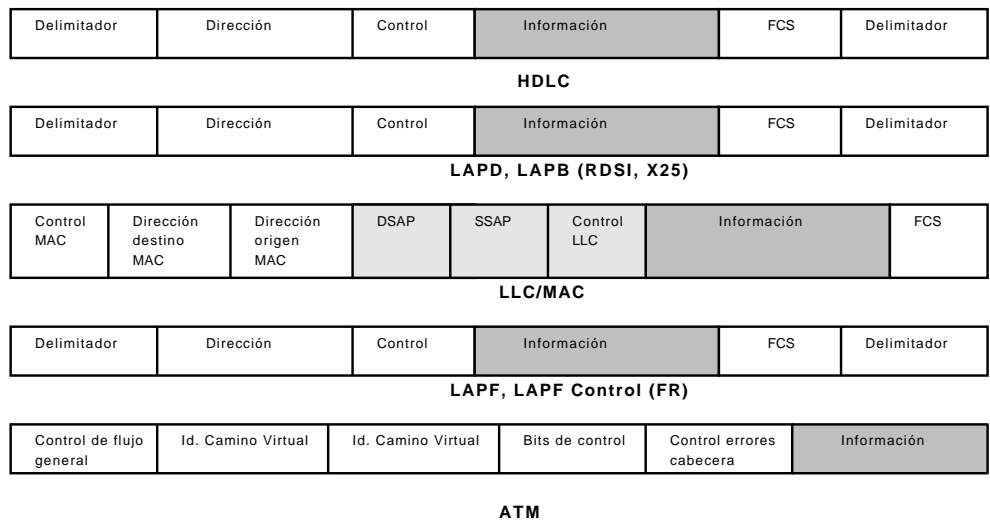


Figura 15: Control de enlace. Esquemas basados en HDLC.

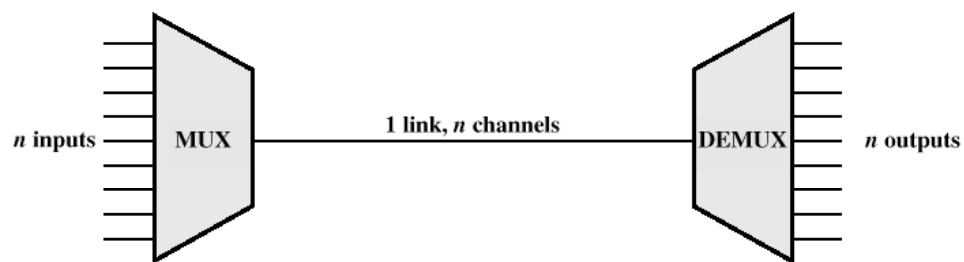


Figura 16: Multiplexación

- TDM
  - Múltiples señales digitales mediante mezcla temporal de partes de las señales
  - Cuando la velocidad de transmisión alcanzable por el medio es superior a la velocidad de las señales digitales a transmitir.
  - RDSI: Los canales B y D se multiplexan en interfaces usuario-red.
  - SONET/SDH: especificación que aprovecha las ventajas de la transmisión digital a través de fibra óptica.
  - Cable/módem
    - ◊ Dos canales, uno ascendente y otro descendente. Arquitectura de estación gestora llamada “punto raíz”.
    - ◊ Es un sistema TDM basado en concesiones de slots temporales a los abonados, por parte de la estación raíz. No son periódicos.
  
- ADSL
  - HDSL
    - ◊ Simétrica
    - ◊ Velocidades De hasta 2Mbps.
    - ◊ Distancias del bucle de abonado parecidas a ADSL (3 a 5 Km), pero HDSL necesita dos pares.
  - SDSL
    - ◊ Mismas características que HDSL, pero con un solo par
    - ◊ Técnicas de cancelación de eco. A través de un mismo par enlaces ascendente y descendente en la misma banda de frecuencias.
    - ◊ Distancias de 3Km aprox.
  - VDSL: Evolución del ADSL basado en aumentar la capacidad del canal a costa de disminuir la distancia. Todavía en experimentación.

