

1. Capítulo 1: Introducción a las redes de datos

Tres fuerzas diferentes han impulsado constantemente la arquitectura y la evolución de comunicaciones de datos e instalaciones de redes: crecimiento del tráfico, desarrollo de nuevos servicios y avances tecnológicos.

El tráfico de comunicación, tanto local (dentro de un edificio o campus empresarial) como larga distancia, ha permanecido creciendo a un ritmo alto y constante durante décadas. El tráfico de red ya no se limita a voz y datos e incluye cada vez más imágenes y videos.

La necesidad de dar respuesta a los servicios web, el acceso remoto, las transacciones en línea, y las redes sociales significan que es probable que esta tendencia continúe. Por lo tanto, en la mayoría de las organizaciones, los gerentes están constantemente presionados para aumentar la capacidad de comunicación en forma rentable.

A medida que las empresas confían cada vez más en la tecnología de la información, el portfolio de servicios que los usuarios empresariales desean consumir se están expandiendo.

El crecimiento del tráfico de banda ancha está explotando al igual que la cantidad de datos que se transfieren desde dispositivos móviles (teléfonos inteligentes, tabletas, notebooks, ultrabooks, entre otras). Además, los usuarios de dispositivos móviles exigen cada vez más servicios de alta calidad para respaldar sus teléfonos con cámara de alta resolución, transmisiones de video favoritas y audio de alta gama. Similar crecimiento de la demanda se observa en el acceso de línea fija a Internet y redes privadas.

Par poder dar respuesta a semejante demanda de una enorme cantidad de tráfico generado tanto por los consumidores como por los usuarios comerciales, los proveedores de servicios móviles deben seguir invirtiendo en redes de alta capacidad e instalaciones de transmisión. A su vez, el crecimiento de la oferta de redes de alta velocidad a precios competitivos fomenta la expansión de aplicaciones y servicios móviles.

Por lo tanto, a mayor cantidad de servicios, mayor capacidad de tráfico. Como ejemplo, la Figura 1.1 muestra la distribución del tráfico de internet descendente, dividido por categorías, en el mes de Octubre de 2018. Se puede observar que más de la mitad del tráfico descendente corresponde a video. La Figura 1.2 muestra el pronóstico de crecimiento del tráfico mundial de internet dividido por regiones.

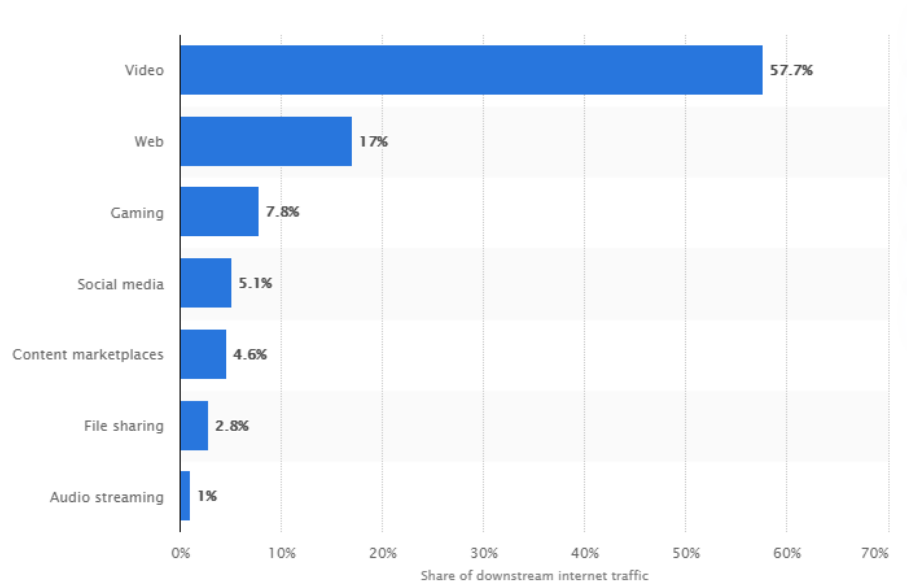


Figura 1.1 – Distribución de tráfico global descendente por categoría mes de Octubre 2018

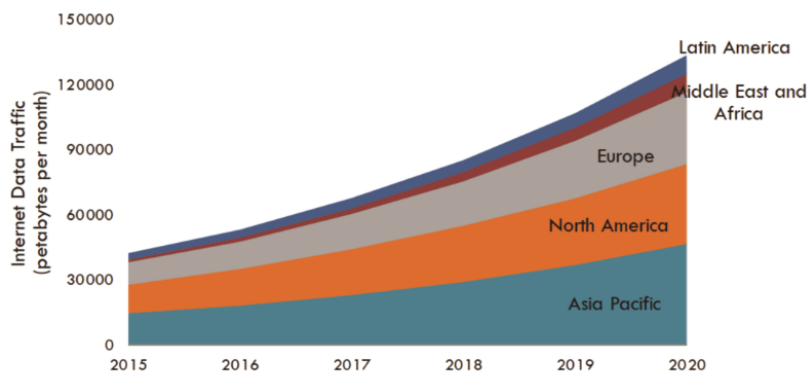


Figura 1.2: Pronóstico de crecimiento del tráfico de Internet (Cisco)

Finalmente, las tendencias tecnológicas permiten proporcionar una mayor capacidad de tráfico y el apoyo de una amplia gama de servicios. Cuatro tendencias tecnológicas son particularmente notables:

- Se mantiene firme la tendencia de una tecnología más rápida y económica, tanto en informática como en comunicaciones. En términos de computación, esto significa computadoras más potentes y grupos de computadoras capaces de soportar aplicaciones más exigentes, como aplicaciones multimedia. En términos de comunicaciones, el uso creciente de la fibra óptica y la conexión inalámbrica de alta velocidad han reducido los precios de transmisión, a la vez que brindan mayor capacidad. Por ejemplo, para telecomunicaciones de larga distancia y enlaces de red de datos, la multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) permite que el tráfico de comunicación sea transportado por cables de fibra óptica a velocidades de múltiples terabits por segundo. Para el caso de las

redes de área local (LAN), muchas empresas ahora tienen redes troncales Ethernet de 40 Gbps o Ethernet de 100 Gbps. La Figura 1.3 muestra la tendencia de demanda de Ethernet. Como se puede observar, las estadísticas indican que la demanda de velocidad de datos de la red troncal de Internet en la red núcleo se duplica aproximadamente cada 18 meses, mientras que la misma demanda por parte de las aplicaciones LAN en la empresa se duplica aproximadamente cada 24 meses.

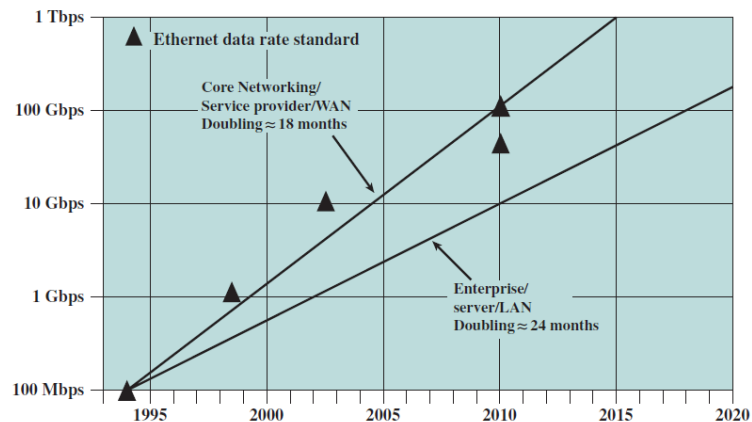


Figura 1.3: Crecimiento pasado y proyectado en la demanda de velocidad de datos de Ethernet en comparación con tasas de datos Ethernet existentes

- Las redes de hoy son más "inteligentes" que nunca. Dos áreas de inteligencia se destacan. Primero, las redes de hoy pueden ofrecer diferentes niveles de calidad de servicio (QoS), que incluye especificaciones para administrar en forma inteligentes paquetes de datos con distintas prioridades, con el objetivo de garantizar un soporte de alta calidad para aplicaciones y servicios. En segundo lugar, las redes actuales ofrecen una variedad de servicios personalizables en las áreas de gestión y seguridad de redes.
- Internet, la Web y las aplicaciones asociadas han surgido como dominantes características en las redes comerciales y personales. La migración "todo sobre IP" continúa y ha creado muchas oportunidades y desafíos para los gerentes de tecnología de la información y las comunicaciones (TIC). Además de explotar Internet y la Web para llegar a clientes, proveedores, y empresas asociadas, se han desarrollado intranets y extranets, para aislar información confidencial, y así mantenerla libre del acceso no deseado.
- La movilidad es el nuevo desafío para los administradores de las TIC y los dispositivos de consumo populares tales como el iPhone, Smartphone y iPad. Estos se han convertido en impulsores de la evolución de redes comerciales y su uso. Si bien ha habido una tendencia hacia la movilidad, durante décadas, la explosión de la movilidad ha ocurrido y ha liberado a los trabajadores desde los confines de la empresa física. Aplicaciones empresariales tradicionalmente

compatible con terminales y computadoras de escritorio de oficina ahora están disponibles en dispositivos móviles. La computación en la nube está siendo adoptada por los principales proveedores de software empresarial, incluidos SAP, Oracle y Microsoft, y esto asegura que se producirán más innovaciones de movilidad. Los expertos predicen que los dispositivos móviles se convertirán en la informática comercial dominante y esa capacidad mejorada para usar información empresarial, recursos y servicios en cualquier lugar y en cualquier momento serán una clara tendencia para los próximos años. Hasta hace muy poco tiempo, en el tecnológico se debatía entre los sistemas operativos Microsoft Windows y las distribuciones Linux, y de repente Android e iOS coparon el mundo.

1.1. Transmisión de datos y capacidad de la red

Computadoras personales y las estaciones de trabajo comenzaron a lograr una amplia aceptación en la informática empresarial en principios de la década de 1980 y ahora hemos alcanzado prácticamente el estado del teléfono: un elemento esencial para trabajadores de oficina. Hasta hace relativamente poco, las LAN de oficina proporcionaban funciones básicas de servicios de conectividad: conexión de computadoras personales y terminales a mainframes; y sistemas de rango medio que ejecutaban aplicaciones corporativas y proporcionaban grupos de trabajo con conectividad a nivel departamental o divisional. En ambos casos, patrones de tráfico fueron relativamente ligeros, con énfasis en la transferencia de archivos y el correo electrónico. Las redes LAN que estaban disponibles para este tipo de carga de trabajo, principalmente Ethernet y Token anillo, eran muy adecuadas para este entorno.

En los últimos 20 años, dos tendencias significativas alteraron el papel de la computadora personal y por lo tanto los requisitos en la LAN:

1. La velocidad y el poder de cómputo de las computadoras personales continuaron disfrutando un crecimiento explosivo. Estas plataformas más potentes admiten gráficos intensivos, aplicaciones e interfaces gráficas de usuario cada vez más elaboradas para el funcionamiento de los sistemas.
2. Los sistemas de información de gestión han reconocido a la LAN como una plataforma informática viable y esencial, lo que derivó en desarrollar el enfoque de la computación en red. Esta tendencia comenzó con la informática cliente / servidor, que se convirtió en una arquitectura dominante en el entorno empresarial y más recientemente la evolución de la intranet centrada en la web. Ambos enfoques implican la frecuente transferencia de volúmenes potencialmente grandes de datos en un modelo de transacciones orientadas al “entorno”.

El efecto de estas tendencias ha sido aumentar el volumen de datos a manejar sobre LAN y, debido a que las aplicaciones son más interactivas, se hizo necesario reducir el retraso en la transferencia de datos. La generación anterior de

Ethernet de 10 Mbps y los anillos lógicos de 16 Mbps simplemente no estaban a la altura del trabajo que deben cumplir con estos nuevos requisitos de performance

Los siguientes son ejemplos de requisitos que requieren LAN de mayor velocidad:

- Granjas de servidores centralizadas: en muchas aplicaciones, hay una necesidad de un usuario o aplicación cliente, para poder extraer grandes cantidades de datos de múltiples servidores centralizados llamados granjas de servidores. Un ejemplo es una operación de publicación en color, en el que los servidores suelen contener decenas de gigabytes de datos de imagen que deben ser descargado a estaciones de trabajo. Como el rendimiento de los servidores han aumentado, el cuello de botella se ha desplazado a la red.
- Grupos de trabajo potentes: estos grupos generalmente consisten en una pequeña cantidad de usuarios cooperantes que necesitan transferir archivos de datos masivos a través de la red. Los ejemplos son un grupo de desarrollo de software que ejecuta pruebas en una nueva versión de software o una empresa de diseño asistido por computadora (CAD) que ejecuta simulaciones regularmente de nuevos diseños. En tales casos, grandes cantidades de datos se distribuyen a varias estaciones de trabajo, procesadas y actualizadas a muy alta velocidad para múltiples iteraciones
- Backbone local de alta velocidad: a medida que crece la demanda de procesamiento, las LAN proliferan en un sitio, y la interconexión de alta velocidad es necesaria.

Necesidades de redes corporativas de área amplia

Hace un tiempo en los comienzos de la década de 1990, en muchas organizaciones se hizo hincapié en un modelo centralizado de procesamiento de datos. En un entorno típico de aquel modelo, se podía encontrar importantes instalaciones informáticas en algunas regiones, con oficinas que contaban con mainframes o sistemas de rango medio bien equipados. Estas instalaciones centralizadas podían manejar la mayoría de las aplicaciones corporativas, incluidas las finanzas básicas, contabilidad y programas de personal, así como muchas de las aplicaciones específicas del negocio.

Las oficinas periféricas más pequeñas (por ejemplo, una sucursal bancaria) podían estar equipadas con terminales o computadoras personales básicas conectadas a uno de los centros regionales en un entorno orientado a transacciones.

Este modelo comenzó a cambiar con el correr de la década del 90, y el cambio se aceleró, desde entonces. Muchas organizaciones han dispersado a sus empleados en múltiples y más pequeñas oficinas. Hay un uso creciente del teletrabajo. Lo más significativo, la naturaleza de la estructura de la aplicación ha cambiado. Primero el modelo cliente / servidor y, más recientemente, la computación basada en la intranet, han reestructurado fundamentalmente la organización y el entorno de procesamiento de datos. Ahora hay mucha más confianza en las computadoras personales, estaciones de trabajo y servidores, lo cual ha llevado al menor uso de mainframe centralizado y sistemas de rango

medio. Además, el despliegue prácticamente universal de interfaces gráficas para las pc's de escritorio, permiten al usuario final explotar las aplicaciones gráficas.

La mayoría de las organizaciones, por no decir todas, requieren acceso a internet. De ésta forma, es muy probable que con unos pocos clics del mouse se puedan generar consultas que desencadenen grandes volúmenes de datos. De esta forma, los patrones de tráfico se han vuelto más impredecibles mientras que el promedio la carga ha aumentado en forma dramática.

Todas estas tendencias significan que se deben transportar más datos fuera de las instalaciones LAN y dentro de las redes de área amplia (WAN). Durante mucho tiempo se ha aceptado que, en el entorno empresarial típico, aproximadamente el 80% del tráfico sigue siendo local y aproximadamente el 20% atraviesa un área amplia. Pero esta regla ya no se aplica a la mayoría de las empresas, con un mayor porcentaje del tráfico que ingresa al entorno WAN. Este cambio de flujo de tráfico coloca una mayor carga en las redes troncales de LAN y, por supuesto, en las instalaciones de WAN utilizadas por la sociedad. Por lo tanto, al igual que en el área local, los cambios en los patrones de tráfico de datos corporativos están impulsando la creación de WAN de alta velocidad.

Electrónica digital

La rápida conversión de la electrónica de consumo a la tecnología está teniendo un impacto tanto en Internet como en las intranets corporativas. En la medida que estos nuevos dispositivos proliferan, aumentan drásticamente la cantidad de tráfico de imagen y video transportado por las redes.

Dos ejemplos notables de esta tendencia son los discos versátiles digitales (DVD) y cámaras digitales fijas. Con el DVD de gran capacidad, la industria electrónica por fin encontró un reemplazo aceptable para las cintas del sistema de video casero analógico (VHS). El DVD ha reemplazado la cinta de video utilizada en las grabadoras de videocasetes (VCR) y el CD-ROM en computadoras personales y servidores. El DVD lleva el video a la era digital. Ofrece películas con calidad de imagen que supera a los discos láser, y se puede acceder al azar si se usan los respectivos reproductores de DVD. Vastos volúmenes de datos se pueden acumular en el disco. Con la gran capacidad de almacenamiento de DVD y una calidad vívida, los juegos de PC se han convertido en un software más realista y educativo que incorpora más video.

A raíz de estos desarrollos hay una nueva cresta de tráfico a través de Internet e intranets corporativas, ya que este material se incorpora en sitios web. Un desarrollo de producto relacionado es la videocámara digital. Este producto facilita a las personas y empresas la creación de archivos de video digital en sitios web corporativos e Internet, lo que nuevamente aumenta la carga de tráfico.

Convergencia

La convergencia se refiere a la fusión del tráfico de la telefonía y el tráfico generado por los sistemas de información, técnicas de transmisión de datos que

previamente se desarrollaron en diferentes tecnologías y mercados. Podemos pensar en convergencia en términos de tres capas modelo de comunicaciones empresariales:

1. **Aplicaciones:** son percibidas por los usuarios finales de una empresa. La convergencia en esta capa, integra aplicaciones de comunicaciones, como llamadas de voz (teléfono), correo de voz, correo electrónico y mensajería instantánea; con aplicaciones comerciales, como como colaboración en grupos de trabajo, gestión de relaciones con clientes y otras funciones de back-office. Con la convergencia, las aplicaciones proporcionan características que permiten incorporar voz, datos y video de manera transparente, organizada y con valor agregado. Un ejemplo es la mensajería multimedia, que permite a un usuario emplear una única interfaz para acceder a mensajes de una variedad de fuentes (por ejemplo, correo de voz de oficina, correo electrónico de oficina, buscapersonas y fax).
2. **Servicios empresariales:** en este nivel, el administrador de red se ocupa de la información de la red en términos de los servicios que brinda para soportar aplicaciones. Este debe diseñar, mantener y soportar servicios relacionados con el despliegue de instalaciones basadas en convergencia. También a este nivel, los administradores de red deben lidiar con la red empresarial como un sistema que proporciona funciones. Estos servicios de administración pueden incluir esquemas de autenticación; capacidad gestión para diversos usuarios, grupos y aplicaciones; y provisión de calidad de servicios (QoS).
3. **Infraestructura:** la infraestructura de red y comunicaciones consiste en los enlaces de comunicación, LAN, WAN y conexiones a Internet disponibles a la empresa. Cada vez más, la infraestructura de red empresarial también incluye conexiones de nube privadas y / o públicas a centros de datos que alojan almacenamiento de datos de alto volumen y servicios web. Un aspecto clave de la convergencia en este nivel es la capacidad de transportar voz, imagen y video a través de redes que fueron diseñados originalmente para transportar tráfico de datos. La convergencia de infraestructura también ocurrió para redes que fueron diseñadas para el tráfico de voz. Por ejemplo, video, imagen, texto y datos se entregan rutinariamente a usuarios de teléfonos inteligentes a través de redes de telefonía celular.

En términos simples, la convergencia implica mover la voz a una infraestructura de datos, integrando todas las redes de voz y datos dentro de una organización de usuarios en una infraestructura de red de datos única, y luego extenderla al ámbito inalámbrico. La base de esta convergencia es la transmisión basada en paquetes que usa Internet Protocolo (IP). La convergencia aumenta la función y el alcance tanto de la infraestructura como la base de la aplicación.

1.2. Modelo de la comunicación entre dos entidades

El propósito fundamental de un sistema de comunicaciones es el intercambio de datos entre dos partes. La figura 1.2.1 presenta un ejemplo particular, que es la comunicación entre una estación de trabajo y un servidor a través de una red telefónica pública. Otro ejemplo es el intercambio de señales de voz entre dos teléfonos a través de misma red. Los siguientes son elementos clave del modelo:

- Fuente: este dispositivo genera los datos a transmitir; ejemplos son los teléfonos y computadoras personales.
- Transmisor: por lo general, los datos generados por un sistema fuente no se transmiten directamente en la forma en que se generaron. Más bien, un transmisor transforma y codifica la información de tal manera que produzca señales electromagnéticas que pueden transmitirse a través de algún tipo de sistema de transmisión. Por ejemplo, un módem toma un flujo de bits digital de un dispositivo conectado como una computadora personal y transforma ese flujo de bits en una señal analógica, la cual puede ser manejada por la red telefónica.
- Sistema de transmisión: puede ser una sola línea de transmisión o una red compleja conectando fuente y destino.
- Receptor: el receptor acepta la señal del sistema de transmisión y la convierte en un formato que puede manejar el dispositivo de destino. Por ejemplo, un módem aceptará una señal analógica proveniente de una red o línea de transmisión y la convertirá en un flujo de bits digital.
- Destino: toma los datos entrantes del receptor.

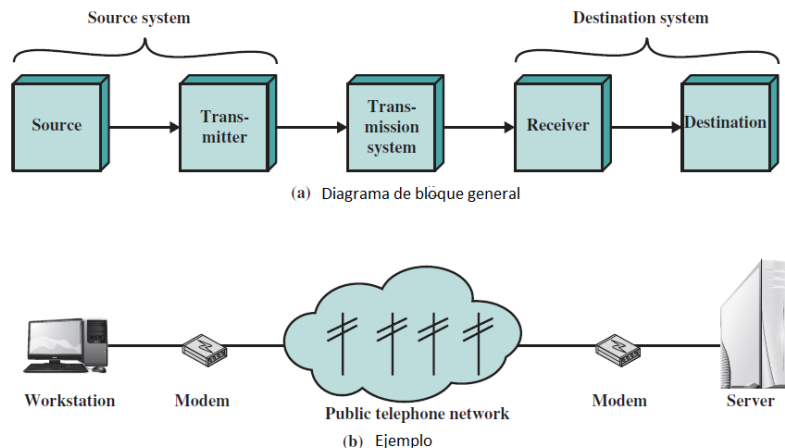


Figura 1.2.1: Modelo de comunicación simplificado

Esta breve y simple descripción, oculta una gran complejidad técnica. Para tener una idea del alcance de esta complejidad, la Tabla 1.2.2 enumera algunas de las

tareas clave que deben realizarse en un sistema de comunicaciones de datos. La lista es algo arbitraria: se pueden agregar elementos; los elementos de la lista podrían fusionarse; y algunos artículos representan varias tareas que se realizan en diferentes "niveles" del sistema.

- El primer elemento, la utilización del sistema de transmisión, se refiere a la necesidad de hacer un uso eficiente de las instalaciones de transmisión que generalmente se comparten entre varios dispositivos de comunicación. Se utilizan varias técnicas (denominadas multiplexación) para asignar la capacidad total de un medio de transmisión entre varios usuarios.

Tabla 1.2.2: Tareas de Comunicación

- | | |
|--|-----------------------|
| ▪ Utilización del sistema de transmisión | ▪ Direcccionamiento |
| ▪ Implementación de la interfaz | ▪ Encaminamiento |
| ▪ Generación de la señal | ▪ Recuperación |
| ▪ Sincronización | ▪ Formato de mensajes |
| ▪ Gestión del intercambio | ▪ Seguridad |
| ▪ Detección y corrección de errores | ▪ Gestión de red |
| ▪ Control de flujo | |
-
- Implementación de la interfaz. Normalmente un dispositivo fuente de datos no tiene capacidad para enviarlos a través del enlace o medio de transmisión. Por lo tanto, es necesaria una interfaz entre el dispositivo fuente y el medio de transmisión para que realice esta tarea. Esta interfaz es el transmisor de la Figura 1.2.1(a).
 - Generación de la señal. Le corresponde a la interfaz generar la señal a partir de los datos que le envía el dispositivo fuente. Esta señal deberá tener determinadas características, tales como forma adecuada e intensidad suficiente para que, en primer lugar, sea propagada por el medio y, luego, interpretada correctamente por el receptor.
 - Sincronización. Además de las condiciones expuestas en el párrafo anterior, las señales deben cumplir con la misión de sincronizar el transmisor con el receptor a fin de que éste último esté preparado para recibir las señales cuando las envía el primero. Es decir, el receptor debe saber cuándo comienza la señal y cuándo termina.
 - Gestión del intercambio de datos. En el intercambio de datos, transmisor y receptor deben cooperar para que se lleven a cabo apropiadamente las distintas fases que tiene la comunicación. Por ejemplo, para establecer una conversación telefónica uno de los extremos deberá marcar el número del otro, dando lugar a una serie de señales que harán que el otro teléfono suene. En este ejemplo, el receptor hará que se establezca la llamada descolgando el auricular. Los dispositivos que procesan datos deben realizar otras tareas, además de establecer simplemente la conexión. Por ejemplo, deben acordar si ambos dispositivos pueden transmitir simultáneamente o deben hacerlo por turnos, deben decidir la

cantidad y el formato de los datos que se van a transmitir; también se debe especificar qué hacer si se producen ciertas contingencias como detección de un error. A continuación, se consideran dos ítems que pertenecen a la gestión, pero por su importancia, se los trata en forma individual.

- Detección y corrección de errores. Consiste en asegurar que el mensaje final sea idéntico al que se envió, a pesar de las perturbaciones de cualquier índole que pueda sufrir la señal en el camino.
- Control de flujo. Se debe evitar que un emisor envíe los datos más rápido que lo que puede aceptar el receptor.
- Direccionamiento y encaminamiento. Cuando la comunicación entre dos dispositivos se realiza a través de una red que, además, es compartida por múltiples dispositivos, el sistema fuente deberá indicarle a la red la identidad del dispositivo destino para que solamente él reciba los datos. El encaminamiento o ruteo del dato es una tarea de la red que deberá decidir entre múltiples caminos posibles, el o los caminos adecuados y asegurar la llegada del dato al destino especificado.
- Recuperación. Este es un concepto distinto a la corrección de errores. Está referida a cuando ha ocurrido una contingencia; por ejemplo, ha caído el enlace durante la transmisión de un archivo. Cuando se reanuda la conexión se necesitará un mecanismo de recuperación; es decir se debe decidir, por ejemplo, si se continúa transmitiendo donde se produjo la interrupción, o se transmite todo el archivo nuevamente, o si solo se debe recuperar el estado en que se encontraban los sistemas antes de iniciar la transmisión del archivo.
- Formato del mensaje. Está relacionada con el acuerdo que debe existir entre las dos partes respecto al formato de los datos a intercambiar, como, por ejemplo, el código binario a usar para representar los caracteres.
- Seguridad. El emisor debe asegurarse de que sólo el receptor especificado reciba los datos y no otro. Igualmente, el receptor querrá estar seguro que los datos recibidos no están alterados y son los que realmente envió el emisor especificado.
- Gestión de red. Un sistema de comunicación tiene una complejidad tal que hace necesaria la acción de un gestor de red que configure el sistema, monitoree su estado y rendimiento, reaccione ante fallas y planifique crecimientos futuros. Las tareas mencionadas son realizadas por un administrador de red con la ayuda de algún software específico desarrollado para tales funciones.

1.3. Comunicación de datos

La Figura 1.3.1 proporciona una nueva perspectiva sobre el modelo de comunicaciones de la figura 1.2.1 (a). Analizamos los detalles de esta figura, utilizando el correo electrónico como ejemplo.

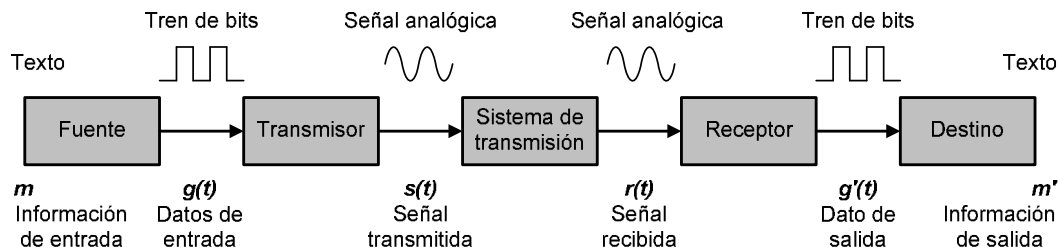


Figura 1.3.1: Modelo de comunicación de datos

Suponga que el dispositivo de entrada y el transmisor son componentes de una computadora. El usuario de la PC desea enviar un mensaje “m” a otro usuario. El usuario activa el paquete de correo electrónico en la PC e ingresa el mensaje a través del teclado (dispositivo de entrada). La cadena de caracteres se almacena brevemente en la memoria principal. Nosotros podemos verlo como una secuencia de bits (g) en la memoria. La computadora personal está conectada a algún medio de transmisión (red local en forma cableada o inalámbrica). Esta red local se conecta un modem/router ADSL (tiene un dispositivo de E/S que cumple las funciones de transmisor). Los datos que genera la computadora son enviados a la entrada del modem ADSL, como una secuencia de cambios de voltaje [$g(t)$] que representan bits en algunos buses de comunicaciones o cable. El transmisor (modem ADSL) se conecta directamente al medio y convierte la entrada a transmitir [$g(t)$] a una señal [$s(t)$] adecuada para la transmisión.

La señal transmitida $s(t)$ presentada al medio está sujeta a una serie de impedimentos, antes de que llegue al receptor. Así, lo recibido, la señal $r(t)$ puede diferir de $s(t)$. El receptor intentará estimar el $s(t)$ original, basado en $r(t)$ y su conocimiento del medio, produciendo una secuencia de bits $g'(t)$. Estos bits se envían a la computadora personal de destino, donde se almacenan temporalmente en memoria como un bloque de bits $g'(t)$. En muchos casos, el sistema de destino intentará determinar si se ha producido un error y, en caso afirmativo, cooperar con el sistema fuente para finalmente obtener un bloque de datos completo y sin errores. Estos datos luego se presentan al usuario a través de un dispositivo de salida, como una impresora o pantalla. El mensaje “m” tal como lo ve el usuario, generalmente será una copia exacta del mensaje original (m).

Ahora considere una conversación telefónica. En este caso la entrada al teléfono es un mensaje “m” en forma de ondas sonoras. Las ondas sonoras son convertidas por el teléfono en señales eléctricas de la misma frecuencia. Estas señales son transmitidas sin modificación por la línea telefónica. De ahí la señal de entrada $g(t)$ y las señales transmitidas $s(t)$ son idénticas. La señal $s(t)$ sufrirá cierta distorsión sobre el medio, de modo que $r(t)$ no será idéntico a $s(t)$. Sin embargo, la señal $r(t)$ se convierte nuevamente en una onda de sonido sin ningún intento de corrección o mejora de calidad de señal. Por lo tanto, “m” no es una réplica exacta de “m”. Sin embargo, el mensaje de sonido recibido es generalmente comprensible para el oyente.

La discusión hasta ahora no toca otros aspectos clave de las comunicaciones de datos, incluyendo técnicas de control de enlace de datos para controlar

el flujo de datos y detectar y corregir errores, y técnicas de multiplexación para la transmisión eficiente.

Transmisión de información

El componente básico de cualquier infraestructura de red empresarial es la línea de transmisión. Gran parte de los detalles técnicos de cómo se codifica y transmite la información que debe cruzar una línea no tiene ningún interés real para el gerente comercial. El gerente está preocupado por si la instalación en particular proporciona la capacidad requerida, si su confiabilidad es aceptable, a un costo mínimo. Sin embargo, hay ciertos aspectos de la tecnología de transmisión que un gerente debe comprender para hacer las preguntas correctas y tomar decisiones correctas.

Una de las opciones básicas que enfrenta un usuario de negocios es el medio de transmisión. Para su uso dentro de las instalaciones comerciales, esta elección generalmente depende completamente del negocio. Para comunicaciones de larga distancia, la elección depende de un proveedor de comunicaciones. En cualquier caso, los cambios en la tecnología son rápidos y es necesario conocer cuáles son las nuevas prestaciones.

De particular interés son la transmisión de fibra óptica y la transmisión inalámbrica (por ejemplo, comunicaciones satelitales y celulares). Estos dos medios están impulsando la evolución de la transmisión de comunicaciones de datos. La disponibilidad cada vez mayor de circuitos de comunicación de fibra óptica está cooperando con la baja en los costos del canal de transmisión. Desde principios de la década de 1980, el crecimiento del mercado de sistemas de transmisión de fibra óptica no tiene precedentes. Durante los últimos 10 años, el costo de la transmisión de fibra óptica se ha reducido en más de un orden de magnitud, y la capacidad de tales sistemas ha crecido casi rápidamente. Casi todos los enlaces de comunicaciones telefónicas de larga distancia en Argentina y los enlaces de mayor velocidad en Internet consisten en cable de fibra óptica.

Debido a su alta capacidad y sus características de seguridad (la fibra es difícil de “pinchar”), se está utilizando cada vez más en edificios de oficinas y redes de área local para llevar la creciente carga de información comercial. El uso extendido de la fibra óptica está impulsando avances en tecnologías de conmutación de comunicación y arquitecturas de gestión de redes.

El uso creciente del segundo medio (transmisión inalámbrica), es el resultado de la tendencia hacia las telecomunicaciones personales universales y el acceso universal a las comunicaciones. El primer concepto se refiere a la capacidad de una persona para usar cualquier sistema de comunicación en cualquier momento y en cualquier lugar, idealmente a nivel mundial. Lo segundo se refiere a la capacidad de usar el dispositivo informático preferido en una amplia variedad de entornos para conectarse a servicios de información (por ejemplo, tener una computadora portátil, teléfono inteligente, o tableta que funcionará igualmente bien en la oficina, en la calle y en un avión, autobús o tren).

Las LAN inalámbricas se han convertido en componentes comunes de la empresa, así como redes de pequeñas oficinas / oficinas domésticas, teléfonos inteligentes y las tabletas con capacidades inalámbricas se están convirtiendo rápidamente en dispositivos de usuarios corporativos con una gran capacidad de comunicación. La movilidad tiene el potencial de liberar un mayor rendimiento en todos los niveles comerciales: personal, de grupo de trabajo y de toda la empresa. Esto proporciona una convincente justificación para una mayor inversión empresarial en tecnologías inalámbricas.

A pesar del crecimiento en la capacidad y la caída en el costo de las instalaciones de transmisión, los servicios de transmisión siguen siendo el componente más costoso de una comunicación para la mayoría de las empresas. Por lo tanto, el gerente necesita estar al tanto de las técnicas que aumentan la eficiencia del uso de estas instalaciones. Los dos enfoques principales para mayor eficiencia son multiplexación y compresión. La multiplexación se refiere a la capacidad de varios dispositivos para compartir una instalación de transmisión. Si cada dispositivo necesita la instalación solo una fracción del tiempo, luego un acuerdo para compartir permite el costo de la instalación para extenderse a muchos usuarios. Compresión, como su nombre lo indica, implica reducir los datos para que la transmisión sea más barata y de menor capacidad

Transmisión y Medios de Transmisión

La información puede ser comunicada convirtiéndola en una señal electromagnética y transmitiendo esa señal sobre algunos medios de transmisión, como una línea telefónica de par trenzado. Los medios de transmisión más utilizados son líneas de par trenzado, cable coaxial, cable de fibra óptica y microondas terrestres y satelital. Las velocidades de datos que se pueden lograr y la velocidad a la que los errores pueden ocurrir dependen de la naturaleza de la señal y del tipo de medio.

Técnicas de comunicación

El envío de información a través de un medio de transmisión implica mucho más que simplemente insertar una señal en el medio. Se debe determinar la técnica utilizada para codificar la información en una señal electromagnética. Hay varias formas de hacerlo, y la elección afecta el rendimiento y la fiabilidad. Además, la transmisión exitosa de información implica un alto grado de cooperación entre los diversos componentes.

Se debe acordar la interfaz entre un dispositivo y el medio de transmisión. Se deben implementar mecanismos controlar el flujo de información y recuperarse de su pérdida o la corrupción. Estas últimas funciones son realizadas por un protocolo llamado control de enlace de datos.

Eficiencia de transmisión

Un costo importante en cualquier instalación de red para transmitir datos, voz y video a través de grandes distancias, es el costo de transmisión. Debido a esto, es importante maximizar la cantidad de información que se puede transportar sobre un recurso determinado durante un espacio de tiempo y a la vez minimizar la capacidad de transmisión necesaria para satisfacer una determinada necesidad de envío de la información. Dos formas de lograr estos objetivos son la multiplexación y la compresión.

Las dos técnicas se pueden usar por separado o en combinación. Las técnicas de multiplexación más comunes son: división de frecuencia, división de tiempo síncrono, división de tiempo estadística y división por longitud de onda, siendo esta última, la que mayor crecimiento está experimentando.

Nuevos tipos de datos: Multimedia

Con la creciente disponibilidad de acceso de banda ancha a Internet se ha generado un mayor interés en las aplicaciones multimedia basadas en la Web y en Internet. Los términos multimedia y aplicaciones multimedia se usan con bastante soltura en la literatura y en publicaciones comerciales, y no hay una definición única del término multimedia. A continuación, se definen algunos términos con el propósito de unificar los conceptos:

- **Medios:** Se refiere a la forma de información e incluye texto, imágenes fijas, audio y video.
- **Multimedia:** Interacción humano-computadora que involucra texto, gráficos, voz y video. Multimedia también se refiere a dispositivos de almacenamiento que se utilizan para almacenar contenido multimedia.
- **Streaming de medios:** Se refiere a archivos multimedia, como videoclips y audio, que comienzan a reproducirse inmediatamente o dentro de segundos después de ser recibido por una computadora desde Internet o la Web. Por lo tanto, el contenido de los medios es consumido en la medida que el servidor va entregando el mismo, en lugar de esperar hasta que se descargue el archivo completo

Tipos de medios

Por lo general, el término multimedia se refiere a cuatro tipos distintos de medios: texto, audio, gráficos y video.

Desde una perspectiva de la comunicación, el término texto se explica por sí mismo y hace referencia a la información que se puede ingresar a través de un teclado y que se puede leer directamente y es posible imprimir. La mensajería de texto, la mensajería instantánea y el correo electrónico de texto (excepto HTML) son ejemplos comunes, como así también lo son las salas de chat y los tableros de mensajes. Sin embargo, el término a menudo es utilizado en el sentido más amplio de datos que pueden almacenarse en archivos y bases de datos y que no encaja en las otras tres categorías. Por

ejemplo, la base de datos de una organización puede contener archivos de datos numéricos, en los que los datos se almacenan en un formato más compacto que el formato de los caracteres imprimibles.

El término audio generalmente abarca dos rangos diferentes de sonido. Voz, o habla, se refiere a los sonidos producidos por el mecanismo del habla humana. En general, se requiere un ancho de banda modesto (menos de 4 kHz) para transmitir la voz. Telefonía y aplicaciones relacionadas (por ejemplo, correo de voz, teleconferencia de audio y tele-marketing) representan los sistemas más tradicionales de la tecnología de las comunicaciones de voz.

Se necesita un espectro de frecuencia más amplio para admitir aplicaciones de música, incluida la descarga de archivos de música.

