

# REDES I

## INTRODUCCION

**Telemática:** ciencia que utiliza las telecomunicaciones para potenciar las posibilidades y aplicaciones de la informática

**Redes de computadoras:** conjunto de computadoras autónomas interconectadas entre sí.

**Sistemas distribuidos:** conjunto de computadoras independientes que aparece ante sus usuarios como un sistema consistente y único.

### Clasificación de las redes:

- Por su ámbito:

- Redes de área local o LAN (Local Area Network): Diseñadas desde el principio para transportar datos.
- Redes de área extensa o WAN (Wide Area Network): Utilizan la base del sistema telefónico, diseñado inicialmente para transportar voz.

- Por su tecnología:

- Redes broadcast (broadcast = radiodifusión).
- Redes punto a punto.

### REDES DE AREA LOCAL (LAN)

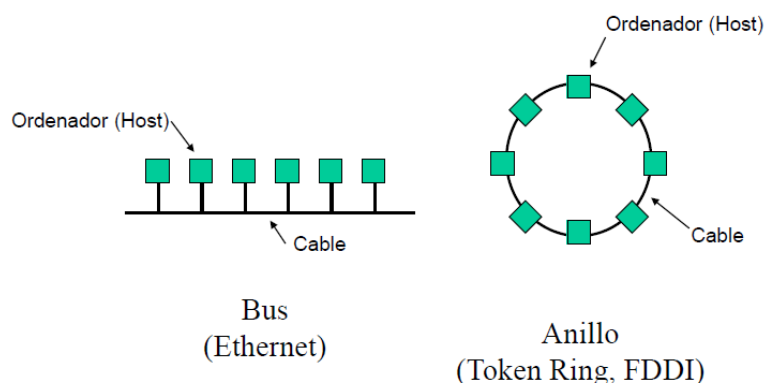
Son redes de propiedad privada que se encuentran en un solo edificio o en un campus de pocos kilómetros de longitud.

Están restringidas por tamaño, el tiempo de transmisión en el peor de los casos es limitado y conocido de antemano.

Podrían utilizar una tecnología de transmisión que consiste en un cable al cual están unidas todas las máquinas.

Para las LANs de difusión son posibles varias topologías:

- En una **red de BUS** en cualquier instante al menos una maquina es la maestra y puede transmitir. Todas las demás maquinas se abstienen de enviar. Cuando dos o más maquinas desean transmitir al mismo tiempo se requiere un mecanismo de arbitraje que puede ser centralizado o distribuido. Ejemplo: Ethernet es una red de difusión basada en bus con control descentralizado. Las computadoras pueden transmitir siempre que lo deseen; si se produce una colisión cada computadora espera un tiempo aleatorio e intenta transmitir de nuevo más tarde.
- En un sistema de difusión de **ANILLO** cada bit se propaga por sí mismo, sin esperar al resto del paquete al que pertenece.



### REDES DE AREA AMPLIA (WAN)

Abarcan una gran área geográfica (país o continente). Contienen un conjunto de máquinas diseñado para programas de usuario (aplicaciones) que denominaremos hosts. Los hosts están conectados por una subred de comunicación. Los clientes poseen los hosts mientras que las compañías telefónicas o los proveedores de servicios de internet poseen y operan la subred de comunicación. La función de la subred es llevar mensajes de un host a otro.

En la mayoría de las WANs la subred consta de dos componentes distintos:

- Las **líneas de transmisión** que mueven los bits entre máquinas. Pueden estar hechas de cobre, fibra óptica, etc.
- Los **elementos de conmutación** que son computadoras especializadas que conectan tres o más líneas de transmisión. Cuando los datos llegan a una línea de entrada, el elemento de conmutación debe elegir una línea de salida en la cual reenviarlos. Se conocen como **enrutadores** o conmutadores.

Si dos enrutadores que no comparten una línea de transmisión quieren conectarse deberán hacerlo de manera indirecta, a través de otros enrutadores. Cuando un paquete es enviado desde un enrutador a otro a través de uno o más enrutadores intermedio, el paquete se recibe en cada enrutador en su totalidad, se almacena ahí hasta que la línea de salida esté libre y, por último, se reenvía. Una subred organizada a partir de este principio se conoce como subred de conmutación de paquetes.

Normalmente utilizan enlaces punto a punto temporales o permanentes, salvo las comunicaciones vía satélite que son broadcast.

## REDES BROADCAST

El medio de transmisión es compartido (tienen un solo canal de comunicación). Suelen ser redes locales. Ej.: Ethernet 10 Mb/s

Los paquetes se envían a toda la red, aunque vayan dirigidos a un único destinatario. Un campo de dirección dentro del paquete especifica el destinatario, si va dirigido a todos los destinatarios se utiliza un código especial en el campo de dirección. Se presentan posibles problemas de seguridad (encriptado).

Se pueden crear redes planas, es decir, redes en las que la comunicación entre dos ordenadores cualesquiera se haga de forma directa, sin routers intermedios.

## REDES DE ENLACES PUNTO A PUNTO

La red está formada por un conjunto de enlaces entre los nodos de dos en dos.

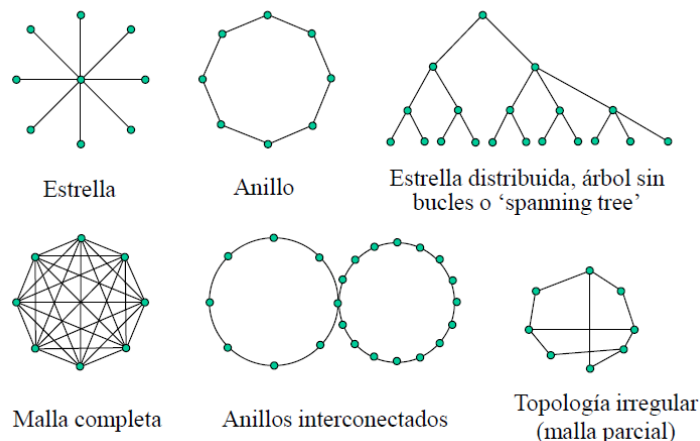
Es posible crear topologías complejas (anillo, malla, etc.)

Generalmente la comunicación entre dos ordenadores cualesquiera se realiza a través de nodos intermedios que encaminan o conmutan los paquetes (conmutador o router).

Un router o conmutador es un ordenador especializado en la conmutación de paquetes; generalmente utiliza un hardware y software diseñados a propósito (por ejemplo sistemas operativos en tiempo real).

En una red de enlaces punto a punto el conjunto de routers o conmutadores y los enlaces que los unen forman lo que se conoce como la *subred*. La subred delimita la responsabilidad del proveedor del servicio.

Topologías típicas de las redes punto a punto:



En una red punto a punto los enlaces pueden ser:

- **Simplex:** transmisión en un solo sentido.
- **Semi-dúplex o half-duplex:** transmisión en ambos sentidos, pero no a la vez.
- **Dúplex o full-duplex:** transmisión simultánea en ambos sentidos.

En el caso dúplex y semi-dúplex el enlace puede ser simétrico (misma velocidad en ambos sentidos) o asimétrico. Normalmente los enlaces son dúplex simétricos.

La velocidad se especifica en bps, Kbps, Mbps, Gbps, Tbps. Pero:

- **1 Kbps = 1.000 bps (no 1.024)**
- **1 Mbps = 1.000.000 bps (no 1.024\*1.024)**

Ejemplo: la capacidad total máxima de un enlace de 64 Kbps son 128.000 bits por segundo (64.000 bits por segundo en cada sentido).

Tipo	Broadcast	Enlaces punto a punto
Características	La información se envía a todos los nodos de la red, aunque solo interese a unos pocos	La información se envía solo al nodo al cual va dirigida
Ejemplos	<ul style="list-style-type: none"><li>•Casi todas las LANs (excepto LANs conmutadas)</li><li>•Redes de satélite</li><li>•Redes de TV por cable</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Enlaces dedicados</li><li>•Servicios de conmutación de paquetes (X.25, Frame Relay y ATM).</li><li>•LANs conmutadas</li></ul>

### Posibles formas de enviar la información:

Según el número de destinatarios el envío de un paquete puede ser:

- **Unicast:** se envía a un destinatario concreto. Es el más normal.
- **Broadcast:** se envía a todos los destinatarios posibles en la red. Ejemplo: para anunciar nuevos servicios en la red.
- **Multicast:** se envía a un grupo selecto de destinatarios de entre todos los que hay en la red. Ejemplo: emisión de videoconferencia.
- **Anycast:** se envía a uno cualquiera de un conjunto de destinatarios posibles. Ejemplo: servicio de alta disponibilidad ofrecido por varios servidores simultáneamente; el cliente solicita una determinada información y espera recibir respuesta de uno cualquiera de ellos.

### Internetworking:

Se denomina así a la interconexión de redes diferentes.

Las redes pueden diferir en tecnología o en tipo. También pueden diferir en el protocolo utilizado.

Los dispositivos que permiten la interconexión de redes diversas son:

- Repetidores y amplificadores
- Puentes (Bridges)
- Routers y Conmutadores (Switches)
- Pasarelas de nivel de transporte o aplicación (Gateways)

### MODELO DE CAPAS

La interconexión de ordenadores es un problema técnico de complejidad elevada que requiere el funcionamiento correcto de equipos (hardware) y programas (software) desarrollados por diferentes equipos humanos.

La interoperabilidad no cumple la propiedad transitiva: el correcto funcionamiento de A con B y de B con C no garantiza el correcto funcionamiento de A con C.

Estos problemas se agravan más aún cuando se interconectan equipos de distintos fabricantes.

La mejor forma de resolver un problema complejo es dividirlo en partes. En telemática dichas 'partes' se llaman **capas** y tienen funciones bien definidas.

El **modelo de capas** permite describir el funcionamiento de las redes de forma modular y hacer cambios de manera sencilla.

Los objetivos fundamentales del modelo de capas son:

- **Sencillez:** hace abordable el complejo problema de la comunicación entre ordenadores.
- **Modularidad:** permite realizar cambios con relativa facilidad a una de sus partes sin afectar al resto.
- **Compatibilidad:** La comunicación entre dos entidades de una capa puede realizarse independientemente de las demás.

La mayoría de las redes está organizada como una pila de capas, cada una construida a partir de la que está debajo de ella. El propósito de cada capa es ofrecer ciertos servicios a las capas superiores, a las cuales no se les muestran los detalles reales de implementación de los servicios ofrecidos.

La capa  $n$  de una máquina mantiene una conversación con la capa  $n$  de otra máquina. Las reglas y convenciones utilizadas en esta conversación se conocen como protocolo de capa  $n$ . Un protocolo es un acuerdo entre las partes en comunicación sobre cómo debe llevarse a cabo la comunicación.

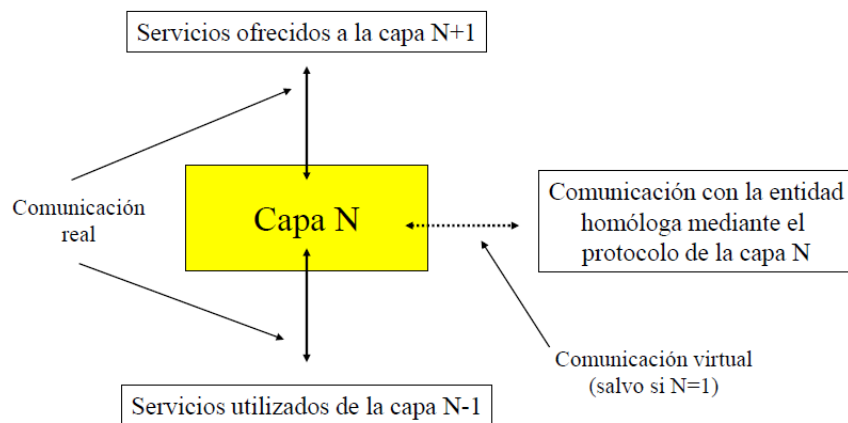
En realidad, los datos no se transfieren de manera directa desde la capa  $n$  de la máquina a la capa  $n$  de la otra máquina, sino que cada capa pasa los datos y la información de control a la capa inmediatamente inferior, hasta que alcanza la capa más baja. Debajo de la capa 1 se encuentra el medio físico a través del cual ocurre la comunicación real.

Entre cada par de capas adyacentes hay una interfaz que define qué operaciones y servicios primitivos pone la capa más baja a disposición de la capa superior inmediata.

Un conjunto de capas y protocolos se conoce como arquitectura de red.

El conjunto de protocolos que interoperan en todos los niveles de una arquitectura dada se conoce como *pila de protocolos* o *protocol stack*.

No es necesario que las interfaces de todas las máquinas de la red sean las mismas, siempre y cuando cada máquina pueda utilizar correctamente todos los protocolos.



### Aspectos de diseño de las capas:

Cada capa necesita un mecanismo para identificar a los emisores y a los receptores. Como consecuencia de tener múltiples destinos se necesita alguna forma de direccionamiento.

Otro conjunto de decisiones de diseño concierne a las reglas de transferencia de datos: en algunos sistemas los datos sólo viajan en una dirección mientras que en otros pueden viajar en ambas direcciones.

El control de errores es un aspecto importante porque los circuitos de comunicación física no son perfectos. No todos los canales de comunicación conservan el orden en el que se les envían los mensajes, por lo que el protocolo debe incluir un mecanismo que permita al receptor volver a unir los pedazos en forma adecuada.

Además, se debe evitar en cada nivel que un emisor rápido sature a un receptor más lento. Este aspecto se conoce como control de flujo.