## 6. Topologías

Es la distribución ordenada de los dispositivos terminales, y los medios de transmisión. Existen varias clasificaciones de topologías, y dependen fundamentalmente de la tecnología de enlace de datos y los objetivos de difusión de la información.

### 6.1. Topología en bus

En estas topologías, múltiples dispositivos se conectan a un sólo medio de transmisión guiado y lineal, con lo que este medio es compartido. Utilizada en las primeras redes locales. Todavía se utiliza en redes domóticas, redes industriales y buses de campo. Tecnologías X10, Profibus, ASi etc. Suelen necesitar de un terminador de red para la adaptación de impedancias. Su representación gráfica en la figura 17 se ha mantenido para representar un segmento ethernet local de forma genérica.

Tienen generalmente el problema de que un fallo en un host compromete a toda la red.

Una topología en bus particular es la topología en **topología en anillo**, donde un bus que cierra sobre sí mismo. Bastante utilizada con fibra óptica. En algunas topologías en anillo, cada estación hace de repetidor para la siguiente como se muestra en la figura 18. Es bastante común la utilización de anillos dobles con fibra óptica.

### 6.2. Topología en estrella

Utilizada actualmente en redes locales guiadas y redes de acceso. Los dispositivos terminales se comunican con un dispositivo central. La figura 19 presenta un ejemplo gráfico de topología en estrella

Las redes locales Ethernet conmutada y las redes de acceso LMDS son un ejemplo de esta topología.

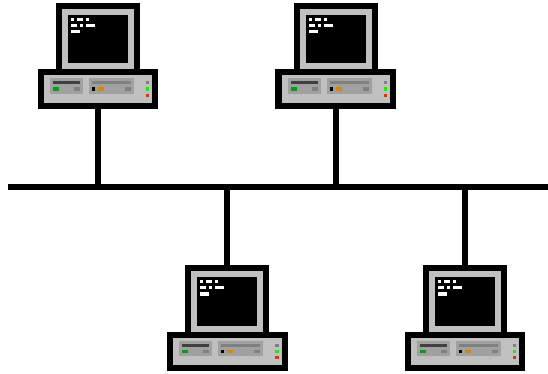


Figura 17: Topologías. Bus

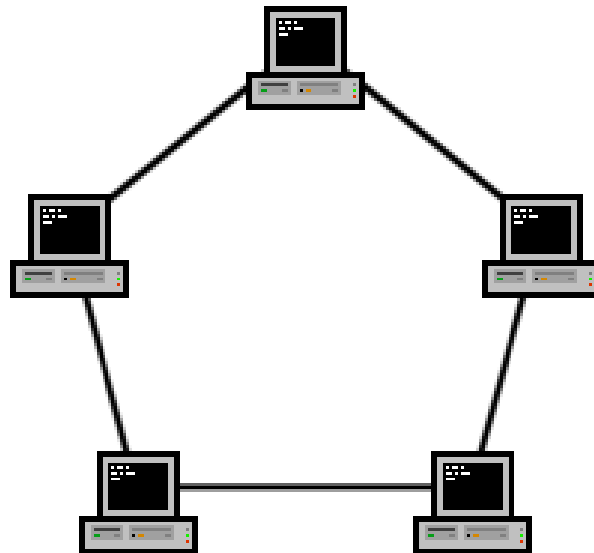


Figura 18: Topologías. Anillo

Muchas redes inalámbricas también tienen una topología en estrella, ya sea por la directividad de sus radioenlaces (como el caso de las redes satelitales) o por la centralización de sus conexiones lógicas de enlace en un dispositivo llamado *estación base* o *punto de acceso*.