El servicio de imágenes admite la comunicación de imágenes individuales, gráficos, o dibujos. Las aplicaciones basadas en imágenes incluyen facsímil, diseño asistido por computadora (CAD), publicación e imagen médica. Las imágenes se pueden representar en un formato de vector gráfico, como el que se usa en programas de dibujo y archivos PDF. En una trama formato gráfico (Raster Graphics Format), una imagen se representa como una matriz bidimensional de puntos, denominada píxeles¹. El formato JPG comprimido se deriva de un formato de gráficos tipo raster.

El servicio de video lleva secuencias de imágenes en el tiempo. En esencia, el video utiliza una secuencia de imágenes de barrido de trama.

La figura 1.3.2 muestra la taxonomía del concepto multimedia visto en tres dimensiones: tipo de media, aplicaciones y tecnología requerida.

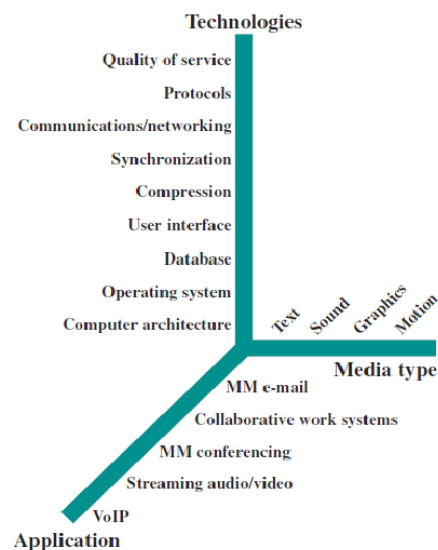


Figura 1.3.2: Taxonomía multimedia

¹ píxel, o elemento de imagen, es el elemento más pequeño de una imagen digital al que se le puede asignar un nivel de gris. De manera equivalente, un píxel es un punto individual en una representación de matriz de puntos de una imagen.

Tecnologías Multimedia

Se describe algunas de las tecnologías que pueden observarse en la Figura 1.3.2:

- **Compresión:** el video digitalizado y, en menor medida, el audio, pueden generar una enorme cantidad de tráfico en una red. Una aplicación de transmisión que se entrega a muchos usuarios, genera un aumento dramático del tráfico. En consecuencia, las normas tienen desarrollado métodos para producir ahorros significativos a través de la compresión. Los estándares más notables son JPG para imágenes fijas y MPG para video.
- **Comunicaciones / redes:** esta amplia categoría se refiere a la transmisión y tecnologías de red (por ejemplo, SONET, ATM) que pueden admitir grandes volúmenes tráfico multimedia
- **Protocolos:** una serie de protocolos son fundamentales para soportar tráfico multimedia. Un ejemplo es el Protocolo de transporte en tiempo real (RTP), el cual es diseñado para soportar tráfico inelástico (tráfico que no se adapta fácilmente, si es que lo hace, a los cambios en el retraso y el rendimiento a través de internet). RTP utiliza almacenamiento en búfer y estrategias de descartes, para asegurar que el tráfico sea recibido por el usuario final en un modelo continuo. Otro ejemplo es el Protocolo de inicio de sesión (SIP), un protocolo de control de nivel de aplicación para configurar, modificar y finalizar sesiones en tiempo real entre participantes a través de una red de datos IP.
- **Calidad de servicio (QoS):** Internet y sus capas inferiores (redes LAN y WAN) deben incluir una capacidad de QoS para proporcionar diferentes niveles de servicio a diferentes tipos de tráfico de aplicaciones. Una capacidad de QoS puede manejar prioridades, restricciones de retraso, restricciones de variabilidad de retraso y otros requisitos similares.

Aplicaciones multimedia

Internet, hasta hace poco, estaba dominado por aplicaciones de recuperación de información, correo electrónico y transferencia de archivos, además de interfaces web que enfatizaban texto e imágenes.

Cada vez más, Internet se está utilizando para aplicaciones multimedia que involucran cantidades masivas de datos para visualización y soporte de interactividad en tiempo real.

La transmisión de audio y video es quizás la más conocida de tales aplicaciones. Un ejemplo de una aplicación interactiva es un entorno de capacitación virtual que implica simulaciones distribuidas e interacción del usuario en tiempo real.

Algunos otros ejemplos se muestran a continuación:

Tabla 1.3.3: Dominio multimedia y aplicaciones

Dominio	Ejemplo de Aplicación
Gestión de la Información	Hipermedia, base de datos multimedia, recuperación basada en contenido
Entretenimiento	Juegos de computadora, video digital, audio (MP3 y MP4)
Telecomunicaciones	Video conferencias, espacios de trabajo compartido, comunidades virtuales
Publicación / Entrega de información	Capacitación en línea, libros electrónicos

1.4. Comunicación de datos utilizando redes

En su forma más simple, la comunicación de datos entre dos dispositivos se realiza directamente a través de una conexión punto a punto por un medio de transmisión. Esta solución no se usa habitualmente en la práctica debido a algunos de los siguientes motivos, o a ambos:

- Los dispositivos están alejados. Sería muy costoso, por ejemplo, tender una línea dedicada de cientos de kilómetros entre dos dispositivos.
- Hay un conjunto de dispositivos que requieren comunicarse, cada uno con el resto. Para tener una idea de la complicación que resulta de conectar mediante líneas dedicadas a varios dispositivos, considérese, por ejemplo, si se debiera tender líneas entre cada par de computadores existentes en la Quinta Agronómica de la UNT.

En la Figura 1.4.1 se observa que cuando el número de dispositivos crece, la cantidad de enlaces dedicados entre ellos crece notablemente más rápido (b). Se puede demostrar que el número de enlaces dedicados entre cada par de dispositivos se obtiene de la siguiente expresión:

Número de enlaces entre dispositivos = $n(n - 1)/2$, donde n es el número de dispositivos.

Así, por ejemplo, para 6 dispositivos se necesitan 15 enlaces dedicados, mientras que para 50 dispositivos se necesitarán 1225 enlaces. Se observa que, para valores grandes de n , el número de enlaces necesarios se aproxima a $n^2/2$; es decir, mientras el número de dispositivos crece en forma lineal, la cantidad de enlaces crece cuadráticamente.

Como conclusión de lo expuesto puede afirmarse que, salvo situaciones muy particulares, la solución de tender enlaces dedicados entre cada par de dispositivos es desaconsejable por lo impráctica y costosa. Por consiguiente, en casi todos los casos en que se necesita intercambiar información entre varios dispositivos, la mejor solución es utilizar los servicios de una red de comunicación.

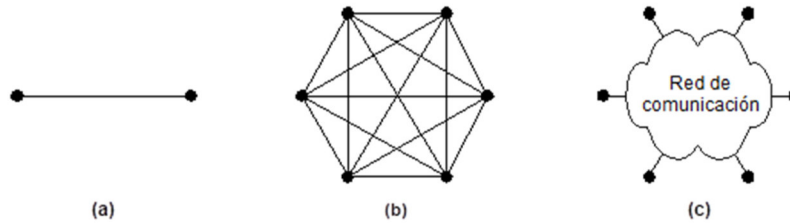


Figura 1.4.1: Conexión de dos puntos (a), conexión de "n" puntos (b), conexión de "n" puntos utilizando una red de datos

Tipos de Redes de dispositivos para transmitir datos

Una red de dispositivos (computadores, tabletas, notebooks, teléfonos inteligentes, entre otros) está compuesta por el conjunto de dispositivos ubicados en los extremos, más la red de comunicación que los comunica. No existe una taxonomía aceptada universalmente dentro de la cual quepan todas las redes de computadores. No obstante, como una primera aproximación al conocimiento de las mismas, resulta útil separarlas de acuerdo a la superficie que cubren. Desde ese punto de vista las redes se pueden clasificar en:

- Red de área personal (Personal Area Network, PAN) es una red dispositivos cercanos a una persona los cuales están interconectados.
- Red inalámbrica de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN), es una red de ordenadores inalámbrica para la comunicación entre distintos dispositivos (ordenadores, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal, así como fuera de ella. El medio de transporte puede ser cualquiera de los habituales en las redes inalámbricas.
- Red de área local (Local Area Network, LAN), es una red que se limita a un área especial relativamente pequeña tal como un cuarto, un solo edificio, una oficina, o un avión.
- Red de área local inalámbrica (Wireless Local Area Network, WLAN), es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de estas.
- Red de área de campus (Campus Area Network, CAN), es una red de ordenadores de alta velocidad que conecta redes de área local a través de un área geográfica limitada, como un campus universitario, una base militar, hospital, etc.
- Red de área metropolitana (Metropolitan Area Network, MAN) es una red de alta velocidad (banda ancha) que da cobertura en un área geográfica más extensa que un campus, pero aun así limitado. Por ejemplo, una red que interconecte los edificios públicos de un municipio dentro de la localidad por medio de fibra óptica.

- Red de área amplia (Wide Area Network, WAN), son redes informáticas que se extienden sobre un área geográfica extensa utilizando medios como: satélites, cables interoceánicos, Internet, fibras ópticas públicas, etc.
- Red de área de almacenamiento (Storage Area Network, SAN), es una red concebida para conectar servidores, matrices (arrays) de discos y librerías de soporte, permitiendo el tránsito de datos sin afectar a las redes por las que acceden los usuarios.
- Red de área local virtual (Virtual LAN, VLAN), es un grupo de ordenadores con un conjunto común de recursos a compartir y de requerimientos, que se comunican como si estuvieran adjuntos a una división lógica de redes de ordenadores en la cual todos los nodos pueden alcanzar a los otros por medio de broadcast (dominio de broadcast) en la capa de enlace de datos, a pesar de su diversa localización física. Este tipo surgió como respuesta a la necesidad de poder estructurar las conexiones de equipos de un edificio por medio de software, permitiendo dividir un conmutador en varios virtuales.

Redes LAN

Las LAN se caracterizan por lo siguiente:

- Extensión. Puede abarcar desde el espacio de una oficina hasta varios edificios cercanos. Usualmente una LAN está formada por computadores y dispositivos contenidos en un edificio de varios pisos, o en varios edificios distantes no más de pocos cientos de metros. Por ejemplo, la red que interconecta los computadores de un block del Centro Universitario Ing. Roberto Herrera (Quinta Agronómica) es una LAN
- Propiedad. Normalmente una LAN es de propiedad de la institución cuyos dispositivos están conectados a dicha red. Esto tiene dos implicancias importantes respecto de la institución:
 - ✓ Debe tenerse especial cuidado en la elección de la LAN por la inversión económica que ello significa en comparación con la conexión a una WAN que es normalmente es mucho menor.
 - ✓ La responsabilidad de la administración de la red es exclusiva de la institución propietaria.
- Velocidad. La velocidad de transmisión de una LAN es alta a muy alta, normalmente 1 Gbps en el borde de la red hasta varios Gigabps (10 GbE, 40 GbE y 100 GbE) en el backbone² de la red.

² Se denomina así a la zona de la red donde se concentra la mayor cantidad del tráfico de datos.

- Configuraciones. Son diversas, las más habituales son las LAN conmutadas o conectadas a través de switches y las LAN inalámbricas³, conectadas en general a través de puntos de acceso (Access Point).

LAN Conmutadas

Se denominan así porque la comunicación entre los dispositivos de usuario es a través de uno o más conmutadores (switches) interconectados entre sí. Las más comunes son las que responden a la norma Ethernet. También se usan LAN ATM basadas en tecnología ATM en un entorno local. Las LAN conmutadas que utilizan fibra óptica como medio de transmisión en el backbone pueden transmitir a muy altas velocidades.

LAN Inalámbricas

Son habituales en entornos de oficinas. La tecnología inalámbrica es también muy utilizada en MAN y WAN en voz y datos; además, se usa para interconectar varias LAN ubicadas en el ámbito urbano y suburbano. Las redes inalámbricas proporcionan ventajas evidentes en términos de movilidad y facilidad de instalación y configuración. La velocidad de transmisión es menor que en las LAN conmutadas con fibra óptica.

MAN

Las MAN se caracterizan por lo siguiente:

- Extensión. Se extiende sobre toda una población o conjunto de poblaciones cercanas. Por ejemplo, una red MAN típica se podría extender sobre San Miguel de Tucumán, Tañ Viejo, Banda del Río Salí, Manantial y Yerba Buena.
- Propiedad. Pueden ser de propiedad pública o privada.
- Velocidad. Con el uso de la fibra óptica, las MAN pueden transmitir en el backbone a muy altas velocidades 10 Gigabps o más.
- Configuraciones. Las más usuales son soluciones basadas en extensiones metropolitanas de Ethernet o redes inalámbricas.

WAN

Las WAN se caracterizan por lo siguiente:

- Extensión. Pueden llegar a cubrir desde una población hasta un continente. Un ejemplo de WAN es la Red de Interconexión Universitaria - RIU - que interconecta las universidades nacionales de Argentina. Otro ejemplo es la red de telefonía pública que provee el servicio en una provincia, una región o un país.

³ Son aquellas redes que usan como medio de transmisión el aire, a través del cual se desplazan ondas electromagnéticas que transportan la señal.

- **Propiedad.** Normalmente son de propiedad pública. Un sector importante lo constituyen las WAN que proporcionan los servicios públicos de voz, datos y video. Usualmente son de propiedad estatal pudiendo ser administradas por el mismo estado o por una empresa privada a la cual se le otorga la concesión por un tiempo determinado.
- **Velocidad.** Provee velocidades medianas a los usuarios - desde decenas de Kbps hasta pocos Mbps - pero las velocidades en el backbone, que es de fibra óptica, pueden ser muy altas - hasta varias decenas de Gigabps
- **Configuración.** La red de comunicación de una WAN, generalmente, consta de varios nodos de conmutación interconectados a través de enlaces como se muestra en la Figura 1.4.2
- **Función de los nodos de conmutación.** Proveen un camino o ruta a través de la red para trasladar el dato de nodo en nodo, desde el origen hasta el destino final. La conmutación implica elegir un camino entre varios posibles. Los nodos no intervienen en el contenido del dato, sólo les concierne tomar la decisión correcta de la ruta por la cual los debe enviar. Tradicionalmente las WAN se han implementado usando una de las dos técnicas de conmutación: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

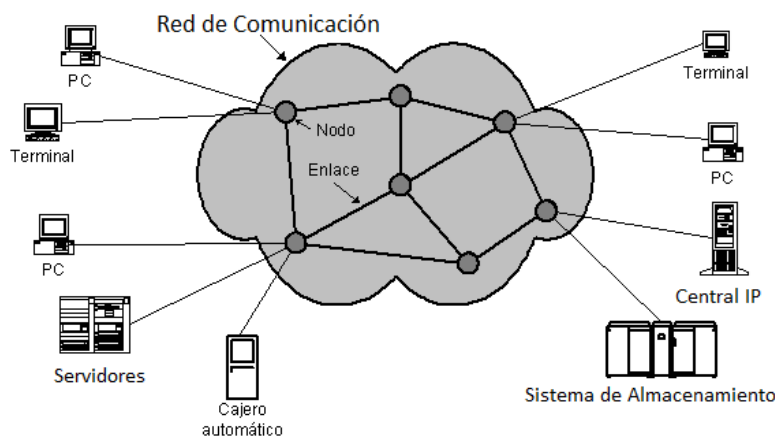


Figura 1.4.2: Red WAN (red de área extendida)

Tipos de transmisión en las redes WAN

Tradicionalmente, las WAN se han implementado utilizando una de dos tecnologías: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Posteriormente se implementaron tecnologías híbridas, como las redes MPLS (Multiprotocol Label Switching) y ATM (Asynchronous Transfer Mode), las cuales en gran medida siguen siendo utilizadas, a pesar de que gradualmente están siendo reemplazadas por tecnologías basadas en 1, 10, 40 y 100 GbE y el protocolo IP

Conmutación de Circuitos

Para proporcionar una conexión entre dos dispositivos a través de una red de conmutación de circuitos, debe establecerse un camino de comunicación dedicado antes de enviar el mensaje. El camino es una secuencia de enlaces físicos conectados por los nodos. En cada enlace se dedica un canal exclusivo para la conexión de cada par de dispositivos.

Una vez establecido el camino dedicado, el dato generado por la estación fuente es transmitido tan rápido como sea posible hasta la estación destino. Esto significa que, en cada nodo, el dato de una conexión es enviado sin retardo por un canal de salida ya establecido. Las redes basadas en la conmutación de circuitos son las más antiguas y fueron diseñadas para transmitir voz; por ello, el ejemplo más común de red de conmutación de circuitos es la red telefónica.

Conmutación de Paquetes

En una red de conmutación de paquetes no se utiliza una vía de transmisión dedicada a través de la red. En lugar de ello, el mensaje es enviado en una secuencia de paquetes de datos que pasan de nodo en nodo siguiendo algún camino entre los dispositivos fuente y destino. En cada nodo el paquete es recibido, almacenado temporariamente y, luego, transmitido al próximo nodo. Las redes de conmutación de paquetes fueron diseñadas para hacer eficiente la comunicación entre dispositivos informáticos como, por ejemplo, las conexiones entre computadores o entre un computador y sus terminales. Existen dos modos de transmisión en conmutación de paquetes:

Transmisión en modo datagrama. Es el modo más tradicional de enviar paquetes de datos por una red de conmutación de paquetes y consiste en fraccionar el mensaje en paquetes de datos o datagramas. Cada paquete lleva parte de los datos del mensaje más información de control que se agrega como, por ejemplo, la dirección del dispositivo fuente y la del dispositivo destino, entre otra información. Cuando el paquete enviado por el dispositivo fuente llega al primer nodo de conmutación de la red, éste inspecciona su dirección destino y decide una ruta enviándolo al nodo correspondiente. Esta operación se repite en cada nodo hasta que el paquete es entregado al dispositivo destino. Así, cada paquete es tratado en forma individual por cada nodo de la red.

Una WAN normalmente presenta varias alternativas de rutas posibles entre dos dispositivos extremos debido a la existencia de enlaces redundantes entre los nodos. Esto le otorga confiabilidad a la red puesto que, si un enlace se cae o está congestionado, el nodo puede decidir el envío de los paquetes por otros enlaces alternativos que están en dirección del destino final.

Transmisión en modo circuito virtual. Es otro modo de comunicar paquetes por una red de conmutación de paquetes. En este caso, antes de enviar el mensaje, el dispositivo fuente establece con el destino una conexión lógica siguiendo un camino a través de los nodos de la red por el que deberán transitar todos los

paquetes del mensaje. Esta conexión lógica se denomina circuito virtual y son los dispositivos de usuario y nodos involucrados en dicha conexión los encargados de establecerla, mantenerla, y luego finalizarla cuando correspondiere.

MPLS

Multiprotocol Label Switching (MPLS) es un conjunto de especificaciones del grupo (IETF, Internet Engineering Task Force) para incluir información de enrutamiento e ingeniería de tráfico en los paquetes. Por lo tanto, MPLS comprende una serie de protocolos interrelacionados, los cuales se puede denominar “suite de protocolos MPLS”. Puede ser usado en redes IP, pero también en otros tipos de redes de conmutación de paquetes. MPLS se utiliza para garantizar que todos los paquetes en un flujo particular tomen la misma ruta en un “backbone”. Es un servicio muy ofrecido por empresas de telecomunicaciones y proveedores de internet. Esta suite de protocolos soporta voz y video en tiempo real, como así también acuerdos de nivel de servicio garantizado (SLA, Service Level Agreement)

ATM

El modo de transferencia asíncrono, a veces denominado “reenvío de celdas”, es la culminación de desarrollos en conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. ATM puede ser visto como una evolución de Frame Relay. La diferencia más obvia entre Frame Relay y ATM es que Frame Relay utiliza paquetes de longitud variable, llamados marcos, y ATM utiliza paquetes de longitud fija, llamados celdas. Al igual que con Frame Relay, ATM proporciona poca sobrecarga para el control de errores, dependiendo de la confiabilidad inherente del sistema de transmisión y en capas superiores de lógica en los sistemas finales para atrapar y corregir los errores. Al usar una longitud de paquete fija, se reduce la sobrecarga de procesamiento. El resultado es que ATM diseñado para trabajar en el rango de 10 y 100 Mbps, y en el rango de Gbps.

ATM también se puede ver como una evolución de la conmutación de circuitos. En la conmutación de circuitos, solo los circuitos de velocidad de datos fijos están disponibles para el sistema final. ATM permite definir múltiples canales virtuales con velocidades de datos que son dinámicamente establecidas en el momento en que se crea el canal virtual. Al usar celdas pequeñas de tamaño fijo, ATM es tan eficiente que puede ofrecer un canal de velocidad de datos constante.

1.5. Internet: la gran interred

Internet evolucionó de ARPANET, que fue desarrollado en 1969 por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (ARPA) del Departamento de Defensa de los EE. UU. Fue la primera red operativa de conmutación de paquetes. ARPANET inició operaciones en cuatro lugares Hoy el número de hosts es de cientos de millones, el

número de usuarios está en los miles de millones, y el número de países participantes cerca de 200. El número de conexiones a Internet continúa creciendo exponencialmente.

La red tuvo tanto éxito que ARPA aplicó la misma tecnología de conmutación de paquetes para las comunicaciones por radio (radio por paquetes) y comunicación por satélite (SATNET). Debido a que las tres redes operaban en muy diferentes entornos de comunicación, los valores apropiados para ciertos parámetros, como como tamaño máximo de paquete, fueron diferentes en cada caso. Frente al dilema de integrar estas redes, Vint Cerf y Bob Kahn de ARPA desarrollaron métodos y protocolos para interconexión de redes, es decir, comunicación a través de múltiples, redes de paquetes conmutados. Publicaron un artículo muy influyente en mayo 1974 [CERF74] describiendo su enfoque sobre un Protocolo de Control de Transmisión. La propuesta fue refinada y los detalles completados por la comunidad ARPANET, con importantes contribuciones de participantes de redes europeas que finalmente condujeron al desarrollo de la suite de protocolos TCP/IP

En esencia, Internet opera de la siguiente manera: Un host puede enviar datos a otro host en cualquier lugar de Internet (el mundo). El host de origen divide los datos que se enviarán en una secuencia de paquetes, llamados datagramas IP o paquetes IP. Cada paquete incluye una dirección numérica única del host de destino. Esta dirección se conoce como dirección IP, porque la dirección se transporta en un paquete IP. Basado en esa dirección destino cada paquete viaja a través de una serie de enrutadores y redes desde la fuente al destino. Cada enrutador, cuando recibe un paquete, toma una decisión de enrutamiento y reenvía el paquete en su camino hacia el destino.

La figura 1.5.1 muestra los elementos claves que forman parte de la gran interred: Internet:

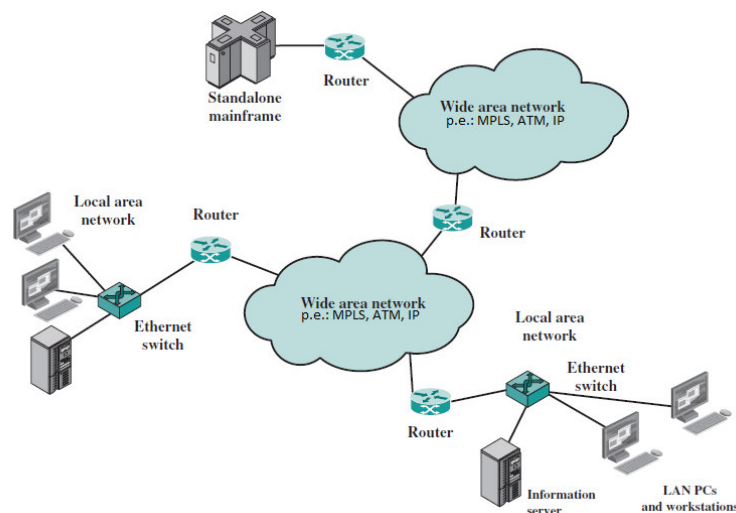


Figura 1.5.1: Elementos de internet

Arquitectura de Internet

Internet hoy está formado por miles de redes jerárquicas superpuestas. Debido a esto, no es práctico intentar una descripción detallada de la arquitectura o topología de Internet. Sin embargo, se puede desarrollar un esquema de las características generales de la misma. La Figura 1.5.2 ilustra la discusión.

Un elemento clave de Internet es el conjunto de hosts conectados a él. En pocas palabras, un host es un o un dispositivo que puede intercambiar datos a través de una interface que lo conecta a la red. Hoy en día ese dispositivo puede ser una notebook, tableta, Smartphone, e incluso autos, entre otros. Todos ellos, pueden ser agrupados en una LAN, esa es una configuración típica en las organizaciones. Los hosts y las LAN están conectados a un proveedor de servicios de Internet (ISP) a través de un punto de presencia (POP). La conexión se realiza en una serie de pasos que comienzan con el equipo de las instalaciones del cliente (CPE), el cual es instalado localmente en la organización, para conectarse en su interior con la LAN y en forma exterior con el Punto de Presencia (POP) del proveedor de internet.

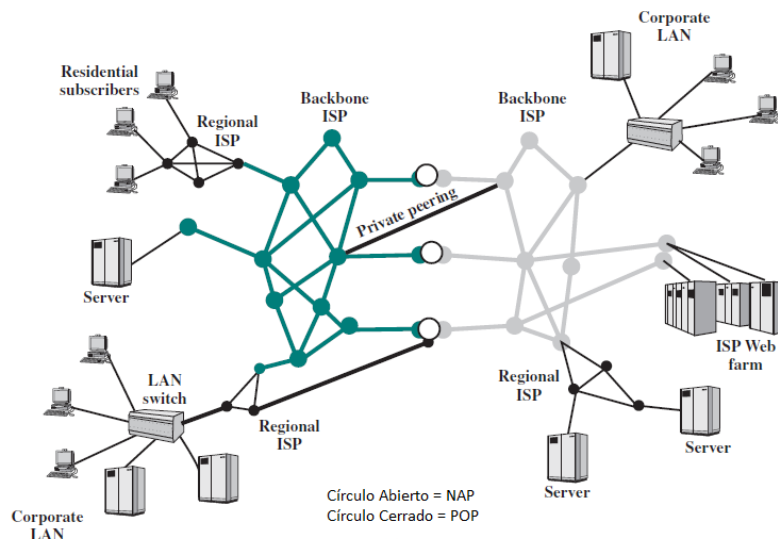


Figura 1.5.2: Arquitectura de Internet

Equipo de instalaciones del cliente (CPE): Equipos de telecomunicaciones que se encuentran en las instalaciones del cliente (ubicación física). Ejemplos de este equipamiento son los módems digitales, routers, decodificadores de TV, routers hogareños (DSL⁴ por cobre o por fibra).

Proveedor de Servicios de Internet(ISP): Una compañía que brinda a otras compañías o individuos acceso o presencia en Internet. Un ISP tiene el equipamiento y el acceso a

⁴ Servicio de internet de banda ancha que los IPS ofrecen a los clientes hogareños

la línea de telecomunicaciones necesarios para tener un POP en Internet para brindar el servicio al área geográfica asignada.

Punto de acceso a la red (NAP): es una infraestructura física a través de la cual los proveedores de servicios de internet (ISP) intercambian el tráfico de Internet entre sus redes. En la argentina también se conocen como IXP (Internet Exchange Point)

CABASE es la Cámara Argentina de Internet. Todos los años publica un mapa donde se pueden observar los IXPs en funcionamiento en Argentina. La figura 1.5.3 muestra el número y la ubicación de los IXP's publicados en 2019:

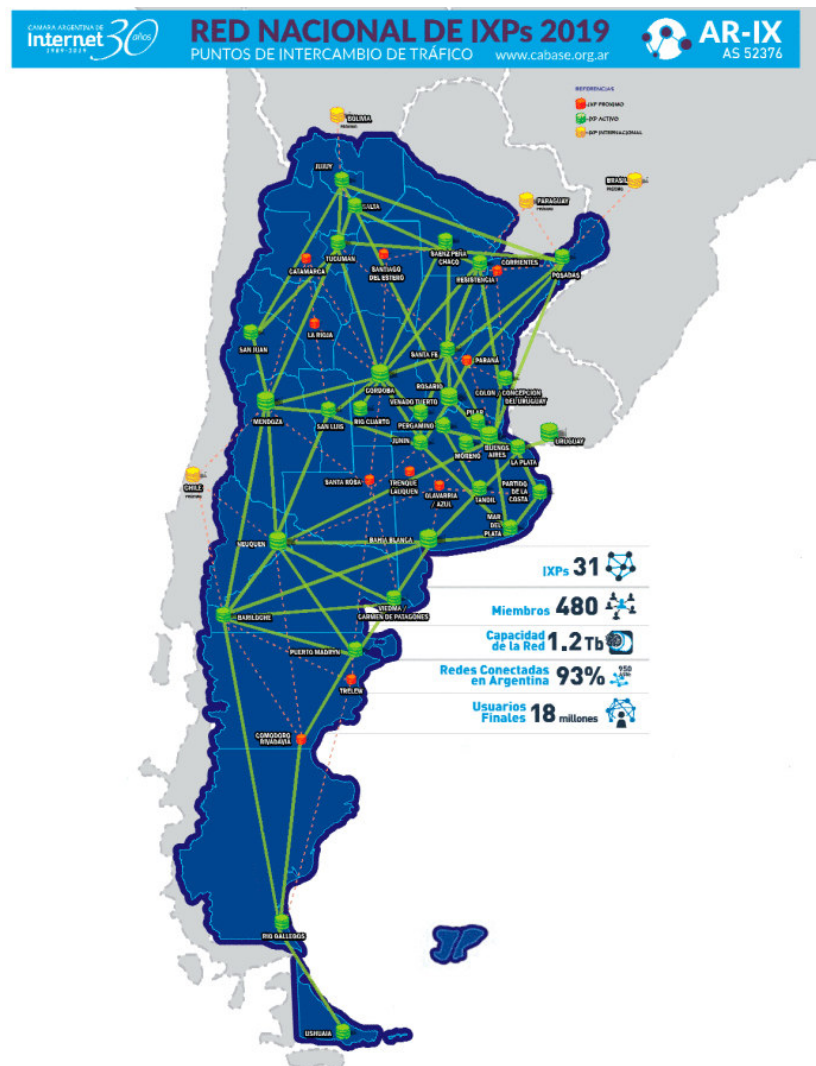


Figura 1.5.3: Puntos de intercambio de tráfico ISP en Argentina 2019

Proveedor de servicios de red (NSP): Una empresa que brinda servicios de red troncal a un proveedor de servicios de Internet. Por lo general, un ISP se conecta a un punto

llamado intercambio de Internet (IXP) que representa a un ISP regional, el cual a su vez se conecta a una red troncal NSP. En Argentina, brindan este servicio (entre otras empresas) Telecom, Telefónica, Silica Networks (Grupo Datco), Level3 (recientemente adquirida por CenturyLink).

Punto de presencia (POP): Un sitio que tiene una colección de equipos de telecomunicaciones, generalmente se refiere a sitios del ISP o compañía telefónica. Un ISP POP es el borde de la red del ISP; las conexiones de los usuarios son aceptadas y autenticadas allí. En el caso de Tucumán, un ejemplo de ISP POP son las instalaciones de Tucumán BBS o de ARLAB (ISP activos en el año 2020).

1.6. Estándar

Desde hace tiempo la industria ha aceptado la necesidad de contar con estándares o normas para definir las características físicas y de procedimiento de los equipos de comunicaciones. La estandarización proporciona una serie de ventajas a usuarios y fabricantes, siendo las más importantes:

- Permite que productos de hardware y software de diferentes fabricantes se interconecten y puedan comunicarse. De esta forma proporciona al usuario de mayor flexibilidad en la selección y uso de dichos productos.
- Asegura potencialmente un amplio mercado para fabricantes y usuarios. Esto estimula la producción masiva; por ejemplo, el uso de integración a gran escala (LSI) o a muy gran escala (VLSI).

Estándar de Internet

En la ingeniería de redes informáticas, un Estándar de Internet es una especificación normativa de una tecnología o metodología aplicable a Internet. Los Estándares de Internet son creados y publicados por el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF).

Las contribuciones de ingeniería al IETF comienzan como un Borrador de Internet, pueden promoverse a una Solicitud de Comentarios y eventualmente convertirse en un Estándar de Internet.

Un Estándar de Internet se caracteriza por su madurez técnica y utilidad. El IETF también define un Estándar Propuesto como una especificación menos madura pero estable y bien revisada. Un Proyecto de Norma es una tercera clasificación que se discontinuó en 2011. Un Proyecto de Norma fue un paso intermedio que se producía después de un Estándar Propuesto, pero antes de un Estándar de Internet.

Internet se basa en estándares técnicos que permiten que los dispositivos, servicios y aplicaciones sean inter operativos en una amplia y diversificada red de redes. Al centrarse en la interoperabilidad del tráfico entre redes, los estándares de Internet

describen los protocolos sin prescribir características de dispositivos, modelos empresariales ni contenidos.

Internet depende de diversos tipos de estándares técnicos, que desarrollan diversas organizaciones. Entre dichos estándares se incluyen, por ejemplo: estándares y protocolos desarrollados por la Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet (IETF), así como estándares de infraestructuras de telecomunicaciones desarrollados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU); estándares de hardware desarrollados por organismos tales como el Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE), y estándares sobre aplicaciones y software, como, por ejemplo, los desarrollados por el Consorcio World Wide Web (W3C).

Entidades que producen estándares

Distintas organizaciones trabajan para garantizar que los estándares que desarrollan contribuyan a la estabilidad y continuidad de Internet y las refuercen. Sin embargo, estas organizaciones tienen distintos enfoques y procesos, distintas estructuras de afiliación (o ninguna, en el caso de la IETF), etc.

Los organismos tienen responsabilidades de estandarización distintas, pero complementarias. Por ejemplo, la IETF no estandariza hardware de transmisión, ya que eso es responsabilidad de organizaciones tales como la IEEE. Tampoco estandariza especificaciones especializadas de World Wide Web, como, por ejemplo, HTML y XML, que son responsabilidad del W3C. La IETF sí estandariza todas las capas de protocolos que se encuentran en el espacio intermedio, desde el protocolo IP hasta aplicaciones generales como el correo electrónico y HTTP.

Ya sean estándares relacionados con el software, el hardware o las infraestructuras, cada uno de ellos desempeña un papel importante a la hora de contribuir al éxito y a la creciente ubicuidad de Internet. Garantizar que las adecuadas organizaciones dedicadas a la elaboración de estándares cooperen y trabajen de forma activa y conjunta para lograr la máxima eficacia, evitando de este modo duplicaciones, confusiones en el mercado y usos ineficientes de los recursos, es esencial en este mundo de telecomunicaciones, informática e Internet cada vez más convergentes. Las organizaciones participantes en el desarrollo de estándares son:

ISOC

Internet Society (ISOC) es la sede organizativa de la Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet (IETF), el Consejo de Arquitectura de Internet (IAB), el Grupo de Dirección de Ingeniería de Internet (IESG) y la Fuerza de Tareas de Investigación de Internet (IRTF), las secciones de investigación y establecimiento de estándares de la comunidad de Internet.

<http://www.isoc.org/>

IETF

La Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet (IETF) es una gran comunidad de estandarización abierta e internacional compuesta por diseñadores, operadores, proveedores e investigadores de redes, que se ocupa de la evolución de la arquitectura y el normal funcionamiento de Internet. La IETF es responsable de las especificaciones de los principales protocolos de Internet, como, por ejemplo, IP (v4 y v6), así como HTTP (el protocolo de comunicaciones de World Wide Web)

<http://www.ietf.org/>

IAB

El IAB (Consejo de Arquitectura de Internet) funciona como un comité de la IETF. Entre sus responsabilidades se incluyen la supervisión²⁴ de los aspectos arquitectónicos de las actividades de IETF, la supervisión y el cuestionamiento del proceso de desarrollo de estándares de Internet y el nombramiento del RFC Editor. El IAB es también responsable de la gestión de los registros de parámetros de protocolos de la IETF.²⁵

<http://www.iab.org/>

IESG

El IESG (Grupo de Dirección de Ingeniería de Internet) es responsable de la gestión técnica de las actividades de la IETF y los procesos de elaboración de estándares de Internet. Es también responsable de las acciones asociadas con la entrada en la vía de estándares de Internet y con el movimiento a lo largo de dicha vía, incluida la aprobación final de especificaciones como estándares de Internet.

<http://www.ietf.org/iesg/>

W3C

El W3C (Consorcio World Wide Web) desarrolla tecnologías de interoperabilidad (especificaciones, directrices, software y herramientas) para World Wide Web. El W3C es un foro internacional dedicado a la información, el comercio, la comunicación y el entendimiento colectivo. Uno de los logros más importantes del W3C es la especificación estándar de HTML, que es el lenguaje de publicación de World Wide Web.

<http://www.w3.org>

IEEE

El IEEE (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos) es una organización internacional que desarrolla estándares tecnológicos eléctricos y electrónicos. Muchos de los estándares de IEEE son esenciales para las tecnologías de red y las ciencias informáticas. Algunos ejemplos de tecnologías clave son los estándares de conexión de fibra óptica, Bluetooth, WiFi y Ethernet.

<http://www.ieee.org/index.html>

ITU-T

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) es una agencia especializada de las Naciones Unidas que se ocupa de aspectos relacionados con la tecnología de la comunicación y la información. La ITU coordina el uso global compartido del espectro radioeléctrico, fomenta la cooperación internacional en la asignación de órbitas para satélites, trabaja para mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en países en vías de desarrollo y realiza recomendaciones que fomentan la interconexión de sistemas de comunicaciones. ITU-T (el sector de normalización de las telecomunicaciones de la ITU) realiza recomendaciones sobre telecomunicaciones a nivel internacional. Las recomendaciones presentadas por el ITU-T no son específicas de Internet, pero dado que una parte del tráfico de Internet circula por redes de telecomunicaciones, ITU-T forma parte del gran ecosistema.

<http://www.itu.int/ITU-T/>

Request For Comment (RFC)

Los Request for Comments, más conocidos por sus siglas RFC, son una serie de publicaciones del grupo de trabajo de ingeniería de internet que describen diversos aspectos del funcionamiento de Internet y otras redes de computadoras, como protocolos, procedimientos, etc. y comentarios e ideas sobre estos. Según su grado de madurez los RFC's puede tener uno de los siguientes estados:

- ✓ **Estándar (en inglés standard).** Es una norma
- ✓ **Estándar borrador (en inglés draft standard).** El IAB está considerando activamente este protocolo como un posible protocolo estándar. Existe una posibilidad que cambie, esos cambios serán hechos en un borrador del protocolo antes de liberarlos como estándar.
- ✓ **Estándar propuesto (en inglés proposed standard).** Es una propuesta que debe considerar el IAB para su estandarización en el futuro. Es probable la revisión del protocolo
- ✓ **Experimental (en inglés experimental).** Es una especificación experimental que no debería implementarse a no ser que esté participando en el experimento y ha coordinado su uso del protocolo con el desarrollador del protocolo.
- ✓ **Informativo (en inglés informational).** Los protocolos desarrollados por otras organizaciones o que en general están fuera del alcance del IAB deben publicarse como RFC's informativos. Este tipo de protocolos pueden en algunos casos también estar recomendados para su uso en Internet por IAB.
- ✓ **Histórico (en inglés historic).** Es poco probable que pasen a ser estándares en Internet porque los han reemplazado los desarrolladores más tarde o por falta de interés. La segunda forma de clasificación define el grado de cumplimiento necesario de la norma dentro de Internet
- ✓ **Requerido (en inglés required).** Es de cumplimiento obligado. Por ejemplo, el RFC del protocolo IP
- ✓ **Recomendado (en inglés recommended).** Aquellas que, si no son cumplidas, no impiden la conexión a Internet, pero afectan de manera importante a la prestación

y acceso a los servicios. La noción general es que si se va a hacer algo como esto debería hacer exactamente esto. Por ejemplo, el RFC de TCP

- ✓ **Electivo (en inglés elective).** Aquellas que, aunque no son entendidas como de aplicación general, sí son necesarias para un cierto servicio concreto. Por ejemplo, la de SMTP para acceder al correo electrónico
- ✓ **Uso limitado (en inglés limited use).** Está para usar en circunstancias limitadas. Esto puede ser debido a su estado experimental, naturaleza específica, funcionalidad limitada o estado histórico.
- ✓ **No recomendado (en inglés not recommended).** Aquellas que no se recomiendan para uso general. Esto puede ser debido a su funcionalidad limitada, naturaleza específica o estado experimental o histórico.