Las capas pueden ofrecer dos tipos de servicios a las capas que están sobre ellas:

- **Servicio orientado a la conexión:** Un Servicio orientado a conexión (CONS) establece el canal antes de enviar la información.

Para usar un servicio orientado a la conexión, el usuario primero debe establecer una conexión, la utiliza y luego la abandona. En algunos casos, al establecer la conexión, el emisor, el receptor y la subred realizan una negociación sobre los parámetros que se van a utilizar (tamaño del mensaje, calidad del servicio solicitado, etc.).

- Se respeta el orden de los paquetes.
- Se mantiene la misma ruta o camino para todos los paquetes.
- Los paquetes no necesitan llevar la dirección de destino.
- Si el canal se corta la comunicación se interrumpe.

- **Servicio no orientado a la conexión:** Un Servicio no orientado a conexión (CLNS) envía los datos directamente sin preguntar antes. Si la comunicación no es posible los datos se perderán. Cada mensaje lleva completa la dirección de destino y cada uno se enruta a través del sistema, independientemente de los demás. Cuando se envían dos mensajes al mismo destino, el primero que se envíe será el primero en llegar, sin embargo, es posible que el que se envió primero se dilate tanto que el segundo llegue primero.
  - No se respeta el orden.
  - La ruta puede variar para cada paquete.
  - La red es más robusta, ya que si una ruta queda inservible se pueden usar otras.

### **Relación de servicio a protocolos:**

- **Servicio:** es un conjunto de primitivas que una capa proporciona a la capa que esta sobre ella. El servicio define qué operaciones puede realizar la capa en beneficio de sus usuarios pero no dice nada de cómo se implementan las operaciones. Un servicio está relacionado con la interfaz entre dos capas, donde la capa inferior es la que provee el servicio y la superior quien lo recibe.
- **Protocolo:** es un conjunto de reglas que rigen el formato y el significado de los paquetes, o mensajes, que se intercambian las entidades iguales en una capa. Las entidades utilizan protocolos para implementar sus definiciones del servicio. Son libres de cambiar sus protocolos cuando lo deseen, siempre y cuando no cambie el servicio visible a sus usuarios.

El servicio y el protocolo no dependen uno del otro: los servicios se relacionan con las interacciones entre capas, mientras que los protocolos se relacionan con los paquetes enviados entre entidades iguales de máquinas diferentes.

### **El modelo OSI:**

El modelo de capas más conocido es el llamado modelo OSI de ISO (OSI = Open Systems Interconnection). Este modelo tiene siete capas que fueron creadas aplicando los siguientes principios:

- Una capa se debe crear donde se necesite una abstracción bien definida.
- Cada capa debe realizar una función bien definida.
- La función de cada capa se debe elegir con la intención de definir protocolos estandarizados internacionalmente.
- Los límites de las capas se deben elegir a fin de minimizar el flujo de información a través de las interfaces.
- La cantidad de capas debe ser suficientemente grande para no tener que agrupar funciones distintas en la misma capa y lo bastante pequeña para que la arquitectura no se vuelva inmanejable.

#### La capa física:

En esta capa se lleva a cabo la transmisión de bits puros a través de un canal de comunicación. Los aspectos de diseño tienen que ver mucho con interfaces mecánicas, eléctricas y de temporización, además del medio físico de transmisión, que está bajo la capa física.

#### La capa de enlace:

La tarea principal de esta capa es transformar un medio de transmisión puro en una línea de comunicación que, al llegar a la capa de red, aparezca libre de errores de transmisión. Logra esta tarea haciendo que el emisor fragmente los datos de entrada en tramas de datos y transmitiendo las tramas de manera secuencial. Si el servicio es confiable, el receptor confirma la recepción correcta de cada trama enviando una trama de confirmación de recepción.

Otra cuestión que surge en esta capa es cómo hacer que un transmisor rápido no sature de datos a un receptor lento. Por lo general se utiliza un mecanismo de regulación de tráfico que indique al transmisor cuánto espacio de búfer tiene el receptor en ese momento.

Las redes de difusión tienen un aspecto adicional en la capa de enlace de datos: cómo controlar el acceso al canal compartido. Una subcapa especial de la capa de enlace de datos, la subcapa de control de acceso al medio, se encarga de este problema.

#### La capa de red:

Esta capa controla las operaciones de la subred. Un aspecto clave en el diseño es determinar cómo se enrutan los paquetes desde su origen a su destino.

Si hay demasiados paquetes en la subred al mismo tiempo, se interpondrán en el camino unos y otros, lo que provocará que se formen cuellos de botella. La responsabilidad de controlar esta congestión corresponde a la capa de red aunque también puede ser compartida por la capa de transmisión.

### La capa de transporte:

La función básica de esta capa es aceptar los datos provenientes de las capas superiores, dividirlos en unidades más pequeñas si es necesario, pasar éstas a la capa de red y asegurarse de que todas las piezas lleguen correctamente al otro extremo.

La capa de transporte también determina qué tipo de servicio proporcionar a la capa de sesión y, finalmente, a los usuarios de la red. El tipo de servicio se determina cuando se establece la conexión.

La capa de transporte es una verdadera conexión de extremo a extremo, en toda la ruta desde el origen hasta el destino. Un programa en la máquina de origen lleva a cabo una conversación con un programa similar en la máquina de destino, usando los encabezados de mensaje y los mensajes de control. En las capas inferiores los protocolos operan entre cada máquina y sus vecinos inmediatos, y no entre las máquinas de los extremos las cuales podrían estar separadas por muchos enrutadores.

### La capa de sesión:

Esta capa permite que los usuarios de máquinas diferentes establezcan sesiones entre ellos. Las sesiones ofrecen varios servicios:

- Control de diálogo: sincroniza el intercambio de datos entre capas inferiores y superiores.
- Administración de token: impide que las dos partes traten de realizar la misma operación crítica al mismo tiempo.
- Sincronización: adición de puntos de referencia a transmisiones largas para permitirles continuar desde donde se encontraban después de una caída.

### La capa de presentación:

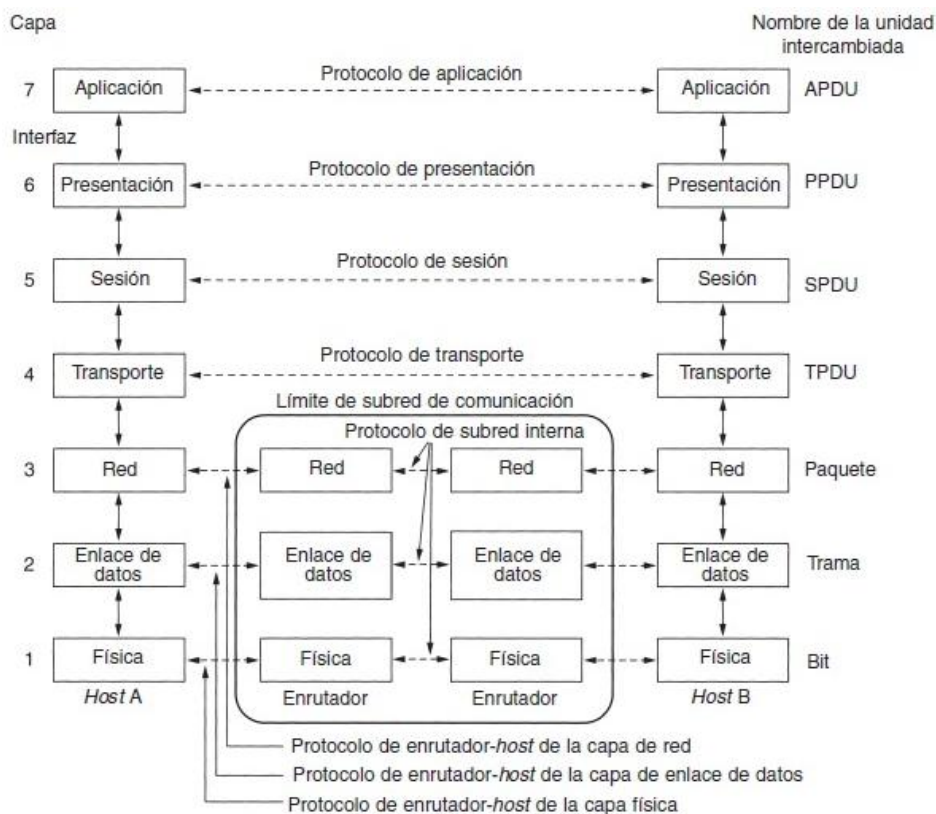
A esta capa le corresponde la sintaxis y la semántica de la información transmitida. A fin de que las computadoras con diferentes representaciones de datos se puedan comunicar, las estructuras de datos que se intercambiarán se pueden definir de una manera abstracta, junto con una codificación estándar para su uso "en el cable". La capa de representación maneja estas estructuras de datos abstractas y permite definir e intercambiar estructuras de datos de un nivel más alto.

De forma más simple, podemos decir que convierte los datos de la red al formato requerido por la aplicación.

### La capa de aplicación:

Es la interfaz que ve el usuario final. Muestra la información recibida y en ella residen las aplicaciones.

Envía los datos de usuario a la aplicación de destino usando los servicios de las capas inferiores.



## El modelo TCP/IP:

Los protocolos TCP/IP nacieron por la necesidad de interoperar redes diversas (internetworking).

El modelo TCP/IP se diseñó después de los protocolos por eso, a diferencia del OSI, en el modelo TCP/IP hay protocolos 'predefinidos'.

### La capa de interred:

Esta capa no orientada a la conexión, es la pieza clave que mantiene unida a la arquitectura. Su trabajo es permitir que los hosts inyecten paquetes dentro de cualquier red y que éstos viajen a su destino de manera independiente.

La capa de interred define un paquete de formato y protocolo oficial llamado IP (Protocolo de Internet). El trabajo de la capa de interred es entregar paquetes IP al destinatario, evitando la congestión por medio del enrutamiento adecuado. Es razonable decir que esta capa es similar en funcionalidad con la capa de red del modelo OSI.

### La capa de transporte:

Está diseñada para permitir que las entidades iguales en los hosts de origen y destino puedan llevar a cabo una conversación, tal como hace la capa de transporte OSI. Aquí se han definido dos protocolos de transporte de extremo a extremo:

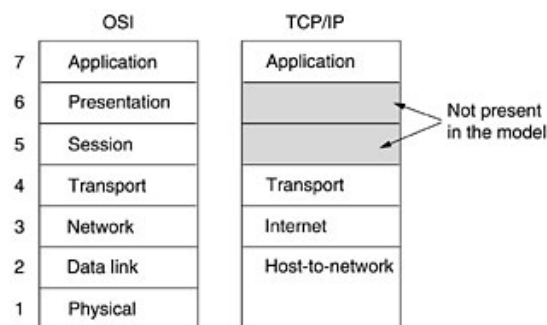
- TCP (Protocolo de control de transmisión): es un protocolo confiable, orientado a la conexión, que permite que un flujo de bytes que se originan en una máquina se entregue sin errores en cualquier otra máquina en la interred.
- UDP (Protocolo de Datagrama de Usuario): es un protocolo no confiable y no orientado a la conexión para aplicaciones que no desean la secuenciación o el control de flujo del TCP y que desean proporcionar el suyo.

### La capa de aplicación:

Esta capa contiene todos los protocolos de nivel más alto. El protocolo de terminal virtual (TELNET) permite que un usuario en una máquina se registre en una máquina remota y trabaje ahí. El protocolo de transferencia de archivos (FTP) proporciona una manera de mover con eficiencia datos de una máquina a otra. Con el tiempo se han agregado muchos otros protocolos.

### La capa host a red:

El modelo de referencia TCP/IP no dice mucho acerca de lo que pasa aquí, excepto que puntualiza que el host se tiene que conectar a la red mediante el mismo protocolo para que le puedan enviar paquetes IP. Este protocolo no está definido y varía de un host a otro y de una red a otra.



## Comparación entre los modelos de referencia OSI y TCP/IP

En OSI primero se desarrolló el modelo, después los protocolos; en TCP/IP primero fueron los protocolos, luego el modelo.

En OSI el modelo es bueno, los protocolos malos; en TCP/IP ocurre al revés.

En OSI los productos llegaban tarde, eran caros y tenían muchos fallos.

En TCP/IP los productos aparecían rápido, estaban muy probados (pues los usaba mucha gente), y a menudo eran gratis.

A menudo se sigue un modelo híbrido, siguiendo el OSI en las capas bajas y el TCP/IP en las altas. Además en LANs el nivel de enlace se divide en dos subcapas. Esto da lugar a lo que denominamos el modelo híbrido.

Nosotros seguiremos el modelo OSI (modificado) pero veremos los protocolos TCP/IP.