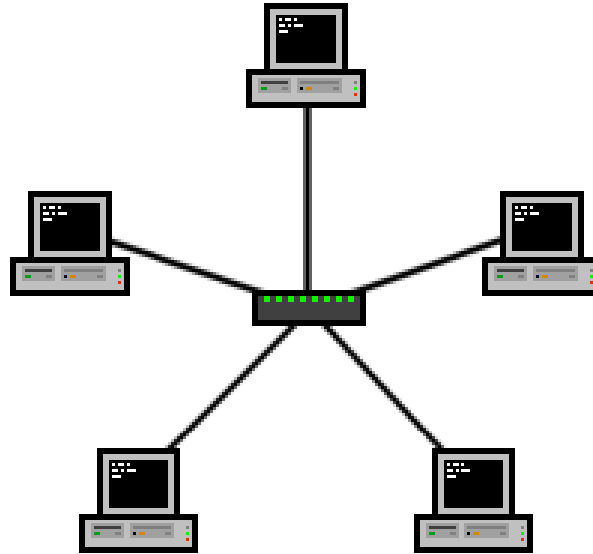


Figura 19: Topologías. Estrella

### 6.2.1. Modelo de arquitectura en 3 Niveles de agregación

Cuando el número de dispositivos que forman parte de la misma red es muy alto, las topologías en estrella pueden organizarse en niveles. En las redes de área local, o metropolitana, se utilizan como máximo 3 niveles, llamados niveles de agregación. La figura 20 presenta esta topología de forma general.

- Nivel de acceso (Access Layer) : los dispositivos deben de estar optimizados para el acceso de usuarios finales, de forma que deberían disponer de un adecuado ancho de banda, una importante densidad de puertos, y una alta disponibilidad, al ser estos los puntos de fallo menos redundantes . Puede tener AP's, routers, puentes, módems y cualquier dispositivo que permita el enlace de los dispositivos finales a la red corporativa. La finalidad mas importante es la de proporcionar un medio de acceso a la red corporativa a los dispositivos de los usuarios.
- Nivel de distribución (Distribution Layer) : estos dispositivos conmutan las tramas entre los distintos dispositivos de acceso. Cada dispositivo de acceso suele conectarse a dos dispositivos de distribución, y en redes grandes puede haber mas de dos de estos dispositivos. Además, para proveer más redundancia, estos suelen estar en “armarios” diferentes. El nivel de distribución controla los dominios de broadcast mediante la creación de VLANs. Cuando hay mas de dos dispositivos de distribución , se requiere un tercer nivel, el nivel de núcleo (Core Layer).
- Nivel de núcleo. (Core Layer): Se pueden implementar soluciones sencillas como conmutadores de capa 2 o mas recomendable conmutadores de capa 3, donde se produce una conmutación IP. Es habitual que tengan tecnología ATM. A este nivel se le puede llamar también Backbone.

En situaciones donde el nivel de distribución no es muy grande, pueden unirse las funcionalidades de este al nivel de núcleo, evitándose un cierto número de equipamiento.

Algunos conceptos importantes de la arquitectura en 3 niveles.

- Enrutamiento en el nucleo (Core routing). Sirve para proveer de servicios de enrutamiento entre VLAN's o LAN's reales, intentando evitar los cuellos de botella de los routers. También está relacionado con la conmutación de nivel 3.

- Granjas de servidores: son redes específicas (incluso con ubicaciones independientes) para albergar en ellas todos los servidores corporativos. Se aíslan para poder proveer mas redundancia y tener un sistema de control mas específico a nivel de VLAN y enrutamiento. En ellas, merece la pena redundancia de cableado y de NIC's para tener duplicidad de enlace y posibilidad de agregación (Trunking).
- Conmutación de nivel 3 (Layer 3 Switching). Existen dos estrategias:
  - Conmutadores con capacidad de enrutamiento (Routing Switches). Son mas útiles cuando la necesidad de enrutamiento no es excesiva (menos de 10 routers).
  - Routers con capacidad de conmutación (Switching Routers). Son mas adecuados a redes con grandes necesidades de enrutamiento, muchos routers.
- Diámetro de la red. Número máximo de dispositivos que un paquete de datos debe cruzar para alcanzar el destino local. Un diametro relativamente bajo, mantiene retardos bajos y disminuye las probabilidades de fallo.
- Agregación. Se suele llamar “agregación de puertos”, “agregación de enlaces”, “agregación de capacidades o ancho de banda“, “bonding”, “EtherChannel”. Consiste en la unión de interfaces para multiplicar la capacidad de los enlaces, y requiere total coordinación entre ambos extremos de los enlaces.
- Redundancia. Consiste en la disponibilidad de enlaces y equipos que permiten mantener las funcionalidades si alguno se cae.
- Diagrama topológico. Consiste en un diagrama de todos los dispositivos de red de la topología, que incluye además de los dispositivos físicos, los puertos de interconexión y las conexiones lógicas.