La figura 1.6.1 muestra el ciclo de vida de un estándar:

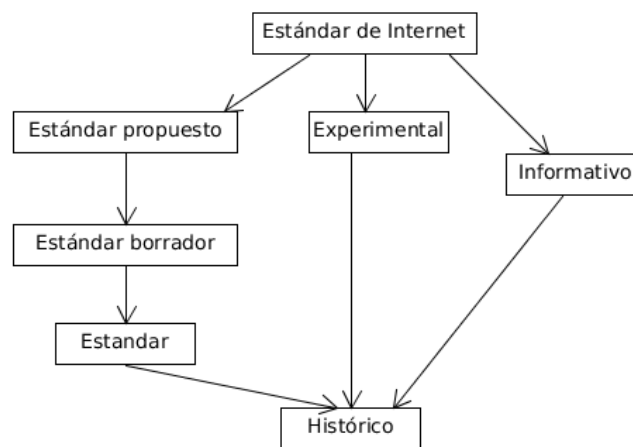


Figura 1.6.1: Ciclo de vida de un estándar

Un RFC muy famoso es el 791, el estándar que define los detalles del protocolo IP. A continuación, se muestra el encabezado de este primer documento que constituyó la base para la identificación de un host en la gran interred: “Internet”.

RFC: 791

INTERNET PROTOCOL
DARPA INTERNET PROGRAM
PROTOCOL SPECIFICATION
September 1981

prepared for

Defense Advanced Research Projects Agency
Information Processing Techniques Office
1400 Wilson Boulevard
Arlington, Virginia 22209

by

Information Sciences Institute
University of Southern California
4676 Admiralty Way

Marina del Rey, California 90291

September 1981

Internet

Protocol

TABLE OF CONTENTS

PREFACE	
iii	
1. INTRODUCTION	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Scope	1
1.3 Interfaces	1
1.4 Operation	2
2. OVERVIEW	5
2.1 Relation to Other Protocols.....	9
2.2 Model of Operation	5
2.3 Function Description	7
2.4 Gateways	9
3. SPECIFICATION.....	11
3.1 Internet Header Format	11
3.2 Discussion	23
3.3 Interfaces	31
APPENDIX A: Examples & Scenarios	34
APPENDIX B: Data Transmission Order	39
GLOSSARY	41
REFERENCES	45

1. Capítulo 2: Arquitectura de Protocolos

El intercambio de datos entre sistemas de computación implica procedimientos que, por lo general, son muy complejos.

Imagine que un dispositivo con un sistema operativo, placa de red y conectores definidos, desea enviar datos en algún formato determinado a otro dispositivo remoto, que podría estar en cualquier lugar del planeta, o inclusive podría residir en el espacio. De hecho, el dispositivo origen desea que los datos enviados al destino, no sólo puedan llegar sin errores, sino que también puedan ser interpretados por éste último (el cual probablemente cuente con un sistema operativo, placa de red y conectores).

Sin lugar a dudas hay muchas tareas por hacer: preparar los datos, encontrar un camino, avisarle al sistema destino que se quiere enviar información, acordar velocidad de entrega, coordinar con la aplicación destino, controlar la secuencia, detectar errores, entre otras.

Está claro que debe haber un alto grado de cooperación entre los dos sistemas informáticos. En lugar de implementar la lógica de la solución en un solo módulo, la tarea se divide en subtareas, cada una de las cuales se desarrolla por separado. Cada una de las tareas se ejecuta en una capa distinta, y se respeta un determinado conjunto de reglas.

2.1. Protocolo y Arquitectura de Protocolos

Para iniciar el estudio en detalle de las acciones que tienen lugar en el intercambio de datos entre sistemas de procesamiento de datos, es necesario definir elementos y conceptos involucrados en la comunicación que serán utilizados en este capítulo. Estos son:

- Dispositivos de usuario. Son los dispositivos o sistemas finales que están conectados a una red de comunicación. En este contexto, un dispositivo de usuario de hasta hace poco tiempo era muy generalizado es el computador, por ello en este capítulo se usarán indistintamente ambas denominaciones. Sin embargo, debe quedar claro que en la actualidad el Smartphone o teléfono inteligente ha pasado a ser un elemento clave para conectarse a las redes. También vale la pena aclarar el avance del uso de tabletas, notebooks, netbooks, e inclusive dispositivos sensores en artefactos electrodomésticos, vehículos, entre otros; que tienen la capacidad de transmitir y recibir datos.
- Comunicación entre dispositivos de usuario. Se denomina así al intercambio de información entre dispositivos de usuario. Por lo expuesto en el párrafo anterior, también se referirá a esta comunicación como “comunicación entre computadores”.

- Red de computadores. Se designa así al conjunto de dispositivos de usuario que intercambian datos a través de una red de comunicación, cooperando con la misma en la comunicación. La gran mayoría de las redes de computadores se encuadran dentro de las categorías de LAN, MAN o WAN. No obstante, es necesario remarcar que, sin importar la categoría, una red de computadores comprende el conjunto de dispositivos de usuario más la red de comunicación a la que están conectados.
- Entidad. Es cualquier programa ejecutándose en un dispositivo de usuario que tiene capacidad de intercambiar información con otra entidad. Obsérvese que, de acuerdo a esta definición, no cualquier programa de usuario ejecutándose configura una entidad; es necesario, además, que tenga capacidad para generar y/o consumir información en forma de datos. Ejemplos de entidades son: un programa de correo electrónico, un utilitario para la transferencia de archivos, un motor de bases de datos que envía registros a una aplicación en otro computador, un programa corriendo en un equipo medidor de temperatura que envía datos a un computador.

Obsérvese que, acuerdo a las definiciones precedentes, un dispositivo puede contener varias entidades. Este sería el caso, por ejemplo, de un computador en el que están ejecutándose varias aplicaciones simultáneamente. Sin embargo, pueden existir dispositivos con capacidad para contener una única entidad como, por ejemplo, un terminal no inteligente o un equipo de medición de una magnitud física específica que transfiere a un computador los datos resultantes de la medición.

Para que dos entidades en sistemas diferentes se puedan comunicar deben poder hablar el mismo idioma. Esto les permite saber qué, cómo y cuándo se comunican. Llevar a cabo cada una de estas tareas implica, necesariamente, seguir una serie de convenciones que deben ser aceptadas por las entidades involucradas. Este conjunto de convenciones o convenios se denomina “*protocolo*”. Para avanzar en el estudio de las comunicaciones en las redes de dispositivos, es necesario definir antes los conceptos de protocolo y de arquitectura de protocolos.

Protocolo

En el ámbito de la comunicación de datos, protocolo es el conjunto de reglas que gobierna el intercambio de datos entre dos entidades. En un computador los protocolos se implementan mediante programas. Estos programas o módulos son activados por el sistema operativo del computador cuando una entidad necesita intercambiar datos con otra entidad en otro computador. Cada módulo se comunica con otro usando un paquete de datos, en el que una parte está constituida por los datos propiamente dichos y otra parte es la cabecera en la que se incluye información de control.

Los conceptos asociados a un protocolo son: sintaxis, semántica y temporización.

- **Sintaxis.** Incluye aspectos como el formato de los datos y los niveles de señal. Por ejemplo, en un paquete de datos la sintaxis tiene que ver con la cantidad de campos del mismo, cómo se ubican y qué tamaño tienen en bytes.
- **Semántica.** Comprende el manejo de la información de control para la coordinación de la comunicación y el manejo de los errores. Con relación al paquete de datos, la semántica consiste en la interpretación del contenido de los campos para la toma de decisiones por parte del módulo que lo maneja.
- **Temporización.** Está referida a las velocidades de envío y recepción de señales y de los paquetes de datos. Por ejemplo, la velocidad de envío de los paquetes desde una entidad a otra no puede ser mayor que la capacidad de esta última para aceptarlos.

Arquitectura de Protocolos

Para que pueda realizarse la comunicación entre computadores resulta claro que se requiere una gran cooperación entre éstos. Debido a la complejidad y a la gran cantidad de operaciones que involucra esta tarea de comunicación, en lugar de implementar toda la lógica en un único módulo, es más sencillo subdividir esta gran tarea en varias subtareas. De esta manera, cada subtarea se realiza por separado y la suma de todas ellas realiza la tarea total. Para distribuir la tarea en varias subtareas es necesario contar con una estructura que se denomina arquitectura de protocolos. Una muestra simple de esta arquitectura se presenta con el siguiente ejemplo:

Transmisión de un Archivo de Datos

Considérese que un computador necesita transferir a otro un archivo de datos. En primer lugar, existe la necesidad de contar con un camino físico por el que circularán los datos entre ambos computadores. Pero, además, se requieren tareas adicionales como las siguientes:

1. **Activación del camino.** El sistema fuente de información debe activar el camino directo de los datos, tanto en el caso de un enlace directo como cuando existe una red de comunicación. En este último caso se debe proporcionar a la red la identificación del sistema destino al cual entregar los datos.
2. **Preparación del sistema destino.** El sistema fuente debe asegurarse de que el sistema destino (en este caso el computador destino) está preparado para recibir los datos.
3. **Preparación de la aplicación destino.** La aplicación que transfiere el archivo debe asegurarse que la aplicación que lo recibe está preparada para aceptar y almacenar el archivo para un usuario determinado.
4. **Compatibilidad en el formato.** Si los formatos de los archivos de ambos sistemas son incompatibles, uno de los dos deberá hacer una tarea de adecuación.

Transferir un archivo entre dos dispositivos (computadores)

La Figura 2.1.1 se muestra la implementación de dicha transmisión mediante el empleo de tres módulos que se describen a continuación:

- **Transferencia de archivos.** Este módulo podría realizar las tareas 3 y 4 descritas en la presentación del ejemplo. En ese sentido, los módulos (uno en cada sistema) tienen que realizar las tareas de preparación (cuando envía) y de verificación (cuando recibe) de los datos de archivo y órdenes. Las órdenes son, por ejemplo, el tamaño del archivo, el tipo de datos, las señalizaciones de comienzo y fin del archivo.
- **Servicio de comunicación.** Este módulo realizará el intercambio de datos y órdenes; es decir, se encargará de la comunicación propiamente dicha. De esta manera se libera al módulo de transferencia de archivos de los detalles del envío de datos y órdenes; en otras palabras, realiza la tarea 2 del ejemplo. Obsérvese que este módulo se encarga de todo lo relacionado con el intercambio entre los computadores, pero no tiene que ver con el tipo de red que los interconecta.
- **Acceso a la red.** Este módulo se encargará de activar un camino entre los computadores a través de la red. En este sentido es razonable disponer de un módulo adicional de acceso a la red que lleve a cabo la tarea 1 del ejemplo.

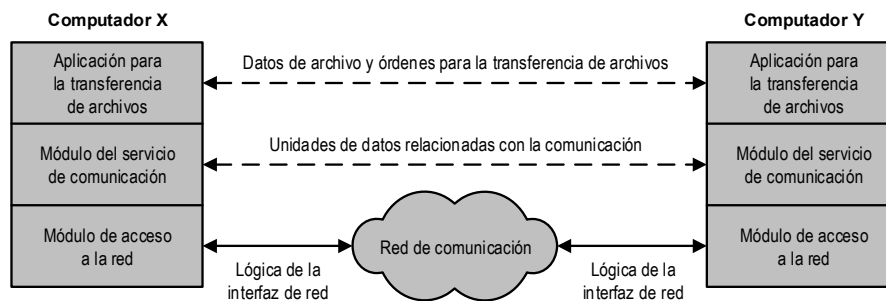


Figura 2.1.1: Transmitir datos entre dos computadores

2.2. Arquitectura de Protocolos simple: modelo de 3 capas

Se puede considerar que en la comunicación de datos por una red de computadores intervienen tres agentes: aplicaciones, computadores y red. Las aplicaciones se ejecutan en computadores y en cada computador pueden correr múltiples aplicaciones simultáneamente. Los computadores se conectan a una red a través de la cual transfieren sus datos. Por lo tanto, la transferencia de datos desde una aplicación a otra implica generarlos y, luego, hacerlos llegar a la aplicación destino a través de la red.

Por lo expuesto, parece natural organizar toda la tarea dividiéndola en tres capas independientes: de acceso a la red, de transporte y de aplicación. Cada capa se define a partir de las funciones que cumple en la comunicación.

Capa de acceso a la red

Está relacionada con el intercambio de datos entre el computador y la red a la que está conectado. Las tareas y cuestiones inherentes a esta capa son las siguientes:

- Dirección del computador destino. El computador emisor deberá proporcionar a la red la dirección del computador destino, de tal forma que ésta pueda encaminar y entregar los datos al destino indicado.
- Servicios de red. El computador emisor necesitará hacer uso de algunos de los servicios provistos por la red como, por ejemplo, la gestión de prioridades cuando el tipo de aplicación así lo requiera.

Además, las características del software de esta capa dependerán de la red que se use, puesto que cada tipo de red responde a una estándar diferente. Por ese motivo resulta muy conveniente separar las funciones que tienen que ver con el acceso a la red en una capa independiente. De esta forma, el resto del software de comunicación que esté por encima de la capa de acceso a la red no tendrá que ocuparse de las características específicas de la red que se use. Es decir, funcionará independientemente del tipo de red particular a la que esté conectado el computador.

Capa de Transporte

Comprende las tareas necesarias para asegurar que los datos de una aplicación lleguen a la otra en forma segura y en el mismo orden en que fueron enviados, independientemente de la naturaleza de las aplicaciones. Debido a que este servicio se proveerá a todas las aplicaciones que corren en el computador, tiene sentido concentrar todos estos procedimientos en una capa separada.

Capa de Aplicación

Especifica la lógica necesaria para admitir varias aplicaciones de usuario. Para cada tipo de aplicación, en esta capa se requerirá un módulo independiente que responda a sus propias necesidades de comunicación. El módulo de cada aplicación debe realizar básicamente dos funciones:

- Procesamiento. Comprende procesar los datos realizando las tareas específicas de la aplicación.
- Organización para la comunicación. Una vez completado el procesamiento y, a continuación, transmitir a otra aplicación los datos generados, el módulo debe organizar dichos datos y la información de control necesaria. Por el contrario, cuando una aplicación requiera de otra aplicación remota un envío de datos, debe generar el pedido correspondiente. En ambos casos (envío o pedido de envío de datos) debe pasar la información a la capa de transporte que se encargará de su comunicación.

Las Figuras 2.2.1 ilustra esta sencilla arquitectura. Se puede observar tres computadores conectados a una red. Cada computador contiene un módulo de software por capa. Cada uno de estos módulos lleva a cabo las funciones de la capa correspondiente: de acceso a la red, de transporte y de aplicación.

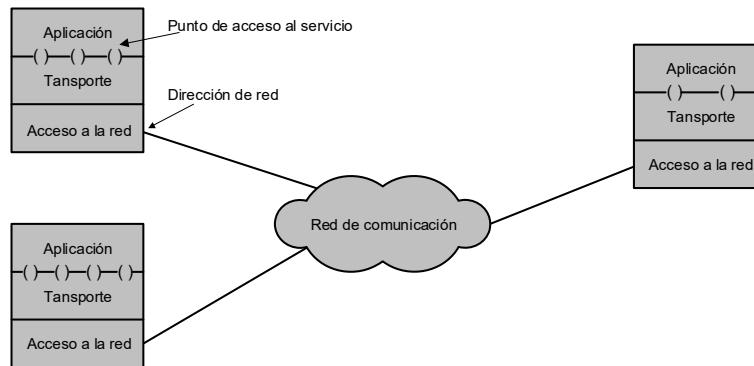


Figura 2.2.1: Arquitectura de protocolos de tres capas

En la arquitectura propuesta hay dos aspectos claves que se deben resolver: la implementación del direccionamiento y el manejo de la información de control.

Direccionamiento

Una cuestión importante a definir en cualquier sistema de comunicación es cómo se realizará la conexión entre las aplicaciones para que el intercambio de los datos se lleve a cabo correctamente. Esto implica que cada aplicación debe ser perfectamente identificable en la red, para lo que es necesario contar con un esquema de direccionamiento apropiado. En este sentido, debe tenerse presente que una red tiene conectados varios computadores y, a su vez, en cada computador están corriendo varias aplicaciones. Por lo tanto, para que pueda realizarse una conexión independiente entre cualquier par de aplicaciones, cada aplicación deberá tener una dirección única en toda la red. Esto implica que se necesitan dos niveles de direccionamiento:

- Dirección de red. Cada computador conectado a la red deberá tener una dirección de red; esto permite a la red entregar los datos al computador apropiado.
- Dirección de aplicación. Además, cada aplicación en el computador deberá tener una dirección que sea única dentro del mismo; esto permitirá al módulo de transporte entregar los datos a la aplicación apropiada. Las direcciones de las aplicaciones se denominan puntos de acceso al servicio o SAP (Service Access Point). En resumen, a través de un SAP el módulo de transporte entrega los datos a una aplicación específica y, a su vez, una aplicación accede individualmente a los servicios proporcionados por la capa de transporte.

Manejo de la Información de Control

Para poder realizar y controlar esta operación es necesario transmitir información de control junto con los datos de la aplicación de usuario, como se muestra en la Figura 2.2.2. Supóngase que la aplicación emisora genera un bloque de datos destinado a la aplicación destino. Como primera medida, pasa dicho bloque a la capa de transporte. Esta capa puede fraccionar el bloque de datos en unidades más pequeñas para hacerlas más manejables. A cada una de estas pequeñas unidades la capa de transporte añadirá una cabecera que contendrá información de control que maneja el protocolo. Esta fracción de los datos generados por la capa superior más la información de control adosada como cabecera se denomina unidad de datos de protocolo o PDU (Protocol Data Unit). En el caso descripto se denominará PDU de transporte.

Información de Control en la Cabecera del PDU de Transporte

Debe recordarse que en la cabecera de la PDU generada por el módulo origen en una determinada capa, se incluye la información que será utilizada por el módulo destino que opera en la misma capa. Así, la cabecera de cada PDU de transporte contiene información que será usada por el módulo de transporte en el computador destino. La información que se debe almacenar en la cabecera es, por ejemplo:

- SAP Destino. Cuando el módulo de transporte destino reciba la PDU de transporte, tomará conocimiento a cual aplicación van dirigidos los datos.
- Número de secuencia. Ya que el módulo de transporte está enviando una secuencia de PDU's como resultado del fraccionamiento de los datos de la aplicación, éstas se numerarán secuencialmente para que, si llegan desordenadas, el módulo de transporte destino sea capaz de ordenarlas.
- Código de detección de error. El módulo transporte emisor debe incluir un código que es función del contenido del resto de la PDU. El módulo de transporte receptor realiza el mismo cálculo y compara los resultados con el código recibido. Si hay discrepancia se concluirá que ha habido un error en la transmisión, en cuyo caso el módulo receptor intentará corregir el error o, simplemente, descartará la PDU y solicitará al otro extremo la retransmisión de la misma.

El siguiente paso en la capa de transporte es pasar cada una de las PDU a la capa de red, con la instrucción de que sean transmitidas al computador destino. Para satisfacer este requerimiento, el módulo de acceso a la red debe pasar los datos a la red con una solicitud de transmisión. Como antes, esta operación requiere el uso de información de control. En este caso, el módulo de acceso a la red añade la cabecera de acceso a la red a los datos provenientes del módulo de transporte, creando así la PDU de acceso a la red.

Información de Control en la Cabecera de la PDU de Acceso a la Red

Por ejemplo, dicha cabecera debe contener la siguiente información:

- Dirección del computador destino. La red debe conocer a qué computador de la red entregará los datos.
- Solicitud de recursos. El protocolo de acceso a la red puede solicitar a la red que realice algunas funciones, como, por ejemplo, gestionar prioridades de envío de los datos.

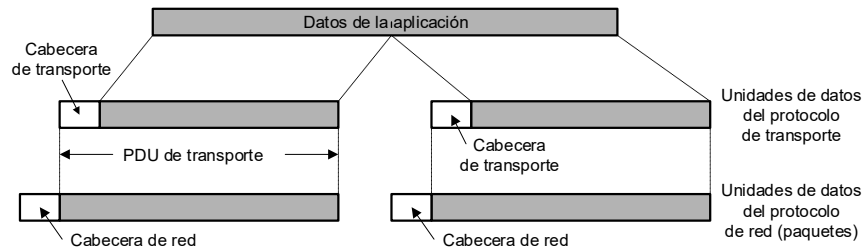


Figura 2.2.2: Información de control en el modelo de tres capas

2.3. Aplicación del Modelo de Tres Capas

En el siguiente ejemplo se describen todos los conceptos vertidos respecto del modelo de tres capas que se está considerando. En la Figura 2.3.1 se muestra la interacción entre los módulos para transferir un bloque de datos. Supóngase que el módulo de transferencia de archivos en el computador X está transfiriendo un archivo, registro por registro, al computador Y. Cada registro se pasa al módulo de la capa de transporte. En un sistema de computación, esta operación se puede describir como una orden o una llamada a un procedimiento. Posibles argumentos de este procedimiento serán el registro del archivo, el SAP destino y la dirección del computador Y. La capa de transporte añade el SAP correspondiente e información de control adicional que se agregará al registro para formar la PDU de transporte. Ésta se pasa a la capa inferior de acceso a la red mediante la llamada a otro procedimiento. En este caso, los argumentos para esta llamada serán la dirección del computador Y junto con la PDU del protocolo de transporte.

A tener en cuenta:

- El campo de datos de la PDU de una capa es la PDU de la capa superior.
- En la cabecera de las PDU del computador origen sólo se incluye información que utilizará el protocolo de la capa del mismo nivel en el computador destino. Así:
 - En la capa de transporte, de la información que le envía la capa de aplicación sólo incluye el SAP destino, al que le suma otra de generación propia como es el número de secuencia y código de error. El resto de la información de control es pasada al módulo de la capa de acceso a la red.

- De forma similar se procede en la capa de acceso a la red. De la información enviada por la capa de transporte sólo utiliza la dirección de Y, a la que le agrega la dirección de X y la solicitud de recursos. Nótese que la cabecera de transporte no es visible al nivel de acceso a la red; en otras palabras, a dicho nivel no le concierne el contenido concreto de la PDU de transporte.
- La red acepta la PDU de red del computador origen y la transmite al destino. El módulo de acceso a la red en el destino recibe la PDU, elimina la cabecera, y pasa la PDU de transporte adjunta al módulo de la capa de transporte. La capa de transporte examina la cabecera de la PDU de transporte y, en función del campo en la cabecera que contenga el SAP, entregará el registro correspondiente a la aplicación pertinente. En el caso del ejemplo 2, lo entrega al módulo de transferencia de archivos de Y.

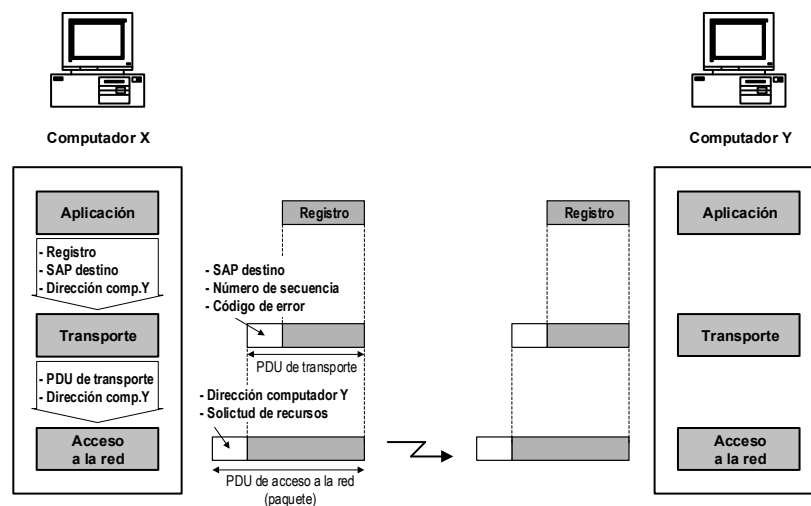


Figura 2.3.1: Aplicación del modelo de tres capas

2.4. Modelo OSI de ISO

El modelo OSI surgió de la necesidad de intercambiar datos entre sistemas heterogéneos en los cuales el hardware, software y el formato de los datos que cada uno genera, tienen características diferentes, con lo cual la comunicación se hace compleja. Por esta razón la ISO - International Organization for Standardization - creó en 1977 un subcomité ad-hoc con el fin de definir un modelo de interfaz común para que sistemas heterogéneos puedan comunicarse. Al año siguiente este subcomité presentó una estructura estratificada en capas que recibió el nombre de Modelo de Referencia para la Interconexión de Sistemas Abiertos (Referencial Model Open System Interconnection), más conocido como modelo OSI.

En 1983 el modelo OSI fue aprobado por la ISO como estándar internacional para la interconexión de sistemas abiertos. El término “abierto” significa que cualquier sistema que adopte las normas creadas por la ISO podrá comunicarse con cualquier otro sistema que se rija por las mismas normas. Por tanto, un sistema abierto es aquel que sigue las normas OSI de la ISO para comunicarse con otros sistemas.

Estructura de Capas

Debido a que comunicar dos dispositivos entre sí constituye un problema sumamente complicado de resolver, el subcomité de la ISO propuso dividir esta compleja tarea en varias tareas menores. Concretamente, ideó un conjunto jerárquico de capas y asignó a cada capa una tarea específica, de manera que, realizando sucesivamente cada tarea específica, al final se resuelve todo el problema de comunicación planteado. El esquema de funcionamiento de las capas es el siguiente:

- Cada capa utiliza los servicios suministrados por la capa inmediata inferior y produce servicios para la capa inmediata superior.
- La capa N no sabe, ni le interesa saber, cuántas capas existen ni cómo realizan sus tareas, solo le importa qué le ofrece la capa adjunta como servicio.

El esquema descrito presenta la gran ventaja de que, al independizar el modo en que cada capa resuelve su problema, se consigue:

- Simplificar la resolución del problema completo al dividirlo en varios problemas menores.
- Flexibilizar el diseño de protocolos de cada capa puesto que no interesa cómo éstos resuelven los problemas, sino que, a partir de determinados servicios que recibe de una capa, deben operar de alguna manera para entregar otros servicios determinados a la otra capa adyacente.

Capas del Modelo OSI

La arquitectura del modelo OSI está formada por siete capas. Para determinar este número la ISO tuvo en cuenta las siguientes pautas:

- Cada capa deberá tener una función bien definida, claramente diferente de las otras. Esto fija un número mínimo de capas.
- El número máximo de capas no debe ser tan alto a fin de no dificultar el trabajo de descripción e integración de cada capa.
- Demarcar el límite entre dos capas adyacentes en el punto donde la transferencia de servicios sea pequeña, minimizando las interacciones entre las capas.
- Cada capa solo tiene interfaces con la capa superior y con la inferior.

- Garantizar que la modificación de los protocolos que realizan las funciones de una capa no afecte a las otras capas.

En la Figura 2.4.1 se muestra el esquema de siete capas del modelo OSI de la ISO. Es importante tener presente que un modelo de referencia de capas como el presentado no necesariamente describe una arquitectura de comunicación, puesto que no especifica los servicios ni los protocolos que se utilizarán en cada capa. Solo indica qué funciones se le asignan a cada capa, pero no cómo las debe realizar. El modo en cómo se realizan las funciones de una capa corresponde a los protocolos. No obstante, la ISO también ha generado normas que deben seguir los protocolos para todas las capas, pero ello no significa que estas normas formen parte del modelo. Ellas se han publicado como normas internacionales independientes.

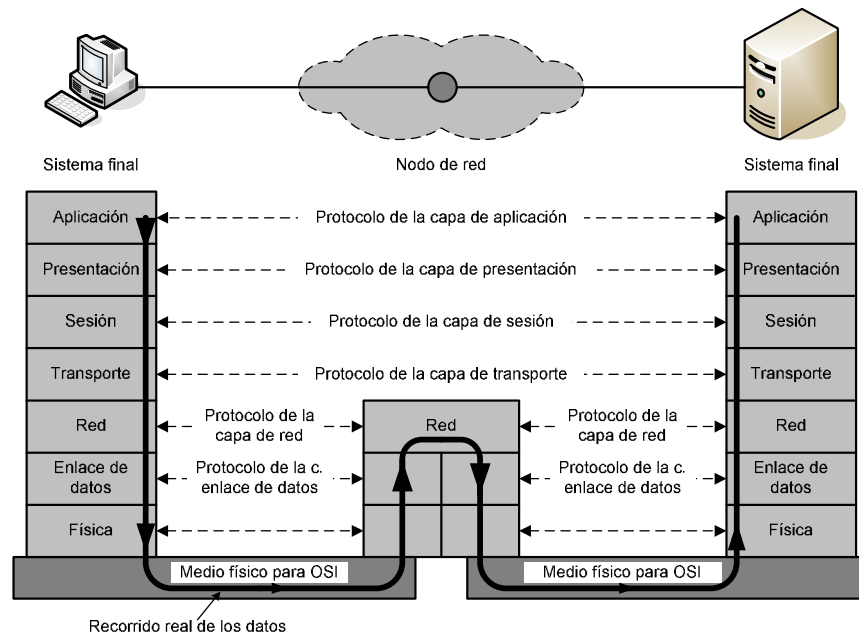


Figura 2.4.1: Capas del modelo OSI

Capa Física

En esta capa se define la interfaz física entre los dispositivos y, además, cómo debe realizarse la transmisión de las señales a través del medio de transmisión. Concretamente, las consideraciones de diseño del hardware están relacionadas con asegurar que cuando un extremo envía un bit de valor 1 en el otro debe recibirse un 1 y no un 0. Por lo tanto, para lograr lo señalado, en esta capa se deben realizar básicamente las siguientes especificaciones:

- Mecánicas. Están referidas a los elementos que intervienen en la conexión física de la interfaz. Normalmente dentro de estas características se incluye la especificación de conectores que vinculan los circuitos electrónicos con los cables. Especifica dimensiones físicas y cantidades, por ejemplo, número, tamaño y distribución de pines de un conector.

- Eléctricas. Está referidas a las señales que generan los circuitos electrónicos para representar los bits: código, velocidad de transmisión, niveles de corriente o tensión, tiempo de duración de los pulsos y separación de los mismos.
- Funcionales. Tienen que ver básicamente con las funciones de cada circuito de la interfaz física y el modo de transmisión. Este último está referido a si la transmisión será en ambos sentidos, uno por vez (half dúplex) o simultáneamente (full dúplex).
- De procedimientos. Están relacionadas con la secuencia de eventos que se deben llevar a cabo para el intercambio del flujo de señales. Concretamente, con la sincronización entre los circuitos electrónicos de los extremos para establecer la conexión inicial y luego interrumpirla cuando los dispositivos han decidido finalizar la transmisión.

Capa de Enlace de Datos

La tarea principal de esta capa consiste en lograr que la comunicación por un enlace físico entre dos dispositivos sea sin error. Esto implica que, a partir de un medio de transmisión real (con ruido, interferencias y atenuación que producen errores en la transmisión), la transferencia de datos se realice como si se tratara de un medio ideal, es decir, sin errores de transmisión.

Las funciones básicas de la capa de enlace están relacionadas con el control del enlace punto a punto entre dispositivos que están en los extremos del mismo. Realizar el control del enlace implica un conjunto de tareas coordinadas entre los dispositivos que comprenden básicamente el acceso al medio de transmisión y la iniciación, mantenimiento y terminación del intercambio de datos. A continuación, se identifican las principales tareas involucradas en el control del enlace:

- Sincronización de trama. Los datos enviados por un dispositivo emisor son fraccionados en tramas que son grupos de bytes. El principio y fin de cada trama deben ser reconocidos por el receptor, para lo cual el emisor agrega bytes especiales en ambos extremos.
- Control de flujo. La estación que envía los datos no debe hacerlo más rápidamente que la capacidad de la estación receptora para almacenarlos. Debe emplearse, entonces, un mecanismo de regulación de tráfico que permita que el transmisor conozca el espacio de memoria disponible (buffer) que en ese momento tiene el receptor para ese fin.
- Control de error. Los bits erróneos de la transmisión deben ser corregidos en cada trama. Para ello se generan en el transmisor bits especiales - mediante un código de control de error - que son agregados al final de la trama, a partir de los cuales el receptor puede detectar y corregir los errores producidos en el enlace.

Controles en más de una capa:

Hay dos controles, importantes en la comunicación de datos entre sistemas, que por conveniencia se realizan en varias capas que son el control de error y el

control de flujo de los datos. Cada capa resuelve estos problemas de acuerdo a las funciones asignadas de acuerdo al nivel que ocupa en la estructura jerárquica. El resultado final es que el flujo de datos transmitido soporta distintos tipos de controles con el fin de minimizar o anular los problemas señalados.

Capa de Red

Básicamente, esta capa se especifica sobre la transferencia de información entre dos sistemas finales a través de una red. Libera así a las capas superiores de la tarea de la transmisión de datos teniendo en cuenta la tecnología propia de la red. Las funciones de esta capa están relacionadas con dos tareas básicas:

- El dispositivo emisor establece un diálogo con la red para especificarle la dirección del dispositivo destino y solicitar ciertos servicios, como, por ejemplo, la gestión de prioridades según el tipo de dato que transmite (voz, video o datos).
- La red debe realizar las acciones necesarias para que los paquetes de datos que llevan el mensaje atraviesen la red evitando en lo posible y solucionando cuando ocurran, congestiones de tráfico en enlaces y dispositivos internos de la red.

Existe un amplio abanico de posibilidades para que los servicios de comunicación intermedios sean gestionados por la capa de red. Se tratarán a continuación tres casos representativos siguiendo un orden de complejidad creciente:

- Dispositivos conectados a través de un enlace punto a punto. Es el extremo más sencillo. En este caso no se necesita capa de red ya que la capa de enlace de datos puede proporcionar las funciones necesarias de gestión.
- Dispositivos conectados a través de una única red. Puede ser una red de conmutación de paquetes o de conmutación de circuitos. Un ejemplo de esta última situación es el estándar X.25 cuya capa de paquete tiene las funciones típicas de una capa de red. Los paquetes creados por los sistemas finales pasan a través de uno o más nodos de la red que actúan como retransmisores entre los dos dispositivos. Los nodos de la red implementan las capas 1 a 3 de la arquitectura. La capa 3 del nodo realiza las funciones de ruteo y conmutación; es decir, decide sobre la ruta más conveniente y, luego, por ella envía los datos.
- Dispositivos conectados a redes distintas. Es el extremo de mayor complejidad. Este caso no está contemplado en el modelo OSI.

En resumen, las funciones principales de la capa de red son:

- Gestión de servicios de red. Solicitados por los dispositivos de usuario como, por ejemplo, prioridades.
- Ruteo. Los protocolos de la capa de red en los nodos deben decidir cómo encaminar los paquetes desde el origen, pasando por los distintos nodos de conmutación de la red, hasta el destino. El camino que van a seguir los paquetes

a través de la red depende de varios factores, como carga existente en la red y estado de los enlaces.

- Control de tráfico. A esta capa también le cabe la función de control de tráfico con el fin de evitar la congestión en los enlaces de la red. Para poder realizar esta función, el nodo debe tener información sobre el estado de los enlaces de la red.

Capa de Transporte

La función principal de la capa de transporte consiste en que los datos generados por la aplicación en un computador, lleguen a la aplicación que corre en otro computador, libres de errores, en orden, sin pérdidas ni duplicaciones. Se trata, básicamente, de proporcionar una “comunicación de extremo a extremo” entre dos entidades finales. Una característica distintiva de esta capa, en relación con las capas ya vistas, es que no está involucrada con la transmisión en la red sino con las necesidades de comunicación de los sistemas finales. Se dice que los protocolos de la capa de transporte, en dos sistemas finales que intercambian datos, mantienen una comunicación virtual. La capa de transporte también está involucrada en la solicitud de los servicios de red necesarios según el tipo de aplicación. A continuación, se especifican con mayor detalle las funciones más importantes de esta capa:

- Secuenciamiento. Referida al ordenamiento de los segmentos que se transmiten.
- Segmentación de datos
- Control de flujo. A diferencia del control de flujo que involucra a la capa de enlace de datos, la capa de transporte realiza este control teniendo en cuenta las especificaciones de las capas superiores de tal manera de no saturar los procesos que corren en el sistema (aplicaciones).
- Tipo de servicio o conexión. Tiene que ver con la decisión que se debe tomar respecto al tipo de servicio o de conexión a establecerse de acuerdo a las necesidades de la capa superior. Por ejemplo, define el modo en que deben enviarse los datos; esto es, tamaño y velocidad de transferencia de los paquetes, cantidad de conexiones lógicas que se deben establecer. Respecto a este último servicio puede ocurrir, por ejemplo, que una aplicación requiera comunicarse en forma simultánea con varias aplicaciones que corren en otros computadores. En este caso, el protocolo de la capa de transporte debe proveer tantos canales lógicos como aplicaciones destino haya y velocidades de transferencia requeridas.

Capa de Sesión

A esta capa le incumbe que los usuarios de diferentes computadores puedan establecer sesión entre ellos. Una sesión implica el intercambio de datos entre dos aplicaciones que concierne a la capa de transporte; pero, además, necesita de otros servicios adicionales a los proporcionados por esta capa, con el fin de asegurar que la operación se realice sin inconvenientes. Las funciones típicas de la capa de sesión son:

- Control de diálogo entre aplicaciones. Se explica con el siguiente caso: Una sesión es, por ejemplo, cuando el usuario de una PC se conecta en modo terminal a un

sistema de tiempo compartido para transferir un archivo. En este caso los servicios de la capa de sesión consisten en realizar el control del diálogo; por ejemplo, que en un instante dado la comunicación vaya en ambas direcciones simultáneamente y, en otro instante, sólo en una dirección. La capa de sesión, en este caso, otorga y controla los turnos de emisión de los datos entre los dispositivos.