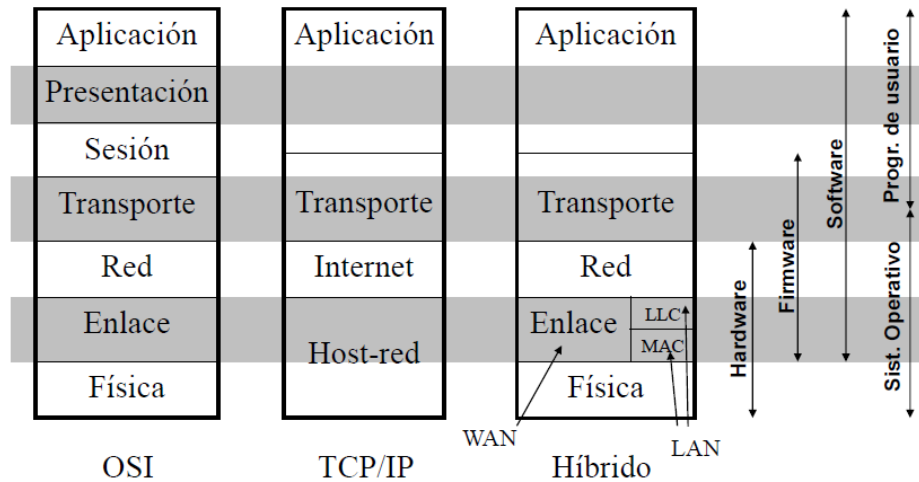
El modelo que utilizaremos es el siguiente:

**5:** Capa de aplicación (incluye sesión y presentación)

**4:** Capa de transporte



- 3: Capa de red
- 2: Capa de enlace
  - 2.2: Subcapa LLC (Logical Link Control)
  - 2.1: Subcapa MAC (Media Access Control)
- 1: Capa física



### Protocolos e información de control

Normalmente todo protocolo requiere el envío de algunos mensajes especiales o información de control adicional a la que se transmite. Generalmente se añade una cabecera (a veces también una cola) al paquete a transmitir.

La información de control reduce el caudal útil, supone un overhead.

Cada capa añade su propia información de control. Cuantas más capas tiene un modelo mas overhead se introduce.

## TRANSMISION DE DATOS

### Conceptos generales

- Datos: cualquier entidad capaz de transportar información.
- Señales: son representaciones eléctricas o electromagnéticas de los datos.
- Señalización: es el hecho de la propagación física de las señales a través de un medio adecuado.
- Transmisión: comunicación de datos mediante la propagación y el procesamiento de señales.
- Datos analógicos: son datos que pueden tomar valores en un intervalo continuo (Ejemplo: voz y video).
- Datos digitales: toman valores discretos. Son datos en valores binarios que representan caracteres.
- Señal analógica: es una onda electromagnética que varía continuamente y que según sea su espectro, puede propagarse a través de una serie de medios.
- Señal digital: es una secuencia de pulsos de tensión que se pueden transmitir a través de un medio conductor.

La principal ventaja de la señalización digital es que es más económica que la analógica, a la vez de ser menos susceptible a las interferencias de ruido. La principal desventaja es que las señales digitales sufren más con la atenuación que las señales analógicas.

### Transmisión analógica y digital

Transmisión analógica: es una forma de transmitir señales analógicas con independencia de su contenido; las señales pueden representar datos analógicos o datos digitales. En cualquier caso, la señal analógica se irá debilitando (atenuándose) con la distancia. Para conseguir distancias más largas, se utilizan amplificadores que inyectan energía en la señal. Los amplificadores también inyectan energía en las componentes de ruido por lo que al utilizar amplificadores en cascada, la señal se distorsiona cada vez más. En los datos analógicos se puede tolerar una pequeña distorsión ya que serán siendo inteligibles. En los datos digitales, los amplificadores en cascada introducirán errores.



**Transmisión digital:** es dependiente de su contenido. Se puede transmitir a una distancia limitada ya que la atenuación, el ruido y otros aspectos negativos pueden afectar la integridad de los datos transmitidos. Para conseguir distancias mayores se utilizan repetidores. Un repetidor recibe la señal digital, regenera el patrón de ceros y unos, y los retransmite. De esta manera se evita la atenuación. Para señales analógicas se puede usar la misma técnica anterior si la señal transmitida transporta datos digitales. En este caso, los repetidores recuperan los datos digitales a partir de la señal analógica y generan una señal analógica limpia. De esta manera el ruido no es acumulativo.

	Señal analógica	Señal digital
Datos analógicos	Dos alternativas (1) la señal ocupa el mismo espectro que los datos analógicos; (2) los datos analógicos se codifican ocupando una porción distinta del espectro	Los datos analógicos se codifican utilizando un codec para generar una cadena de bits.
Datos digitales	Los datos digitales se codifican usando un modem para generar señales analógicas	Dos alternativas (1) la señal consiste en dos niveles de tensión que representan dos valores binarios (2) los datos digitales se codifican para producir una señal digital con las propiedades deseadas.

	Transmisión analógica	Transmisión digital
Señal analógica	Se propaga a través de amplificadores; se trata de igual manera si la señal se usa para representar datos analógicos o digitales	Se supone que la señal analógica representa datos digitales. La señal se propaga a través de repetidores; en cada repetidor, los datos digitales se obtienen de la señal de entrada y se usan para regenerar una nueva señal analógica de salida
Señal digital	No se usa	La señal digital representa una cadena de unos o ceros, los cuales pueden representar datos digitales o pueden ser resultado de la codificación de datos analógicos.

### **Dificultades en la transmisión:**

**Atenuación:** es la reducción de la energía de la señal a medida que avanza en distancia.

- En medios guiados se expresa en decibelios por unidad de longitud.
- En medios no guiados es una función más compleja de la distancia y depende, a su vez, de las condiciones atmosféricas.

**Distorsión de retardo:** fenómeno debido a que la velocidad de propagación de una señal a través de un medio guiado varía con la frecuencia.

**Ruido:** para cualquier dato transmitido, la señal recibida consistirá en la señal transmitida modificada por las distorsiones introducidas en la transmisión, además de las señales no deseadas introducidas entre el emisor y el receptor.

Clasificación del ruido:

- Correlacionados: existen cuando la señal está presente.
  - Ruido de intermodulación: aparece cuando señales de distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión.
- No Correlacionados

- Internos :
  - Térmico: se debe a la agitación térmica de los electrones. Está presente en todos los dispositivos electrónicos y medios de transmisión. Es función de la temperatura. No se puede eliminar.  
 $N_0 = k T$  (W/Hz) -- Densidad de ruido térmico  
 $N = kTB$  -- Ruido presente en un ancho de banda de B hercios
- Externos
  - Impulsivo
  - Solar
  - Motores

### Relación señal-ruido:

S/N: es la relación que vamos a utilizar para poder representar cuánto ruido tenemos en una señal. Normalmente la expresamos en dB (decibeles). Mientras mayor es el valor, mejor es nuestro sistema.

### Factor de ruido:

Es la relación que existe entre las relaciones de señal-ruido entre la entrada y la salida de un equipo amplificador. Debe ser mayor o igual a uno.

$$F = (S/N)_{\text{ent}} / (S/N)_{\text{sal}}$$

### Capacidad del canal:

Se denomina capacidad del canal a la velocidad máxima a la que se pueden transmitir los datos en un canal, o ruta de comunicaciones de datos, bajo unas condiciones dadas.

- Velocidad de transmisión: velocidad expresada en bits por segundo (bps), a la que se pueden transmitir los datos.
- Ancho de banda: ancho de banda de la señal transmitida; éste estará limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión; se mide en ciclos por segundo o hercios.
- Ruido: nivel de ruido a través del camino de transmisión.
- Tasa de errores: tasa a la que ocurren los errores. Se considera que ha habido un error cuando se recibe un 1 habiendo transmitido un 0, o viceversa.

### Límites de Nyquist y Shannon:

Considérese el caso de un canal exento de ruido. Nyquist afirmó que si la velocidad de transmisión de la señal es  $2B$ , entonces una señal con frecuencias no superiores a  $B$  es suficiente para transportar esta velocidad de transmisión de la señal. Y viceversa: dado un ancho de banda  $B$ , la mayor velocidad de transmisión que la señal puede conseguir es  $2B$ .

Si las señales son binarias (dos niveles de tensión), la velocidad de transmisión de datos que se puede conseguir con  $B$  Hz es igual a  $2B$  bps.

Si los canales son sin ruido y la transmisión mononivel:

- Capacidad del canal:  $C = 2B$

Si la transmisión es multinivel:

- Capacidad del canal:  $C = 2B \log_2 M$ , donde  $M$  es el número de señales discretas o niveles de tensión.

Shannon, demostró que los canales son ruidosos, por lo tanto encontró una ecuación que relaciona la relación señal a ruido con la cantidad de niveles de modulación:

$$M_{\text{max}} = (1 + S/N)^{\frac{1}{2}}$$

Juntando los dos límites:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

La formula de Nyquist implica que al duplicar el ancho de banda se duplica la velocidad de transmisión si todo lo demás se mantiene inalterado.

La fórmula de Shannon representa el máximo límite teórico que se puede conseguir. En la práctica se consiguen valores muchos menores porque en la fórmula anterior se supone ruido blanco (ruido térmico).

La capacidad, como se ha calculado anteriormente, se denomina capacidad libre de errores. Shannon probó que si la velocidad de información real en el canal es menor que la capacidad libre de errores, entonces es teóricamente posible encontrar una codificación de la señal que consiga una transmisión exenta de errores a través del canal.

## TECNICAS PARA LA CODIFICACION DE SEÑALES

### Conceptos generales:

**Transmisión analógica:** se basa en una señal continua de frecuencia constante denominada señal portadora.

**Modulación:** es el proceso de codificar los datos generados por la fuente en la señal portadora de frecuencia  $f_c$ .

**Señal en banda base:** es la señal de entrada, que puede ser analógica o digital.

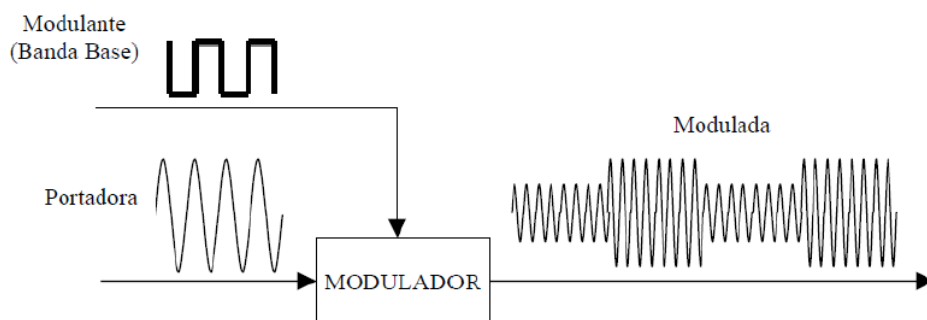
### DATOS DIGITALES, SEÑALES ANALOGICAS:

Consideremos la transmisión de datos digitales usando señales analógicas. Se pueden conectar dispositivos digitales a través de la red mediante el uso de dispositivos módem (modulador-demodulador), los cuales convierten los datos digitales en señales analógicas y viceversa.

La modulación implica la modificación de uno o varios de los tres parámetros fundamentales que caracterizan a la señal portadora: amplitud, frecuencia y fase. Consecuentemente hay tres técnicas básicas de modulación que transforman los datos digitales en señales analógicas:

- ASK: modulación por desplazamiento de amplitud.
- FSK: modulación por desplazamiento de frecuencia.
- PSK: modulación por desplazamiento de fase.

En todos los casos la señal resultante ocupa un ancho de banda centrado en torno a la frecuencia de la portadora.



### ASK (Modulación por desplazamiento de amplitud):

Los dos valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora.

Usualmente, una amplitud es cero; es decir, uno de los dígitos binarios se representa mediante la presencia de la portadora a amplitud constante y el otro mediante la ausencia de portadora.

La señal transmitida por cada intervalo correspondiente a la duración de un bit es, por tanto:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & 1 \text{ binario} \\ 0 & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

ASK es sensible a cambios repentinos de la ganancia. Es una técnica bastante ineficaz.

Se usa en el mejor de los casos a 1200bps en líneas de voz.

Es usado en fibra óptica para la transmisión de datos digitales.

### FSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia):

La forma más común es BFSK (binary FSK). En este caso dos valores binarios son representados por diferentes frecuencias, próximas a la frecuencia portadora.

La señal transmitida por cada intervalo correspondiente a la duración de un bit será:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

BFSK Es menos susceptible a errores que ASK

Se utiliza generalmente a velocidades de hasta 1200bps en canales de voz. También se usa en transmisiones de radio de alta frecuencia.

Una señal más eficaz en el uso del ancho de banda, pero también más susceptible a errores, es la MFSK (Múltiple FSK) en la que más de dos frecuencias son utilizadas y cada elemento de señal representa más que un bit.