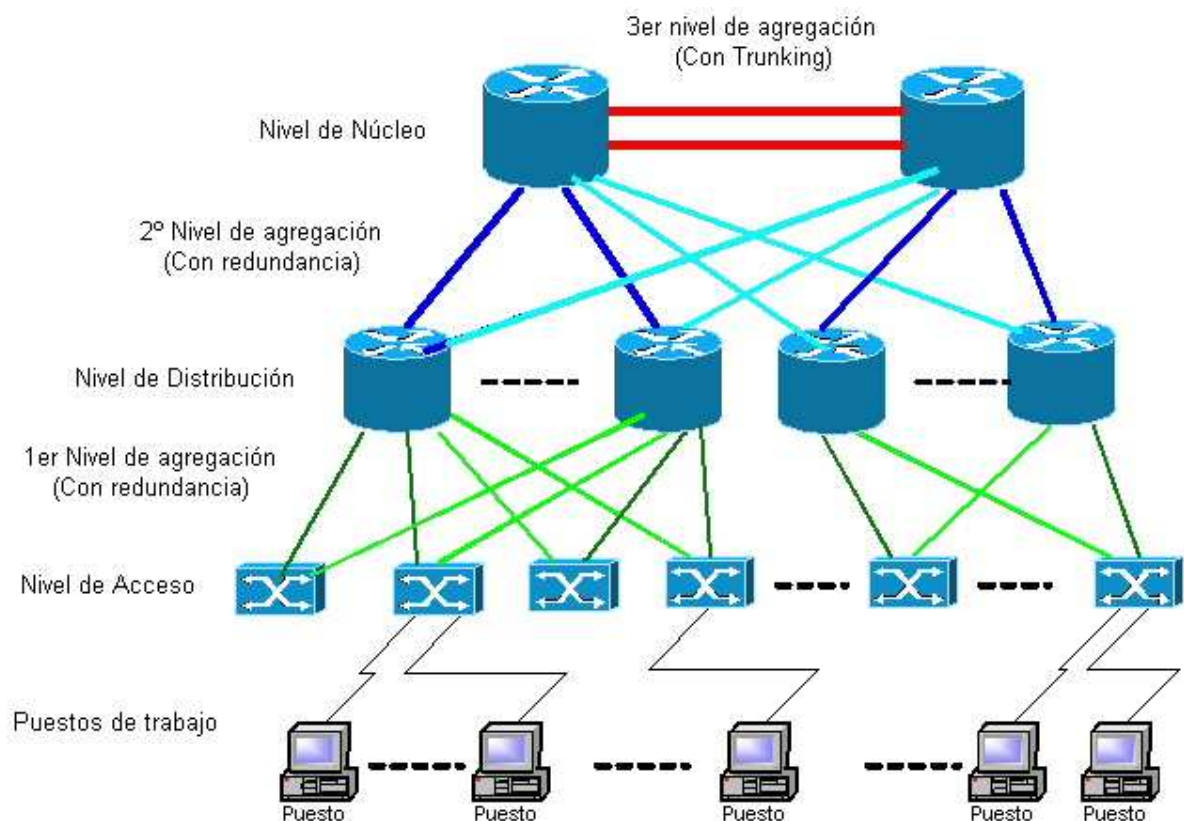


Figura 20: Topologías. 3 niveles

Las ventajas de una topología niveles de agregación se resumen en:

**Disponibilidad** : permite disponer de posibilidades de redundancia en equipos y enlaces de forma cómoda, manteniendo una disponibilidad casi total.