- En el caso de la sesión en tiempo compartido entre un computador central y varios terminales, la capa de sesión es la encargada de administrar ese diálogo punto-multipunto. Esto es, al comienzo del diálogo con un terminal dado debe restituir el estado en quedó la comunicación la última vez para que la misma se reanude sin problemas. Luego controla el diálogo durante el intervalo de tiempo como se señaló en el párrafo anterior y, una vez finalizado, almacena el estado de la comunicación hasta el próximo intervalo. Así, para cada terminal.
- Sincronización. Considérense, por ejemplo, los problemas que podrían ocurrir si se tratara de hacer la transferencia de un archivo de gran tamaño, en una red con poca confiabilidad. Si no existe sincronización, después de abortar cada envío del archivo por la caída de la conexión, tendría que iniciarse de nuevo la transferencia completa del mismo y, probablemente, se encontraría nuevamente con otra caída de la conexión. Para eliminar este problema, la capa de sesión proporciona una forma para insertar puntos de verificación en el flujo de datos con el objeto de que, después de cada caída, solamente tengan que repetirse los datos que se encuentren después del último punto de verificación.

Capa de Presentación

Esta capa se ocupa de los aspectos de sintaxis y semántica de la información que se transmite. En esto se diferencia de las capas inferiores las que únicamente están interesadas en la transferencia confiable de los datos de un lugar a otro. Las funciones típicas asociadas a la capa de presentación son:

- Codificación. La mayor parte de los programas de aplicación no intercambian conjuntos de bits binarios aleatorios, sino, más bien, nombre de personas, datos, cantidades de dinero, números de facturas, etc. Estos datos se representan por conjuntos de caracteres, números enteros, números de punto flotante y estructuras de datos constituidas por elementos más simples. Puede ocurrir que diferentes computadores tengan diferentes códigos para representar los conjuntos de caracteres como, por ejemplo, ASCII o EBCDIC. Con el fin de hacer posible la comunicación entre computadores con representaciones diferentes, se puede definir una representación estándar. Entonces, la tarea de la capa de presentación es manejar la representación estándar y convertirla a la propia de cada computador y viceversa.
- Seguridad. Para brindar seguridad a la transferencia de los datos la capa de presentación indica el encriptado de mensajes para dotar de privacidad y autenticación a la comunicación.

- **Compresión.** A los efectos de disminuir la cantidad de bits a transmitirse, la capa de presentación se ocupa también de la compresión de datos. En esta capa operan los algoritmos encargados de esa tarea.

Capa de Aplicación

Esta capa tiene que ver básicamente con la interfaz aplicación-usuario y la interfaz aplicación-servicios de red. Los servicios de transferencias de archivos (FTP), el correo electrónico, los servicios de páginas web, la resolución de nombres de dominio, entre otros, son ejemplos de aplicaciones que se despliegan sobre esta capa.

2.5.Arquitectura de Protocolos TCP/IP

En términos generales, se puede decir que las comunicaciones por computadora involucran a tres protagonistas: aplicaciones, computadoras y redes.

Ejemplos de aplicaciones correo electrónico, servicios web, transferencia de archivos, entre otros. Las aplicaciones que interesan aquí son aplicaciones distribuidas que implican el intercambio de datos entre dos sistemas de computadoras. Estas aplicaciones, y otras, se ejecutan en computadoras que a menudo pueden soportar múltiples aplicaciones simultáneas. Las computadoras están conectadas a redes, y la red transfiere los datos que deben intercambiar desde dispositivo a otro. De esta forma, la transferencia de datos de una aplicación a otra implica primero llevar los datos a la computadora en la que reside la aplicación y luego obtener los datos a la aplicación prevista dentro de la computadora. Teniendo en cuenta estas premisas, es posible organizar la comunicación haciendo uso de cinco capas relativamente independientes (Figura 2.5.1):

- Capa física
- Acceso a la red / capa de enlace de datos
- capa de Internet
- Capa de host a host o de transporte
- Capa de aplicación

La capa física cubre la interfaz física entre un dispositivo de transmisión de datos (por ejemplo, estación de trabajo, notebook, Smartphone, entre otros) y un medio de transmisión o red. Esta capa se ocupa de especificar las características del medio de transmisión, la naturaleza de las señales, la velocidad de datos y asuntos relacionados.

La capa de acceso a la red / enlace de datos está preocupada del acceso y enrutamiento de datos a través de una red para dos sistemas finales conectados a la misma red. En aquellos casos en los que dos dispositivos están conectados a diferentes redes, se necesitan procedimientos para permitir que los datos atraviesen múltiples redes interconectadas. Ésta es la función de la capa de internet. Se usa el Protocolo de Internet

(IP) en esta capa para proporcionar la función de enrutamiento a través de múltiples redes. Este protocolo se implementa no solo en los sistemas finales sino también en los enrutadores. Un enrutador es un procesador que conecta dos redes y cuya función principal es transmitir datos de una red al otro en su ruta desde el sistema final de origen al destino.

La capa de host a host, o capa de transporte, puede proporcionar un extremo a otro confiable servicio, como se discutió en la sección anterior, o simplemente un servicio de entrega de extremo a extremo sin mecanismos de fiabilidad. El Protocolo de Control de Transmisión (TCP) es el protocolo más común utilizado para proporcionar esta funcionalidad.

Finalmente, la capa de aplicación contiene la lógica necesaria para soportar las distintas aplicaciones de usuario. Para cada tipo diferente de aplicación, como la transferencia de archivos, se necesita un módulo que sea peculiar de esa aplicación.

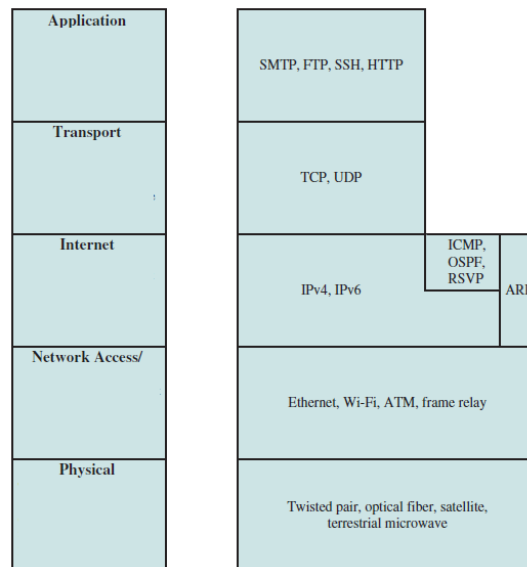


Figura 2.5.1: Arquitectura de Protocolos TCP/IP

La Figura 2.5.2 indica cómo se configuran estos protocolos para las comunicaciones. Es muy claro que las necesidades de comunicación pueden implicar la presencia de muchas redes (en este caso se denominan subredes).

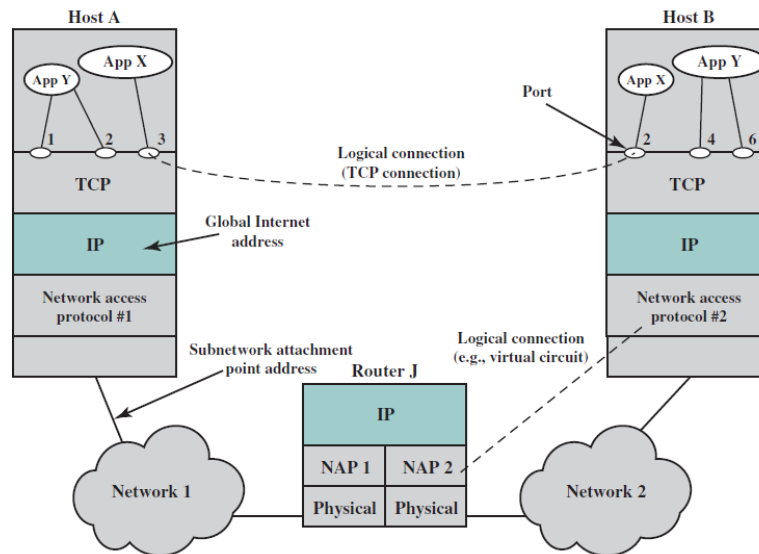


Figura 2.5.2: Métodos de comunicación utilizando la arquitectura TCP/IP

Se utiliza algún tipo de protocolo de acceso a la red, como la lógica de Ethernet o Wi-Fi, para conectar una computadora a una subred. Este protocolo permite que el host envíe datos a través de subred a otro host o, si el host de destino está en otra subred, a un enrutador que reenviará los datos. IP se implementa en todos los sistemas finales y los enrutadores. El enrutador tiene la capacidad de encaminar bloques de datos desde un host, a través de uno o más enrutadores, hacia otro host. TCP se implementa solo en los sistemas finales; mantiene el seguimiento de los bloques de datos para asegurar que todos se entreguen de manera adecuada y confiable.

Como se mencionó anteriormente en este capítulo, cada entidad en el sistema general debe tener una dirección única. Cada host en una subred debe tener una dirección de internet global única. Esto permite que los datos se entreguen al host adecuado. Cada proceso dentro de un dispositivo debe tener una dirección de identificación única (puerto), esto permite al protocolo TCP entregar los datos host a host.

Se desarrolla una operación simple. Se supone que un proceso, asociado con el puerto 3 en el host A, desea enviar un mensaje a otro proceso, asociado con el puerto 2 en host B. El proceso en A entrega el mensaje a TCP con instrucciones para enviar al host B, puerto 2. TCP entrega el mensaje a IP con instrucciones para enviarlo al host B. Tenga en cuenta que no es necesario que se le diga a la IP la identidad del puerto de destino. Todo lo que necesita saber es que los datos están destinados al host B. Luego, IP entrega el mensaje hasta la capa de acceso a la red (por ejemplo, lógica de Ethernet) con instrucciones para enviarla a enrutador J (el primer salto en el camino a B).

Para controlar esta operación, la información de control, así como los datos del usuario, deben ser transmitido, como se sugiere en la Figura 2.5.3. Digamos que el proceso de envío genera un bloque de datos y pasa esto a TCP. TCP puede romper este bloque en pedazos más pequeños para hacerlo más manejable. Para cada una de estas piezas, TCP agrega información de control conocido como el encabezado TCP, formando un segmento TCP. La información de control debe ser utilizado por la entidad TCP igual en el host B. Ejemplos de elementos en este encabezado incluir:

Puerto de destino: cuando la entidad TCP en B recibe el segmento, debe saber a quién se entregarán los datos.

Número de secuencia: TCP numera los segmentos que envía a un determinado puerto de destino secuencialmente, de modo que, si llegan fuera de servicio, la entidad TCP en B puede reordenarlos.

Suma de verificación: el TCP de envío incluye un código que es función del contenido del resto del segmento. El TCP receptor realiza el mismo cálculo y compara el resultado con el código entrante. Una discrepancia resulta si ha habido algún error en la transmisión.

Luego, TCP entrega cada segmento a IP, con instrucciones para transmitirlo a B. Estos segmentos deben transmitirse a través de una o más subredes y retransmitirse a través de uno o más enrutadores intermedios. Esta operación también requiere el uso de información de control

Por lo tanto, IP agrega un encabezado de información de control a cada segmento para formar un datagrama de IP. Un ejemplo de un elemento almacenado en el encabezado IP es la dirección de host de destino (en este ejemplo, B).

Finalmente, cada datagrama IP se presenta a la capa de acceso a la red para su transmisión a través de la primera subred en su viaje hacia el destino. El acceso a la red capa agrega su propio encabezado, creando un paquete o marco. El paquete se transmite a través de la subred al enrutador J. El encabezado del paquete contiene la información que la subred necesita transferir los datos a través de la subred.

En el enrutador J, el encabezado del paquete se elimina y se examina el encabezado IP. Sobre la base de la información de la dirección de destino en el encabezado IP, el módulo IP en el enrutador dirige el datagrama a través de la subred 2 a B. Para hacer esto, el datagrama se aumenta nuevamente con un encabezado de acceso a la red.

Cuando los datos se reciben en B, se produce el proceso inverso. En cada capa, el encabezado correspondiente se elimina y el resto se pasa al siguiente más alto capa, hasta que los datos originales del usuario se entreguen al proceso de destino.

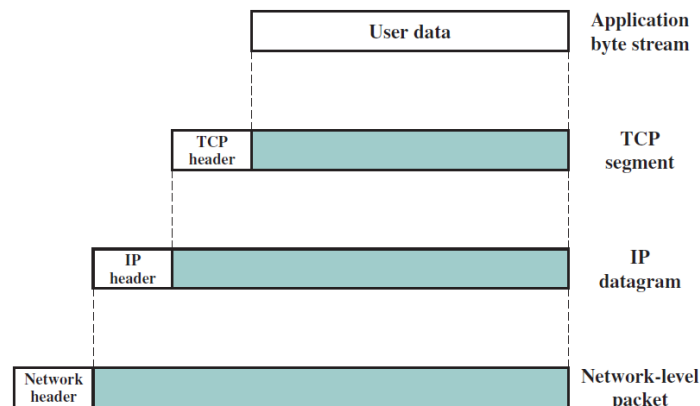


Figura 2.5.3: Encabezados en el modelo TCP/IP

2.6.Arquitectura de protocolos y los estándares

Una arquitectura de protocolo, como la arquitectura TCP / IP u OSI, proporciona un marco para la estandarización. Dentro del modelo, uno o más estándares de protocolo pueden ser desarrollado en cada capa. El modelo define en términos generales las funciones a ser implementadas en cada capa y facilita el proceso de elaboración de normas de dos maneras:

- Debido a que las funciones de cada capa están bien definidas, se pueden desarrollar estándares independientemente y simultáneamente para cada capa. Esto acelera el proceso de elaboración de normas.
- Debido a que los límites entre las capas están bien definidos, los cambios en los estándares en una capa no afectan el software ya existente en otra capa. Esto facilita la introducción de nuevos estándares.

La figura 2.6.1 ilustra el uso de una arquitectura de protocolo como marco para la producción de estándares:

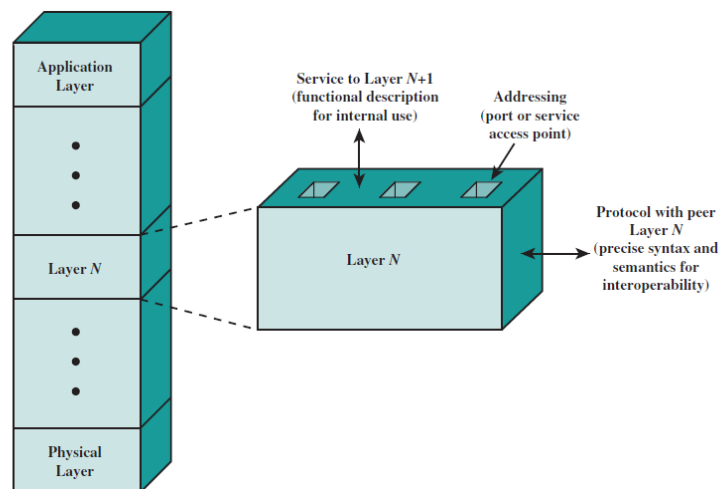


Figura 2.6.1: Arquitectura de protocolos y estándares

Se utiliza el principio de diseño de la ocultación de información: las capas inferiores se preocupan por mayores niveles de detalle; las capas superiores son independientes de estos detalles. Cada capa proporciona servicios a la siguiente capa superior e implementa un protocolo para la capa par en el sistema destino.

La figura 2.6.1 también muestra más específicamente la naturaleza de la estandarización requerida. Tres elementos son clave:

- Especificación de protocolo: dos entidades en la misma capa en diferentes sistemas cooperan e interactúan por medio de un protocolo. Debido a que dos sistemas abiertos están involucrados, el protocolo debe especificarse con precisión. Esto incluye el formato de las unidades de datos de protocolo

intercambiadas, la semántica de todos los campos, y la secuencia permitida de PDU.

- Definición del servicio: además del protocolo o protocolos que operan en una capa dada, se necesitan estándares para los servicios que cada capa proporciona a la siguiente capa superior. Típicamente, la definición de servicios es equivalente a una descripción funcional que define qué servicios se proporcionan, pero no cómo los servicios deben ser proporcionados.
- Direccionamiento: cada capa proporciona servicios a entidades en la siguiente capa superior. Se hace referencia a estas entidades por medio de un puerto o punto de acceso al servicio (SAP). Por lo tanto, un punto de acceso al servicio de red (NSAP) indica una entidad de transporte que es un usuario del servicio de red.

Primitivas de servicio y parámetros

Los servicios entre capas adyacentes en una arquitectura de protocolo se expresan en términos de primitivas y parámetros. Una primitiva especifica la función a ser realizada, y los parámetros se utilizan para pasar datos e información de control. La forma real de una primitiva depende de la implementación. Un ejemplo es una llamada a procedimiento.

Se utilizan cuatro tipos de primitivas en los estándares para definir la interacción entre capas adyacentes en la arquitectura (Figura 2.6.2). Estas son:

- Solicitar: Una primitiva emitida por una capa usuaria para invocar algún servicio de una capa proveedora y pasar los parámetros necesarios para especificar completamente el servicio solicitado. Ejemplo: “Connect.request”
- Indicar: Una primitiva emitida por un proveedor de servicios para, ya sea:
 - Indicar que el usuario del servicio par ha invocado un procedimiento en la conexión y para proporcionar los parámetros asociados, o
 - Notificar a la capa usuaria del servicio de una acción iniciada por la capa proveedora. Ejemplo: “Connect.indication”
- Responder: Una primitiva emitida por la capa usuaria del servicio para reconocer o completar algún procedimiento invocado previamente. Ejemplo: “Connect.Response”
- Confirmar: Una primitiva emitida por un proveedor de servicios para reconocer o completar algún procedimiento invocado previamente por una solicitud de la capa usuaria del servicio. Ejemplo: “Connect.confirm”

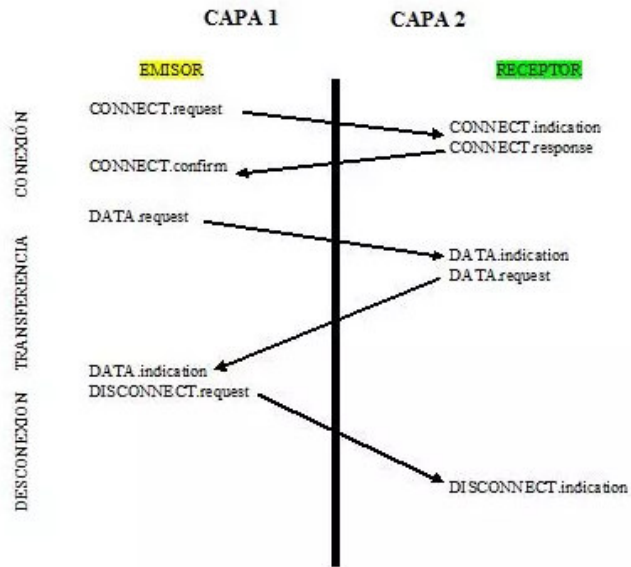


Figura 2.6.2: Comunicación entre dos capas utilizando primitivas

3. Capítulo 3: Conceptos de Señales

En el Capítulo 1 se vio que para que los datos puedan ser transmitidos de un dispositivo a otro remoto, se necesita que un transmisor genere una señal electromagnética con capacidad de atravesar el medio de transmisión y llegar hasta el receptor en el otro extremo. En este contexto, se puede decir que el éxito en la transferencia de los datos depende fundamentalmente de dos factores que son:

- La calidad de la señal que se transmite.
- Las características del medio de transmisión.

En este capítulo y en el siguiente se estudiarán estos dos factores y su incidencia en la calidad de la transmisión. No obstante, antes es necesario definir conceptos básicos relativos a las señales, lo que representa el propósito de este capítulo.

La transmisión de datos ocurre entre el transmisor y el receptor a través de algún medio de transmisión. Los medios de transmisión pueden clasificarse como guiados o no guiados. En ambos casos, la comunicación es en forma de ondas electromagnéticas. Con medios guiados las ondas son guiadas a lo largo de un camino físico; ejemplos de medios guiados son el cable de par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica. Los medios no guiados, también llamados inalámbricos, proporcionan un medio para transmitir ondas electromagnéticas, pero no las guía; en estos casos se propagan a través del aire, el vacío y el agua de mar.

El término enlace directo se utiliza para referirse a la ruta de transmisión entre dos dispositivos en los que las señales se propagan directamente del transmisor al receptor sin dispositivos intermedios, que no sean amplificadores o repetidores utilizados para aumentar la fuerza de la señal. Se debe tener en cuenta que este término puede aplicarse tanto a medios guiados como no guiados.

Un medio de transmisión guiado es punto a punto si proporciona un enlace directo entre dos dispositivos y esos son los únicos dos dispositivos que comparten el medio. En una configuración guiada multipunto, más de dos dispositivos comparten el mismo medio.

Una transmisión puede ser simplex, half duplex o full duplex. En transmisión simplex, las señales se transmiten en una sola dirección; una estación es el transmisor y la otra es el receptor. En la operación semidúplex o half duplex, ambas estaciones pueden transmitir, pero solo uno a la vez. En operación full-duplex, ambas estaciones pueden transmitir simultáneamente. En el último caso, el medio transporta señales en ambas direcciones al mismo tiempo.

3.1. Tiempo, Frecuencia y Ancho de Banda

Los datos que intercambian los dispositivos son transportados a través de la distancia por señales que son ondas electromagnéticas. Si bien el estudio de estas ondas es materia de la ingeniería electrónica, en esta sección se tratarán sólo aquellos aspectos básicos de esta disciplina que son necesarios para entender los conceptos de transmisión de señales a través de un medio de transmisión.

En el Capítulo 1 se dijo que la señal $s(t)$ generada por un transmisor es variable en el tiempo; es decir, el valor que la misma tiene en cada momento es una función del tiempo. Por otro lado, una señal en un instante de tiempo dado, se puede considerar como el resultado de la suma de varias ondas con diferentes frecuencias y, por lo tanto, puede ser expresada en función de la frecuencia. En definitiva, el estudio de las señales se puede realizar desde dos puntos de vista:

- Su variación en el tiempo.
- Sus componentes de frecuencia.

Ambos enfoques permiten visualizar aspectos diferentes de las señales que ayudan al conocimiento de las mismas, por tal motivo se tratan a continuación.

3.1.1. Análisis en el Dominio del Tiempo

Vista como una función del tiempo, una señal puede ser continua o discreta:

- Señal continua. Definida en forma práctica, es la señal que varía suavemente a través del tiempo; es decir, no tiene quiebres o discontinuidades como muestra la Figura 3.1.1.1 (a). Expresado matemáticamente, es lo siguiente: una señal $s(t)$ es continua si:

$$\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a), \text{ para todo } a$$

- Señal discreta. Es aquella cuya intensidad mantiene un nivel constante durante un tiempo dado y luego cambia bruscamente a otro nivel constante. En la Figura 3.1.1.1(b) se muestra una señal discreta.

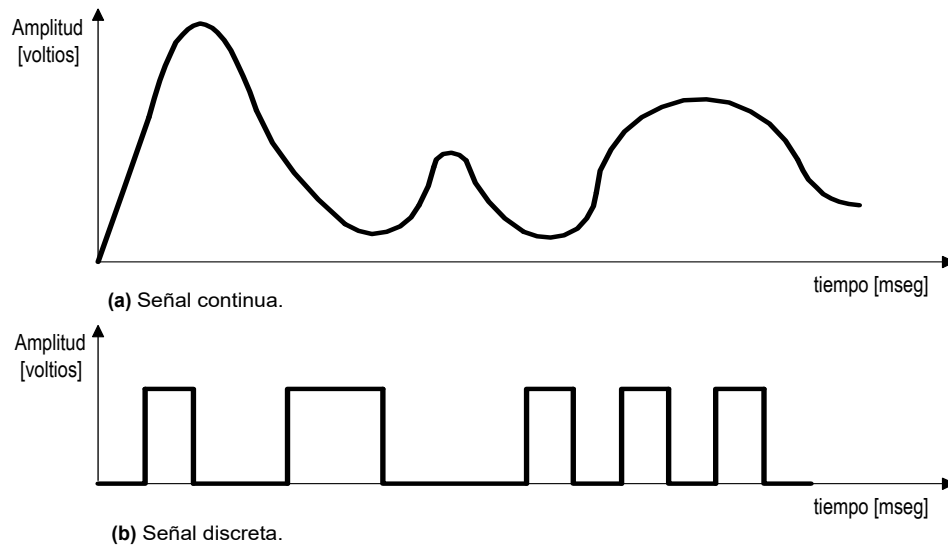


Figura 3.1.1.1: Señal continua y discreta

Ejemplos de señales continuas son la voz humana y, en general, todas las manifestaciones físicas de la naturaleza como temperatura, humedad, sonidos. Una señal discreta es, por ejemplo, una sucesión de pulsos cuadrados eléctricos que representan físicamente los bits; es decir, los 1's y 0's de la lógica binaria.

Una señal continua o discreta puede ser, además, periódica o aperiódica:

- Señal periódica. Es aquella en que un mismo patrón de señal se repite sucesivamente en el tiempo. En la Figura 3.1.1.2 se presentan dos ejemplos de señal periódica; en (a) se muestra como señal continua una onda seno, y en b) la señal discreta es una onda cuadrada. Desde el punto de vista matemático una señal $s(t)$ se define como periódica sí y solo sí:

$$s(t + T) = s(t), \text{ para } -\infty < t < \infty;$$

en donde T es el período de la señal y es el menor valor que satisface dicha condición.

- Señal aperiódica. Es toda señal en la que no se cumple la condición de señal periódica para ningún T finito.

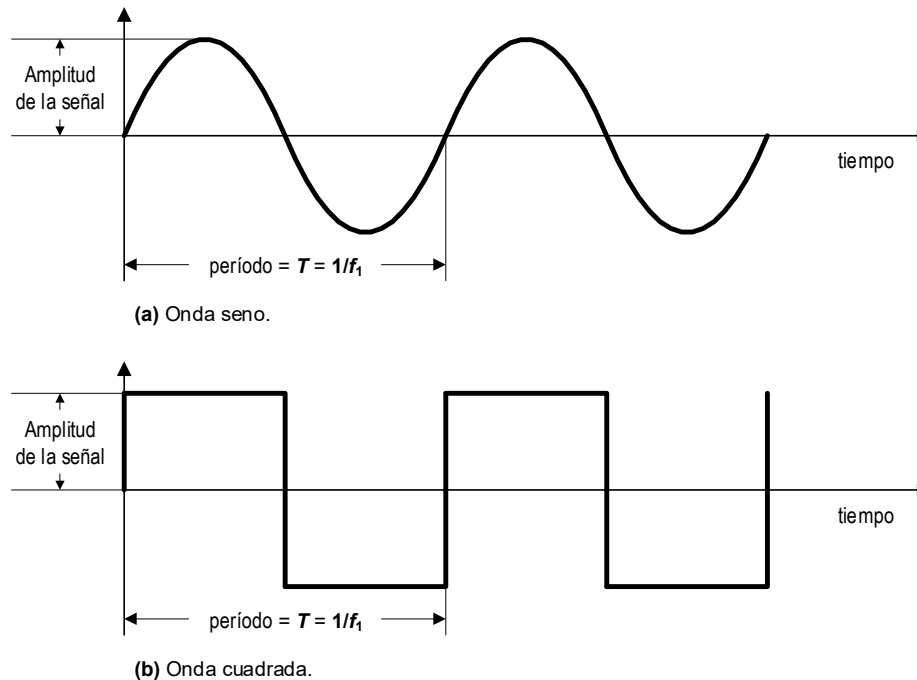


Figura 3.1.1.2: Señales periódicas y aperiódicas

Definiciones

- Señal. Desde un punto de vista general, señal es la variación de una entidad física en función del tiempo que transporta información. Conforme a la temática que aborda este texto, se considerarán específicamente las señales electromagnéticas que se envían por los enlaces de comunicación para transmitir datos a través de la distancia.
- Onda. Es la representación gráfica de la relación entre dos variables. Así, una señal puede representarse mediante una onda en un sistema de ejes coordenados: en el eje vertical se representa la amplitud de la señal que varía en cada instante de tiempo; en el eje horizontal se registra el transcurso del tiempo.
- Función. Es la expresión matemática de una onda.

Onda Seno

La onda seno es una onda fundamental continua y periódica que puede representarse mediante tres parámetros que son: amplitud (A) -, frecuencia (f) - y fase (ϕ).

- Amplitud. Es el máximo valor de la señal en el tiempo. Normalmente es una tensión eléctrica que se expresa en voltios. Puede ser también una corriente eléctrica expresada en amperes o una potencia expresada en vatios.
- Frecuencia. Es la velocidad en que se repite un ciclo de señal en una unidad de tiempo y se expresa en ciclos por segundo o Hertz. Otro parámetro usado es el

período (T), que es el tiempo que transcurre en un ciclo de señal. Por lo tanto, la relación que existe entre T y f es $T = 1/f$.

- Fase. Es una medida de la posición relativa de la señal con respecto a una referencia temporal, como puede ser el eje de las ordenadas en un sistema de ejes coordenados.

A continuación, se analiza cómo influyen estos tres parámetros en la forma y posición de la onda. La onda seno está representada por la función $s = A \sin(\alpha + \phi)$, donde A es la amplitud y $(\alpha + \phi)$ es el argumento de la función.

En dicho argumento α es la variable independiente y ϕ es una constante; ambos tienen dimensión de radianes o grados. Para que la función seno exprese una onda variable en el tiempo, es necesario que contenga en el argumento la variable tiempo t en forma explícita, para lo cual se necesita hacer un cambio de variables. En este sentido téngase presente que, cuando α varía entre 0 y 2π radianes en la función $\sin(\alpha)$, t lo hace entre 0 y T segundos en una onda seno que varía en función del tiempo. Haciendo la relación $\alpha/t = 2\pi/T = 2\pi f$ y despejando α se tiene que $\alpha = 2\pi ft$. Reemplazando este valor de α en la función original, se llega a:

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

En esta expresión la variable independiente es t y también están presentes los parámetros A , f y ϕ que son constantes. En la Figura 3.1.1.3 se muestra cómo se modifica la onda seno cuando varía uno de los parámetros manteniendo constantes los otros dos.

En la parte (a) de la Figura 3.1.1.3 la frecuencia es $f = 1\text{ Hz}$ (ciclos/seg), por lo tanto, el período es $T = 1$ seg. En la parte (b) la frecuencia y la fase son las mismas pero la amplitud es la mitad de la original. En la parte (c) se tiene $f = 2\text{ Hz}$, que equivale a $T = 0.5$ seg. Finalmente, en la parte (d) se muestra el efecto de correr la fase en $\pi/4$ radianes ó 45° .

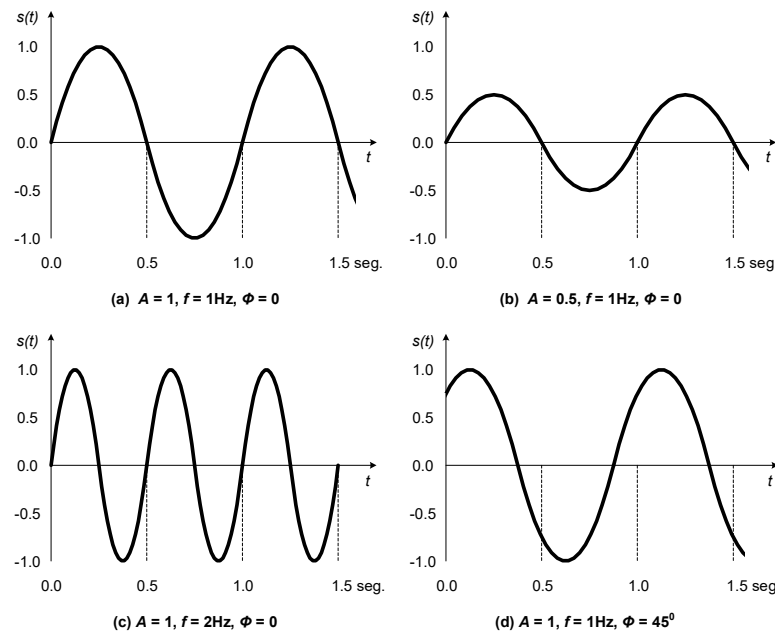


Figura 3.1.1.3: Representaciones de la función $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$ cuando varían los parámetros A , f y ϕ .

Interpretación de la onda seno en tiempo y en espacio

Los gráficos de la Figura 3.1.1.3 muestran la variación de una onda seno en función del tiempo. Una forma de visualizar esta variación es pararse en un punto dado del medio de transmisión y detectar con algún instrumento los valores que toma la señal a medida que transcurre el tiempo. Si se realiza un gráfico de estos valores para distintos intervalos de tiempo se obtiene un gráfico similar al de la Figura 3.1.1.3.

De forma similar se puede visualizar la variación de la señal a lo largo del medio de transmisión en un instante dado. En este caso es como sacarle una fotografía a la señal (tiempo detenido). Si se hace un gráfico utilizando un par de ejes coordenados de amplitud vs. distancia, se obtiene una onda seno que muestra el valor de la señal en cada punto del medio de transmisión en un instante dado. Por ejemplo, en el caso de una transmisión senoidal como onda electromagnética de radio que se genera desde una antena o el sonido que parte de un parlante, en un instante de tiempo dado, la intensidad de la señal variará en forma senoidal como función de la distancia desde la fuente.

Existen dos relaciones simples entre dos ondas seno, una en función del tiempo y otra en función del espacio. Se define la longitud de onda (λ) de una señal como la distancia ocupada por un ciclo, o, dicho de otro modo, como la distancia entre dos puntos de dos ciclos consecutivos en idéntico estado de excitación electromagnética. Supóngase que la señal viaja a una velocidad “ v ”. La longitud de onda λ está relacionada con el período T de la siguiente forma:

$$\lambda = vT ; \text{ otra expresión equivalente es } \lambda f = v$$

Tiene particular relevancia en esta discusión cuando $v = c$, donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre, cuyo valor es $c = 3 \times 10^8$ m/seg. Esta es la velocidad de propagación de una señal electromagnética en el aire.

Para el caso de tener que calcular la velocidad de propagación de una señal electromagnética en un medio guiado, se debe tener en cuenta el factor de velocidad de la línea.

El factor de velocidad de una línea de transmisión es la relación entre la velocidad de propagación de una señal en un cable y la velocidad de propagación de la luz en el espacio libre. La velocidad a la que viaja una onda electromagnética en una línea de transmisión, depende de la constante dieléctrica del material aislante que separa los dos conductores.

La constante dieléctrica es simplemente la permeabilidad relativa del material. La constante dieléctrica relativa del aire es 1.0006. Sin embargo, la constante dieléctrica de los materiales comúnmente utilizados en las líneas de transmisión varía de 1.2 a 2.8, dando factores de velocidad desde 0.6 a 0.9. La figura 3.1.1.4 muestra los distintos factores de velocidad para cada tipo de cable. Por ejemplo, en un cable trenzado Cat.6A, la velocidad de propagación de la señal será 195.000 m/s (metros sobre segundo)

VF (%)	Cable	capa física Ethernet
74-79	Cat-7 de par trenzado	
77	RG-8 / U	Mínimo para 10BASE5
67	Fibra óptica	Mínimo para 10BASE-FL , 100BASE-FX , ...
sesenta y cinco	RG-58A / U	Mínimo para 10BASE2
sesenta y cinco	Cat-6A de par trenzado	10GBASET
64	Cat-5e de par trenzado	100BASE-TX , 1000BASE-T
58.5	Cat-3 de par trenzado	Mínimo para 10BASE-T

Figura 3.1.1.4: Factor de velocidad de distintos tipos de cables

3.1.2. Análisis en el Dominio de la Frecuencia

El tratamiento formal de las señales en el dominio de la frecuencia es realizado por el Análisis de Fourier cuyo estudio escapa del alcance de este texto. Se intentará, en cambio, dar un concepto intuitivo de la relación entre la forma de una señal y las frecuencias que la constituyen mediante un método inductivo. Esto es, partiendo del resultado obtenido por Fourier se sigue luego con ejemplos relacionados.

Mediante el Análisis de Fourier se puede demostrar que cualquier señal está formada por componentes de distinta frecuencia, donde cada componente es una onda seno. Dicho de otra manera: una señal de cualquier forma puede descomponerse en simples ondas seno. Este resultado es de suma importancia, por cuanto el efecto que produce el medio de transmisión en una señal que lo atraviesa se puede expresar más claramente en términos de frecuencia, que en el dominio del tiempo.

La Onda Cuadrada

Como se mencionó anteriormente, normalmente una señal electromagnética está compuesta por muchas frecuencias. El caso más típico es el de la señal digital cuya forma se aproxima a la de una onda cuadrada. En esta sección se examinará la relación que existe entre una onda cuadrada periódica y sus componentes de frecuencia. En ese sentido, considérese la siguiente función:

$$s_1(t) = \text{sen}[2\pi ft] + (1/3) \text{sen}[2\pi(3f)t]$$

La expresión anterior representa una onda que tiene como componentes dos ondas seno de frecuencias f y $3f$ y amplitudes 1 y $1/3$, respectivamente. En la parte (a) de la Figura 3.1.2.1 se muestra la primera componente, en (b) la segunda, y en (c) se muestra la onda que resulta de sumar ambas componentes.

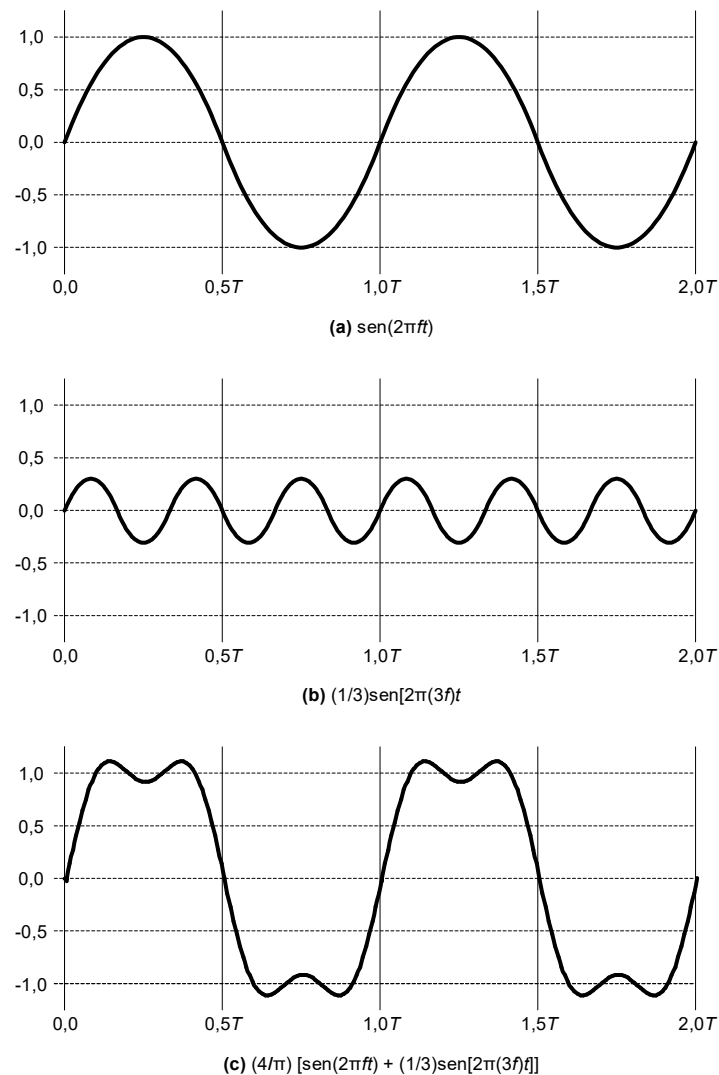


Figura 3.1.2.1: Suma de dos ondas seno. (a) onda fundamental (b) componente de frecuencia $3f$. (c) onda resultante de la suma de (a) y (b).