La señal MFSK transmitida por cada intervalo correspondiente a la duración de un bit será:

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_i t), \quad 1 \leq i \leq M$$

donde:

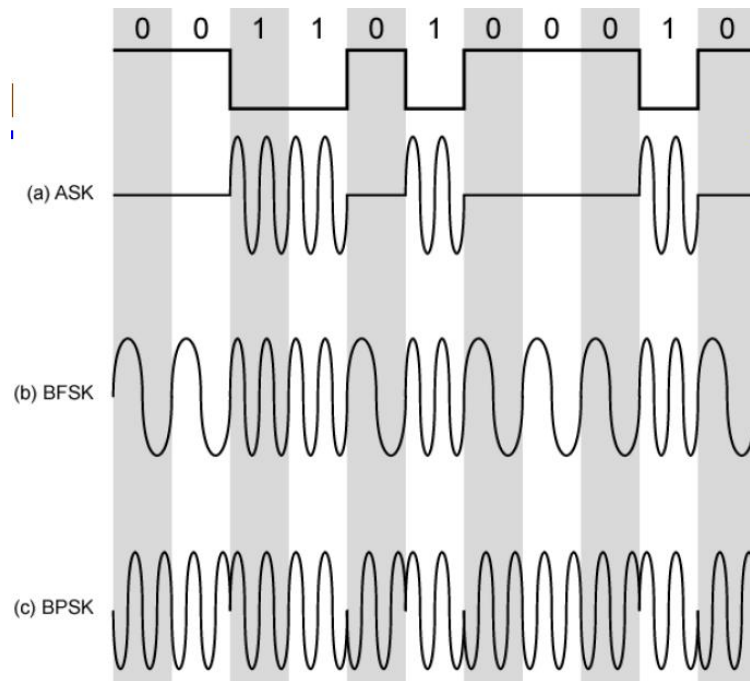
$$f_i = f_c + (2i - 1 - M)f_d$$

$f_c$  = la frecuencia de la portadora

$f_d$  = la diferencia de frecuencias

$M$  = el número de elementos de señalización diferentes

$L$  = número de bits por elemento de señalización



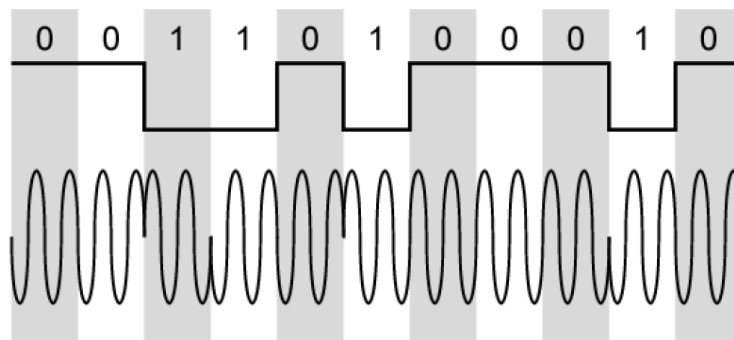
### PSK (Modulación por desplazamiento de fase):

La fase de la portadora es desplazada para representar los diferentes estados.

**BPSK** (PSK binario) utiliza dos fases para representar dos dígitos binarios. La señal transmitida resultante durante el intervalo correspondiente a la duración de un bit es:

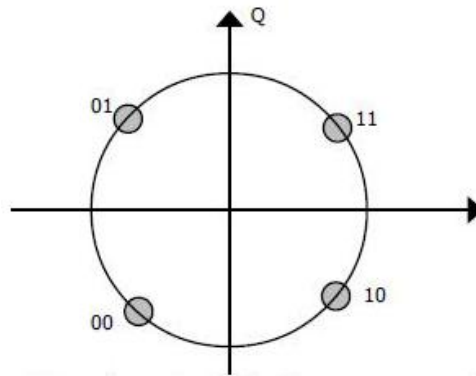
$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{1 binario} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{0 binario} \end{cases}$$

Otra alternativa es **DPSK** (PSK diferencial). En este caso, el desplazamiento de fase es relativo a la fase correspondiente al último símbolo transmitido, en lugar de ser relativo a algún valor constante de referencia:



Se puede conseguir un uso más eficaz del ancho de banda si cada elemento de la señalización representa más de un bit. **QPSK** (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura) considera desplazamientos múltiples de  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Cada elemento de señalización representa dos bits (4PSK):

$$s(t) = \begin{cases} A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right) & 11 \\ A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right) & 01 \\ A \cos\left(2\pi f_c t - \frac{3\pi}{4}\right) & 00 \\ A \cos\left(2\pi f_c t - \frac{\pi}{4}\right) & 10 \end{cases}$$



$$L = \log_2(M)$$

donde:

L: cantidad de bits

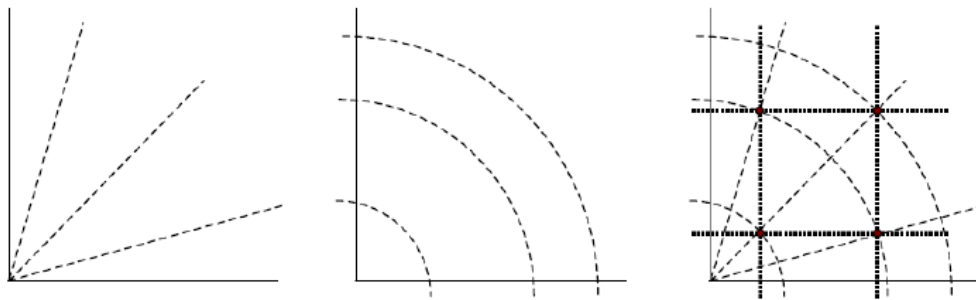
M: cantidad de estados modulados

Estado modulado: es una condición de la portadora en la que representa un símbolo.

### QAM (Modulación de amplitud en cuadratura):

Es una técnica de señalización analógica que se utiliza en ADSL y algunas técnicas wireless. Combina a ASK y PSK, también se puede considerar una generalización de QPSK.

Envía simultáneamente dos señales diferentes sobre la misma frecuencia portadora, utilizando dos replicas de la misma, desplazadas entre sí 90°. Cada portadora se modula usando ASK. Las dos señales independientes se transmiten sobre el mismo medio. En el receptor, las dos señales se demodulan, combinándose para reproducir la señal binaria de entrada.



### DATOS DIGITALES, SEÑALES DIGITALES:

**Señal digital:** secuencia de pulsos de tensión discretos y continuos. Cada pulso es un elemento de la señal. Los datos binarios se transmiten codificando cada bit en los elementos de señal.

El caso más sencillo, habrá una correspondencia uno a uno entre los bits y dichos elementos.

**Unipolar:** Todos los elementos de señal tienen el mismo signo algebraico.

**Polar:** Un estado lógico se representa mediante un nivel positivo de tensión y el otro con un negativo.

**Bipolar:** Un estado lógico se representa con un valor nulo de tensión y el otro estado lógico se representa en forma alternada por valores +V y -V.

**Velocidad de transmisión:** Es la velocidad expresada en bits por segundo, a la que se transmiten los datos.

**Duración o ancho de bit:** Es el tiempo empleado en el transmisor para emitir un bit. Para una velocidad R, el tiempo es 1/R

**Velocidad de modulación:** Velocidad a la que cambia el nivel de la señal. Se mide en baudios (elementos de señal por segundo).

**Marca y espacio:** Binario 1 y binario 0, respectivamente.

Hay tres factores que determinan el éxito o el fracaso del receptor al interpretar la señal de entrada:

- Relación señal-ruido.
- Velocidad de transmisión.
- Ancho de banda.

**Espectro de la señal:** La ausencia de componentes de alta frecuencia en la señal significa que se necesita menos ancho de banda para su transmisión.

La ausencia de componente de continua en la señal es una característica deseable ya que no requiere conexión física directa.

Un buen diseño debería concentrar la potencia transmitida en la parte central del ancho de banda de la señal transmitida.

**Sincronización:** Se necesita sincronizar el emisor con el receptor para determinar el principio y el fin de cada bit. Utilizar un reloj externo es una solución costosa. Una alternativa es proporcionar la sincronización mediante la propia señal transmitida, adoptando un esquema de codificación adecuado.

**Detección de errores:** Detectar errores en la capa física.

**Inmunidad al ruido e interferencias:** Algunos códigos exhiben un comportamiento superior que otros en presencia de ruido.

**Costo y complejidad:** Alta velocidad significa alto costo. Algunas técnicas utilizan velocidades de modulación mayores a la velocidad de transmisión de datos reales.

### Esquemas de codificación:

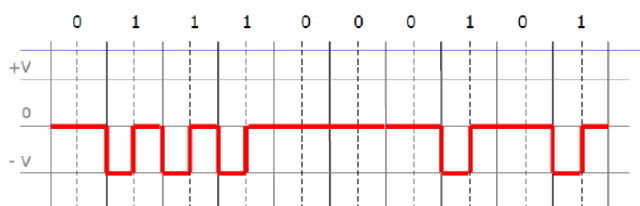
- Codificación no sustitutiva
  - o **No retorno a cero (NRZ-L):**  
0=nivel alto  
1=nivel bajo
  - o **No retorno a cero invertido (NRZI):**  
0=no hay transición al comienzo del intervalo (un bit cada vez)  
1=transición al comienzo del intervalo
  - o **Bipolar –AMI:**  
0=no hay señal  
1=nivel positivo o negativo, alternante
  - o **Pseudoternary:**  
0=nivel positivo a negativo, alternante  
1=no hay señal
  - o **Manchester:**  
0=transición de alto a bajo en mitad del intervalo  
1= transición de bajo a alto en mitad del intervalo
  - o **Manchester Diferencial:**  
Siempre hay una transición en mitad del intervalo  
0=transición al principio del intervalo  
1=no hay transición al principio del intervalo
- Codificación sustitutiva
  - o **B8ZS:** igual que bipolar-AMI, excepto que cualquier cadena de ocho ceros se reemplaza por una cadena que tiene dos violaciones de código.
  - o **HDB3:** igual que bipolar-AMI, excepto que cualquier cadena de cuatro ceros se reemplaza por una cadena que contiene una violación de código.
  - o **2B1Q**

### No retorno a cero (NRZ-L):

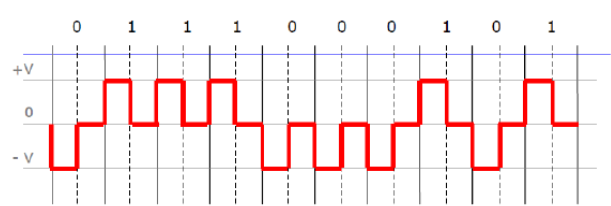
Voltaje constante durante el intervalo, es decir, no hay retorno al nivel cero de tensión. Lo más frecuentes utilizar un voltaje negativo para un valor binario y un voltaje positivo para el otro.

### Retorno a cero (RZ):

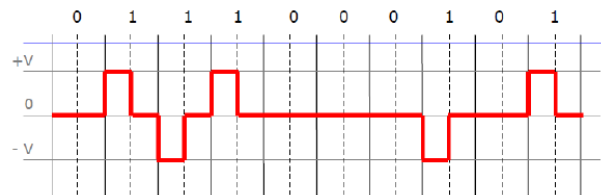
A mitad del intervalo el valor cae a cero. El voltaje no es constante durante el intervalo. Esta técnica se puede usar para la Polar, Unipolar y la bipolar.



**Fig. 4 Señal Unipolar Negativa con RZ**



**Fig. 5 Señal polar con RZ**



**Fig. 6 Señal Bipolar con RZ**

### No retorno a cero invertido (NRZI):

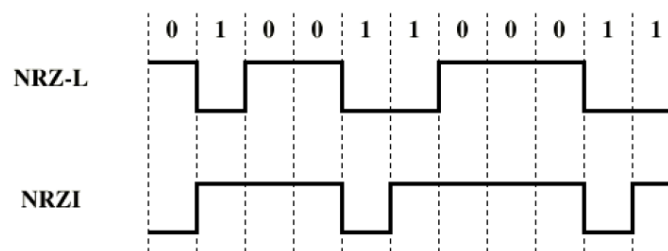
Voltaje constante durante la duración de un bit.

Los datos codifican mediante la presencia o ausencia de una transición de la señal al principio del intervalo de duración de un bit.

Un 1 se codifica mediante la transición (bajo a alto o alto a bajo) al principio del intervalo de señalización.

Un 0 se representa por la ausencia de transición.

A esta técnica normalmente la llamamos codificación diferencial.



**Fig. 7 Señal Unipolar NRZ y NRZI**

### Codificación diferencial:

- Los datos son representados por cambios entre los elementos adyacentes.
- Es más seguro detectar cambios de niveles en presencia de ruido.
- En esquemas de transmisión complejos, invertir la polaridad de los cables significa cambiar los datos, en diferencial no.

### Ventajas de las señales NRZ:

- Sencillas de implementar
- Poco ancho de banda

### Desventajas de las señales NRZ:

- Mucha componente de continua
- Pérdida de sincronía (ausencia de capacidad de sincronización)

### Binario multinivel:

Estos códigos usan más de dos niveles de señal. La señal puede tomar tres posibles valores en cada elemento.

### Bipolar-AMI (Alternate Mark Inversión):

Un cero binario es representado como ausencia de señal. Un uno binario es representado por un valor positivo o negativo de voltaje. Los pulsos correspondientes a los 1 deben tener polaridad alternante.

No existe pérdida de sincronismo si hay secuencia de unos, pero si se pierde sincronismo si hay secuencia de ceros.

No existe componente de continua ya que los elementos de la señal correspondientes a 1 alternan el nivel de tensión.

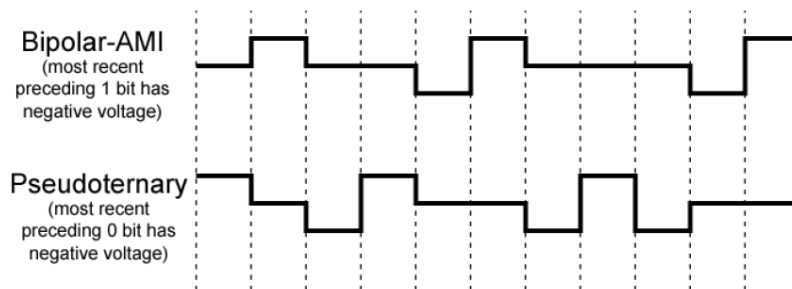
El ancho de banda de la señal resultante es bajo.

Los errores se detectan fácilmente.

### Pseudoternario:

El bit 1 se representa por la ausencia de señal y el 0 mediante pulsos de polaridad alternante. No presenta ninguna ventaja con respecto al bipolar-AMI





El código binario multinivel no es tan eficaz como los NRZ:

- Cada elemento de la señal solo representa un bit.
- En un sistema de 3 niveles podría representar  $\log_2 3 = 1.58$  bits
- El receptor debe distinguir entre tres niveles (+A, -A, 0).