**Rendimiento** : la agregación permite altas velocidades.

**Escalabilidad** : pueden añadirse equipos sin modificar nada en toda la red. Será necesario tener en cuenta las necesidades futuras (mediante un plan de crecimiento), y para ello habrá que monitorizar el uso de la red.

**Gestión y mantenimiento** : sencillez en la administración y mantenimiento modular.

**Seguridad** : localización rápida de puntos de fallo y aislamiento sencillo de puntos críticos.

Los perjuicios son mas bien económicos, pues suele ser necesaria una importante inversión, que hace que sólo las corporaciones medianas/grandes implementen estas arquitecturas.

### 6.3. Topologías corporativas

Evidentemente, multitud de redes corporativas tienen topologías mixtas, mezclas de enlaces punto a punto entre hosts, entre dispositivos intermedios (routers, conmutadores, etc) y entre segmentos en topología de estrella y segmentos en bus. La figura 21 muestra una típica topología de una organización con varios segmentos de red, donde se destaca el gateway de salida hacia otras redes.

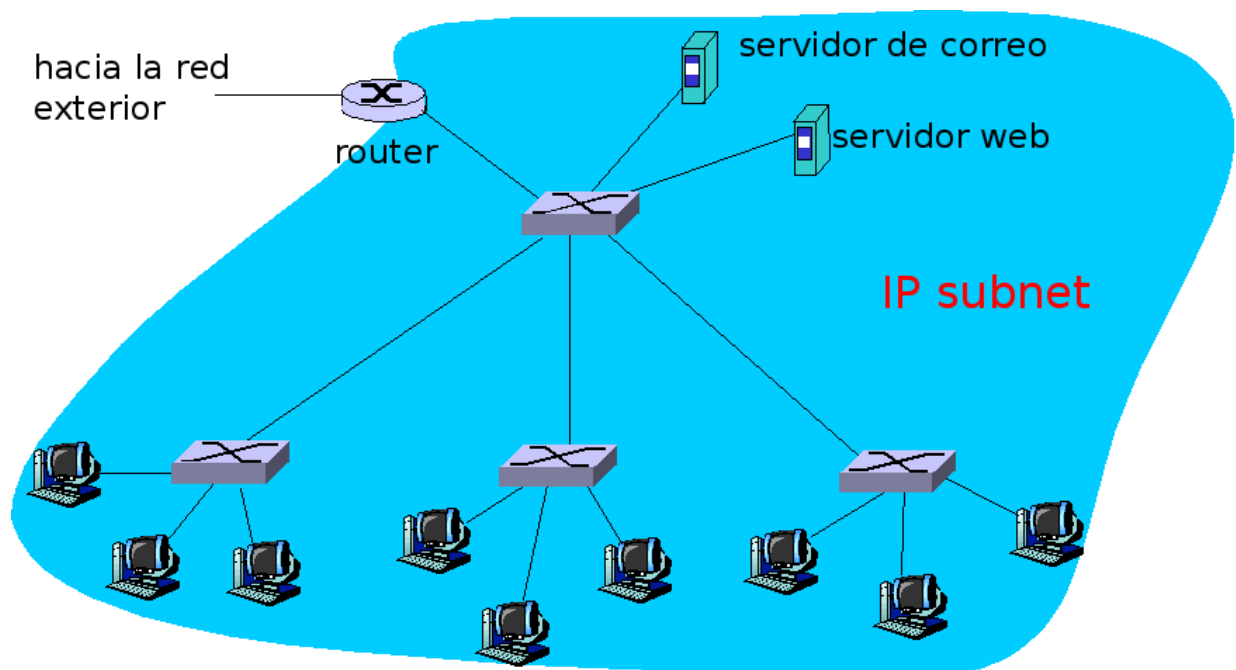


Figura 21: Topologías. Topología mixta