Considérese ahora las funciones $s_2(t)$ y $s_3(t)$ definidas como sigue:

$$s_2(t) = \text{sen } [2\pi ft] + (1/3) \text{ sen } [2\pi(3f)t] + (1/5) \text{ sen } [2\pi(5f)t]$$

$$s_3(t) = \text{sen } [2\pi ft] + (1/3) \text{ sen } [2\pi(3f)t] + (1/5) \text{ sen } [2\pi(5f)t] + (1/7) \text{ sen } [2\pi(7f)t]$$

$s_2(t)$ representa una onda que se obtiene de sumar tres ondas seno de frecuencias f , $3f$ y $5f$, y cuyas amplitudes son 1, $1/3$ y $1/5$, respectivamente. Mientras que $s_3(t)$ es la onda representada por $s_2(t)$ a la que se ha agregado una cuarta onda seno de frecuencia $7f$ y amplitud $1/7$. Las ondas que representan las funciones $s_2(t)$ y $s_3(t)$ se muestran en (a) y (b) de la Figura 3.1.2.2. A partir de las expresiones presentadas se pueden realizar algunas consideraciones interesantes:

- Las frecuencias de las ondas componentes en $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$ son múltiplos enteros de la primera frecuencia. Cuando todas las frecuencias de las componentes de una señal son múltiplos de una frecuencia, esta última se denomina frecuencia fundamental. En este caso la frecuencia fundamental es f .
- En las Figuras 3.1.2.1 y 3.1.2.2 puede observarse que el período de las señales resultantes $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$, es igual al período de la frecuencia fundamental. Es decir, el período de la componente $\text{sen } [2\pi ft]$ es $T = 1/f$, y el período de $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$ es también T .
- Observando las ondas de las Figuras 3.1.2.1(c) y 3.1.2.2 se puede concluir que, a medida que se agregan más términos de la forma $(1/k) \text{ sen } [2\pi(kf)t]$, con k impar, a la función $s(t) = \text{sen } [2\pi ft]$, la onda resultante se acerca cada vez más a la forma de la onda cuadrada de la Figura 3.1.2.2 (c).

Siguiendo un razonamiento inductivo a partir de la formación de las funciones $s_1(t)$, $s_2(t)$ y $s_3(t)$, se puede decir que la función $s(t)$, definida a continuación, representa una onda cuadrada de amplitud A y período $T = 1/f$:

$$s(t) = A (4/\pi) \sum_{k=1, k \text{ impar}}^{\infty} (1/k) \text{ sen } (2\pi kft)$$

Es decir, una onda cuadrada pura tiene infinitas componentes cuyas amplitudes y frecuencias se obtienen de acuerdo a lo indicado por la expresión anterior.

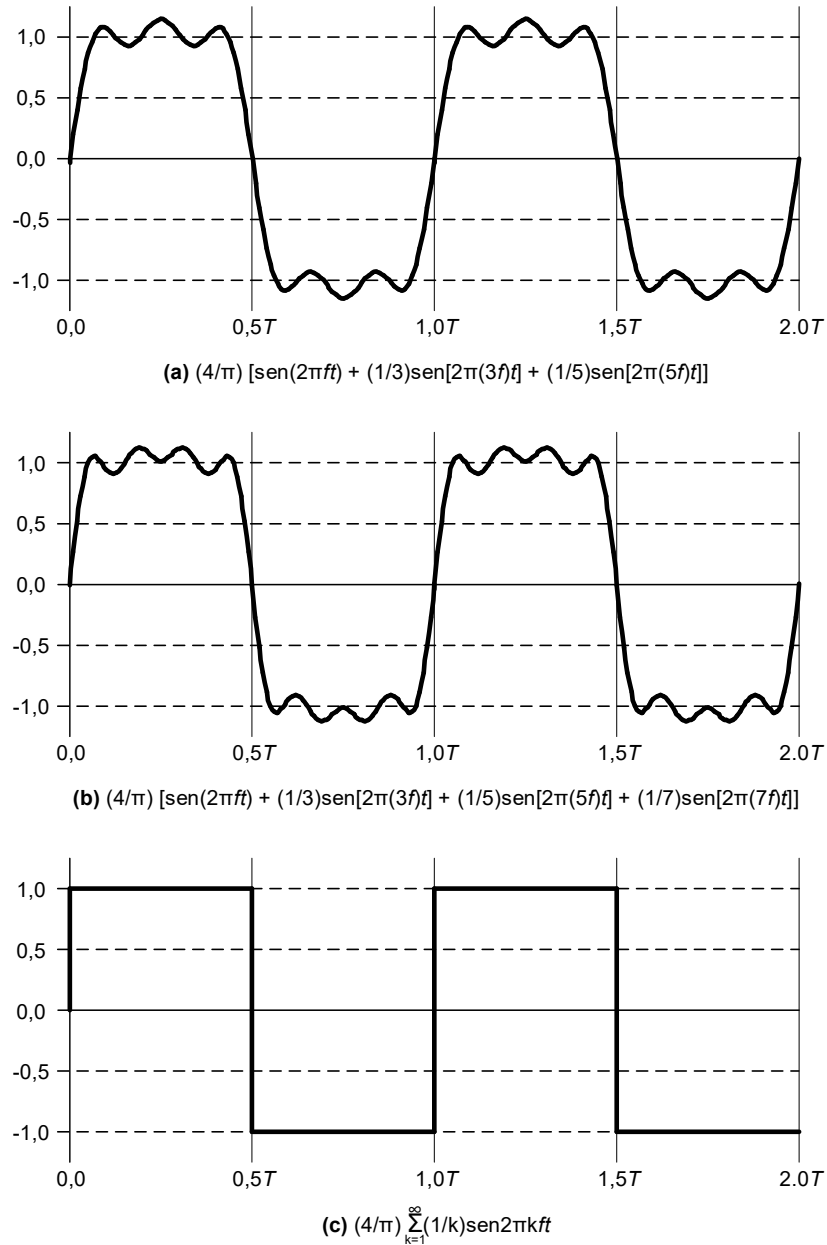


Figura 3.1.2.2: Onda resultante de sumar varias ondas senos

Función en el Dominio de la Frecuencia

De análisis anterior también se puede decir que para una señal con una función $s(t)$ que expresa la amplitud de la señal en cada instante de tiempo, existe una función $S(f)$ en el dominio de la frecuencia que expresa las frecuencias componentes de esa señal. A la izquierda de la Figura 3.1.2.3 se muestran, las ondas correspondientes a las funciones $s_2(t)$, $s_3(t)$ y $s(t)$, y a la derecha las respectivas funciones $S_1(f)$, $S_2(f)$ y $S(f)$. Cada par de funciones ($s(t)$ y $S(f)$), representan la misma señal en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, respectivamente.

El análisis de Fourier demuestra que $S(f)$ es siempre discreta cuando el rango en el tiempo de $s(t)$ va de $-\infty$ a $+\infty$. También se cumple que $S(f)$ es continua cuando la duración de $s(t)$ es finita en el tiempo.

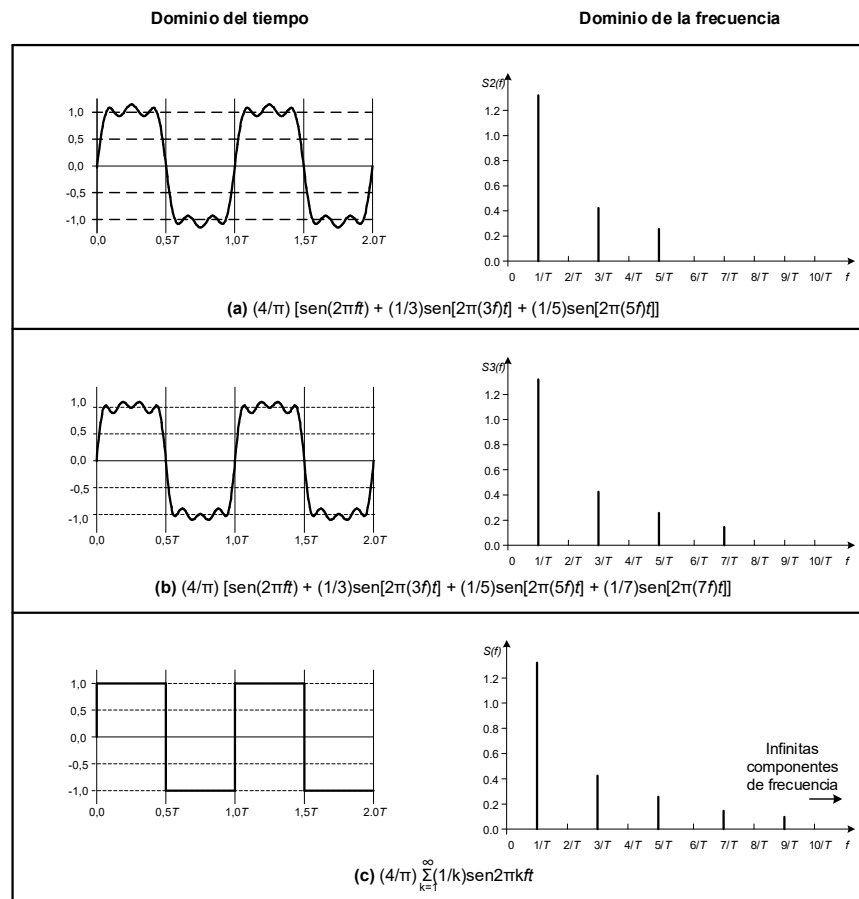


Figura 3.1.2.3: Funciones en el dominio del tiempo y de la frecuencia

Espectro de Frecuencia y Ancho de Banda

Se llama espectro de frecuencia de una señal al rango de frecuencias que ella contiene. Por ejemplo, para la señal de la Figura 3.1.2.2(a) el espectro de frecuencia se extiende desde f a $5f$ como se muestra en la Figura 3.1.2.3(a).

Ancho de Banda de una Señal

El ancho de banda absoluto de una señal es el ancho del espectro de frecuencia de la misma. En el caso de la señal de la Figura 3.1.2.3(a) el ancho de banda es $4f$, puesto que $5f - f = 4f$. En teoría, muchas señales, como la onda cuadrada mostrada en la Figura 3.1.2.3(c), tienen ancho de banda infinito. Sin embargo, los sistemas de comunicaciones sólo pueden aceptar señales con anchos de banda finitos. En una señal real la mayor parte de la energía está contenida en una banda de frecuencias relativamente angosta. A esta banda se la denomina ancho de banda efectivo o simplemente ancho de banda.

Ancho de Banda de un Medio de Transmisión

Cabe aclarar que el concepto de ancho de banda se aplica tanto a una señal como a un medio de transmisión. El ancho de banda de un medio de transmisión es el límite máximo que puede ocupar el espectro una señal o la suma de los espectros de varias señales

que lo atraviesan. Cuando el ancho de banda de la señal de entrada es mayor que el ancho de banda del medio, la señal resultante sufre la limitación de su espectro que es impuesta por el ancho de banda del medio. Esto da como resultado una señal de salida con un espectro más reducido que el de la señal de entrada.

Componente de Continua

Una componente particular que puede tener una señal real es la llamada componente de continua o componente constante. Esta componente se llama así porque se trata de una corriente o tensión continua, es decir, tiene una amplitud constante a lo largo del tiempo y su frecuencia es de valor 0. Por ejemplo, en la Figura 3.1.2.4 se muestra el resultado de adicionar una componente de continua a la señal de la Figura 3.1.2.1(d). Cuando no existe la componente de continua el promedio de la amplitud de una señal es cero como se puede ver en la representación de las señales en el dominio del tiempo. Mientras que, cuando una señal tiene componente de continua, tiene una componente de frecuencia cero y un promedio de amplitud distinta de cero.

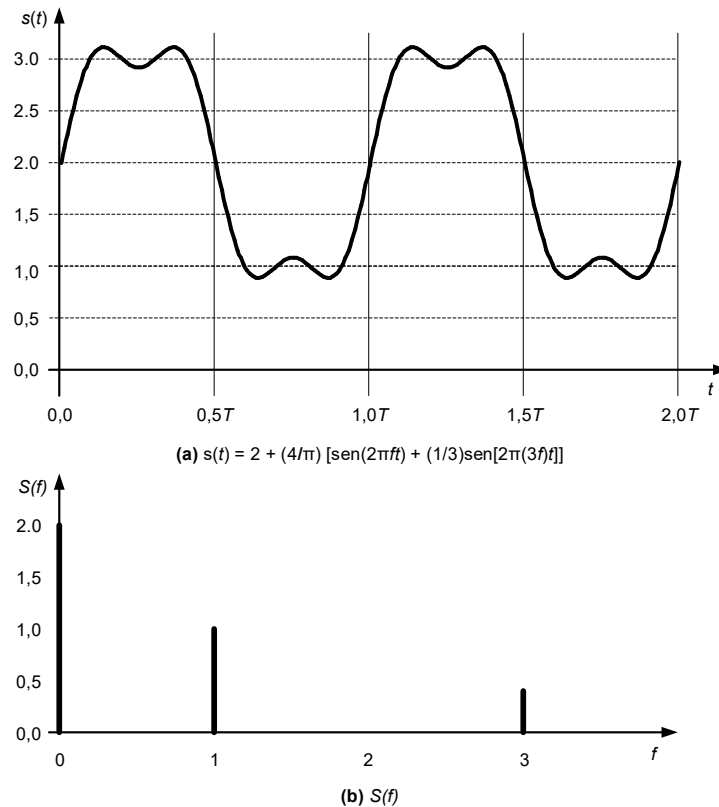


Figura 3.1.2.4: Señal con componente de continua

3.1.3. Velocidad de los Datos usando una Onda Cuadrada

Es útil analizar la relación que existe entre la velocidad de transmisión del dato con la forma de la señal que lo transporta. Se debe aclarar que son diversas las formas que puede tener la señal que transporta un dato dado, acción que se conoce como codificación. Este tema se analiza con detalle en el Capítulo 5, pero aquí se tratarán algunos aspectos cuando el dato se codifica mediante una onda cuadrada en que el pulso positivo representa, por ejemplo, el binario 1 y el pulso negativo el binario 0. Una onda cuadrada, por lo tanto, representa una secuencia alternada de 1's y 0's; es decir, 101010...

La pregunta aquí es ¿Qué relación existe entre la velocidad de transmisión de los datos y el ancho de los pulsos de la onda cuadrada? De acuerdo a la Figura 3.1.3.1, “un” bit es la mitad del período de la onda, es decir, $T/2$. Por definición de velocidad de transmisión de datos (cantidad de bits por unidad de tiempo), $v = 2/T = 2f_1$, donde f_1 es la frecuencia de la componente fundamental de la onda cuadrada. Obsérvese que la relación $v = 2/T$ es válida solamente cuando un bit es representado por un pulso de ancho $T/2$, donde T es el período de la onda cuadrada.

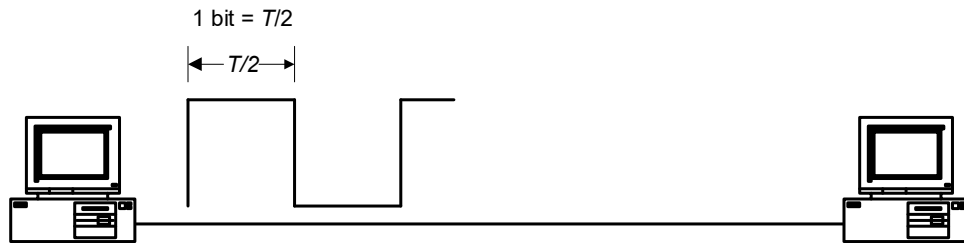


Figura 3.1.3.1: Transmisión de bits codificados por una onda cuadrada

Relación entre Velocidad de los Datos y Ancho de Banda

El concepto de ancho de banda efectivo de una señal es un poco impreciso cuando se dice que “es el ancho de banda dentro del cual está la mayor parte de la energía de la señal”. La expresión “mayor parte” es algo arbitraria en relación al diseño de los sistemas de comunicación. En este sentido, aunque una onda pueda contener frecuencias en un amplio rango, un medio de transmisión real, sólo aceptará una banda limitada de frecuencias.

Considérese nuevamente la onda cuadrada como medio para codificar una secuencia alternada de 1's y 0's. Se vio que la misma es representada por la función:

$$s(t) = A (4/\pi) \sum_{k=1, k \text{ impar}}^{\infty} (1/k) \text{sen}(2\pi k f_1 t)$$

Esta expresión indica que la onda cuadrada tiene infinitas componentes de frecuencia y, por lo tanto, un ancho de banda infinito. Sin embargo, la amplitud de la k -ésima componente es $1/k$; es decir, es tanto más pequeña cuánto más alta sea la frecuencia de la componente. Siendo la energía proporcional al cuadrado de la amplitud, se puede

decir que la mayor parte de la energía se encuentra concentrada en las primeras componentes de frecuencias. Caben aquí las preguntas:

- a) ¿Qué sucede si se limita el ancho de banda a las primeras componentes de frecuencia?
- b) ¿Qué relación tiene el ancho de banda con la velocidad de los datos? Las respuestas de estas dos preguntas se obtienen analizándose los tres casos siguientes.

Caso I: Onda con Tres Componentes y $f = 1$ MHz

Supóngase que se dispone de un sistema de transmisión digital con capacidad para transmitir señales con un ancho de banda de 4 MHz y se intenta transmitir una secuencia alternada de 1's y 0's empleando una onda cuadrada. Si se aproxima la misma a la forma de onda de la Figura 3.1.2.2 (a) se observa que, si bien esta onda se parece a una onda cuadrada “distorsionada”, es lo suficientemente parecida para que un receptor pueda discriminar entre un binario 0 y un binario 1. Ahora, si se toma $f = 10^6$ ciclos/segundo = 1 MHz, entonces se tiene la señal:

$$s(t) = \sin[(2\pi \cdot 10^6)t] + (1/3) \sin[(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6)t] + (1/5) \sin[(2\pi \cdot 5 \cdot 10^6)t]$$

El ancho de banda de la misma es: frecuencia límite superior menos frecuencia límite inferior = $5 \times 10^6 - 1 \times 10^6 = 4\text{MHz}$.

Siguiendo con la onda de la Figura 3.1.2.2(a), obsérvese que para $f = 1\text{MHz}$ el período de la frecuencia fundamental es $T = 1/10^6\text{seg} = 10^{-6}\text{seg} = 1 \mu\text{seg}$. Luego, si se considera que esta forma de onda representa una secuencia de 1's y 0's, se puede ver que un bit ocurre cada $0.5 \mu\text{seg}$, o bien, dos bits cada $1 \mu\text{seg}$, esto significa que la velocidad de datos es de $2 \times 10^6 \text{ bits/seg} = 2\text{Mbps}$. Como conclusión del análisis del presente caso se deduce que a través un ancho de banda de 4MHz se puede transmitir datos con una velocidad de hasta 2Mbps con una calidad razonable.

Caso II: Onda con Tres Componentes y $f = 2$ MHz

Supóngase ahora que el sistema de transmisión digital tiene un ancho de banda de 8MHz. Considérese nuevamente la Figura 3.1.2.2(a), pero ahora con $f = 2\text{MHz}$. Siguiendo la misma línea de razonamiento anterior, el ancho de banda de la señal es $(5 \times 2 \times 10^6)\text{Hz} - (2 \times 10^6)\text{Hz} = 8\text{MHz}$. En este caso $T = 1/f = 0.5\mu\text{seg}$. Este resultado indica que un bit ocurre cada $0.25 \mu\text{seg}$ para una velocidad de datos de 4Mbps.

Caso III: Onda con Dos Componentes y $f = 2$ MHz

Ahora supóngase que la onda de la Figura 3.1.2.1(c) (resultante de la suma de sólo dos componentes de frecuencia) es una aproximación adecuada a una onda cuadrada. Es decir, la diferencia entre un pulso positivo y uno negativo es lo suficientemente grande para que esa forma de onda pueda representar adecuadamente una

secuencia alternada de 1's y 0's. Considérese ahora que se toma $f = 2\text{MHz}$. Utilizando la misma línea de razonamiento de los ejemplos anteriores, el ancho de banda de la señal de la Figura 3.1.2.1(c) es $(3 \times 2 \times 10^6)\text{Hz} - (2 \times 10^6)\text{Hz} = 4\text{MHz}$. Pero en este caso $T = 1/f = 0.5\mu\text{seg}$; es decir, “un” bit ocurre cada $0.25 \mu\text{seg}$, lo que significa una velocidad de datos de 4Mbps.

Se puede resumir el análisis realizado de la siguiente forma:

- Caso I: Ancho de banda = 4Mhz, velocidad de transmisión = 2Mbps (usando 3 componentes).
- Caso II: Ancho de banda = 8Mhz, velocidad de transmisión = 4Mbps (usando 3 componentes).
- Caso III: Ancho de banda = 4Mhz, velocidad de transmisión = 4Mbps (usando 2 componentes).

Conclusiones de los Casos I, II y III

- Casos I y II: Muestran que, para una señal con un número dado de componentes, para lograr una velocidad de los datos dos veces mayor es necesario duplicar el ancho de banda de la señal. Bajo las mismas condiciones, en general se cumple que, para lograr una mayor velocidad, el ancho de banda de la señal necesario debe ampliarse en la misma proporción.
- Casos I y III: Muestran que, cuando se dispone de un dado ancho de banda, se puede tener mayor velocidad en los datos si se reducen las componentes de la señal.

Conclusiones sobre Ancho de Banda vs Velocidad de los Datos

- Hay una relación directa entre la velocidad de los datos y el ancho de banda de la señal que los transporta. Considerando una señal con un número dado de componentes de frecuencias, se tiene: a mayor velocidad de datos mayor es el ancho de banda efectivo requerido. Visto de otra forma: cuanto mayor es el ancho de banda de un sistema de transmisión, mayor es la velocidad de los datos que se pueden transmitir a través de ese sistema.
- En teoría, como se vio para la onda cuadrada, una señal digital tiene un ancho de banda infinito. Si se intentara transmitir esta señal a través de un medio, la naturaleza física del medio limitará el ancho de banda y realmente transmitirá una señal con un ancho de banda finito. Este recorte de frecuencias produce una distorsión en la señal de llegada respecto de la original.
- Por otro lado, cuanto mayor es el ancho de banda de la señal transmitida, mayor es el ancho de banda requerido del medio, y mayor es el costo de la transmisión.

Por lo tanto, el costo y el diseño práctico de los sistemas de comunicación exigen que la información a transmitir deba aproximarse a una señal con mínimo ancho de banda.

- No obstante, limitar el ancho de banda produce distorsiones en la señal, lo que hace dificultosa la tarea de interpretación de la información recibida por parte del receptor. Esto se debe a que, a mayor limitación del ancho de banda, mayor es la distorsión producida en la señal y mayor es la posibilidad de errores en la detección.

Las conclusiones anteriores se hacen a partir de considerar el caso particular de una onda cuadrada usada para transmitir una secuencia alternada de 1's y 0's.

Es útil considerar cuando no hay una variación alternada del valor de los bits, sino que hay secuencias de bits cuyo un valor se mantiene constante, como se muestra en la Figura 3.1.3.2. En éste caso se presenta una secuencia de bits que fluyen a una velocidad de 2.000 bits por segundo. En dicha figura se observa que con una señal con un ancho de banda de 2.500Hz e, incluso, de 1.700Hz se obtiene una representación muy buena. A partir de esta observación se pueden generalizar estos resultados. Si la velocidad de los datos es B bps, se puede obtener una buena representación otorgando a la señal que los representa un ancho de banda de $2B$ Hz. Sin embargo, a menos que el ruido presente sea muy alto, el patrón de bits puede ser recuperado con un ancho de banda menor que $2B$ Hz.

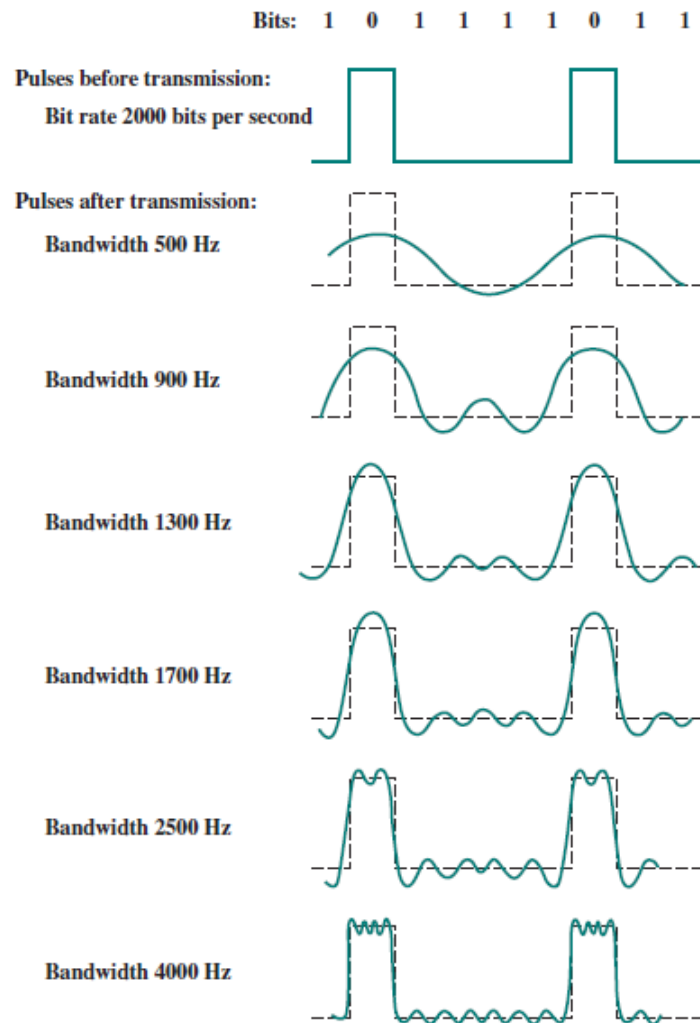


Figura 3.1.3.2: Efecto del ancho de banda en una señal

4. Capítulo 4: Transmisión de datos

Los términos analógico y digital corresponden, aproximadamente, a continuo y discreto, respectivamente. Estos dos términos se usan con frecuencia en comunicaciones de datos en al menos tres contextos: datos, señalización y transmisión.

Brevemente, se definen los datos como entidades que transmiten significado o información. Las señales son representaciones eléctricas o electromagnéticas de datos. La señalización es lo físico, incluye la propagación de la señal a lo largo de un medio adecuado. La transmisión es la comunicación de datos por propagación y procesamiento de señales.

En lo que sigue, se van aclarar estos conceptos abstractos discutiendo los términos analógico y digital aplicado a datos, señales y transmisión.

4.1. Datos analógicos y digitales

Los conceptos de datos analógicos y digitales son lo suficientemente simples. Los datos analógicos adquieren valores continuos en algún intervalo. Por ejemplo, la voz y el video son continuamente patrones variables de intensidad. La mayoría de los datos recopilados por los sensores, como la temperatura y presión, se valoran continuamente. Los datos digitales toman valores discretos; ejemplos son el texto y los valores enteros.

El ejemplo más conocido de datos analógicos es el audio, el cual, en forma de ondas sonoras acústicas, puede ser percibido directamente por los seres humanos. La figura 4.1.1 muestra el espectro acústico para el habla humana. Componentes de frecuencia típica del habla se puede encontrar entre aproximadamente los 100 Hz y 7 kHz. A pesar de que gran parte de la energía en el habla se concentra en las frecuencias más bajas, las pruebas han demostrado que las frecuencias por debajo de 600 o 700 Hz agregan muy poco a la inteligibilidad de discurso al oído humano. El habla típica tiene un rango dinámico de aproximadamente 25 dB¹; lo que implica que la potencia del grito más fuerte puede ser hasta 300 veces mayor, que el del menor susurro.

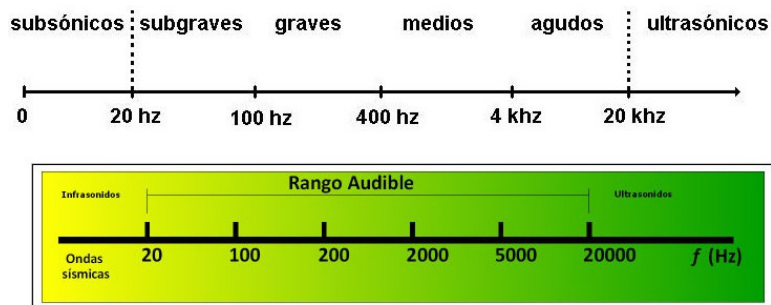


Figura 4.1.1: Espectro acústico para el habla humana

Un ejemplo familiar de datos digitales son las cadenas de texto o la cadena de caracteres. Mientras el dato en forma de texto es lo mejor para los seres humanos, estos

¹ dB, decibelio, es una unidad que se utiliza para expresar la relación entre dos valores de presión sonora, o tensión y potencia eléctrica (no es una unidad de medida)

no pueden almacenarse o ser transmitidos fácilmente. Los sistemas están diseñados para datos binarios.

Así, se han ideado varios códigos, por el cual los caracteres están representados por una secuencia de bits. Quizás el primer y más común ejemplo de esto es el código Morse. Hoy, el código de texto más utilizado es el Alfabeto internacional de referencia (IRA). Cada carácter en este código está representado por un patrón único de 7 bits; así se pueden representar 128 caracteres diferentes (Figura 4.1.2). Este es un número mayor que el necesario, y algunos de los patrones representan caracteres de control invisibles. Los caracteres codificados con IRA casi siempre se almacenan y son transmitidos utilizando 8 bits por carácter. El octavo bit es un bit de paridad usado para la detección de errores. Este bit se establece en valor 1 cuando el número total de 1 binarios en cada octeto es impar (si se utiliza paridad impar) o cuando sea par (si se utiliza paridad par). Por lo tanto, un error de transmisión que se pueden detectar cambios de un solo bit, o cualquier número impar de bits.

				b7	0	0	0	0	1	1	1	1
				b6	0	0	1	1	0	0	1	1
				b5	0	1	0	1	0	1	0	1
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1						
0	0	0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P
0	0	0	0	1	0	0	SOH	DC1	!	1	A	Q
0	0	0	1	0	0	0	STX	DC2	"	2	B	R
0	0	0	1	1	0	0	ETX	DC3	#	3	C	S
0	1	0	0	0	0	0	EOT	DC4	\$	4	D	T
0	1	0	0	1	0	0	ENQ	NAK	%	5	E	U
0	1	1	0	0	0	0	ACK	SYN	&	6	F	V
0	1	1	1	0	0	0	BEL	ETB	'	7	G	W
1	0	0	0	0	0	0	BS	CAN	(8	H	X
1	0	0	0	1	0	0	HT	EM)	9	I	Y
1	0	0	1	0	0	0	LF	SUB	*	:	J	Z
1	0	0	1	1	0	0	VT	ESC	+	;	K	[
1	1	0	0	0	0	0	FF	FS	,	<	L	\
1	1	0	0	1	0	0	CR	GS	-	=	M]
1	1	1	0	0	0	0	SO	RS	.	>	N	^
1	1	1	1	0	0	0	SI	US	/	?	O	_
1	1	1	1	1	0	0						DEL

Figura 4.1.2: Alfabeto internacional IRA

La transmisión de video lleva secuencias de imágenes en el tiempo. En esencia, el video utiliza una secuencia de imágenes de barrido de trama. Aquí es más fácil caracterizar los datos en términos de la televisión o el monitor de la computadora del espectador (destino) en lugar de la escena original (fuente) grabada por la cámara de video.

El video puede ser capturado por grabadoras de video analógicas o digitales. El video que se captura puede transmitirse usando señales continuas (analógico) o discretas (digital); pueden ser recibidas por dispositivos de visualización analógicos o digitales, y pueden almacenarse en formatos de archivo analógico o digital.

Los primeros televisores y monitores de computadora utilizaron un tubo de tecnología de rayos catódicos (CRT). Estos son dispositivos inherentemente analógicos que usan una pistola de electrones para pintar imágenes en la pantalla. El arma emite un haz de electrones que escanea a través de la superficie de la pantalla de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Para la televisión en blanco y negro, la cantidad de iluminación producida (en una escala de negro a blanco) en cualquier punto es proporcional a la intensidad del haz cuando pasa ese punto. Así en cualquier instante, el

haz adquiere un valor analógico de intensidad, lo que permite producir el brillo deseado. Además, a medida que el haz escanea, el valor analógico cambia. Por lo tanto, la imagen de video puede considerarse como una señal analógica que varía con el tiempo.

El término video digital se refiere a la captura, manipulación y almacenamiento de video en formatos digitales. Las videocámaras digitales capturan imágenes en movimiento digitalmente. En esencia, esto se hace tomando una serie de fotografías digitales, a una velocidad de al menos 30 cuadros por segundo.

4.2. Señales Analógicas y Digitales

En un sistema de comunicaciones, los datos se propagan de un punto a otro por medios de señales electromagnéticas. Una señal analógica es una onda electromagnética que varía continuamente que se puede propagar a través de una variedad de medios, dependiendo del espectro. Ejemplos de medios guiados son: el cable par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica; mientras que ejemplos de medios no guiados son la atmósfera o la propagación espacial.

Una señal digital es una secuencia de pulsos de voltaje que pueden transmitirse a través de un medio guiado; por ejemplo, un nivel de voltaje positivo constante puede representar 0 binario y un nivel de voltaje negativo para representar un 1 binario.

Las principales ventajas de la señalización digital son que generalmente es más barata que la señalización analógica y es menos susceptible a la interferencia de ruido. La desventaja principal es que las señales digitales sufren más de atenuación que las señales analógicas.

La figura 4.2.1 muestra una secuencia de pulsos de voltaje, generados por una fuente emisora que utiliza dos niveles de voltaje, los cuales recorren una distancia a través de un medio conductor y luego son recibidos por una fuente receptora. Debido a la atenuación, o reducción, de la intensidad de la señal a frecuencias más altas, los pulsos se vuelven redondeados y más pequeños. Debe quedar claro que esta atenuación puede conducir bastante rápido a la pérdida de la información contenida en la señal propagada.

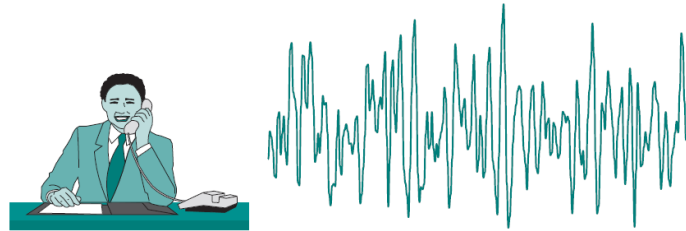
En lo que sigue, primero veremos algunos ejemplos específicos de tipos de señales y luego se discutirá la relación entre datos y señales.



Figura 4.2.1: Atenuación de una señal digital

Primero, consideramos la información de audio o acústica. Una forma de información acústica, por supuesto, es el habla humana. Esta forma de información se

convierte fácilmente a una señal electromagnética para la transmisión (Figura 4.2.2). En esencia, todas las frecuencias del sonido, cuya amplitud se mide en términos de volumen, se convierten en frecuencias electromagnéticas, cuya amplitud se mide en voltios. El teléfono contiene un mecanismo simple para realizar dicha conversión.



En este gráfico de una señal de voz analógica típica, las variaciones en amplitud y frecuencia transmiten el grado de volumen y tono en el habla o la música. Se utilizan señales similares para transmitir imágenes en televisión, pero usando frecuencias mucho más altas.

Figura 4.2.2: Entrada de voz, salida de señal analógica

En el caso de los datos acústicos (voz), los datos se pueden representar directamente por una señal electromagnética que ocupa el mismo espectro. Sin embargo, hay que atender a una relación “costo/beneficio”, entre el costo de transmisión y la fidelidad del sonido transmitido eléctricamente, ya que, a mayor ancho de banda, más alto es el costo del servicio. Como se mencionó, el espectro del habla es de aproximadamente de 100 Hz a 7 kHz, aunque es con un ancho de banda mucho más estrecho que se puede reproducir voz en una forma aceptable. El espectro estándar para un canal de voz es de 300 a 3400 Hz. Esto es adecuado para la transmisión del habla, minimiza la capacidad de transmisión requerida y permite el uso de aparatos telefónicos de bajo costo. El transmisor telefónico convierte la voz acústica entrante en una señal electromagnética en el rango de 300 a 3400 Hz. Esta señal luego se transmite a través del sistema telefónico a un receptor, que lo reproduce como sonido acústico.

Se analiza ahora la señal de video. Para producir una señal de video, se usa una cámara de TV, la cual realiza funciones similares a la del receptor de TV. Un componente de la cámara es una placa fotosensible, sobre la cual se enfoca ópticamente una escena. Un rayo de electrones barre la placa de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Con el barrido de rayos, se desarrolla una señal eléctrica analógica proporcional al brillo de la escena en un lugar particular. Mencionamos que se escanean un total de 483 líneas a una velocidad de 30 escaneos completos por segundo. Este es un número aproximado teniendo en cuenta el tiempo perdido durante el intervalo de retroceso vertical. El estándar actual de Argentina (NTSC, National Television System Committee) tiene 525 líneas, pero de estas aproximadamente 42 se pierden durante el retroceso vertical. Así, la frecuencia de escaneo horizontal es de $(525 \text{ líneas}) \times (30 \text{ escaneos}) = 15,750 \text{ líneas por segundo}$, o $63,5 \mu\text{s} / \text{línea}$. De los $63,5 \mu\text{s}$, se usan aproximadamente $11 \mu\text{s}$ para el retroceso horizontal, dejando un total de $52,5 \mu\text{s}$ por línea de video.

Con estos datos se está en condiciones de estimar el ancho de banda requerido para la señal de video. Para hacer esto debemos estimar los valores: superior

(máximo) e inferior (mínimo) de frecuencia de la banda. Utilizamos el siguiente razonamiento para llegar a la frecuencia máxima:

- La frecuencia máxima ocurriría durante la exploración horizontal si la escena alternaría entre blanco y negro lo más rápido posible. Podemos estimar este valor máximo considerando la resolución de la imagen de video. En la dimensión vertical hay 483 líneas, por lo que la resolución vertical máxima sería 483. Los experimentos han demostrado que la resolución subjetiva real es aproximadamente el 70% de ese número, o sea alrededor de 338 líneas. En aras de una imagen equilibrada, las resoluciones horizontal y vertical deben ser casi iguales. Dado que una resolución típica de pantalla de TV de ancho a alto es 4:3, la resolución horizontal debe ser aproximadamente $4/3 * 338 = 450$ líneas.
- En el peor de los casos, una línea de escaneo estaría formada por 450 elementos alternando en blanco y negro. El escaneo resultaría en una onda, y cada ciclo de la onda consistiría de un nivel de voltaje más alto (negro) y uno más bajo (blanco). Por lo tanto, habría que calcular $450/2 = 225$ ciclos de la onda en 52.5 ms, para una frecuencia máxima de aproximadamente 4.2 MHz.