### Bifase:

Bajo el término bifase se engloba un conjunto de técnicas de codificación alternativas diseñadas para superar las dificultades encontradas en los códigos NRZ.

### Manchester:

Siempre hay una transición en medio de cada periodo de bit. La transición sirve como procedimiento de sincronización, a la vez que sirve para transmitir los datos:

- Bajo a Alto representa un uno
- Alto a Bajo representa un cero

Usado por IEEE 802.3.

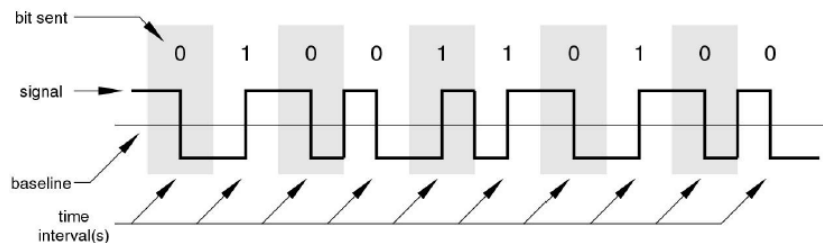
### Manchester Diferencial:

La transición a mitad de bit es solo para sincronismo.

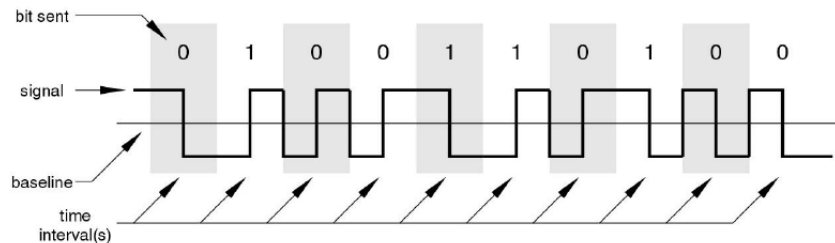
La codificación de un 0 se representa por la presencia de una transición al principio del intervalo del bit, y un 1 se representa mediante la ausencia de transición al principio del intervalo.

Usado por IEEE 802.5.

### Manchester Encoding



### Differential Manchester Encoding



Todas las técnicas bifase fuerzan al menos una transición por cada bit pudiendo tener hasta dos en ese mismo periodo. La velocidad de modulación máxima es el doble que en los códigos NRZ; esto significa que el ancho de banda es por lo tanto mayor. Los esquemas bifase tienen las siguientes ventajas:

- Sincronización en medio del bit transmitido (autosincronismo).
- No tiene componente en continua.

- Detección de errores: se pueden detectar errores si se descubre una ausencia de la transición esperada en mitad del intervalo. Para que el ruido produjera un error no detectado tendría que invertir la señal antes y después de la transición.

### Velocidad de modulación:

La velocidad de transmisión, también denominada tasa de bits, es  $1/T_b$ , donde  $T_b$  es la duración de un bit. La velocidad de modulación es aquella a la que se generan los bits.

En general:  $D = \frac{R}{L} = \frac{R}{\log_2 M}$

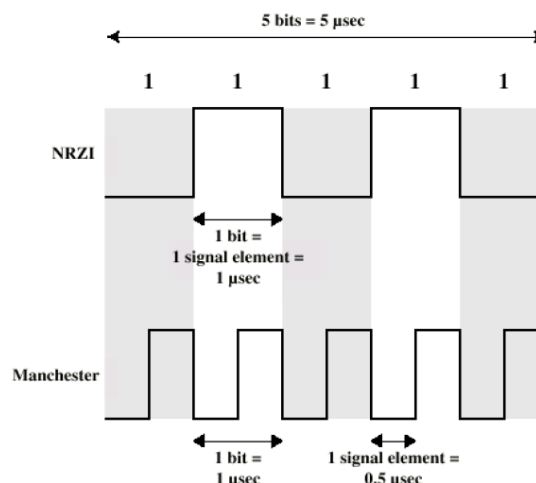
donde:

D=velocidad de modulación en baudios.

R=velocidad de transmisión en bps.

M=número de elementos de señalización diferentes =  $2^L$ .

L=número de bits por elemento de la señal.



### Técnicas de aleatorización:

La idea subyacente en este tipo de técnicas es sencilla: reemplazar las secuencias de bits que den lugar a niveles de tensión constante por otras secuencias que proporcionen suficiente número de transiciones, de tal forma que el reloj del receptor pueda mantenerse sincronizado. En el receptor se debe identificar la secuencia reemplazada y sustituirla por la secuencia original.

Objetivos:

Evitar la componente continua

- Evitar las secuencias largas que correspondan a niveles de tensión nula.
- No reducir la velocidad de transmisión de los datos.
- Tener capacidad para detectar errores.
- Algunas técnicas:

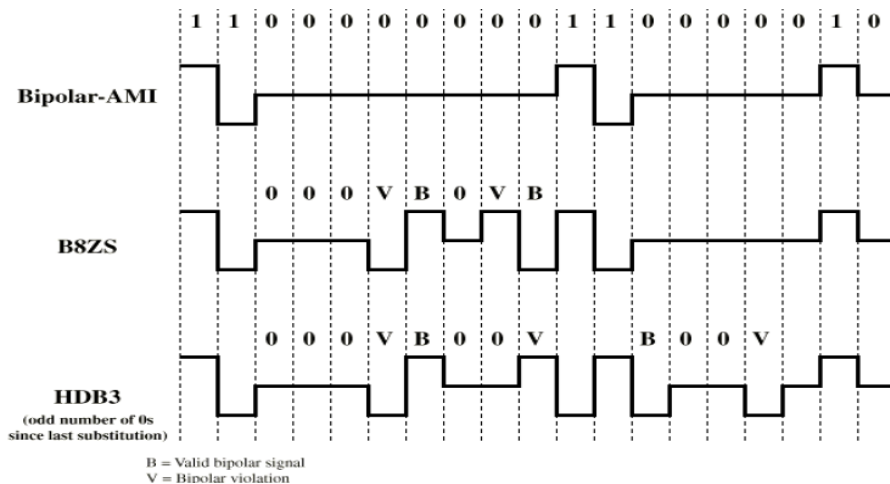
- **B8ZS:**

- Bipolar con sustitución de 8 ceros.
- Basado en una bipolar-AMI.
- Si aparece un octeto con todos ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue un positivo, dicho octeto se codifica como 000+-0-+.
- Si aparece un octeto con todos ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue un negativo, dicho octeto se codifica como 000-+0+-.
- Causa dos violaciones al código AMI.
- Es muy poco probable que sea producido por ruido.
- Receptor detecta e interpreta como un octeto de todos ceros.

- **HDB3** (High Density Bipolar 3 Zeros)

- Basada en bipolar-AMI
- Las cadenas de 4 ceros son reemplazadas, por cadenas que tienen uno o dos pulsos.
- Reglas de sustitución:

	Números de pulsos bipolares desde la última sustitución	
Polaridad del pulso anterior	Impar	Par
-	000-	+00+
+	000+	-00-



B8ZS y HDB3

## DATOS ANALOGICOS, SEÑALES DIGITALES:

Digitalización: conversión de los datos analógicos en señales digitales. El dispositivo que se utiliza para la conversión de datos analógicos en digitales y que, posteriormente recupera los datos analógicos digitales se denomina códec (codificador-decodificador).

Ventajas de la transmisión digital:

- Inmunidad al ruido.
- Mejor Procesamiento y multicanalización.
- Regeneración de señales. Mejora S/N.
- Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar.

Desventajas de la transmisión digital:

- Requieren más ancho de banda.
- Doble conversión (A/D – D/A)
- Requiere sincronización precisa.

**PCM** (modulación por impulsos codificados):

Características:

- Se utiliza en sistemas de transmisión digital
- Pulsos de longitud fija y amplitud fija
- Sistema Binario

Se basa en el **teorema de muestreo**: “Si una señal  $f(t)$  se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia más alta de la señal, las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original. La función  $f(t)$  se puede reconstruir a partir de estas muestras mediante la utilización de un filtro paso baja”.

Conceptos matemáticos o lógicos básicos:

- **Muestreo**: proceso de tomar medidas instantáneas.
- **Cuantización**: permite aproximar la muestra a uno de los niveles de escala designada.
- **Codificación**: proceso para aplicar códigos a una cierta secuencia de uno y ceros.

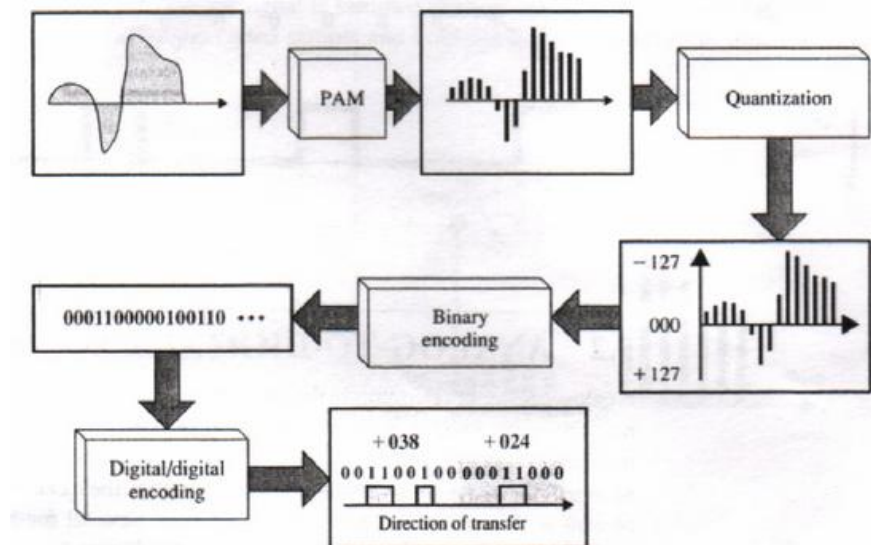
Aún se trata de muestras analógicas, denominadas muestras de modulación por impulsos de amplitud (PAM). Para convertir las muestras PAM a digital, a cada una de ellas se le asigna un código binario.

Cada muestra PAM se aproxima mediante su cuantización. Debido a que los niveles cuantizados son sólo aproximaciones, es imposible recuperar la señal original con exactitud.

La técnica PCM genera la señal digital tomando como entrada la señal analógica continua en el tiempo y en amplitud. La señal digital resultante consiste en bloques de  $n$  bits, donde cada número de  $n$  bits corresponde con la amplitud de un impulso PCM. En el receptor, este procedimiento se invierte para obtener así la señal analógica. Este proceso viola las condiciones exigidas por el teorema de muestreo. Al cuantizar los impulsos PAM, la señal original sólo se aproxima, por lo que no podría ser recuperada con exactitud. Este efecto se denomina error de cuantización o ruido de cuantización. La relación señal-ruido para el ruido de cuantización se puede expresar como:

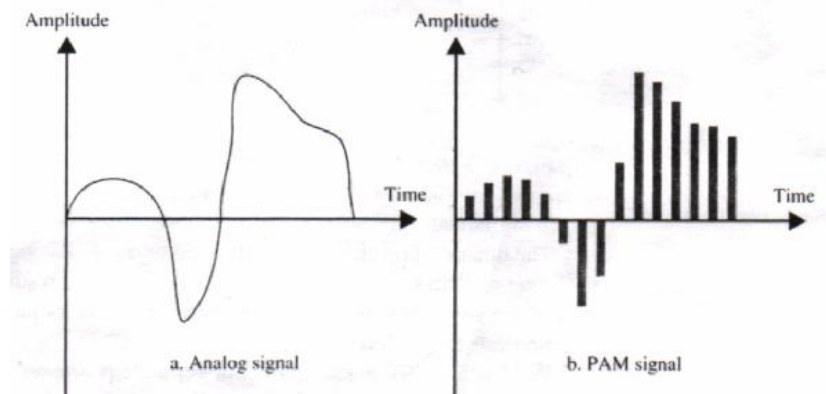
$$SNR_{dB} = 20 \log_2 2^n + 1,76 \text{ dB} = 6,02n + 1,76 \text{ dB}$$

Proceso completo de PCM:

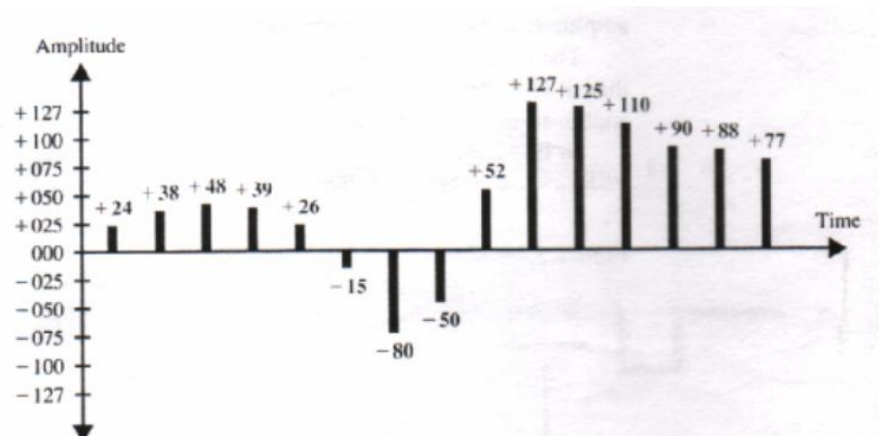


Proceso de PCM por partes:

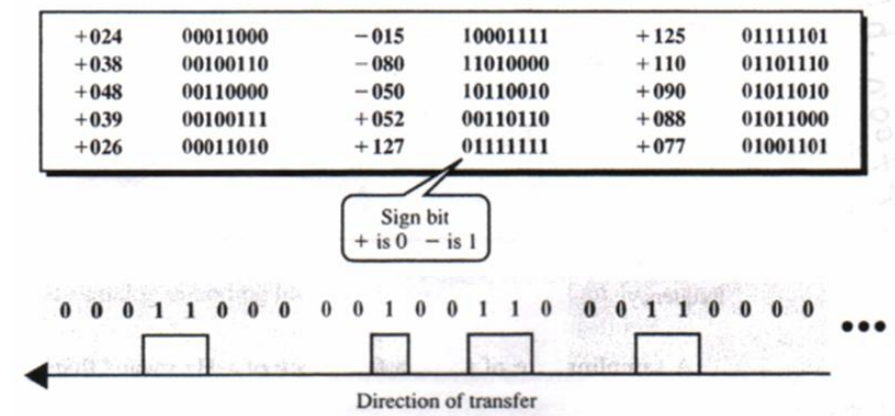
- PAM – Modulación por amplitud de pulso:



- Cuantización:



- Codificación:



## MEDIOS DE TRANSMISION GUIADOS

El éxito en la transmisión de datos depende fundamentalmente de la calidad de la señal que se transmite y de las características del medio de transmisión.

Los medios de transmisión se pueden clasificar como guiados y no guiados. En los medios guiados las ondas se transmiten confinándolas a lo largo de un camino físico. Los medios no guiados (inalámbricos) proporcionan un medio para transmitir las ondas electromagnéticas sin confinarlas (por ejemplo a través del aire, el mar o el vacío).

- Guiados
  - Cables de Cobre
  - Coaxiales
  - Fibras Ópticas
- No Guiados
  - Radio Frecuencia
  - Satelitales (también es RF)

En los medios de transmisión guiados, la capacidad de transmisión, en términos de velocidad de transmisión o ancho de banda, depende drásticamente de la distancia y de si el medio es punto a punto o multipunto.

Características de transmisión de medios guiados punto a punto:

	Rango de frecuencias	Atenuación típica	Retardo típico	Separación entre repetidores
Par trenzado (con carga)	0 para 3,5 kHz	0,2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Pares trenzados (múltiples cables)	0 para 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Cable coaxial	0 para 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 para 9 km
Fibra óptica	180 para 370 THz	0,2 para 0,5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

### CABLES DE COBRE:

#### Par Trenzado:

Es uno de los medios más viejos de transmisión. Consiste en dos alambres de cobre aislados, de 0,5mm a 1mm de espesor. Los alambres se trenzan en forma helicoidal, para eliminar la interferencia entre pares.

Presenta fuerte dependencia de la atenuación con la frecuencia. En comparación con otros medios guiados permite distancias menores, menor ancho de banda y menor velocidad de transmisión.

Se caracteriza por su gran susceptibilidad a las interferencias y al ruido, debido a su fácil acoplamiento con campos electromagnéticos externos.

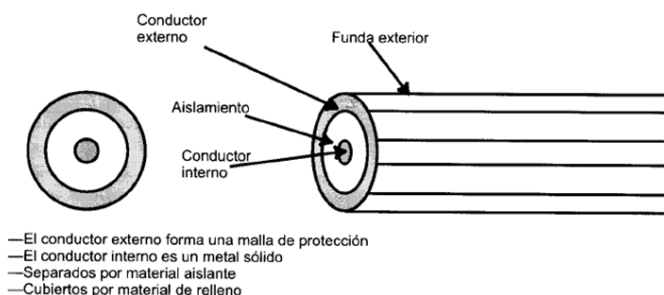
Diafonía: En un par de cables existe diafonía, cuando podemos medir alguna señal en él, que pertenece a otro par de cables cercano. Este fenómeno también es llamado *crosstalk*.

Dos parámetros que se miden en cables trenzados:

- NEXT (*Near end crosstalk*): es debida a la inducción que provoca un par conductor en otro par cercano. La denominación “cercana al extremo” (near end) hace referencia al acoplamiento que tiene lugar cuando la señal a transmitir entra en el cable y retorna a través del otro par conductor en el mismo extremo del enlace
- FEXT: *Far end crosstalk*

### CABLE COAXIAL:

Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor interior. El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados, o bien mediante un material sólido dieléctrico. El conductor exterior se protege mediante una cubierta o funda.



Comparado con el par trenzado, el cable coaxial se puede usar para cubrir mayores distancias así como para conectar un mayor

número de estaciones en líneas compartidas.

Aplicaciones:

- Distribución de Televisión (Redes CATV).
- Telefonía a larga distancia.
- Redes de área local (en desuso).

Características:

- Transmite señales analógicas y digitales.
- Buena respuesta en frecuencia por lo tanto permite mayores frecuencias y velocidades de transmisión que el par trenzado.
- Baja interferencia y baja diafonía.

Limitaciones:

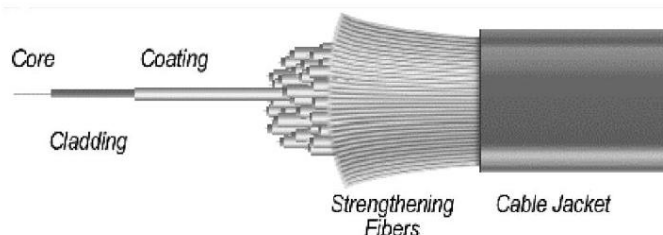
- Atenuación.
- Ruido de intermodulación cuando usamos FDM.

En la transmisión de señales analógicas a larga distancia se necesitan amplificadores separados entre sí a distancias del orden de pocos kilómetros, siendo esta separación tanto menor cuanto mayor sea la frecuencia de trabajo. En la señalización digital, en cambio, se necesita un repetidor cada kilómetro aproximadamente, e incluso menos cuanto mayor sea la velocidad de transmisión.

### FIBRA OPTICA:

Es un medio flexible y delgado capaz de confinar un haz de naturaleza óptica. Para construir la fibra se pueden usar diversos tipos de cristales y plásticos.

Un cable de fibra óptica tiene forma cilíndrica y está formado por tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta. El núcleo es la sección mas interna; está constituido por una o varias fibras de



Core = nucleo

Cladding = manto

Coating = recubrimiento

Strengthening fibers= Tensores

Cable Jacket = Cobertor

crystal o plástico, con un diámetro entre 8 y 100  $\mu\text{m}$ . Cada fibra está rodeada por su propio revestimiento, que no es sino otro cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector, confinando así el haz de luz, ya que de otra manera escaparía del núcleo. La capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos es la cubierta. Está hecha de plástico y otros materiales dispuestos en capas para proporcionar protección contra la humedad, la abrasión, posibles aplastamientos y otros peligros.

Características diferenciales de la fibra óptica con respecto al cable coaxial y al par trenzado:

- Mayor capacidad: el ancho de banda potencial y, por lo tanto, la velocidad de transmisión, en las fibras es enorme. Se pueden conseguir velocidades de transmisión de cientos de Gbps para decenas de kilómetros de distancia.
- Menor tamaño y peso: son apreciablemente más finas que el cable coaxial o que los pares trenzados embutidos, por lo menos en un orden de magnitud para capacidades de transmisión comparables.
- Menor atenuación.
- Aislamiento electromagnético: los sistemas de fibra óptica no se ven afectados por los efectos de campos electromagnéticos exteriores. No son vulnerables a interferencias, ruido impulsivo o diafonía.
- Mayor separación entre repetidores: es práctica habitual necesitar repetidores separados entre sí decenas de kilómetros. Sin embargo, se han demostrado experimentalmente sistemas con separación de cientos de kilómetros.

### Características de transmisión:

El haz de luz que transporta la señal codificada se propaga internamente de acuerdo con el principio de reflexión total. Este fenómeno se da en cualquier medio transparente que tenga un índice de refracción mayor que el medio que lo contenga.

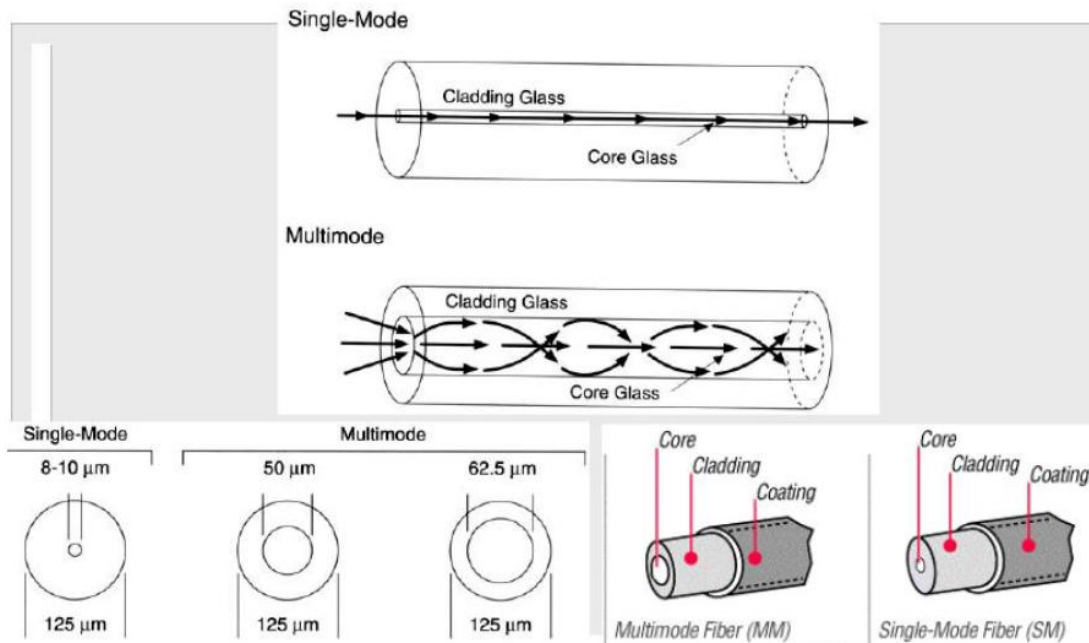
La luz proveniente de la fuente penetra en el núcleo cilíndrico. Los rayos que inciden con ángulos superficiales se reflejan y se propagan dentro del núcleo de la fibra, mientras que para otros ángulos de



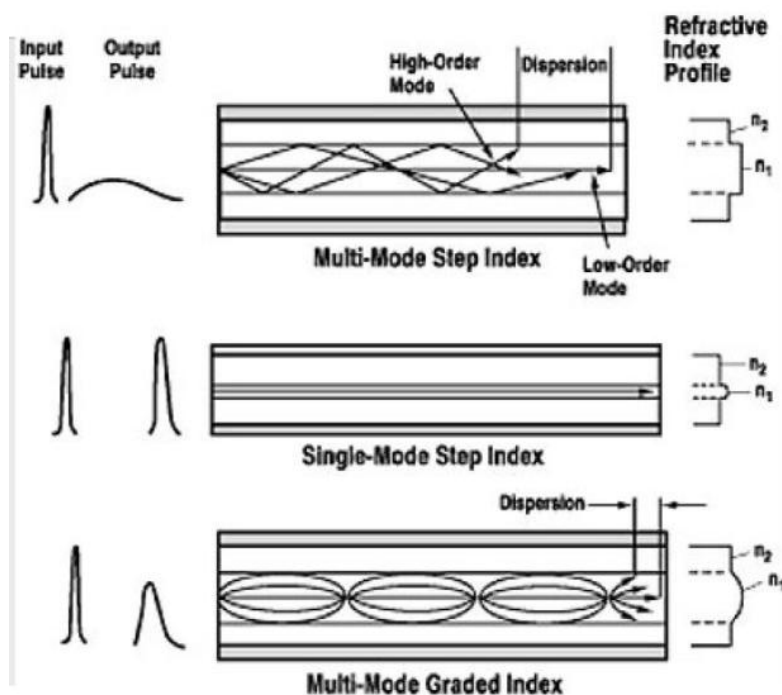
incidencia, los rayos son absorbidos por el material que forma el revestimiento. Este tipo de propagación se llama **multimodal de índice discreto**.

En la transmisión multimodo, existen múltiples caminos que verifican la reflexión total, cada uno con diferente longitud y, por tanto, con diferente tiempo de propagación.