Este razonamiento aproximado, de hecho, es bastante preciso. El límite inferior es una componente de continua o frecuencia cero, donde la componente de continua representa a la iluminación promedio de la escena (el valor promedio por el cual el brillo excede el nivel de referencia de negro). Por lo tanto, el ancho de banda de la señal de video es de aproximadamente $4 \text{ MHz} - 0 = 4 \text{ MHz}$.

La discusión anterior no consideró los componentes de color o audio de la señal. Resulta que, con estos incluidos, el ancho de banda sigue siendo de aproximadamente 4 MHz.

Finalmente, el tercer ejemplo descrito es el caso general de los datos binarios. Los datos binarios son generados por terminales, computadoras y otros equipos de procesamiento de datos y luego se convierten en pulsos de voltaje digital para la transmisión, como se ilustra en la Figura 4.2.3. Una señal de uso común para dichos datos utiliza dos niveles de voltajes constantes: un nivel para binario 1 y un nivel para binario 0. (En el próximo capítulo veremos que esta es solo una alternativa, conocida como no retorno a cero (NRZ).) Nuevamente, se está interesado en conocer el ancho de banda de la señal. Esto dependerá, en cualquier caso, en la forma exacta de la forma de onda y la secuencia de 1s y 0s. Se puede tener cierta comprensión al considerar la Figura 3.1.3.2 en comparación con la Figura 3.1.2.2. Como se puede ver, cuanto mayor sea el ancho de banda de la señal, más fielmente se aproxima un flujo de pulso digital

Datos y señales

En la discusión anterior, hemos analizado las señales analógicas, usadas para representar datos analógicos y señales digitales, usadas para representar datos digitales. En general, los datos analógicos son una función del tiempo y ocupan un espectro de frecuencia limitada; tales datos pueden ser representados por una señal electromagnética que ocupa el mismo espectro. Los datos digitales pueden ser

representados por señales digitales, con un diferente nivel de voltaje para cada uno de los dos dígitos binarios

En la Figura 4.2.3 se puede observar que la entrada del usuario en una PC se convierte en un flujo de dígitos binario (1s y 0s). En este gráfico de una señal digital típica, el uno binario está representado por -5 voltios y el cero binario es representado por $+5$ voltios. La señal para cada bit tiene una duración de 0.02 ms, dando una velocidad de datos de $50,000$ bits por segundo (50 kbps).

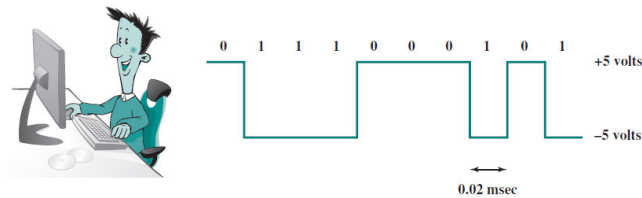


Figura 4.2.3: Conversión de una entrada en el teclado en una señal digital

Como ilustra la figura 4.2.4, estas no son las únicas posibilidades. Datos digitales pueden también ser representados mediante señales analógicas haciendo uso de un módem (modulador / demodulador).

El módem convierte una serie de pulsos de voltaje binarios (dos valores) en una señal analógica al codificar los datos digitales en una frecuencia portadora. La señal resultante ocupa un cierto espectro de frecuencia centrada en la portadora y puede propagarse a través de un medio adecuado para ese portador. Los módems más comunes representan datos digitales en el espectro de voz y, por lo tanto, permiten que esos datos se propaguen a través de líneas telefónicas ordinarias con calidad de voz. En el otro extremo de la línea, otro módem demodula la señal para recuperar los datos originales.

En una operación muy similar a la realizada por un módem, los datos analógicos pueden estar representado por señales digitales. El dispositivo que realiza esta función para la voz se llama códec (codificador-decodificador). En esencia, el códec toma una señal analógica que representa directamente los datos de voz y aproxima esa señal a un flujo de bits. En el extremo receptor, el flujo de bits se utiliza para reconstruir los datos analógicos.

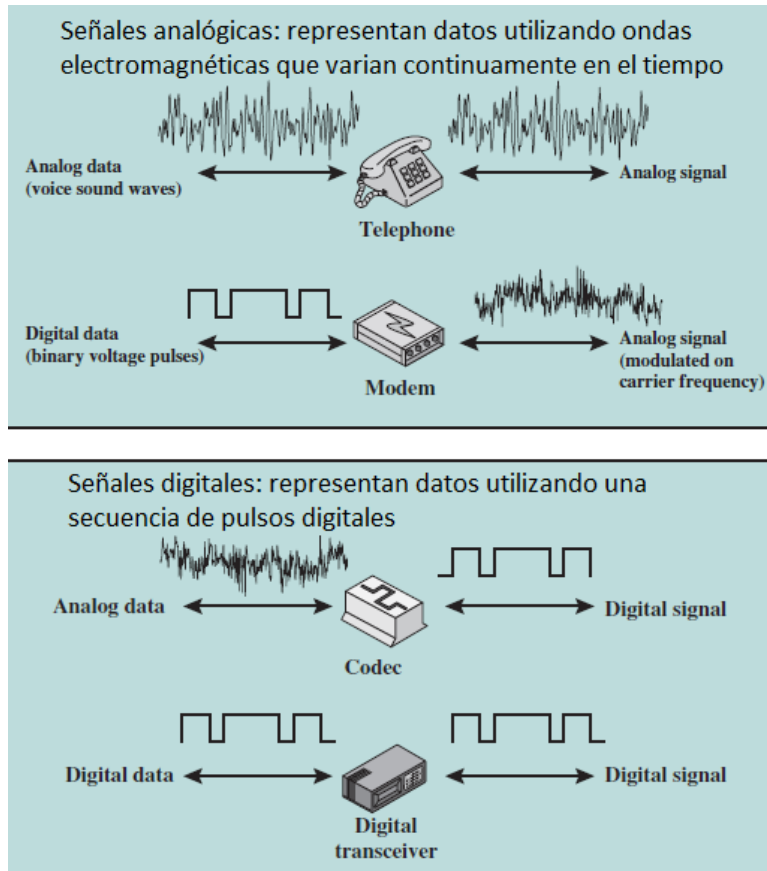


Figura 4.2.4: Generación de señales analógicas y digitales a partir de datos analógicos y digitales

4.3. Transmisión analógica y digital

Ambas señales analógicas y digitales pueden transmitirse en medios de transmisión adecuados. La forma en que se tratan estas señales es una función del sistema de transmisión. La Tabla 4.2.5 resume los métodos de transmisión de datos.

(a) Datos y Señales

	Señal Analógica	Señal Digital
Dato Analógico	Dos alternativas: (1) señal ocupa el mismo espectro que los datos analógicos (2) datos analógicos están codificados para ocupar una diferente porción del espectro.	Los datos analógicos se codifican usando un código para producir un flujo de bits digital.
Dato Digital	Los datos digitales se codifican usando un módem para producir señal analógica.	Dos alternativas: (1) la señal consta de dos voltajes niveles para representar los dos valores binarios; (2) digital los datos se codifican para producir una señal digital con propiedades deseadas

(b) Tratamiento de la Señal

	Transmisión Analógica	Transmisión Digital
Señal Analógica	Se propaga a través de amplificadores; mismo tratamiento si la señal es utilizado para representar datos analógicos o información digital.	Asume que la señal analógica representa digital datos. La señal se propaga a través de repetidores; a cada repetidor, los datos digitales se recuperan de señal de entrada y se utiliza para generar un nuevo análogo señal de salida
Señal Digital	No usado	La señal digital representa un flujo de 1s y 0s, que puede representar datos digitales o puede ser un codificación de datos analógicos. La señal se propaga a través de repetidores; en cada repetidor, flujo de 1s y 0s se recupera de la señal entrante y se utiliza para generar una nueva señal de salida digital.

Tabla 4.2.5: Resumen de los métodos de transmisión de datos

La transmisión analógica es un medio de transmitir señales analógicas sin tener en cuenta su contenido; las señales pueden representar datos analógicos (por ejemplo, voz) o datos digitales (por ejemplo, datos binarios que pasan a través de un módem). En cualquier caso, la señal analógica se debilitará (atenuará) después de cierta distancia. Para alcanzar distancias más largas, el sistema de transmisión analógica incluye amplificadores que aumentan la energía en la señal. Figura 4.2.6. Desafortunadamente, el amplificador también aumenta los componentes de ruido. Con amplificadores en cascada para alcanzar largas distancias, la señal se vuelve más y más distorsionada. Para datos analógicos, como voz, se puede tolerar algún grado de distorsión, los datos seguirán siendo inteligibles. Sin embargo, para datos digitales, los amplificadores en cascada introducirán errores.

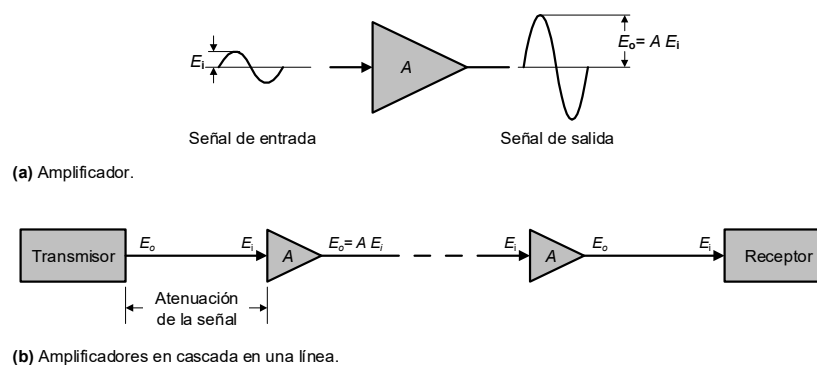


Figura 4.2.6: Amplificador: $E_o = A E_i$, donde A es la amplificación, E_o es la amplitud de la señal de salida y E_i la amplitud de la señal de entrada del amplificador

La transmisión digital (Figura 4.2.7), por el contrario, supone un contenido binario para la señal. Una señal digital se puede transmitir solo a una distancia limitada antes de la atenuación, ruido y otros impedimentos pongan en peligro la integridad de los datos. Para lograr mayores distancias se utilizan repetidores. Un repetidor recibe la señal digital, recupera el patrón de 1s y 0s, y retransmite una nueva señal. Así se supera la atenuación.

Se puede usar la misma técnica con una señal analógica si se supone que la señal transporta datos digitales. En puntos apropiadamente espaciados, el sistema de transmisión tiene repetidores en lugar de amplificadores. El repetidor recupera los datos digitales de la señal analógica y genera una nueva señal analógica limpia. Por lo tanto, el ruido no es acumulativo.

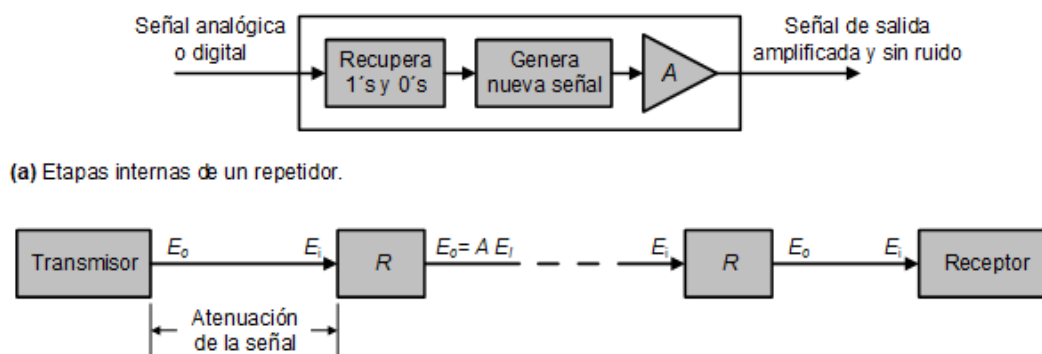


Figura 4.2.7: Repetidor: $E_o = E_i$, E_o es la amplitud de la señal de salida y E_i la amplitud de la señal de entrada del amplificador

La pregunta que surge naturalmente es cuál es el método preferido de transmisión. La respuesta es proporcionada por la industria de las telecomunicaciones y sus clientes contundente: digital. Tanto las instalaciones de telecomunicaciones de larga distancia como las de interedificios, los servicios se han trasladado a la transmisión digital y, cuando sea posible, a las técnicas de señalización digital. Las razones más importantes son las siguientes:

- Tecnología digital: el advenimiento de la integración a gran escala (LSI) y a muy gran escala (VLSI). La tecnología de integración (VLSI) ha causado una caída continua en el costo y tamaño de los circuitos digitales. El equipo analógico no ha mostrado una caída similar.
- Integridad de los datos: con el uso de repetidores en lugar de amplificadores, los efectos del ruido y otras degradaciones de la señal no son acumulables. Por lo tanto, es posible transmitir datos a distancias más largas y a través de líneas de menor calidad por medios digitales, mientras se mantiene la integridad de los datos.
- Utilización de la capacidad: se ha vuelto económico construir enlaces de transmisión de ancho de banda muy alto, incluidos canales satelitales y fibra óptica. Para poder utilizar de forma efectiva estos enlaces de tan gran ancho

de banda, es necesario aplicar la técnica de multiplexación, lo cual se logra de manera más fácil y económica con técnicas digitales (división de tiempo) en lugar de técnicas analógicas (división de frecuencia).

- Seguridad y privacidad: las técnicas de cifrado se pueden aplicar fácilmente a la tecnología digital, para datos digitales y datos analógicos que han sido digitalizados.
- Integración: al tratar digitalmente los datos analógicos y digitales, todas las señales tienen la misma forma y se puede tratar de manera similar. Así se pueden mejorar los costos aplicando economías de escala integrando voz, video y datos digitales.

4.4. Transmisión asincrónica y sincrónica

La recepción de datos digitales implica muestrear la señal entrante una vez por tiempo de bit para poder determinar el valor binario. Una de las dificultades encontradas en tal proceso es que varias alteraciones en la transmisión corromperán la señal de modo que ocasionalmente se producirán errores. Este problema se agrava por una dificultad de tiempo: con el objetivo de que el receptor muestree los bits entrantes correctamente, debe conocer la hora de llegada y la duración de cada bit que recibe.

Supongamos que el emisor simplemente transmite un flujo de bits de datos. El remitente tiene un reloj que gobierna el tiempo de los bits transmitidos. Por ejemplo, si los datos van a ser transmitidos a una velocidad de 1 millón de bits por segundo (1 Mbps), entonces se transmitirá un bit cada $1/10^6 = 1$ microsegundo (μs), medido por el reloj del emisor. Típicamente, el receptor intentará muestrear el medio en el centro de cada tiempo de bit. Así, el receptor cronometrará sus muestras a intervalos de un bit. En nuestro ejemplo, el muestreo ocurriría una vez cada 1 μs . Si el receptor cronometra sus muestras basándose en su propio reloj, entonces habrá un problema si los relojes del transmisor y del receptor no están alineados con precisión. Si hay una diferencia del 1% (el reloj del receptor es 1% más rápido o más lento que el reloj del transmisor), entonces el primer muestreo será 0.01 de tiempo (0.01 μs) más lejos del centro del bit (el centro del bit está a 0.5 μs desde el principio y hasta el final). Después de 50 o más muestras, el receptor va a interpretar un valor que es distinto del enviado, habrá un claro error porque está muestreando en el tiempo de bits incorrecto ($50 \cdot 0.01 = 0.5 \mu s$). Para diferencias de tiempo más pequeñas, el error ocurrirá más tarde, pero eventualmente el receptor estará fuera de sintonía con el transmisor si el transmisor envía un flujo de bits suficientemente largo y no se toman medidas para sincronizar el transmisor y el receptor.

Dos enfoques son comunes para lograr la sincronización deseada. Lo primero se llama, curiosamente, transmisión asincrónica. La estrategia con este esquema es evitar el problema de tiempo al no enviar secuencias largas e ininterrumpidas de bits. En cambio, los datos se transmiten un carácter a la vez, donde cada carácter es de 5 a 8 bits de longitud. El tiempo o la sincronización solo deben mantenerse dentro de cada

caracter; el receptor tiene la oportunidad de re sincronizar al principio de cada nuevo caracter.

Con la transmisión síncrona, un bloque de bits se transmite en un flujo constante sin códigos de inicio y parada. El bloque puede tener muchos bits de longitud. Para evitar el tiempo a la deriva entre el transmisor y el receptor, sus relojes deben estar sincronizados de alguna manera. Una posibilidad es proporcionar una línea de reloj separada entre el transmisor y el receptor. Un lado (transmisor o receptor) pulsa la línea regularmente con un pulso corto por tiempo de bit. El otro lado usa estos pulsos regulares como reloj. Esta técnica funciona bien en distancias cortas, pero en distancias más largas los pulsos de reloj están sujetos al mismo deterioro que la señal de datos, y pueden ocurrir errores de tiempo. La otra alternativa es incrustar la información de reloj en la señal de datos. Para señales digitales, esto se puede lograr con Manchester o con la codificación diferencial Manchester. Para señales analógicas se pueden utilizar varias técnicas; por ejemplo, la frecuencia portadora en sí mismo puede usarse para sincronizar el receptor en función de la fase de la portadora.

Con la transmisión sincrónica, hay otro nivel de sincronización requerido para permitir que el receptor determine el principio y el final de un bloque de datos. Para lograr esto, cada bloque comienza con un patrón de bits de preámbulo y generalmente finaliza con un patrón de bits de final de trama. Además, se agregan otros bits al bloque que transmite información de control utilizada en los procedimientos de control de enlace de datos. Los datos más la información de preámbulo, final de trama y control se denomina trama. El formato exacto de la trama depende de qué procedimiento de control de enlace de datos se esté utilizando.

4.5. Perturbaciones en la transmisión

En todo sistema de comunicación real, la señal recibida es diferente de la señal transmitida debido a perturbaciones que esta última sufre a lo largo de la transmisión y que obedecen a diversas causas. En las señales analógicas estas perturbaciones producen modificaciones aleatorias que degradan la calidad de la señal. En las señales digitales se introducen errores en los bits; por ejemplo, un 1 binario es transformado en un 0 ó viceversa. En esta sección se estudiarán los distintos tipos de perturbaciones y los efectos que producen en la señal, reduciendo de este modo la capacidad de transporte de información de los enlaces de comunicación. Las principales causas de perturbación son:

- Atenuación
- Distorsión por retardo
- Ruido

Estos fenómenos se tratan a continuación.

4.5.1. Atenuación

La intensidad de una señal disminuye con la distancia sobre cualquier medio de transmisión guiado (p. ej., cable de par trenzado, fibra óptica). Esta reducción de la intensidad debido a la resistencia en el cable, o atenuación, generalmente es exponencial y, por lo tanto, normalmente se expresa como por un número constante de decibelios por unidad de distancia². Para medios no guiados (transmisión inalámbrica), la atenuación es una función más compleja de la distancia y la composición de la atmósfera. La atenuación introduce tres consideraciones para la ingeniería de la transmisión:

- Una señal recibida debe tener la fuerza suficiente para que el circuito electrónico en el receptor puede detectar e interpretar la señal.
- La señal debe mantener un nivel suficientemente alto respecto al ruido para ser recibido sin error.
- La atenuación es mayor a frecuencias más altas, y esto causa distorsión.

La primera y segunda consideración se tratan inyectando fuerza a la señal, haciendo uso de amplificadores o repetidores. Para un enlace punto a punto, la fuerza de la señal que genera el transmisor debe ser lo suficientemente potente como para ser recibida de manera inteligible, pero no tan fuerte como para sobrecargar los circuitos del transmisor o receptor, lo que causaría distorsión. Más allá de cierta distancia, la atenuación se vuelve tan grande que los repetidores o amplificadores deben instalarse a intervalos regulares para aumentar la señal. Estos problemas son más complejos para líneas multipunto donde la distancia desde el transmisor al receptor es variable.

La tercera consideración, conocida como distorsión de atenuación, es particularmente notable para señales analógicas. Debido a que la atenuación es diferente para diferentes frecuencias y la señal está compuesta por varios componentes a diferentes frecuencias, la señal recibida no solo se reduce en intensidad, sino que también se distorsiona. Para superar este problema, hay técnicas disponibles para igualar la atenuación en una banda de frecuencias. Esto se hace comúnmente para líneas telefónicas de voz mediante el uso de bobinas de carga que cambian las propiedades eléctricas de la línea; el resultado busca suavizar los efectos de atenuación. Otro enfoque es usar amplificadores que amplifiquen frecuencias altas con mayor potencia que las frecuencias bajas.

En la siguiente Figura 4.5.1.1 se muestra la atenuación como una función de frecuencia para una línea punto a punto típica. En la figura, la atenuación se mide en relación a la atenuación respecto a 1000 Hz. Los valores positivos en el eje “y” representan la atenuación aplicada a los 1000 Hz. Se aplica un tono de 1000 Hz de un nivel de potencia dado a la entrada, y la potencia, P_{1000} , se mide en la salida. Para cualquier otra frecuencia f , el procedimiento se repite y la atenuación relativa en decibelios es:

$$N_f = -10 \log_{10} (P_f / P_{1000})$$

² Los estándares generalmente usan el término pérdida de inserción cuando se refieren a pérdidas asociadas con el cableado.

La línea continua en la figura 4.5.1.1 muestra atenuación sin ecualización. Como se observa, las componentes de frecuencia en el extremo superior de la banda de voz se atenúan mucho más que aquellas en frecuencias más bajas. Debe quedar claro que esto resultará en una distorsión de la señal de voz recibida. La línea discontinua muestra el efecto de la igualdad, a través de la ecualización³. La curva de respuesta aplanada mejora la calidad de las señales de voz. Eso también permite utilizar velocidades de datos más altas para los datos digitales que se pasan a través de un módem.

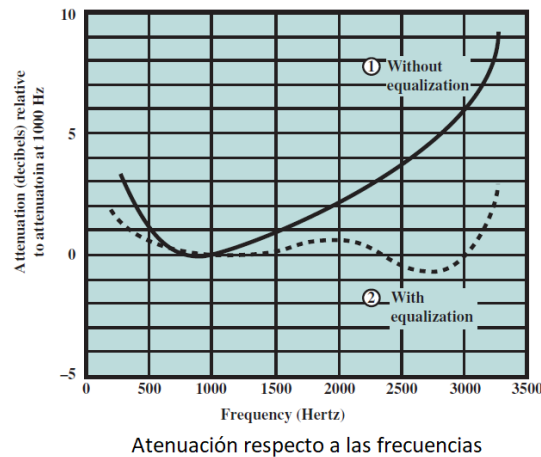


Figura 4.5.1.1: Curvas de atenuación de un canal de voz

Atenuación en Función de la Distancia

Para que no ocurran errores en la recepción de una señal se debe mantener su amplitud o nivel mediante el uso de amplificadores o repetidores. Para un enlace punto a punto, la amplitud de la señal del transmisor debe ser lo suficientemente fuerte para que sea recibida con inteligibilidad, pero no tan fuerte que sature los circuitos del transmisor produciendo distorsión en la señal generada. A cierta distancia del punto donde la señal es ingresada a la línea, la atenuación puede llegar a ser inaceptablemente fuerte, debiendo utilizarse repetidores o amplificadores para elevar el nivel de la señal.

Atenuación en Función de la Frecuencia

En general, la señal que atraviesa un medio de transmisión sufre una atenuación mayor en sus componentes de más alta frecuencia. Este fenómeno tiene distinta incidencia en las señales analógicas y digitales:

- En señales analógicas. Cuando la atenuación varía en función de la frecuencia, la señal recibida está distorsionada, es decir, con su inteligibilidad disminuida. Este problema se supera con técnicas de ecualización de la atenuación en la banda de frecuencias. La atenuación es particularmente importante para las señales

³ Ecualizar: Ajustar dentro de determinados valores las frecuencias de reproducción de una señal, como p. ej., el sonido.

analógicas, debido a la presencia de ruido en el canal, fenómeno que se estudia más adelante.

- En señales digitales. La distorsión producida por la atenuación en las señales digitales es un problema mucho menor. Esto se debe a que, según lo visto en el Capítulo 3, la amplitud de las componentes de una señal digital decrece rápidamente con la frecuencia y la mayor parte del contenido de la señal está concentrado cerca de la frecuencia fundamental de la señal. Además, debido a que el dato transportado por una señal digital puede ser recuperado en un repetidor, es posible generar una nueva señal limpia a la salida de estos dispositivos. Esto no puede hacerse con las señales analógicas que transportan datos analógicos.

4.5.2. Distorsión por Retardo

La distorsión que introduce el retardo es un fenómeno que se produce en los medios de transmisión guiada y es debida a que la velocidad de propagación de una señal en estos medios varía con la frecuencia. Para una señal limitada en banda, la velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia central y menor en los dos extremos de la banda. De este modo, las distintas componentes de frecuencia de una señal llegarán al receptor en diferentes tiempos.

Este efecto se conoce como distorsión por retardo, puesto que se deteriora la calidad de la señal debido al diferente retardo de sus componentes. La distorsión por retardo es particularmente crítica para los datos digitales. Considérese que se está transmitiendo una secuencia de bits mediante señales analógicas o digitales. Debido a la distorsión por retardo, algunos de los componentes de la señal en la posición de un bit se correrán sobre la posición de otro bit causando interferencia entre los símbolos. Este fenómeno produce limitación en la velocidad máxima de transmisión de los bits.

Las técnicas de ecualización también se pueden usar para la distorsión de retardo. De nuevo usando una línea telefónica alquilada, la figura 4.5.2.1 muestra el efecto de la ecualización en función del retraso en la frecuencia.

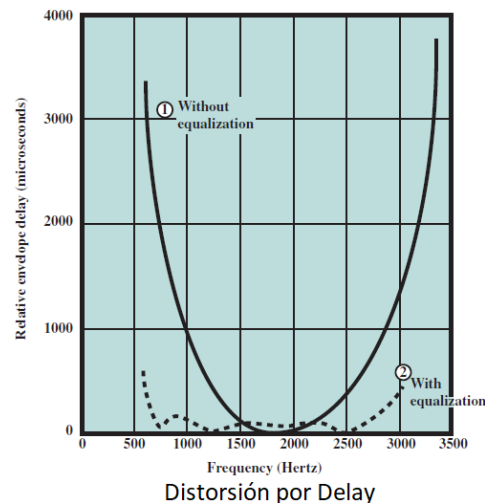


Figura 4.5.2.1: Curvas de distorsión por retardo de un canal de voz

4.5.3. Ruido

En cualquier sistema de transmisión de datos, la señal recibida es el resultado de la señal transmitida que es modificada por dos tipos de perturbaciones:

- Distorsiones impuestas a la señal por el medio de transmisión. Son las ya vistas: atenuación y distorsión por retardo.
- Interferencias espurias. Son ondas electromagnéticas indeseables que se incorporan a la señal en algún lugar entre la transmisión y la recepción. Son designadas genéricamente como ruido y constituyen el factor de mayor limitación en la performance de los sistemas de comunicación.

El ruido puede dividirse en cuatro categorías:

- Ruido térmico
- Ruido de intermodulación
- Ruido por cruce (crosstalk)
- Ruido impulsivo
- Ruido Térmico

Ruido Térmico

La agitación térmica de electrones en un conductor genera perturbaciones eléctricas que interfieren con señal. Está presente en todos los dispositivos electrónicos y medios de transmisión y es una función de la temperatura. El ruido térmico está uniformemente distribuido a lo largo del espectro de frecuencia y, por ese motivo, a

menudo se lo llama ruido blanco. La cantidad de ruido térmico presente en un ancho de banda de 1 Hz en cualquier dispositivo o conductor es:

$$N_0 = k T \text{ (W/Hz)}$$

Dónde:

N_0 = densidad de potencia de ruido (W/Hz)

K = constante de Boltzmann = 1.3803×10^{-23} J/K

T = temperatura en grados Kelvin

Como el ruido térmico es independiente de la frecuencia, la magnitud o intensidad de ruido presente en un determinado ancho de banda B se calcula como la potencia en watts de ruido térmico en ese ancho de banda, y es

$$N = k T B$$

Ejemplo:

Suponga unas instalaciones, dónde la temperatura media es de $T = 20^\circ \text{ C}$, o 293 K . A esta temperatura, la densidad de potencia del ruido térmico es:

$$N_0 = (1.38 \times 10^{-23}) \times 293 = 4,04 \times 10^{-21} \text{ W / Hz} = -20,4 \text{ dBW / Hz}$$

donde dBW es el decibelio vatio (se verá al final de este capítulo)

El ruido térmico no puede ser eliminado y por lo tanto incide fuertemente en la performance de los sistemas de comunicación. Debido a que $N_0 = k T$, la única forma de reducir el ruido térmico es haciendo decrecer la temperatura de los equipos y medios de transmisión.

Ruido por Intermodulación

Este tipo de ruido se produce cuando varias señales de distinta frecuencia comparten un mismo medio de transmisión. Se manifiesta con la aparición de frecuencias suma o diferencia de dos frecuencias originales, o múltiplos de esas frecuencias. Por ejemplo, la mezcla de señales de frecuencias f_1 y f_2 puede generar otra señal cuya frecuencia sea la suma de las dos anteriores, es decir $f_1 + f_2$; en consecuencia, esta señal espuria podría interferir con otra señal original que tenga una frecuencia igual o parecida. Por ejemplo, si dos señales, una a 4000 Hz y uno a 8000 Hz , comparten la misma instalación de transmisión, podrían producir energía a $12,000 \text{ Hz}$. Este ruido podría interferir con una señal prevista en $12,000 \text{ Hz}$.

El ruido por intermodulación es producido por alinealidades existentes en el transmisor, receptor o sistema de transmisión. Normalmente, estos dispositivos se comportan como sistemas lineales; es decir, la salida es igual a la entrada multiplicada por una constante. En un sistema no lineal, la salida es una función más compleja de la entrada. El resultado de esas alinealidades es la generación de componentes de frecuencia espurias.

Ruido por Cruce (Crosstalk)

Se lo detecta normalmente cuando una persona que está hablando por una línea telefónica escucha otra conversación que va por una línea diferente debido a un acoplamiento no deseado entre las líneas. Este tipo de ruido se presenta frecuentemente en cables que contienen varios pares de conductores trenzados como son los cables telefónicos multipares. El orden de magnitud del ruido por cruce es normalmente igual o menor al del ruido térmico.

Todos los tipos de ruido vistos tienen en común que pueden ser razonablemente predecibles; es decir, sus magnitudes son aproximadamente constantes y están presentes en forma continua en el tiempo. Es posible, entonces, cuantificarlos y determinar su incidencia en la calidad de la señal, permitiendo así evaluar la performance cuando se diseña un sistema de comunicación.

Ruido Impulsivo

A diferencia de los anteriores, el ruido impulsivo no es continuo ni previsible; se presenta normalmente en forma de ráfagas de pulsos de corta duración y de gran amplitud, siendo su ocurrencia aleatoria en el tiempo. La presencia de este ruido en la línea puede deberse a una variedad de causas, se manifiesta como una perturbación electromagnética externa. Es generado por relámpagos o por elementos cercanos de cierta potencia como tubos fluorescentes, motores eléctricos en el momento de arranque, soldadores eléctricos, aisladores de líneas de alta tensión con pérdidas.

El perjuicio que causa el ruido impulsivo es normalmente menor en señales analógicas que en señales digitales. Por ejemplo, en la transmisión de voz, la señal se puede corromper debido a crepitaciones o chasquidos de corta duración pero que producen poca o ninguna pérdida de inteligibilidad, siempre que la cantidad de interferencias ocurridas por unidad de tiempo no sea muy alta.

En los datos digitales, en cambio, el ruido impulsivo es la principal fuente de error en la comunicación. Por ejemplo, una espiga de tensión (onda de ruido gran amplitud y corta duración) de 0,01 segundos de duración no afecta a la inteligibilidad de la voz, mientras que a una señal digital que transmite bits a 4.800bps le puede borrar fácilmente 50 bits.

En la Figura 4.5.3.1 se muestra un ejemplo del modo en que afecta el ruido impulsivo a una señal digital. Este ejemplo es un caso típico en que el ruido total en la línea está compuesto por un relativamente moderado nivel de ruido térmico más ocasionales espigas de ruido impulsivo. En el receptor, los datos digitales son recuperados de la señal por comparación de la onda recibida de a un bit por vez. Como se puede observar en dicha figura, el ruido presente en la señal produce error en dos bits.

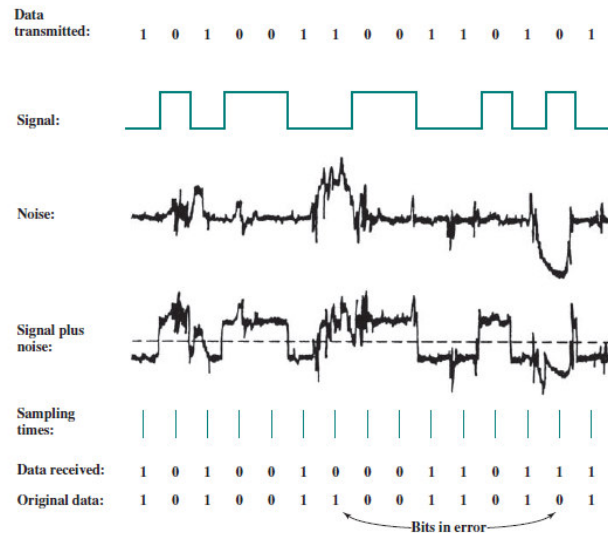


Figura 4.5.3.1: Afectación del ruido impulsivo a una señal digital

4.6. Capacidad del Canal

En esta sección se estudia la relación entre la velocidad que pueden alcanzar los datos digitales en un medio de transmisión y las condiciones que le impone el medio. Se ha visto que existen varias causas que provocan distorsión o corrupción en la señal. Concretamente, la cuestión a resolver aquí es en qué medida estos efectos limitan la velocidad a la que se pueden transmitir los datos digitales. Antes es necesario definir los siguientes conceptos:

- **Canal.** Es la vía o ruta de comunicación por donde circulan los datos que atraviesan el medio de transmisión. En un mismo medio pueden existir uno o más canales.
- **Capacidad del canal.** Es la máxima velocidad a la que se pueden transmitir los datos.
- **Velocidad de transmisión.** Es la velocidad a la que se transmiten los datos y se mide en bits por segundo.
- **Ancho de banda.** Es el ancho de banda de la señal transmitida. Está limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión. Se mide en ciclos por segundo o hertz.
- **Ruido.** Es el nivel medio de ruido existente en el canal de transmisión.
- **Tasa de error.** Es porcentaje de ocurrencia de errores en una transmisión de bits. Se considera que ha ocurrido un error cuando se recibe un 1 habiéndose transmitido un 0, ó se recibe un 0 habiéndose transmitido un 1.

Más allá de las definiciones precedentes y luego de haber descripto a los datos, señales y sistemas de transmisión; como así también las interferencias que puede

sufrir un mensaje durante su viaje desde el origen al destino, hay dos cuestiones que deben quedar muy claro:

- Desde el punto de vista de la eficiencia, la transmisión de los datos digitales por un canal con un ancho de banda determinado debe realizarse a la mayor velocidad posible.
- Los dos impedimentos que ofrece el canal para alcanzar este cometido son: el ancho de banda del medio de transmisión y el ruido presente, los que conspiran contra la calidad de la transmisión.

4.6.1. Propuesta de Nyquist

Se supone que se trata de un canal sin ruido, por lo tanto, la única limitación en la velocidad de los datos es el ancho de banda del canal. Nyquist formalizó matemáticamente esta limitación para señales de dos niveles y multinivel.

Señal Digital de 2 Niveles

- Si la velocidad de transmisión de datos binarios es $2B$ bps, es suficiente una señal con frecuencias no mayores que B Hz para transportar los datos a esa velocidad. La aseveración inversa también es cierta.
- Dado un canal con ancho de banda de B Hz, la mayor velocidad de transmisión de los datos que se puede obtener es $2B$ bps. Se dice entonces que la capacidad del canal es $2B$. Esta limitación es provocada por la interferencia entre símbolos, similar a la que produce la distorsión por retardo.

Implementación en una línea telefónica

Considérese que se utiliza una línea telefónica para enviar datos digitales. Recuérdese que el envío de datos digitales por un canal de voz debe hacerse por medio de señales analógicas; para esto se utiliza un módem entre el transmisor de los datos y la línea telefónica. Supóngase que se dispone de un ancho de banda de 3.100 Hz. De acuerdo a lo expuesto, la capacidad C del canal sin ruido es $2B$, es decir, $C = 6.200$ bps. Este resultado vale para una señal de dos niveles.

Señal Digital Multinivel

En el caso en que se usa una señal con más de dos niveles, cada elemento de señal puede representar a más de un bit. Por ejemplo, si se tiene una señal con cuatro niveles de tensión, entonces cada elemento de señal puede representar dos bits. Así, la expresión general de Nyquist para señales multinivel es:

$$C = 2B \log_2 M$$

Donde M es la cantidad de niveles discretos de la señal o niveles de tensión.

Implementación en una línea telefónica

Considere utilizar un canal de voz, a través de un módem, para transmitir información digital. Suponga un ancho de banda de 3100 Hz. Entonces la capacidad de Nyquist, C , del canal es $2B = 6200$ bps. Para $M = 8$, un valor utilizado con algunos módems, C se convierte en 18.600 bps para un ancho de banda de 3100 Hz.

De acuerdo a lo expuesto, se tiene que para un dado ancho de banda la velocidad de los datos puede ser aumentada incrementando la cantidad de niveles de la señal. Sin embargo, esto aumenta la dificultad del receptor para extraer el dato de la señal; puesto que, al crecer el número de niveles, menos separación existe entre los mismos y se torna más difícil distinguir entre un nivel y otro. Es decir, en un dado tiempo de señal, el receptor debe distinguir uno de entre M niveles posibles. Esta situación se ve agravada con el ruido y otros factores de deterioro de la señal presentes en la línea de transmisión, limitando de esta manera el valor máximo de M .

4.6.2. Propuesta de Shannon: Canal con Ruido

Esta propuesta considera la presencia de ruido en el canal, lo que configura una situación más real que la anterior. Se determinará, entonces, la relación que existe entre velocidad de los datos, el ruido y la tasa de errores cuando se transmiten datos por un medio ruidoso. El problema se explica intuitivamente con ayuda de la Figura 4.5.3.1. La presencia de ruido en el canal puede corromper uno o más bits. Si en la figura mencionada se incrementa la velocidad del dato, entonces los bits se vuelven más “cortos” en tiempo y, de esta forma, más bits se verán afectados por un dado patrón de ruido. De lo expuesto se puede concluir que, para un dado nivel de ruido, a mayor velocidad del dato, mayor será la tasa de errores.