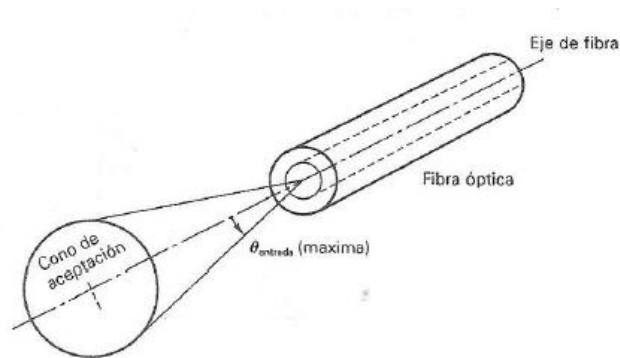
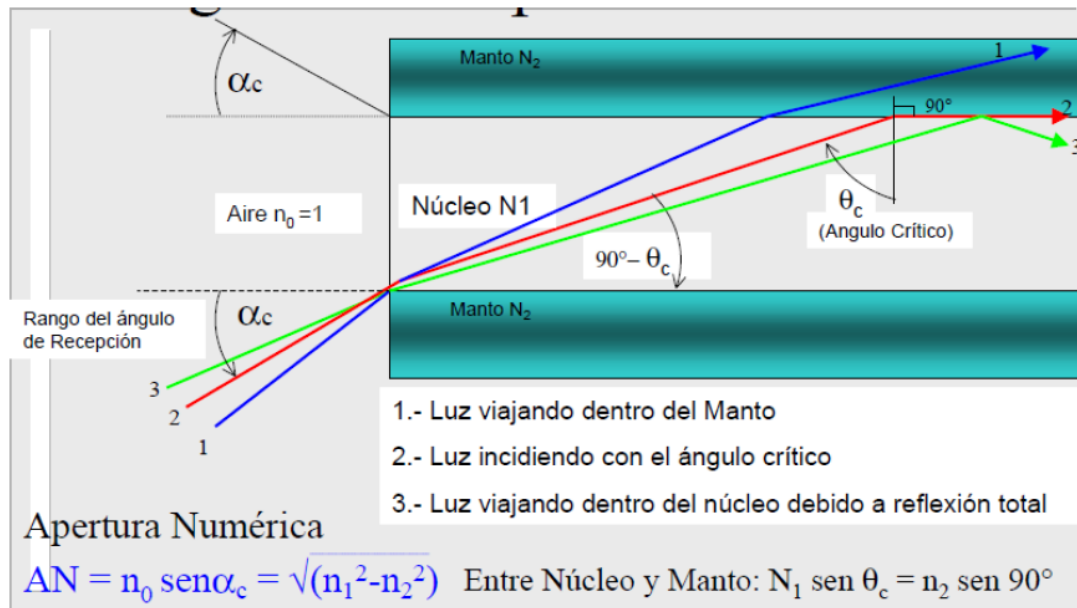
Cuando el radio del núcleo se reduce, la reflexión total se dará en un número menor de ángulos al reducir el radio del núcleo a dimensiones del orden de magnitud de la onda, un solo ángulo o modo podrá pasar el rayo axial. Este tipo de propagación se llama **monomodo**, proporciona prestaciones superiores debido a la existencia de un único camino posible, impidiéndose así la distorsión multimoda. Las fibras monomodo se utilizan generalmente en aplicaciones de larga distancia.



Se puede conseguir un tercer modo de transmisión variando gradualmente el índice de refracción del núcleo, este modo se denomina **multimodal de índice gradual** y sus características están entre las de los otros dos modos comentados. Estas fibras, al disponer de un índice de refracción mayor en la parte central, hacen que los rayos de luz avancen más rápidamente conforme se alejan del eje axial de la fibra. En lugar de describir un zig-zag, la luz en el núcleo describe curvas helicoidales, reduciendo así la longitud recorrida. Las fibras de índice gradual se utilizan frecuentemente en las redes de área local.



**Ángulo de aceptación de la fibra óptica:** define al máximo ángulo en el cual los rayos de luz externos pueden chocar con la interface aire/fibra y aun propagarse por la fibra. Girar el ángulo de aceptación alrededor del eje de la fibra describe el cono de aceptación de la entrada de la fibra.



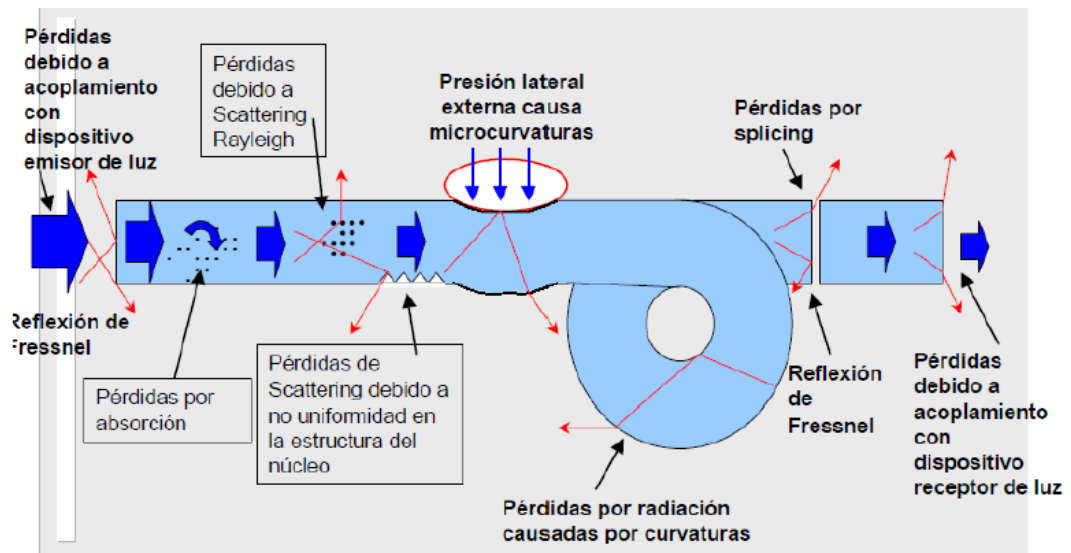
**Apertura numérica (NA):** se utiliza para describir la habilidad de recoger la luz de una fibra óptica. Entre más grande la magnitud de una NA, mayor es la cantidad de luz aceptada por la fibra de la fuente de luz externa.

$NA = \sin(A)$  siendo A el ángulo de aceptación de la fibra.

### Pérdidas:

La atenuación o pérdidas afectan la potencia. Pueden ser:

- Intrínsecas (del material):
  - Pérdidas por absorción: Ocurre cuando las impurezas en la fibra absorben la luz, y esta se convierte en energía calorífica.
  - Pérdidas por Scattering Rayleigh.
  - Pérdidas por scattering debido a una estructura no uniforme del núcleo.
- De instalación:
  - Pérdidas causadas por curvatura.
  - Pérdidas por microcurvaturas causadas por presión externa.
  - Pérdidas por uniones (splice) (Reflexión de Fresnel).
  - Pérdidas por acoplamiento entre la fibra y los aparatos receptores y transmisores (Reflexión de Fresnel)



### Dispersión:

La dispersión es la propiedad física inherente de las fibras ópticas, que define el ancho de banda y la interferencia ínter simbólica (ISI).

- Dispersión intermodal: también conocida como dispersión modal, es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra. Este tipo de dispersión solo afecta a las fibras multimodo.
- Dispersión cromática del material: es el resultado de las diferentes longitudes de onda de la luz que se propagan a distintas velocidades a través de un medio dado.
- Dispersión cromática de la guía de onda: es función del ancho de banda de la señal de información y la configuración de la guía generalmente es más pequeña que la dispersión anterior y por lo cual se puede despreciar.

## MEDIOS DE TRANSMISION NO GUIADOS

En el estudio de las comunicaciones inalámbricas se van a considerar tres intervalos de frecuencias:

- Frecuencias microondas: desde 1GHz hasta 40 GHz. En estas frecuencias de trabajo se pueden conseguir haces altamente direccionales, por lo que son adecuadas para enlaces punto a punto. También se usan en las comunicaciones satelitales.
- Ondas de Radio: frecuencias que van desde 30 MHz a 1GHz. Son adecuadas para las aplicaciones omnidireccionales.
- Otro intervalo importante de frecuencias, para aplicaciones de cobertura local, es la zona infrarroja del espectro. Se define aproximadamente por el rango de frecuencias comprendido entre  $3 \times 10^{11}$  y  $2 \times 10^{14}$  Hz. Los infrarrojos son útiles para las conexiones locales punto a punto, así como para aplicaciones multipunto dentro de áreas confinadas (por ejemplo, habitaciones).

En los medios no guiados, la transmisión y la recepción se realiza mediante una antena.

### ANTENAS

Es un conductor eléctrico usado para irradiar o captar energía electromagnética. Para transmitir la señal, la energía eléctrica proveniente del transmisor se convierte a energía electromagnética en la antena. La energía se irradia al entorno que envuelve a la antena.

Para recibir una señal, la energía electromagnética capturada por la antena se convierte a energía eléctrica. Esta conversión se realiza en la antena. La energía eléctrica se pasa al receptor.

La misma antena es a menudo usada en ambos sentidos. Esto es factible ya que las características de una antena son las mismas para recibir que para transmitir energía electromagnética.

#### Patrón de Radiación

En general, una antena radiará potencia en todas las direcciones, si bien normalmente no lo hará igual de bien en todas las direcciones.

Las **antenas isotrópicas** (teóricamente) son un punto en el espacio que irradia energía en todas las direcciones igualmente. El diagrama de radiación es una esfera.

#### La antena parabólica de reflexión

Se utilizan en aplicaciones de microondas terrestre y satelitales.

Una parábola es el lugar geométrico de todos los puntos que equidistan de una recta dada y de un punto fijo que no pertenecen a la recta. El punto fijo es el foco. La línea se llama generatriz.

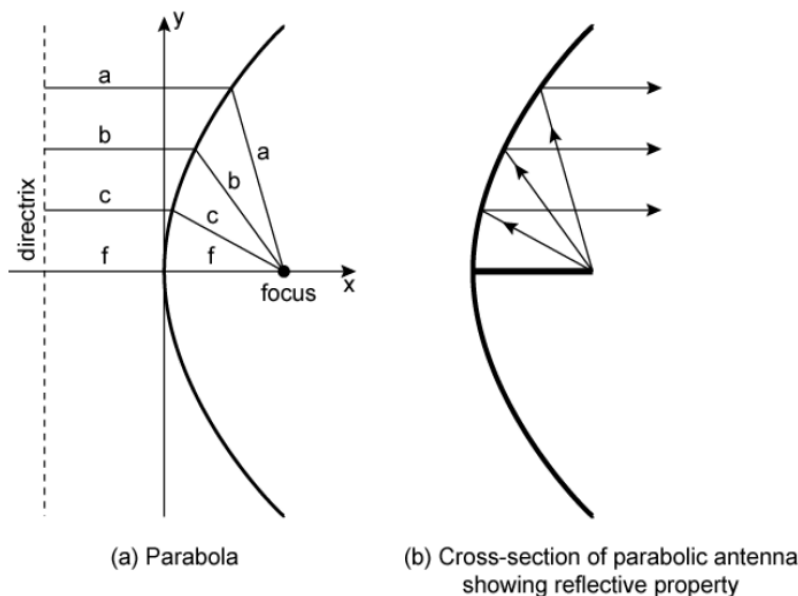
Si la parábola se hace girar en torno a su eje se genera una superficie denominada paraboloides.

Cualquier fuente de EE (energía electromagnética) situada en su foco, seguirá trayectorias paralelas al eje de la parábola. Teóricamente, este efecto consigue un haz paralelo sin dispersión alguna. En la práctica, habrá dispersión debido a que la fuente de energía siempre ocupará más de un punto. Cuanto mayor sea el diámetro de la antena, más direccional será el haz. En el receptor, si las ondas recibidas son paralelas al eje de la parábola reflectante, la señal resultante estará concentrada en el foco.

#### Ganancia de una antena

La ganancia de una antena es una medida de su direccionalidad. Dada una dirección, se define la ganancia de una antena como la potencia de salida, en esa dirección, comparada con la potencia transmitida en cualquier dirección por una antena omnidireccional. Se mide en decibeles (dB). El incremento de potencia radiada es consecuencia de la pérdida de potencia en otra dirección.

Un concepto relacionado con la ganancia es el área efectiva. El área efectiva de una antena está relacionada con su tamaño físico y con su geometría.



La relación entre la ganancia de una antena y su área efectiva viene dada por:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

G=ganancia de la antena

$A_e$ =área efectiva

F=frecuencia de la portadora

C=velocidad de la luz ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\lambda$  =longitud de onda portadora

## MICROONDAS TERRESTRES

La antena más común en las microondas es la parabólica de plato. El diámetro típico es de unos 3 metros. Esta antena se fija rígidamente de forma tal que el haz debe estar perfectamente enfocado siguiendo la trayectoria visual hacia la antena receptora. Se sitúan a una altura suficientemente elevada sobre el nivel del suelo para así conseguir una separación mayor entre ellas y evitar posibles obstáculos en la transmisión. Para conseguir transmisiones a larga distancia se concatenan distintos enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada.

Aplicaciones:

- Servicios de telecomunicaciones en reemplazo de cable coaxial o fibra óptica: para una distancia dada, las microondas requieren menos repetidores o amplificadores que el cable coaxial pero exigen que las antenas estén perfectamente alineadas.
- Enlaces punto a punto entre edificios de corta distancia.

Características de transmisión:

- Rango de operación: 1 y 40 GHz.

Mayor frecuencia implica mayor ancho de banda y, por lo tanto, mayor es la posible velocidad de transmisión.

Banda (GHz)	Ancho de Banda (Mhz)	Velocidad de transmisión Mbps
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

La principal causa de pérdida es la atenuación. La pérdida se puede expresar como:

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

Donde d es la distancia y  $\lambda$  es la longitud de onda, expresadas en las mismas unidades.

La atenuación varía con el cuadrado de la distancia. La atenuación aumenta con la lluvia, siendo ese efecto especialmente significativo para frecuencias por encima de 10 GHz. Otra dificultad son las interferencias, por lo que la asignación de bandas debe realizarse siguiendo una regulación estricta. Las bandas más usuales de transmisión se sitúan entre 4 GHz y 6 GHz.

## MICROONDAS POR SATELITE

Un satélite de comunicaciones es básicamente una estación que retransmite microondas. Se usa como enlace entre dos o más receptores/transmisores terrestres denominados estaciones base. El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la amplifica o repite y, posteriormente, la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente). Cada uno de los satélites geoestacionarios operará en una serie de bandas de frecuencias llamadas canales transpondedores, o simplemente transpondedores.