Por otra parte, para un nivel de ruido determinado, se podría esperar que, a mayor amplitud de la señal mejore la capacidad del receptor para recibir correctamente el dato que viene mezclado con ruido. Entonces, el parámetro clave involucrado en este razonamiento es la relación señal a ruido (S/N o SNR), que representa el cociente entre la potencia de una señal y la potencia de ruido que está presente en un punto particular del medio de transmisión (Figura 4.6.2.1). Típicamente este cociente se mide en el receptor, debido a que en este punto es donde se rescata y procesa la señal para de luego, intentar eliminar el ruido de la misma. Por conveniencia, este cociente es a menudo expresado en decibeles:

Altos valores de S/N indican una alta calidad de la señal, es decir, se requiere un número menor de repetidores intermedios. La relación señal a ruido en un canal es importante en la transmisión de datos digitales debido a que determina la máxima velocidad que se puede conseguir. Por conveniencia, la relación señal/ruido muchas veces es presentada en forma de decibelios:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (\text{potencia señal/potencia del ruido})$$

Esto expresa la cantidad, en decibelios, que la señal deseada excede el nivel de ruido. Una SNR alta significará una señal de alta calidad y la necesidad de requerir un bajo número de repetidores intermedios.

Los conceptos expuestos fueron desarrollados matemáticamente por Claude Shannon y la conclusión es que la capacidad máxima de un canal en bits por segundo está dada por la expresión:

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \text{ o } C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \text{ (fórmula 1)}$$

Donde C es la capacidad el canal en bits por segundo y B es el ancho de banda del canal en hertz.

Cálculo de la capacidad del canal sobre una línea telefónica con ruido

Considérese que se utiliza un canal de voz a través de un módem para transmitir datos digitales. Supóngase un ancho de banda de 3.100 Hz. Un valor típico de S/N para una línea telefónica es 30 dB; es decir, una relación de 1.000 a 1. Así,

$$C = 3.100 \log_2 (1 + 1.000) = 30.894 \text{ bps.}$$

El valor calculado de C representa el máximo teórico que puede alcanzar la velocidad de los datos en las condiciones señaladas.

En la práctica se alcanza un valor de velocidad mucho menor que el obtenido en el ejemplo anterior. Una razón que explica este comportamiento en la realidad es que la fórmula supone que el ruido es ruido blanco (ruido térmico). No tiene en cuenta el ruido impulsivo, ni la atenuación, ni la distorsión por retardo. A continuación, desarrollan las definiciones de capacidad de canal y de eficiencia de la transmisión digital:

- Capacidad del canal libre de errores: $C = B \log_2 (1 + S/N)$.
- Eficiencia de la transmisión digital. Es la cantidad bps por hertz que pueden transmitir un canal. Esta medida está determinada por la relación C/B.

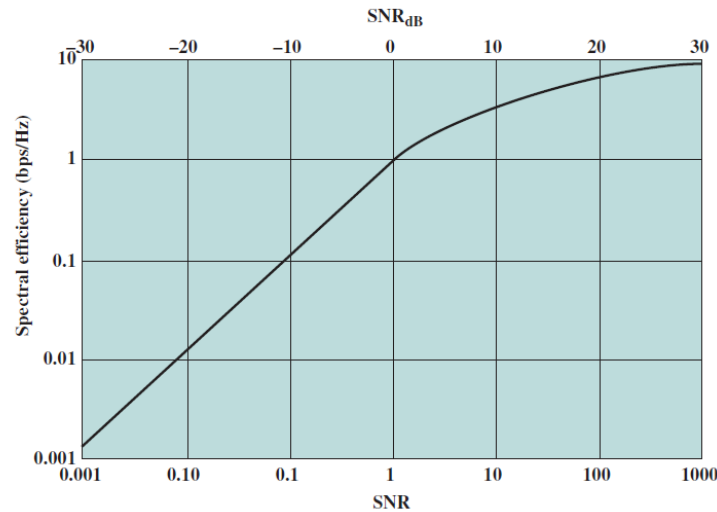


Figura 4.6.2.1: Eficiencia espectral y nivel señal/ruido

Se llama eficiencia espectral, también llamada eficiencia de ancho de banda, de un sistema de transmisión digital, al número de bits por segundo de datos que puede admitir cada hertz de ancho de banda. La máxima eficiencia espectral teórica se puede expresar usando la fórmula 1 moviendo el ancho de banda B hacia el lado izquierdo, resultando en $C / B = \log_2 (1 + \text{SNR})$. C / B tiene las dimensiones bps / Hz. La figura 4.6.2.1 muestra los resultados en una escala log / log. En $\text{SNR} = 1$, tenemos $C / B = 1$. Para $\text{SNR} < 1$ (la potencia de la señal es menor que la potencia de ruido), la trama es lineal; por encima de $\text{SNR} = 1$, la trama se aplana, pero continúa aumentando con el aumento de SNR.

Podemos hacer varias observaciones sobre la figura 4.6.2.1. Por debajo de 0 dB SNR, el ruido es el factor dominante en la capacidad de un canal. El teorema de Shannon muestra que las comunicaciones son posibles en esta región, pero a una velocidad de datos relativamente baja, una velocidad que se reduce en proporción a la SNR (en una escala log / log). En la región de al menos 6 dB por encima de 0 dB SNR, el ruido ya no es el factor limitante en la velocidad de las comunicaciones. En esta región, hay poca ambigüedad en la amplitud relativa de una señal y fase, y lograr una alta capacidad de canal depende del diseño de la señal, incluyendo factores como el tipo de modulación y la codificación.

Varias otras observaciones sobre la ecuación anterior pueden ser instructivas. Para un nivel de ruido dado, parecería que la velocidad de datos podría aumentarse aumentando la intensidad de la señal o el ancho de banda. Sin embargo, como la intensidad de la señal aumenta, los efectos de las no linealidades en el sistema también aumentan, lo que lleva a un aumento en el ruido de intermodulación. Tenga en cuenta también que, porque se supone que el ruido es blanco, cuanto más ancho es el ancho de banda, más ruido se admite en el sistema. Por lo tanto, como B aumenta, SNR disminuye.

Desarrollo de un ejemplo:

Consideremos un ejemplo que relaciona el Nyquist y la fórmula de Shannon. Supongamos que el espectro de un canal está entre 3 MHz y 4 MHz y $\text{SNR}_{\text{dB}} = 24 \text{ dB}$. Entonces:

$$B = 4 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz}$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 24 \text{ dB} = 10 \log_{10} (\text{SNR})$$

$$\text{SNR} = 251$$

Usando la fórmula de Shannon:

$$C = 10^6 * \log_2(1 + 251) \text{ aproximadamente } 10^6 * 8 = 8 \text{ Mbps}$$

Este es un límite teórico y, como hemos dicho, es poco probable que se alcance. Pero supongamos que podemos alcanzar el límite. Según la fórmula de Nyquist, ¿cuántos niveles de señales se requieren para lograr ese límite? Tenemos:

$$C = 2B \log_2 M$$

$$8 * 10^6 = 2 * (10^6) * \log_2 M$$

$$4 = \log_2 M$$

$$M = 16$$

La expresión E_b / N_0

Finalmente, se explica un parámetro relacionado con SNR que es más conveniente para determinar tasas de datos digitales y tasas de error y esa es la medida de calidad estándar para el rendimiento del sistema de comunicación digital. El parámetro es la relación de energía de la señal por bit a densidad de potencia de ruido por hertz, E_b / N_0 .

Considere una señal, digital o analógica, que contiene datos digitales binarios transmitidos a una determinada velocidad de bits R . Recordando que $1 \text{ vatio} = 1 \text{ J} / \text{s}$, la energía por bit en una señal viene dada por $E_b = ST_b$, donde S es la potencia de la señal y T_b es el tiempo requerido para enviar 1 bit. La velocidad de datos R es solo $R = 1 / T_b$. Así:

$$E_b / N_0 = S/R / N_0 = S / kTR$$

O usando una notación en decibelios:

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{dB}} &= S_{\text{dBW}} - 10 \log R - 10 \log k - 10 \log T \\ &= S_{\text{dBW}} - 10 \log R + 228.6 \text{ dBW} - 10 \log T \end{aligned}$$

La relación E_b / N_0 es importante porque la tasa de error de bits para datos digitales es (decreciente) en función de esta relación. Dado un valor de E_b / N_0 necesario para lograr una tasa de error deseado, se pueden seleccionar los parámetros en la fórmula anterior. Tenga en cuenta que como la velocidad de bit aumenta (R), la potencia de la señal transmitida, en relación con el ruido, debe aumentar para mantener el E_b / N_0 requerido.

Tratemos de comprender este resultado intuitivamente al considerar nuevamente la figura 4.5.3.1. La señal aquí es digital, pero el razonamiento sería el mismo para una señal analógica. En varios casos, el ruido es suficiente para alterar el valor de un bit. Si la velocidad de los datos se duplicó, los bits estarían más apretados y la misma “porción” de ruido puede ahora destruir 2 bits. Por lo tanto, para una relación señal / ruido constante, un aumento en la velocidad de datos aumenta la tasa de error. La ventaja de E_b / N_0 sobre SNR, es que la última cantidad depende del ancho de banda.

Desarrollo de un ejemplo:

Para la técnica de codificación de desplazamiento de fase binaria (se estudia en el Capítulo 5), se requiere $E_b / N_0 = 8.4$ dB para una tasa de error de 10^{-4} (error de 1 bit de cada 10,000). Si la temperatura efectiva de ruido es 290 K (temperatura ambiente) y la velocidad de datos es de 2400 bps, ¿qué nivel de señal recibida se requiere? Tenemos entonces:

$$\begin{aligned} 8.4 &= S(\text{dBW}) - 10 \log 2400 + 228.6 \text{ dBW} - 10 \log 290 \\ &= S(\text{dBW}) - 110213.382 + 228.6 - 110212.462 \\ S &= -161.8 \text{ dBW} \end{aligned}$$

4.7. Apéndice A

Un parámetro importante en cualquier sistema de transmisión es la intensidad de la señal. Como una señal se propaga a lo largo de un medio de transmisión, habrá una pérdida o atenuación de la intensidad de la señal. Para compensar esa atenuación, amplificadores pueden insertarse en varios puntos para insertar una ganancia en la intensidad de la señal.

Es costumbre expresar ganancias, pérdidas y niveles relativos en decibelios porque:

- La intensidad de la señal a menudo cae exponencialmente, por lo que la pérdida se expresa fácilmente en términos de decibel, que es una unidad logarítmica.
- La ganancia o pérdida neta en una ruta de transmisión en cascada se puede calcular con una simple suma y resta.

El decibel es una medida de la relación entre dos niveles de señal. La ganancia de decibelios está dada por:

$$G_{dB} = 10 \log_{10} (P_{salida} / P_{entrada}), \text{ dónde}$$

G_{dB} = ganancia en decibelios

$P_{entrada}$ = nivel de potencia de entrada

P_{salida} = nivel de potencia de salida

\log_{10} = logaritmo en base 10

Existe cierta inconsistencia en la literatura sobre el uso de los términos ganancia y pérdida. Si el valor de G_{dB} es positivo, esto representa una ganancia real de potencia. Por ejemplo, una ganancia de 3 dB significa que la potencia se ha duplicado aproximadamente. Si el valor de G_{dB} es negativo, esto representa una pérdida real de poder. Por ejemplo, una ganancia de -3 dB significa que la potencia se ha reducido aproximadamente a la mitad, y esto es una pérdida de poder. Normalmente, esto se expresa diciendo hay una pérdida de 3 dB. Sin embargo, parte de la literatura diría que esta es una pérdida de -3 dB. Tiene más sentido decir que una ganancia negativa corresponde a una pérdida positiva. por lo tanto, se define una pérdida de decibelios como:

$$L_{dB} = -10 \log_{10} (P_{out} / P_{in}) = 10 \log_{10} (P_{in} / P_{out}) \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Por ejemplo: Si se inserta una señal con un nivel de potencia de 100 mW en una línea de transmisión y la potencia medida a cierta distancia es de 15 mW, la pérdida puede expresarse como

$$L_{dB} = 10 \log (100/15) = 10 (0.301) = 8.23 \text{ dB.}$$

Los valores de decibelios se refieren a magnitudes relativas o cambios de magnitud, no a valores absolutos. Es conveniente poder referirse a un nivel absoluto de potencia o voltaje en decibelios para que las ganancias y pérdidas con referencia a un nivel de señal inicial se puedan calcular fácilmente.

El dBW (decibelio-vatio) se usa ampliamente en aplicaciones de microondas. El valor de 1 W es seleccionado como referencia y definido como 0 dBW. El nivel absoluto de decibelios de potencia en dBW se define como:

$$\text{Power}_{dBW} = 10 \log (\text{Power}_W / 1 \text{ W})$$

Así, por ejemplo, una potencia de 1000 W es 30 dBW, y una potencia de 1 mW es -30 dBW

Otra unidad común es el dBm (decibel-milivatio), que utiliza 1 mW como referencia. Así, 0 dBm = 1 mW. La fórmula es:

$$\text{Power}_{dBm} = 10 \log (\text{Power}_{mW} / 1 \text{ mW})$$

Tenga en cuenta las siguientes relaciones:

$$+ 30 \text{ dBm} = 0 \text{ dBW}$$

$$0 \text{ dBm} = -30 \text{ dBW}$$

5. Capítulo 5: Medios de Transmisión

En un sistema de transmisión de datos, el medio de transmisión es la ruta física entre transmisor y receptor. En el capítulo 3 se dijo que las ondas electromagnéticas son guiadas a lo largo de un medio sólido como el cable par trenzado de cobre, el cable coaxial y el cable de fibra óptica. Para los medios de transmisión no guiados, las ondas se desplazan a través de la atmósfera, el espacio exterior o el agua.

Las características y la calidad de la transmisión de datos se determinan por las características del medio, como por las características de la señal. En el caso de los medios guiados, el medio en sí es más importante en determinar las limitaciones de la transmisión. Para medios no guiados, el ancho de banda de la señal producida por la antena de transmisión es más importante que el medio para determinar las características de la transmisión. Una propiedad clave de las señales transmitidas por una antena es la direccionalidad. En general, las señales a frecuencias más bajas son omnidireccionales; es decir, la señal se propaga en todas las direcciones desde la antena. En frecuencias más altas, es posible enfocar la señal en usando un haz de dirección.

La velocidad y la distancia son consideraciones claves en el diseño de un sistema de transmisión de datos que transmita a la velocidad más alta posible recorriendo grandes distancias. Una serie de factores de diseño relacionados con la transmisión, el medio y la señal determinan la velocidad de datos y la distancia que se pueden obtener:

- Ancho de banda: si todos los demás factores permanecen constantes, cuanto mayor sea el ancho de banda de una señal, mayor será la velocidad de datos que se puede lograr.
- Deficiencias de transmisión: las deficiencias, como la atenuación, limitan la distancia. Para los medios guiados, el par trenzado generalmente sufre más deterioro que el cable coaxial, que a su vez sufre más que la fibra óptica.
- Interferencia: interferencia de señales competidoras que se superponen en pueden distorsionar o cancelar una señal. La interferencia es de particular preocupación por los medios no guiados, pero también es un problema con los medios guiados. Para estos últimos, la interferencia puede ser causada por emanaciones de cables cercanos (diafonía alienígena) o conductores adyacentes debajo de la misma cubierta del cable (diafonía interna). Por ejemplo, los pares trenzados son a menudo agrupados y los conductos a menudo llevan múltiples cables. La interferencia puede ser causada por el acoplamiento electromagnético de transmisiones no guiadas. La protección adecuada de un medio guiado puede minimizar este problema.
- Número de receptores: se puede usar un medio guiado para construir enlace punto a punto o un enlace compartido con múltiples puntos. En este último caso, cada punto introduce algo de atenuación y distorsión en la línea, limitando la distancia y la velocidad de datos.

La Figura 5.1 representa el espectro electromagnético e indica las frecuencias en el cual operan varios medios guiados y las técnicas de transmisión no guiadas.

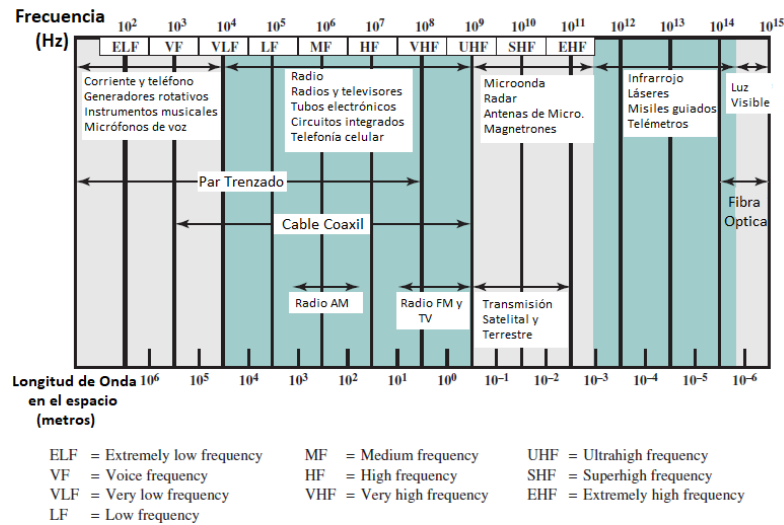


Figura 5.1: Espectro de frecuencias y medios de transmisión

La tabla 5.2 muestra las características de los medios guiados de transmisión en cuanto a las frecuencias en las que operan, la atenuación y el retardo típico.

Tabla 5.2: Características de medios guiados

	Rango de Frecuencias	Atenuación Típica	Retardo Típico	Espacio entre repetidores
Par trenzado	0 a 3,5 KHz	0,2 dB/km @ 1 kHz	50 µs/km	2 km
Par trenzado (multipar)	0 a 1 MHz	0,7 dB/km @ 1 kHz	5 µs/km	2 km
Cable Coaxil	0 a 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 µs/km	1 a 9 km
Fibra Optica	186 a 370 THz	0,2 a 0,5 dB/km	5 µs/km	40 km

5.1. Medios de Transmisión Guiados

Para medios de transmisión guiados, la capacidad de transmisión, en términos de velocidad de datos o ancho de banda, depende de manera crítica de la distancia y de si el medio es punto a punto o multipunto. La tabla 5.1.3 indica las características típicas de medios guiados comunes para aplicaciones punto a punto de larga distancia. Los tres medios guiados comúnmente utilizados para la transmisión de

datos son par trenzado, cable coaxial y fibra óptica (Figura 5.1.1.1). A continuación, se desarrollan conceptos acerca de los medios guiados mencionados.

5.1.1. Par trenzado

El medio de transmisión guiado menos costoso y más utilizado es el par trenzado.

Descripción física: Un par trenzado consta de dos cables de cobre aislados enlazados en un patrón espiral regular. Un par de cables actúa como un enlace de comunicación único. Por lo general, varios de estos pares se agrupan en un cable que los envuelve en una funda protectora resistente. En distancias más largas, los cables pueden contener cientos de pares. La torsión tiende a disminuir la interferencia de diafonía entre pares adyacentes en un cable. Los pares vecinos en un paquete generalmente tienen longitudes de giro algo diferentes para reducir la interferencia de diafonía. En enlaces de larga distancia, la longitud de giro generalmente varía de 5 a 15 cm. Los cables tienen un espesor de entre 0,4 a 0,9 mm.

Aplicaciones: El medio de transmisión guiada más común para la transmisión de señales digitales y analógicas es el par trenzado. Es el medio más utilizado en la red telefónica y es muy usado para las comunicaciones dentro de los edificios.

En el sistema telefónico, se conectan teléfonos individuales residenciales a la central telefónica local, o "oficina final", por cable de par trenzado. Estos son referidos como bucles de suscriptor. Dentro de un edificio de oficinas, cada teléfono también está conectado a un par trenzado, que va directo a una central telefónica. Estas instalaciones de par trenzado fueron diseñadas para admitir tráfico de voz mediante señalización analógica. Sin embargo, por medio de un módem, estas instalaciones pueden manejar el tráfico de datos digitales a velocidades de datos modestas.

El par trenzado es también el medio más común utilizado para la señalización digital a través de conexiones a un conmutador de datos digital o PBX digital dentro de un edificio, una velocidad de datos de 64 kbps es común. Ethernet que opera sobre cableado de par trenzado y se usa comúnmente dentro de un edificio para LAN que admiten computadoras personales. Velocidades típicas de Ethernet suelen ser 100 Mbps a 1 Gbps. También puede admitir velocidad de 10 Gbps y en los últimos dos años velocidades de 40 y 100 Gbps.

El par trenzado es muy fácil de conectar y es mucho menos costoso que los otros dos medios guiados que se utilizan normalmente: cable coaxial, y cable de fibra óptica.

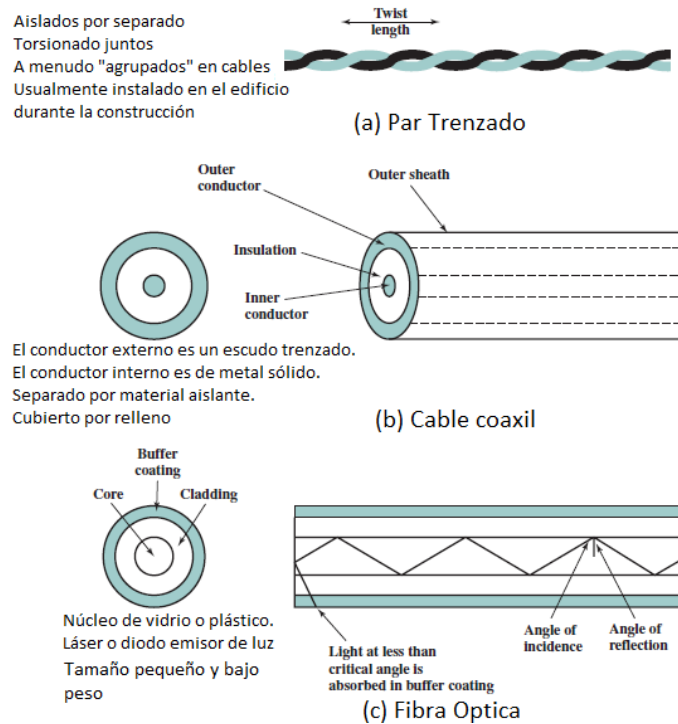


Figura 5.1.1.1: Medios de transmisión guiados

Características de la transmisión: El par trenzado se puede utilizar para hacer transmisiones con sistemas analógico o digital. Cuando se usan señales analógicas, se requieren amplificadores aproximadamente cada 5 a 6 km. Para transmisión digital (utilizando señales analógicas o digitales), se requiere repetidores cada 2 o 3 km. En comparación con otros medios de transmisión guiados de uso común, el par trenzado es limitado en distancia, ancho de banda y velocidad de datos. Como muestra la figura 5.1.1.2 (a), la atenuación para par trenzado es muy dependiente de la frecuencia. El cableado de par trenzado también es susceptible a reflejos de señal, o pérdida de retorno, causada por desajustes de impedancia a lo largo de la línea de transmisión y diafonía de pares trenzados adyacentes o cables de pares trenzados adyacentes. Debido a la geometría bien controlada del mismo par trenzado (los pares se fabrican con una tasa de torsión única y precisa que varía de par a par dentro de un cable) y la transmisión en modo diferencial de los distintos tipos de codificación (se discute en el próximo capítulo), el cableado de par trenzado utilizado para la transmisión de datos es altamente inmune a la interferencia de perturbadores de baja frecuencia (es decir, 60 Hz). A pesar de ello, por cuestiones de normas internacionales y seguridad, el cableado de par trenzado debe ir por ductos diferentes respecto al cableado de alimentación eléctrica.

Para la señalización analógica punto a punto, se necesita un ancho de banda de hasta aproximadamente 1 MHz. Esto acomoda varios canales de voz. Para señalización digital de larga distancia punto a punto, son posibles velocidades de datos de hasta unos pocos Mbps. Si se implementa Ethernet sobre cable de par trenzado se pueden lograr velocidades de 10 Gbps en 100 m y 40/100 Mbps en 25 m.

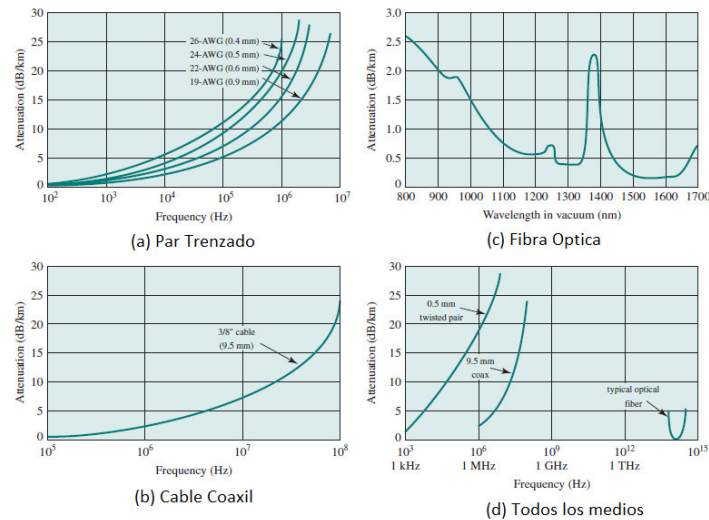


Figura 5.1.1.2: Medios guiados y su atenuación en función de las frecuencias

Par trenzado sin blindaje y con blindaje: El par trenzado viene en dos variedades: sin blindaje y blindado. Como su nombre lo indica, par trenzado sin blindaje (UTP, Unshielded Twisted Pair) consiste de uno o más cables de par trenzado, típicamente encerrados dentro de un cobertor termoplástico, que no proporciona blindaje electromagnético. La forma más común de UTP es un cable telefónico ordinario de grado de voz, que está pre cableado en edificios residenciales y de oficinas. Para fines de transmisión de datos, UTP puede variar desde el nivel de voz hasta el cable de muy alta velocidad para LAN. Para LAN de alta velocidad, UTP normalmente tiene cuatro pares de cables dentro del cobertor, con cada par retorcido con un número diferente de giros por centímetro para ayudar a eliminar la interferencia entre pares adyacentes. Cuanto más apretada sea la torsión, mayor será la velocidad de transmisión admitida, y será mayor el costo del metro de cable.

El par trenzado sin blindaje está sujeto a interferencias electromagnéticas externas, incluida la interferencia del par trenzado cercano y del ruido generado en el medio ambiente. En un entorno con varias fuentes de interferencia potencial, (p. ej., motores eléctricos, dispositivos inalámbricos y transmisores de RF), el par trenzado blindado (STP) puede ser una solución preferida. El cable de par trenzado blindado se fabrica en tres configuraciones diferentes:

- Cada par de cables está blindado individualmente con papel metálico, generalmente referido como un par trenzado de aluminio (FTP).
- Hay una lámina o pantalla trenzada debajo del cobertor plástico que cubre todos los cables (como un grupo). Esta configuración a veces se designa como par trenzado apantallado (F / UTP).
- Cada par de cables está blindado con papel metálico, así como también está blindado todo el grupo de cables. Esto se conoce como par trenzado totalmente blindado (S / FTP).

El blindaje reduce la interferencia y proporciona un mejor rendimiento a mayor velocidad de transferencia de datos. Sin embargo, puede ser más costoso, como así también es más difícil de manipular y conectar.

Categorías de par trenzado para transmisión de datos: La versión actual es responsabilidad de la industria de las telecomunicaciones, en especial del Instituto Nacional Americano de Estandares (ANSI, American National Standards Institute), el cual en el 2009 emitió los siguientes nuevos estándares:

- Cableado genérico de telecomunicaciones ANSI / TIA-568-C.0 para clientes. Premisas: permite la planificación e instalación de un sistema de cableado estructurado para todo tipo de locales de clientes.
- ANSI / TIA-568-C.1 Cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales. Estándar: permite la planificación e instalación de un sistema de cableado estructurado para edificios comerciales.
- Cableado de telecomunicaciones de par trenzado balanceado ANSI / TIA-568-C.2 y componentes estándares: especifica los requisitos mínimos de un cableado de telecomunicaciones de par trenzado (p. ej., canales y enlaces permanentes) y componentes (por ejemplo, cable, conectores, hardware de conexión, cables de conexión, cables de equipo, cables de área de trabajo y puentes) que se utilizan hasta el enchufe / conector de pares y entre edificios en un ambiente de campus. Esta norma también especifica los procedimientos de prueba de campo y procedimientos de medición de referencia de laboratorio aplicables para todos los parámetros de las transmisiones.
- ANSI / TIA-568-C.3 Estándar de componentes de cableado de fibra óptica: especifica los requisitos de rendimiento de transmisión de cable y componentes para locales cableados con fibra óptica.

La Tabla 5.1.1.3 resume las características de las diferentes categorías y clases de cables de par trenzado reconocidos por el estándar.

Tabla 5.1.1.3: Categorías de cables de par trenzado

	Category 5e Class D	Category 6 Class E	Category 6A Class E _A	Category 7 Class F	Category 7A Class F _A
Ancho de Banda	100 MHz	250 MHz	500 MHz	600 MHz	1,000 MHz
Tipo de Cable	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	S/FTP	S/FTP
Pérdida Inserción (dB)	24	21.3	20.9	20.8	20.3
Pérdida Next (dB)	30.1	39.9	39.9	62.9	65
ACR (dB)	6.1	18.6	19	42.1	44.1

Pérdida de inserción: en este contexto se refiere a la cantidad de atenuación a través del enlace desde el sistema de transmisión al sistema receptor. Por lo tanto, los valores de dB más bajos son mejores. La tabla 5.1.1.3 muestra la cantidad de atenuación a una

frecuencia de 100 MHz. Esta es la frecuencia estándar usada en tablas que comparan varias clases de par trenzado. Sin embargo, la atenuación es una función creciente de frecuencia, y los estándares 568 especifican la atenuación a varias frecuencias. De acuerdo con ANSI / TIA-568-C.2 e ISO / IEC 11801 segunda edición, todas las características de transmisión se especifican como el peor de los casos para una longitud de 100 m. Si bien las longitudes de cableado pueden ser inferiores a 100 m, no hay disposiciones previsto en las normas para la ampliación de los límites especificados. Atenuación en decibelios es una función lineal de la distancia, por lo que la atenuación para distancias más cortas o más largas se calcula fácilmente.

Pérdida de diafonía de extremo cercano (NEXT, Near End Crosstalk): tal como se aplica a los sistemas de cableado de par trenzado es el acoplamiento de la señal de un par de conductores a otro par. Estos conductores pueden ser los pines metálicos en un conector o pares de cables en un cable. El extremo cercano se refiere al acoplamiento que tiene lugar cuando la señal de transmisión que ingresa al enlace se acopla de vuelta al par de conductores de recepción en el mismo extremo del enlace (es decir, el extremo cercano, significa que la señal transmitida es recogida por el par de recepción en el mismo extremo). Se puede pensar en esto como ruido introducido en el sistema, por lo que mejores valores de pérdida de dB es una situación satisfactoria; es decir, mayores magnitudes de pérdida NEXT están asociadas con menos ruido de diafonía. La figura 5.1.1.4 ilustra la relación entre la pérdida NEXT y la pérdida de inserción en el sistema A. Una señal transmitida desde el sistema B, con una potencia de señal transmitida de P_t , se recibe en A con una potencia de señal reducida de P_r . Al mismo tiempo, el sistema A está transmitiendo a B, y suponemos que la transmisión tiene la misma potencia de señal de transmisión de P_t . Debido a diafonía, se induce un cierto nivel de señal del transmisor de A en el cable de recepción del sistema A con un nivel de potencia. Esta es la señal de diafonía. Claramente, necesitamos tener $P_r > P_c$ para poder recibir de manera inteligible la señal deseada, y cuanto mayor sea la diferencia entre P_r y P_c , mejor será entendida la señal de recepción. A diferencia de la pérdida de inserción, la pérdida NEXT no varía en función de la longitud del enlace, porque, como lo indica la Figura 5.1.1.4, la pérdida NEXT es un fenómeno final. La pérdida NEXT varía en función de la frecuencia, con pérdidas que van aumentando en función de la frecuencia. Es decir, la cantidad de potencia de señal del transmisor de extremo cercano que se acopla a una línea de transmisión adyacente aumenta en forma lineal al aumento de la frecuencia.

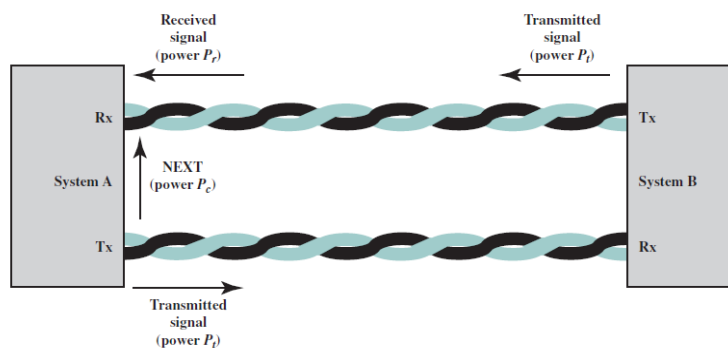


Figura 5.1.1.4: Relación de potencias de señales

Para la Tabla 5.1.1.3, la pérdida de inserción y la pérdida NEXT se calculan usando la siguiente ecuación:

$$A_{dB} = 10 \log_{10} (P_t / P_r)$$

$$NEXT_{dB} = 10 \log_{10} (P_t / P_c)$$

Siendo P_t : potencia transmitida, P_r : potencia recibida, P_c : potencia crosstalk

Atención: Tenga en cuenta que la pérdida NEXT se define en términos de la cantidad de pérdida de señal entre el transmisor local (P_t) y el receptor local. Por lo tanto, los valores más pequeños de la pérdida NEXT corresponden a una cantidad creciente de diafonía.

Otro parámetro importante utilizado en la especificación de la segunda edición de ISO / IEC 11801, es la relación atenuación a diafonía (ACR), que se define como:

$$ACR_{dB} = NEXT_{dB} - A_{dB}.$$

ACR es una medida de cuánto más grande es la intensidad de la señal recibida con respecto a la diafonía en el mismo par. Se requiere un valor positivo para que sea una operación exitosa.

5.1.2. Cable coaxial

Descripción física: El cable coaxial, como un par trenzado, consta de dos conductores, pero está construido de manera diferente para permitirle operar en un rango más amplio de frecuencias. Consiste en un conductor cilíndrico exterior hueco que rodea un conductor de cable interior (Figura 5.1.1.1(b)). El conductor interno está separado del conductor externo por anillos aislantes o algún material sólido dieléctrico¹. El conductor externo es cubierto con un forro o chaqueta. Un solo cable coaxial tiene un diámetro de 1 a 2,5 cm. El cable coaxial se puede usar en distancias más largas y admite más estaciones en una línea compartida que el cable de par trenzado.

Aplicaciones: El cable coaxial es un medio de transmisión versátil, utilizado en una amplia variedad de aplicaciones. Los más importantes de estos son:

- Distribución televisiva
- Transmisión telefónica de larga distancia
- Redes de área local

El cable coaxial se usa ampliamente como un medio para distribuir señales de TV a hogares: televisión por cable. Desde sus modestos comienzos como Community Antenna Television (CATV), diseñado para brindar servicio a áreas remotas, la televisión por cable alcanza casi a tantos hogares y oficinas como el teléfono. Un sistema de televisión por cable puede transportar docenas o incluso cientos de canales de televisión

¹ Que es aislante o mal conductor del calor o la electricidad.

en rangos de hasta unas pocas decenas de kilómetros. El cable coaxial ha sido tradicionalmente una parte importante de la red telefónica de larga distancia. Hoy se enfrenta a una competencia cada vez mayor de la fibra óptica terrestre, el microondas y el satélite. En la actualidad la fibra óptica está llegando a los hogares, ofreciendo servicios de telefonía, internet y servicios de televisión, todos conectados en un solo “pelo” de fibra con tecnología GPON². Usando multiplexación por división de frecuencia (FDM), un cable coaxial puede transportar más de 10,000 canales de voz simultáneamente.

Características de transmisión: El cable coaxial se utiliza para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Como se puede ver en la Figura 5.1.1.2, el cable coaxial tiene características de frecuencia que son superiores a los del par trenzado y, por lo tanto, se pueden usar de manera efectiva a frecuencias más altas y velocidades de datos. Debido a su construcción concéntrica y protegida, el cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonía que el cable de par trenzado. Las principales limitaciones en el rendimiento son atenuación, ruido térmico y ruido de intermodulación. Este último solo está presente cuando varios canales (FDM) o bandas de frecuencia están en uso en el cable.

Para la transmisión a larga distancia de señales analógicas, se necesitan amplificadores a una distancia de pocos kilómetros, con un espacio más cercano requerido si se usan frecuencias más altas. El espectro utilizable para la señalización analógica se extiende hasta aproximadamente 500 MHz. Para la señalización digital, se necesitan repetidores cada aproximadamente un kilómetro, con una distancia más cercana para mayores tasas de datos.

5.1.3. Fibra óptica

Descripción física: Una fibra óptica es un medio delgado y flexible capaz de transmitir un rayo óptico. Se pueden usar varios vidrios y plásticos para hacer fibras ópticas. Las pérdidas más bajas se han obtenido utilizando fibras de sílice³ fundida ultrapura. La fibra ultrapura es difícil y costosa de fabricar; en su lugar fibras de vidrio multicomponente de mayor pérdida son más económicas y aún proporcionan un buen rendimiento. La fibra plástica es aún menos costosa y puede usarse para enlaces de corto alcance, para los cuales las pérdidas moderadamente altas son aceptables.

² Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network)

³ Material para fabricar vidrio

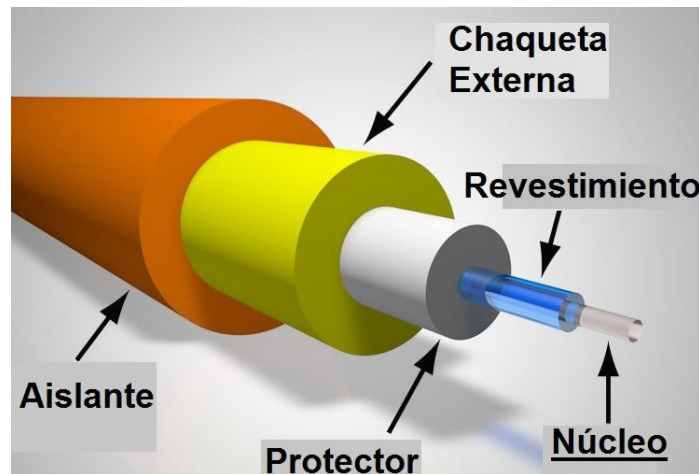


Figura 5.1.3.1: Arquitectura de la fibra óptica

Una hebra de fibra óptica (también llamada guía de onda óptica) tiene una forma cilíndrica y consta de tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta (Figura 5.1.3.1). El núcleo es la sección más interna y consta de hebras delgadas de vidrio o plástico; el núcleo tiene un diámetro en el rango de 8 a $62,5 \mu\text{m}$ ⁴. El núcleo está rodeado por un revestimiento, que es un revestimiento de vidrio o plástico que tiene propiedades ópticas diferentes de las del núcleo y un diámetro de $125 \mu\text{m}$. La interfaz entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector para confinar luz que de otro modo escaparía del núcleo. La capa más externa es el revestimiento de plástico duro o cubierta que protege el vidrio de la humedad y el daño físico.