Para que un satélite de comunicaciones funcione con eficacia, generalmente se exige que se mantenga en una órbita geoestacionaria, es decir, que mantenga su posición respecto de la tierra. Para mantenerse geoestacionario debe tener un periodo de rotación igual al de la tierra y esto ocurre en una distancia aproximada de 35863 km sobre el Ecuador.

Para evitar interferencias, los estándares actuales exigen una separación mínima de 4° en la banda 4/6 GHz, o una separación de al menos 3° en la banda de 12/14 GHz por lo que el número máximo de posibles satélites está limitado.

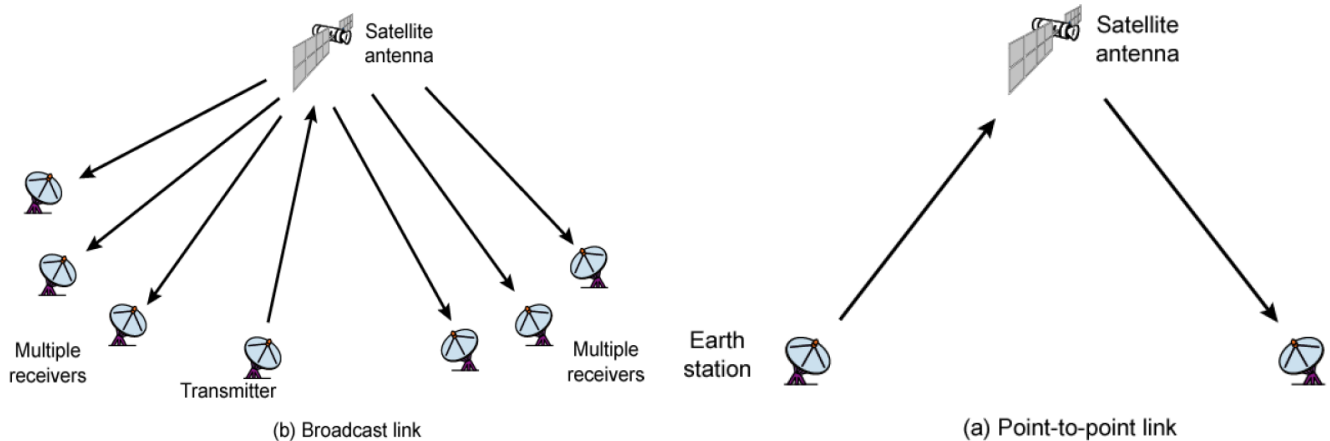
Aplicaciones:

- Televisión.

- Teléfono a grandes distancias.
- Redes privadas de computadoras.

Debido a que los satélites son multidifusión por naturaleza, su utilización es muy adecuada para la distribución de TV.

En las redes públicas de telefonía, la transmisión vía satélite se utiliza también para proporcionar enlaces punto a punto entre las centrales. Es el medio óptimo para los enlaces internacionales que tengan un alto grado de utilización.



Características de la transmisión:

- Rango de operación óptimo de 1 a 10 GHz. Arriba de 10 GHz existe mucha atenuación (absorción atmosférica y precipitaciones), por debajo de 1GHz el ruido producido por causas naturales es apreciable (ruido galáctico, solar, atmosférico e interferencias).
- Rango muy usado: 5.925 y 6.424 GHz canal ascendente y 3.7 y 4.2 GHz canal descendente. Este intervalo de frecuencias se conoce como banda 4/6 GHz. En una transmisión continua y sin interferencias, el satélite no puede transmitir y recibir en el mismo rango de frecuencias. Las señales que se reciben desde las estaciones terrestres en una frecuencia dada se deberán devolver en otra distinta.

Debido a las grandes distancias involucradas, el retardo de propagación es aproximadamente del orden de un cuarto de segundo para una transmisión que vaya desde una estación terrestre hasta otra y que pase por el satélite. Estos retrasos introducen problemas adicionales a la hora de controlar los errores y el flujo en la transmisión. Los satélites con microondas son un medio idóneo para las aplicaciones multidestino (aplicaciones en las que varias estaciones necesitan transmitir hacia el satélite e, igualmente, varias estaciones necesiten recibir la señal transmitida por el satélite).

## PROPAGACION INALAMBRICA

La señal puede viajar por tres caminos:

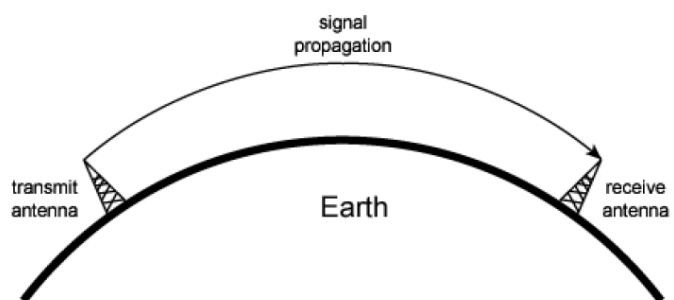
- Ondas superficiales: sigue el contorno de la superficie terrestre. Radio AM.
- Ondas aéreas: Radios amateur. La señal se refleja en la ionosfera.
- Línea de vista (LOS): Arriba de los 30 Mhz. El radio horizonte afecta la transmisión.

### Propagación superficial de ondas:

La propagación superficial sigue, con más o menos precisión, el contorno de la superficie terrestre, pudiendo alcanzar grandes distancias, más allá de la línea del horizonte visual. Este efecto se da para frecuencias de hasta 2MHz.

Factores que justifican la tendencia que tienen las ondas electromagnéticas a seguir la curvatura terrestre:

- La onda induce una corriente en la superficie terrestre que frena al frente



(a) Ground-wave propagation (below 2 MHz)

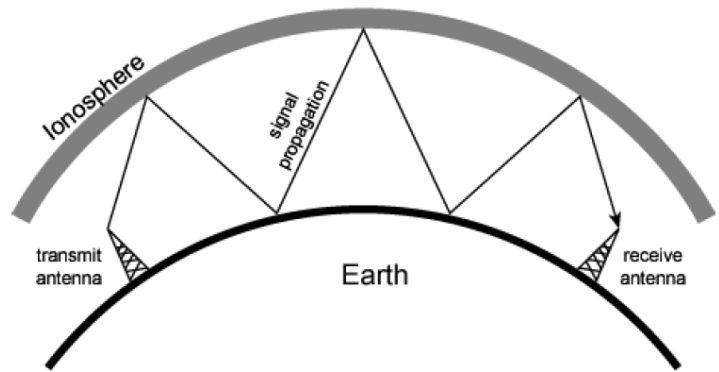
de onda cerca de la superficie, haciendo que éste se curve hacia abajo.

- Otro de los factores es la difracción. Las ondas electromagnéticas a estas frecuencias son dispersadas por la atmósfera, de forma tal que no llegan a penetrar en las capas altas.

El ejemplo más conocido de propagación terrestre es la radio AM.

### Propagación aérea de ondas:

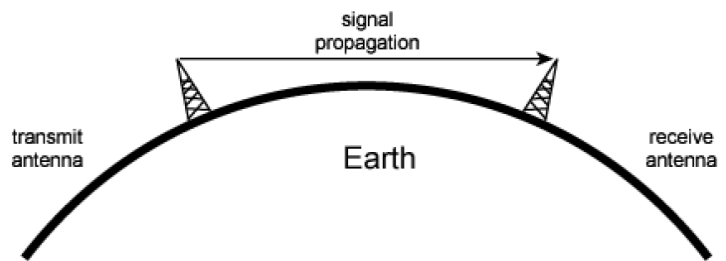
Se utiliza por los radioaficionados y en las emisiones internacionales de radio comercial (como la BBC). En este tipo de propagación, la señal proveniente de la antena terrestre se refleja en la capa ionizada de la atmósfera alta (la ionósfera), volviendo así hacia la tierra (el efecto es refractivo). Una señal que se propague de esta manera estará dando una serie de saltos entre la ionosfera y la superficie terrestre. Utilizando este modo de transmisión se puede conseguir que la onda se reciba a miles de kilómetros del transmisor.



(b) Sky-wave propagation (2 to 30 MHz)

### Propagación en la trayectoria visual:

Por encima de 30 MHz las comunicaciones han de realizarse siguiendo la línea de visión (LOS – Line Of Sight). Para este modo de transmisión, la antena emisora y la receptora deben estar alineadas según la trayectoria visual efectiva. Se usa el término efectiva ya que las microondas son pandeadas o refractadas por la atmósfera.

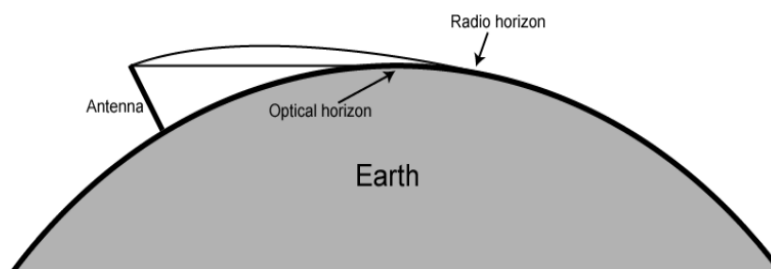


(c) Line-of-sight (LOS) propagation (above 30 MHz)

### Línea de visión óptica y de radio:

Si no hay obstáculos, la línea de visión óptica se puede expresar como:  $d = 3,57\sqrt{h}$  donde  $d$  es la distancia entre la antena y el horizonte en kilómetros y  $h$  es la altura de la antena en metros.

La línea de visión efectiva, o de radio, se expresa como:  $d = 3,57\sqrt{Kh}$  donde  $K$  es un factor de ajuste que tiene en cuenta la refracción. Una buena aproximación es  $K=4/3$ . Así, la distancia máxima entre dos antenas siguiendo propagación LOS es:  $3,57(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2})$  donde  $h_1$  y  $h_2$  son, respectivamente, las alturas de las antenas.



## TRANSMISION EN LA TRAYECTORIA VISUAL

### Pérdida en el espacio libre:

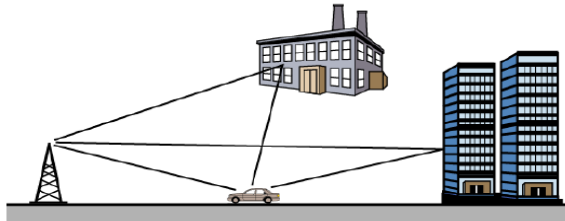
Cualquier comunicación inalámbrica produce una dispersión de la señal con la distancia. Una antena dada recibirá menos potencia cuanto más alejada esté de la antena emisora. Esta es la principal causa de pérdidas en comunicaciones vía satélite. A este fenómeno se lo llama Pérdida en el espacio libre y se calcula de la siguiente manera:

$$L \text{ (dB)} = 20 \log (f) + 20 \log (d) - 147.56 \text{ dB}$$

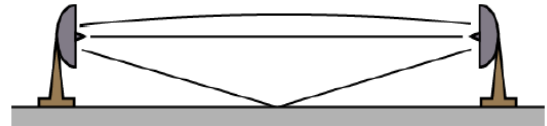


### Multitrayectorias:

Cuando en las aplicaciones inalámbricas hay muchos obstáculos entre las antenas, la señal se refleja en ellos de modo que el receptor recibirá varias versiones de la señal con retardos diferentes. De hecho, en casos extremos, no se recibirá la señal directa. Dependiendo de las diferencias entre las longitudes de onda de las trayectorias del camino directo y los reflejados, la señal total puede llegar a ser mayor o menor que la señal original. El realce o la cancelación de la señal proveniente de las múltiples trayectorias se puede controlar para el caso de que las antenas estén fijas y sean bien conocidas, al igual que entre satélites y estaciones terrestres.



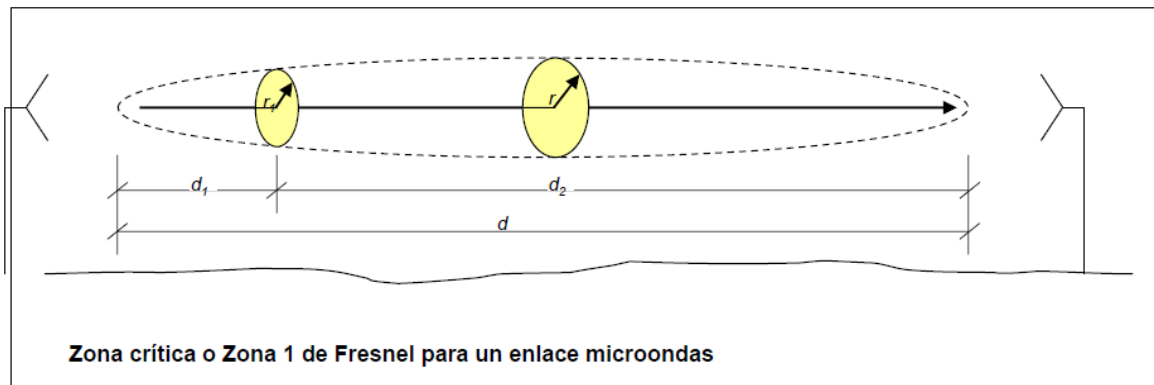
(b) Mobile radio



(a) Microwave line of sight

### Zona de Fresnel:

Se llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.



Cálculo según ITU-R1.175:

$$Rf_n(m) = 548 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{F \cdot d}}$$