El cable de fibra óptica proporciona protección a la fibra contra el estrés durante la instalación y del medio ambiente una vez que está instalado. Los cables pueden contener desde una hasta cientos de fibras en el interior. La capa más externa del cable, que rodea un pelo o un paquete de pelos de fibras es la “cubierta” o revestimiento exterior. Ésta última está compuesta de plástico y otros materiales en capas para proteger contra la humedad, la abrasión, el aplastamiento y otros peligros ambientales.

Aplicaciones La fibra óptica ya disfruta de un uso considerable en telecomunicaciones de largas distancias. Las continuas mejoras en el rendimiento y disminución de los precios, junto con lo inherente a las ventajas de la fibra óptica la han hecho cada vez más atractiva para las redes de área local.

Las siguientes características distinguen la fibra óptica del par trenzado o el cable coaxial:

- Mayor capacidad: el ancho de banda potencial, y por lo tanto la velocidad de datos, de la fibra óptica es inmensa; se ha podido demostrar en la práctica velocidades del orden de los cientos de Gbps recorriendo decenas de kilómetros.
- Tamaño más pequeño y peso más ligero: las fibras ópticas son considerablemente más delgadas que cable coaxial o cable de par trenzado incluido, al menos un orden de magnitud más delgado para una capacidad de transmisión de información

⁴ El micrómetro, micrón o micra es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro. Su símbolo es μm

comparable. Su delgadez y poco peso la hacen ideal para grandes edificios y construcciones subterráneas. Su utilización implica una reducción importante de las estructuras de soporte de cableado.

- Atenuación más baja: la atenuación es significativamente más baja para la fibra óptica que para cable coaxial o par trenzado (Figura 5.1.1.2 (c)) y es constante en un amplio rango.
- Aislamiento electromagnético: los sistemas de fibra óptica no se ven afectados por campos electromagnéticos. Por lo tanto, el sistema no es vulnerable a la interferencia, ruido de impulso o diafonía. Del mismo modo, las fibras no irradian energía, por lo que hay poca interferencia con otros equipos y hay un alto grado de seguridad de espionaje. Además, la fibra es inherentemente difícil de “pinchar” (modismo con el que se designa el robo de señal accediendo al núcleo del cable).
- Mayor espacio entre repetidores: menos repetidores significan un menor costo y menos fuentes de error. El rendimiento de los sistemas de fibra óptica desde este punto de vista ha estado mejorando constantemente. Los repetidores se pueden ubicar espaciados en decenas y cientos de kilómetros. Los sistemas coaxiales y de par trenzado generalmente necesitan repetidores en distancias más cortas, concretamente en muy pocos kilómetros.

Cinco categorías básicas de aplicación se han vuelto importantes para la fibra óptica:

- Troncales (backbone) de largo recorrido
- Troncales (backbone) metropolitanos
- Troncales (backbone) de intercambio rural
- Bucles de suscriptor
- Redes de área local

Las redes telefónicas fueron los primeros usuarios importantes de fibra óptica. Enlaces de fibra óptica se utilizan para reemplazar los enlaces de radio digital o de cobre entre los interruptores telefónicos, comenzando con enlaces de larga distancia, llamadas líneas largas o larga distancia, donde la distancia de la fibra y las capacidades de ancho de banda hicieron que la fibra óptica fuera potencialmente más rentable. La fibra se utiliza para conectar todas las oficinas centrales y los conmutadores de larga distancia porque tiene miles de veces el ancho de banda del cable de cobre y pueden transportar cientos de señales a mayores distancias antes de necesitar un repetidor, lo que hace que el costo de una conexión telefónica sobre fibra represente solo un pequeño porcentaje del costo de la misma conexión en cobre. Las rutas de largo recorrido promedian aproximadamente 1500 km de longitud y ofrecen alta capacidad (específicamente 20,000 a 60,000 canales de voz). Los cables submarinos de fibra óptica también han disfrutado de un uso creciente (Figura 5.1.3.2).

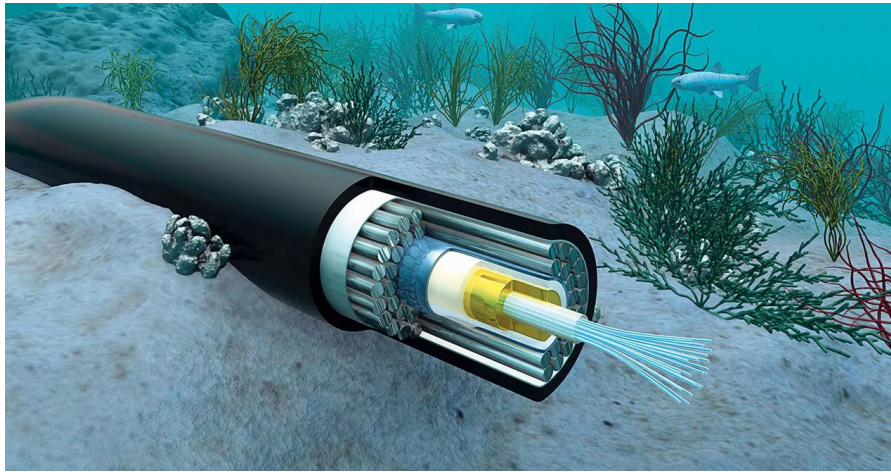


Figura 5.1.3.2: Fibra óptica submarina (Fuente: Wikipedia, agosto 2020)

Los circuitos de backbone metropolitanos tienen una longitud promedio de 12 km y pueden tener hasta 100,000 canales de voz en un grupo troncal. La mayoría de las instalaciones están instaladas en conductos subterráneos y sin repetidores, uniéndose a centrales telefónicas en un área metropolitana o área de la ciudad. En esta categoría se incluyen rutas que unen instalaciones de microondas de larga distancia que terminan en el perímetro de la ciudad conectadas a la central telefónica principal.

Los troncales de intercambio rural tienen longitudes de circuito que van de 40 a 160 km y permiten conectar municipios y comunas rurales. Dependiendo del prestador telefónico, estos sistemas conectan hasta 5000 canales de voz. Si bien es cierto las inversiones en la red de fibra óptica en nuestro país tiene cierto retraso, prácticamente toda la columna vertebral del sistema telefónico está compuesta de fibra óptica. Los cables van enterrados o en forma aérea, dependiendo de la geografía y de las regulaciones de las provincias y municipios. La conexión de Argentina con el mundo se hace principalmente a través de cables submarinos, que ahora conectan todos los continentes y la mayoría de las naciones isleñas con la excepción de la Antártida (Figura 5.1.3.3).



Figura 5.1.3.3: Fibra óptica submarina en el continente americano (Fuente: Wikipedia, agosto 2020)

Los circuitos de bucle de abonado son fibras que se conectan directamente la central telefónica del prestador del servicio con el domicilio del suscriptor. Estas instalaciones están comenzando a desplazar al par trenzado y los enlaces de cable coaxial a medida que las redes telefónicas evolucionan hacia redes de servicio completo capaces de manejo no solo de voz y datos, sino también de imágenes y videos. La penetración inicial de fibra óptica en esta aplicación ha sido para el suscriptor comercial, pero la fibra llegando al hogar es en el momento de escribir las presentes notas una realidad en grandes barrios de San Miguel de Tucumán, Yerba Buena, Tañ Viejo, Las Talitas, entre otros municipios.

Una aplicación final importante de fibra óptica es para redes de área local. Se han desarrollado estándares y se han introducido productos para redes de fibra óptica que tienen una capacidad total de hasta 100 Gbps y pueden admitir miles de estaciones en un gran edificio de oficinas o un complejo de edificios.

Características de transmisión: La figura 5.1.3.4 muestra la estructura general de un enlace de fibra óptica. El mismo consiste en un transmisor en uno de los extremos de una fibra y un receptor en el otro extremo. La mayoría de los sistemas funcionan transmitiendo en una dirección en una fibra y en la dirección inversa en otra fibra para operación full duplex. El transmisor toma como entrada una señal eléctrica digital. Esta señal alimenta a una fuente de luz LED o láser utilizando una interfaz electrónica. La fuente de luz produce una serie de pulsos de ondas de luz que codifican los datos digitales de la entrada eléctrica. El receptor incluye un sensor de luz que detecta la señal de luz entrante y la convierte de nuevo a una señal eléctrica digital.

La fibra óptica transmite la señal codificada usando un haz de luz que se desliza por reflexión interna. La reflexión interna total puede ocurrir en cualquier medio transparente que tiene un índice de refracción más alto que el medio circundante. En efecto, la fibra óptica actúa como una guía de onda para frecuencias en el rango de aproximadamente 10^{14} a 10^{15} Hz; esta cubre porciones de los espectros infrarrojo y visible.

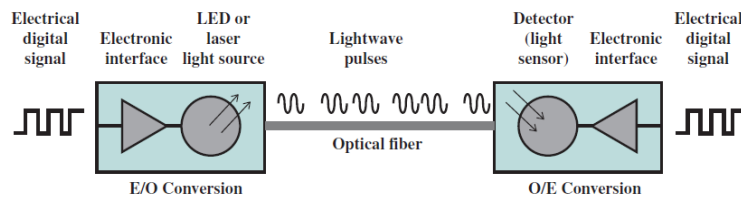


Figura 5.1.3.4: Envío de información usando fibra óptica

La figura 5.1.3.5 muestra el principio de transmisión de fibra óptica. La luz de una fuente ingresa al vidrio cilíndrico o al núcleo de plástico. Los rayos en ángulos superficiales se reflejan y se propagan a lo largo de la fibra; otros rayos son absorbidos por el material circundante. Esta forma de propagación se llama multimodo de índice de pasos o de índice discreto (step-index multimode), en referencia a la variedad de ángulos que reflejan. Con la transmisión multimodo, existen múltiples rutas de propagación, cada uno con una longitud de camino diferente y, por lo tanto, distinto tiempo para atravesar la fibra.

Propagación Multimodo de Índice Discreto: Alude al hecho de que hay multitud de ángulos para los que se da la reflexión total. En la transmisión multimodo, existen múltiples caminos que verifican la reflexión total, cada uno con diferente longitud y, por lo tanto, con diferente tiempo de propagación. Esto hace que los elementos de señalización que se transmiten (pulsos de luz) se dispersen en el tiempo y en la distancia, limitando la velocidad a la que los datos pueden ser correctamente recibidos. Dicho de otra forma, la necesidad de separar los pulsos de luz limita la velocidad de transmisión de los datos. Este tipo de fibra es más adecuada para distancias cortas y por eso su mayor uso en redes LAN.

Propagación Monomodo: Cuando se reduce el radio del núcleo de la fibra, se reflejarán menos ángulos. Reduciendo el radio del núcleo al orden de una longitud de onda, solo un ángulo o un modo puede pasar: el rayo axial. Esta propagación monomodo proporciona un rendimiento superior. La razón es que hay una sola ruta de transmisión con transmisión monomodo, por lo tanto, la distorsión encontrada en multimodo no puede ocurrir. Este modo de propagación se usa típicamente para aplicaciones de larga distancia, incluidos teléfono y cable televisión.

Propagación Multimodo de Índice Gradual: Las características de este modo están entre las de los otros dos mencionados. Estas fibras, al disponer de un índice de refracción superior en la parte central, hace 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 debido a la variación gradual del índice de refracción, reduciendo así la distorsión multimodal. El efecto de la mayor velocidad de propagación en la periferia del núcleo se traduce en que, aun recorriendo distancias superiores, todos los rayos llegan aproximadamente en los mismos tiempos. Este tipo de fibras de índice gradual también se usan en redes LAN.

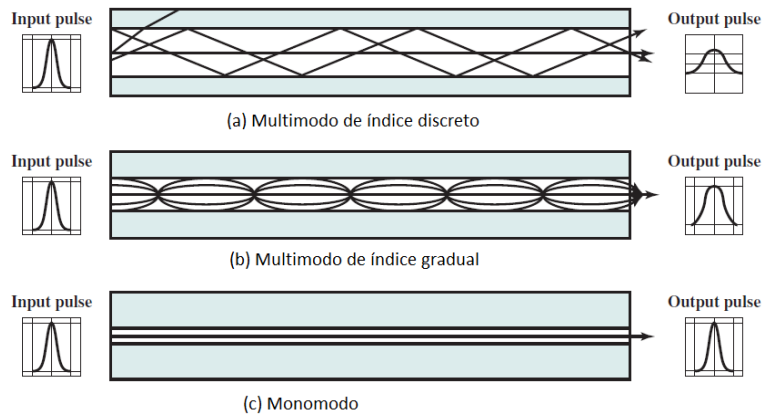


Figura 5.1.3.5: Modos de propagación de la fibra óptica

Se utilizan dos tipos diferentes de fuente de luz en los sistemas de fibra óptica: el emisor de luz diodo (LED) y el diodo láser de inyección (ILD). Ambos son dispositivos semiconductores que emiten un haz de luz cuando se aplica un voltaje. El LED es menos costoso, opera en un rango de temperatura mayor y tiene una vida operativa más larga. El ILD, que opera según el principio del láser, es más eficiente y puede mantener mayores tasas de transferencia de datos.

Existe una relación entre la longitud de onda empleada, el tipo de transmisión, y la velocidad de datos alcanzable. Tanto el modo único como el multimodo pueden admitir varias longitudes de onda de luz diferentes y pueden emplear fuentes de luz láser o LED. En la fibra óptica, hay cuatro grupos de longitudes de ondas, basados en las características de atenuación del medio y en las propiedades de las fuentes y receptores de luz. Un resumen de estos cuatro grupos se muestra en la siguiente tabla 5.1.3.6:

Tabla 5.1.3.6: Tabla de grupos de longitud de onda y frecuencias en fibra óptica

Longitud de onda (en el vacío), rango en nm ⁵	Rango de Frecuencias (THz)	Banda	Tipo de Fibra	Aplicación
820 a 900	366 a 333		Multimodo	LAN
1280 a 1350	234 a 222	S	Monomodo	VARIOS
1528 a 1561	196 a 192	C	Monomodo	WDM ⁶
1561 a 1620	192 a 185	L	Monomodo	WDM

⁵ Nanómetro (nm) Medida de longitud que equivale a la milmillonésima parte del metro.

⁶ WDM (wavelength division multiplexing): multiplexión por división de longitud de onda. Esta técnica de multiplexión se desarrolla en la Parte 2 de estas notas.

Tenga en cuenta los enormes anchos de banda disponibles. Para las cuatro ventanas, los anchos de banda respectivos son: 33, 12, 4 y 7 THz⁷. Esto es varios órdenes de magnitud mayor que el ancho de banda disponible en el espectro de radiofrecuencia.

Un aspecto que puede ser confuso sobre las cifras de atenuación reportadas para la transmisión de fibra óptica es que, invariablemente, el rendimiento de la fibra óptica se especifica en términos de longitud de onda, en lugar de hacerlo en términos de frecuencia. Las longitudes de onda que aparecen en gráficos y tablas son las longitudes de onda correspondientes a la transmisión en el vacío. Sin embargo, en la fibra, la velocidad de propagación es menor que c (la velocidad de la luz en el vacío); el resultado es que, aunque la frecuencia de la señal no cambia, la longitud de onda cambia.

Ejemplo: Para una longitud de onda en vacío de 1550 nm, la frecuencia correspondiente es $f = c / \lambda = (3 * 10^8) / (1550 * 10^{-9}) = 193.4 * 10^{12} = 193.4 \text{ THz}$. Para una fibra monomodo típica, la velocidad de propagación es aproximadamente $v = 2.04 * 10^8$. En este caso, una frecuencia de 193.4 THz corresponde a una longitud de onda de $\lambda = v / f = (2.04 * 10^8) / (193.4 * 10^{12}) = 1055 \text{ nm}$. Por lo tanto, en esta fibra, cuando se cita una longitud de onda de 1550 nm, la longitud de onda real sobre este tipo de fibra es de 1055 nm.

Las cuatro ventanas de transmisión están en dentro de la porción del espectro de la frecuencia de infrarrojo, debajo de la porción de luz visible, que es de 400 a 700 nm. La pérdida es menor a longitudes de onda más altas, lo que permite mayores velocidades de datos en distancias más largas. Muchas de las aplicaciones locales actuales utilizan fuentes de luz LED de 850 nm. Aunque esta combinación es relativamente económica, generalmente se limita a velocidades de datos inferiores a 100 Mbps y a distancias de unos pocos kilómetros. Para lograr velocidades de datos más altas y distancias más largas, se necesita una fuente de LED o láser de 1300 nm. Las velocidades de datos más altas y las distancias más largas, requieren fuentes láser de 1500 nm.

5.2. Medios de Transmisión no Guiados: Transmisión Inalámbrica

Tres rangos generales de frecuencias son de interés en la presente discusión sobre la tecnología de transmisión inalámbrica.

- Frecuencias en el rango de aproximadamente 1 GHz a los 40 GHz se denominan frecuencias de microondas. A estas frecuencias, es posible generar haces altamente direccionales, y el microondas es bastante adecuado para una transmisión punto a punto. Microondas también se utiliza para comunicaciones por satélite.
- El rango de 30 MHz a 1 GHz es adecuado para aplicaciones omnidireccionales. En este caso se refiere al rango de radio.
- Otro rango de frecuencia importante, para aplicaciones locales, es la porción del espectro de frecuencias del infrarrojo. Esto cubre, aproximadamente, de 3

⁷ THz (Terahertz), por definición 10^{12} Hz.

* 10^{11} a $2 \cdot 10^{14}$ Hz. Infrarrojo es útil para aplicaciones punto a punto locales y multipunto dentro de áreas pequeñas y cerradas, como una habitación individual.

Para medios no guiados, la transmisión y la recepción se logran mediante una antena. Antes de mirar categorías específicas de transmisión inalámbrica, se va a proporcionar una breve introducción referida a las antenas.

5.2.1. Antenas

Una antena se puede definir como un conductor eléctrico o sistema de conductores utilizado ya sea para irradiar energía electromagnética o para recoger energía electromagnética.

Para la transmisión de una señal, la energía eléctrica de radiofrecuencia generada en el transmisor se convierte en la antena, en energía electromagnética y se irradia hacia el entorno circundante (atmósfera, espacio, agua). La recepción se produce cuando la señal electromagnética se intercepta con otra antena, la cual convierte la energía electromagnética en energía eléctrica de radiofrecuencia y alimenta con esta última al receptor.

En la comunicación bidireccional, la misma antena se usa a menudo para ambas tareas: transmisión y recepción. Esto es posible porque cualquier antena transfiere energía del entorno circundante a sus terminales de receptor de entrada con la misma eficiencia que transfiere energía desde los terminales del transmisor de salida al entorno circundante, suponiendo que se use la misma frecuencia en ambas direcciones. Dicho de otra manera, las características de la antena son esencialmente las mismas si una antena está enviando o recibiendo energía electromagnética.

Una antena irradia energía en todas las direcciones, pero, por lo general, no funciona igualmente bien en todas las direcciones. Una forma común de caracterizar el desempeño de una antena es el patrón de radiación, que es una representación gráfica de propiedades de radiación de una antena en función de las coordenadas espaciales. Un simple patrón es producido por una antena idealizada conocida como antena isotrópica. Una antena isotrópica, también llamada antena omnidireccional, es un punto en el espacio que irradia energía en todas las direcciones por igual. El patrón de radiación real para la antena isotrópica es una esfera con la antena en el centro.

Antena parabólica reflexiva: Un tipo importante de antena es la antena parabólica reflectante, que se utiliza en aplicaciones terrestres de microondas y satélite. Una parábola es el lugar geométrico de todos los puntos equidistantes de una línea fija y un punto fijo que no está sobre la línea. El punto fijo se llama foco y la línea fija se llama directriz (Figura 5.2.1.1(a)). Si una parábola gira sobre su eje, la superficie generada se llama paraboloide. Una sección transversal a través del paraboloide paralelo a su eje forma una parábola y una sección transversal perpendicular al eje forma un círculo. Tales superficies se usan en faros de automóviles, telescopios ópticos y de radio, y antenas de microondas debido a la siguiente propiedad: Si una fuente de energía electromagnética (o sonido) se

coloca en el foco del paraboloide, y si el paraboloide es una superficie reflectante, luego la onda rebota en líneas paralelas al eje del paraboloide. La figura 5.2.1.1(b) muestra este efecto en sección transversal. En teoría, este efecto crea una viga paralela sin dispersión. En la práctica, hay cierta dispersión, porque la fuente de energía debe ocupar más de un punto. Cuando mayor sea el diámetro de la antena, más estrechamente direccional es el haz. En recepción, si las ondas entrantes son paralelas al eje del paraboloide reflector, lo que resulta es que la señal se concentra en el foco.

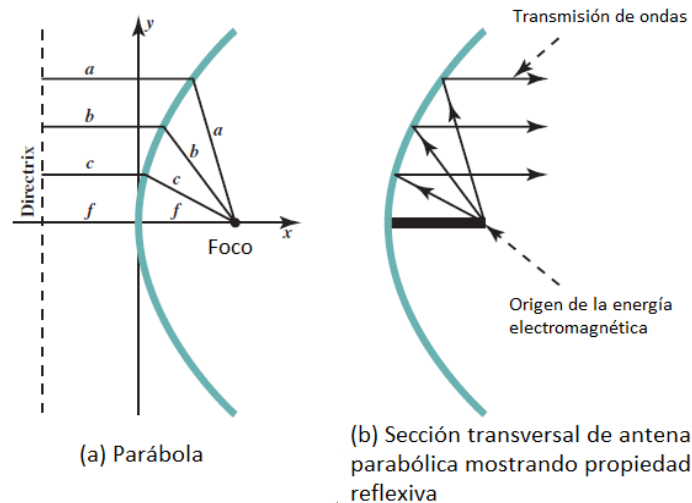


Figura 5.2.1.1: Antena parabólica reflexiva

Ganancia de antena: La ganancia de antena es una medida de la direccionalidad de una antena. La ganancia de antena se define como potencia de salida, en una dirección particular, comparada al producido en cualquier dirección por una antena omnidireccional perfecta (antena isotrópica). Específicamente, $G_{dB} = 10 \log (P_2 / P_1)$, donde G es la ganancia de la antena, P_1 es la potencia radiada de la antena direccional, y P_2 es la potencia radiada de la antena de referencia. Por ejemplo, si una antena tiene una ganancia de 3 dB, esa antena mejora la antena isotrópica en esa dirección en 3 dB, o un factor de 2. El aumento de la potencia radiada en una dirección dada es a expensas de otras direcciones. En efecto, el aumento de potencia se irradia en una dirección al reducir la potencia radiada en otras direcciones. Es importante tener en cuenta que la ganancia de antena no se refiere a que se obtiene más potencia de salida que potencia de entrada, sino más bien a la direccionalidad.

Considere una antena direccional que tiene una ganancia de 6 dB sobre una antena de referencia y que irradia 700 W. ¿Cuánto más potencia debe irradiar la antena de referencia para proporcionar la misma potencia de señal en la dirección preferida? A continuación, la solución:

$$6 = 10 \log (P_2 / 700)$$

$$P2 / 700 = 10^{0.6}, P2/700 = 3.98$$

$$P2 = 2786 \text{ W}$$

5.2.2. Microondas Terrestres

Descripción física: El tipo más común de antena de microondas es la parabólica "plato." Un tamaño típico es de aproximadamente 3 m de diámetro. La antena se fija rígidamente y enfoca un haz estrecho para lograr la transmisión a través de una línea de visión con la antena del receptor. Las antenas de microondas generalmente se encuentran a alturas sustanciales por encima nivel del suelo para extender el alcance entre antenas y poder transmitir sobre obstáculos intervinientes. Para lograr la transmisión a larga distancia, una serie de antenas de microondas se utilizan junto a torres de retransmisión, formando una serie de enlaces de microondas punto a punto unidos entre sí hasta alcanzar la distancia final deseada.

Aplicaciones: El uso principal para los sistemas de microondas terrestres es aplicarlo al servicio de telecomunicaciones de larga distancia, como una alternativa al cable coaxial o fibra óptica. La instalación de enlaces de microondas requiere mucho menos repetidores a igual distancia que el cable coaxial; eso sí, necesita tener línea vista entre ambas antenas. Este tipo de solución es comúnmente elegida cuando es necesario transmitir voz y señales de televisión. Otro uso muy común del microondas es para establecer enlaces cortos punto a punto entre edificios, y se lo usa como circuito cerrado de TV o para unir redes LAN's entre edificios. Por ejemplo, la Figura 5.2.2.1 muestra un enlace de microondas establecido entre la casa central de una firma que comercializa electrodomésticos (ubicada en el centro de la ciudad de San Miguel de Tucumán) y una sucursal que se encuentra a 4 kilómetros de distancia, en la misma ciudad. De esta forma, se pudo desplegar un sistema de gestión integral de ventas y administración, incluyendo en la solución conectividad de voz.



Figura 5.2.2.1: Solución de conectividad Pyme con sucursal

Características de la transmisión: La transmisión por microondas cubre una parte considerable del espectro electromagnético. Frecuencias comunes utilizadas para la transmisión están en el rango de 1 a 40 GHz. Cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor será el ancho de banda potencial y, por lo tanto, mayor será la velocidad de datos potencial. La Tabla 5.2.2.2 indica ancho de banda y velocidad de datos para algunos sistemas típicos.

Tabla 5.2.2.2: Ancho de banda y velocidades típicas en microondas terrestres

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

Como con cualquier sistema de transmisión, una fuente principal de pérdida es la atenuación. Para las microondas (y frecuencias de radio), la pérdida se puede expresar como:

$$L = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2 \text{ dB} \quad \text{Ecuación (5.1)}$$

donde “d” es la distancia y “λ” es la longitud de onda, en las mismas unidades. Por lo tanto, la pérdida varía según el cuadrado de la distancia. Por el contrario, para par trenzado y cable coaxial, la pérdida varía exponencialmente con distancia (lineal en decibelios). Así, los repetidores o amplificadores pueden ser colocados más separados para sistemas de microondas: lo típico es de 10 a 100 km. La atenuación se incrementa con la lluvia. Los efectos de la lluvia se vuelven especialmente notables arriba de los 10 GHz. Otra fuente de discapacidad es la interferencia. Con la creciente popularidad del microondas, las áreas de transmisión se superponen y la interferencia es siempre un peligro. Así la asignación de bandas de frecuencia está estrictamente regulada.

Al momento de escribir estas notas, en la Argentina, las frecuencias libres de uso para el territorio nacional están reguladas por la Resolución del Ministerio de Modernización N° 581/18, la cual establece que las bandas de frecuencias radioeléctricas detalladas a continuación, se declaran de uso compartido en el ámbito del territorio nacional y no requieren de autorización para su uso, debiendo respetarse las condiciones y parámetros técnicos de emisión establecidas por el Ente Nacional de Comunicaciones en la Resolución N° 4653/19:

915 – 928 MHz

2400 – 2483.5 MHz

5150 – 5250 MHz

5250 – 5350 MHz

5470 – 5600 MHz

5650 – 5725 MHz

5725 – 5850 MHz

57000 – 71000 MHz

5.2.3. Microondas Satelital

Descripción física: Un satélite de comunicación es, en efecto, una estación que reenvía microondas. Se utiliza para vincular dos o más transmisores / receptores de microondas en tierra, conocidos como estaciones terrenas o estaciones terrestres. El satélite recibe transmisiones en una banda de frecuencia (enlace ascendente), amplifica o repite la señal y la transmite en otra banda de frecuencia (enlace descendente). Un solo satélite en órbita operará en varias bandas de frecuencias, llamadas canales de transponder, o simplemente transponder.

La figura 5.2.3.1 muestra de manera general dos configuraciones comunes para comunicación satelital. En el primero, el satélite se está utilizando para proporcionar un enlace punto a punto entre dos antenas terrestres distantes. En el segundo, el satélite proporciona comunicaciones entre un transmisor instalado en tierra y varios receptores terrestres.

Para que un satélite de comunicación funcione de manera efectiva, generalmente se requiere que permanezca estacionario con respecto a su posición sobre la Tierra. De lo contrario no estaría dentro de la línea de visión de sus estaciones terrenas en todo momento. Permanecer estacionario significa que el satélite debe tener un período de rotación igual al período de rotación de la Tierra. Esto ocurre a una altura de 35,863 km en el ecuador. Se denominan satélites geoestacionarios, y se encuentran en órbita sobre el ecuador terrestre a la misma velocidad de rotación de la tierra.

Dos satélites que usan la misma banda de frecuencia, si están lo suficientemente cerca, van a interferirse. Para evitar esto, los estándares actuales requieren un espacio de 4° (desplazamiento angular medido desde la Tierra) en la banda de 4/6 GHz y una separación de 3° en 12/14 GHz. Por lo tanto, el número de satélites posibles es bastante limitado.

Aplicaciones; Las siguientes son las aplicaciones más importantes para satélites:

- Distribución televisiva
- Transmisión telefónica de larga distancia
- Redes comerciales privadas
- Posicionamiento global

Debido a su naturaleza de transmisión, los satélites se adaptan bien a la distribución televisiva y se utilizan ampliamente en todo el mundo. En su uso tradicional, una red proporciona programación desde una ubicación central. Los programas se

transmiten al satélite y luego se transmiten hasta una serie de estaciones, que luego distribuyen los programas a los espectadores individuales.

Una red, el Public Broadcasting Service (PBS), distribuye su programación de televisión casi exclusivamente mediante el uso de canales satelitales. Otras redes comerciales también hacen un uso sustancial del satélite, con sistemas de televisión por cable recibiendo una proporción cada vez mayor de su programación de satélites. La aplicación más reciente de la tecnología satelital es la distribución de televisión directa desde el satélite al usuario doméstico (en Argentina Directv). El costo y el tamaño decrecientes de las antenas receptoras han hecho que DBS (Direct Broadcast Satellite) sea económicamente factible.

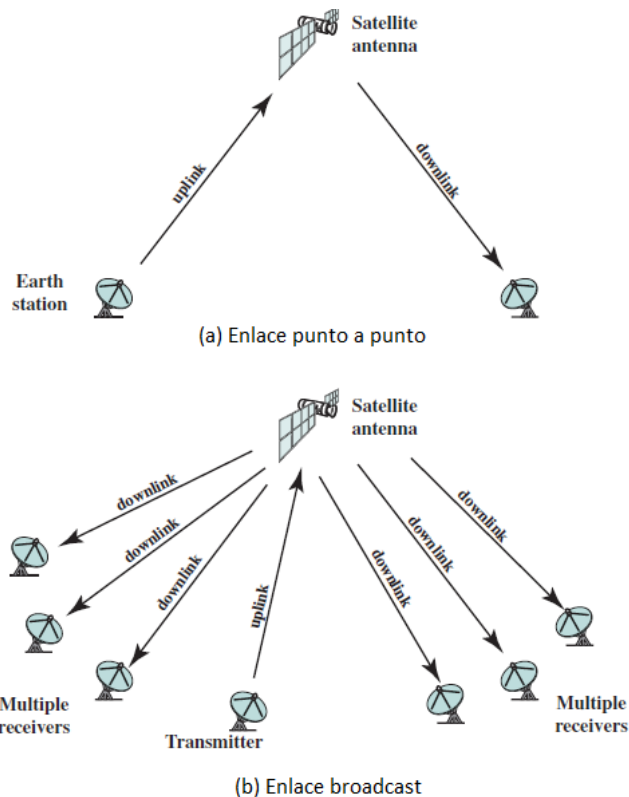


Figura 5.2.3.1: Tipos de enlaces satelitales

La transmisión satelital también se usa para enlaces punto a punto entre centrales telefónicas de las redes de telefonía pública. Es el medio óptimo para troncales internacionales de alto uso y es competitivo con los sistemas terrestres para muchos enlaces internacionales de larga distancia.

Hay numerosos negocios que se pueden hacer con la transmisión de datos a través de satélites. El proveedor del satélite puede dividir la capacidad total en varios canales y arrendarlos a usuarios comerciales individuales. Un usuario equipado con antenas en varios sitios puede usar un canal satelital para una red privada. Tradicionalmente, tales aplicaciones han sido bastante caras y limitadas a organizaciones más grandes con requisitos de gran volumen. Un desarrollo reciente constituye la apertura

de una terminal muy pequeña, conocida como VSAT (Terminal de Apertura Muy Pequeña, del inglés, Very Small Aperture Terminal), que proporciona una alternativa de bajo costo. La figura 5.2.3.2 representa una configuración típica de VSAT. Una serie de estaciones de abonado están equipadas con antenas VSAT de bajo costo. Usando una técnica específica, estas estaciones comparten un satélite con capacidad de transmisión utilizando una estación central terrestre. La estación central terrestre puede intercambiar mensajes con cada uno de los suscriptores y puede transmitir mensajes entre suscriptores.

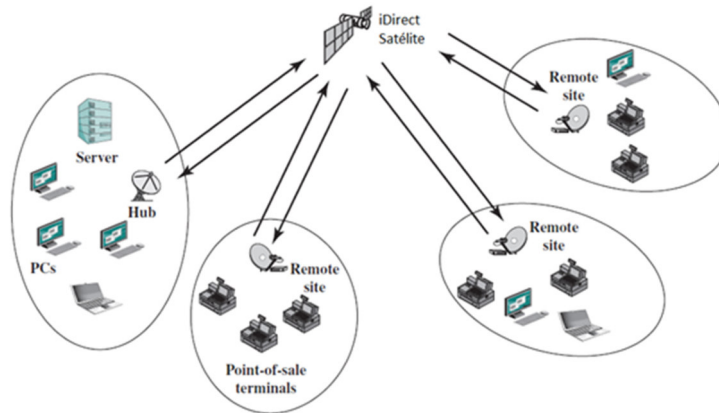


Figura 5.2.3.2: Tecnología satelital VSAT

Una aplicación final de satélites, que se ha generalizado, es digna de ser mencionada. El sistema de posicionamiento global Navstar, o GPS para abreviar, consta de tres segmentos o componentes:

- Una constelación de satélites (actualmente 24) que orbitan alrededor de 20,200 km arriba la superficie de la Tierra, que transmite un rango de señales en dos frecuencias en la parte de microondas que forman parte del espectro de radio. Fue concebido de manera que existan como mínimo 4 satélites visibles por encima del horizonte en cualquier punto de la superficie y en cualquier altura.
- El componente de control está constituido por 5 estaciones de rastreo distribuidas a lo largo del globo y una estación de control principal (MCS- Master Control Station). Este componente rastrea los satélites, actualiza sus posiciones orbitales y calibra y sincroniza sus relojes. Otra función importante es determinar las órbitas de cada satélite y prever su trayectoria durante las 24 horas siguientes. Esta información es enviada a cada satélite para después ser transmitida por este, informando al receptor local donde es posible encontrar el satélite.
- El componente del usuario incluye todos aquellos que usan un receptor GPS para recibir y convertir la señal GPS en posición, velocidad y tiempo. Incluye además todos los elementos necesarios en este proceso, como las antenas y el software de procesamiento.

Cada satélite transmite una secuencia de código digital única de 1s y 0s, precisamente cronometrado por un reloj atómico, que es recogido por la antena de un receptor GPS y coincide con la misma secuencia de código generada dentro del receptor.

Alineándose o haciendo coincidir las señales, el receptor determina cuánto tardan las señales en viajar desde el satélite al receptor. Estas medidas de tiempo se convierten a distancias usando la velocidad de la luz. Midiendo la distancia de cuatro o más satélites simultáneamente y conociendo las ubicaciones exactas de los satélites (incluidos en las señales transmitido por los satélites), el receptor puede determinar su latitud, longitud, y altura al tiempo que sincroniza su reloj con el estándar de hora GPS que también hace que el receptor sea un reloj preciso.

Características de transmisión: El rango de frecuencia óptimo para la transmisión por satélite está en el rango de 1 a 10 GHz. Por debajo de 1 GHz, hay un ruido significativo de fuentes naturales, incluido el ruido galáctico, solar y atmosférico, y la interferencia de varios dispositivos electrónicos. Por encima de 10 GHz, la señal es severamente atenuado por absorción atmosférica y precipitación.

La mayoría de los satélites que prestan servicio punto a punto en la actualidad utilizan un ancho de banda de frecuencia en el rango de 5.925 a 6.425 GHz para la transmisión de la Tierra al satélite (enlace ascendente) y un ancho de banda en el rango de 3.7 a 4.2 GHz para transmisión desde satélite a la Tierra (enlace descendente). Esta combinación se conoce como la banda de 4/6 GHz. Note que las frecuencias de enlace ascendente y enlace descendente difieren. Para funcionamiento continuo sin interferencia, un satélite no puede transmitir y recibir en la misma frecuencia. Así las señales recibidas de una estación terrestre en una frecuencia deben transmitirse de vuelta en otra.

La banda de 4/6 GHz está dentro de la zona óptima de 1 a 10 GHz, pero ha comenzado a saturarse. Otras frecuencias en ese rango no están disponibles debido a fuentes de interferencia que operan en esas frecuencias, generalmente microondas terrestre. Por lo tanto, se ha desarrollado la banda de 12/14 GHz (enlace ascendente: 14 a 14,5 GHz; enlace descendente: 11.7 a 12.2 GHz). En esta banda de frecuencia, los problemas de atenuación deben aun superarse. Sin embargo, se pueden utilizar receptores de estaciones terrenas más pequeños y baratos. Esta última banda también se saturará, y se proyecta el uso en los 20/30-GHz banda (enlace ascendente: 27,5 a 30,0 GHz; enlace descendente: 17,7 a 20,2 GHz). Esta banda experimenta problemas de atenuación aún mayores, pero permitirán un mayor ancho de banda (2500 MHz versus 500 MHz) e incluso receptores más pequeños y más baratos.

Se deben tener en cuenta varias propiedades de la comunicación satelital. Primero porque debido a las largas distancias involucradas, hay un retraso de propagación de aproximadamente una cuarta parte segundo desde la transmisión desde una estación terrena hasta la recepción por otra estación terrena.

Este retraso es notable en las conversaciones telefónicas ordinarias. También presenta problemas en las áreas de control de errores y control de flujo. En segundo lugar, el microondas satelital es una transmisión de broadcast. Muchas estaciones pueden transmitir al satélite, y también muchas pueden recibir una transmisión desde un satélite.

5.2.4. Radiodifusión

Descripción física: La principal diferencia entre la transmisión de radio y microondas es que el primero es omnidireccional y el segundo es direccional. Así la transmisión de radio no requiere antenas en forma de plato, y las antenas no necesitan estar rígidamente montado para una alineación precisa.

Aplicaciones: Radio es un término general utilizado para abarcar frecuencias en el rango de 3 kHz a 300 GHz. Se utiliza el término informal de radiodifusión para cubrir el VHF y parte de la banda UHF: 30 MHz a 1 GHz. Esta gama cubre radio FM y Televisión UHF y VHF. Este rango también se utiliza para una serie de aplicaciones en las redes de datos.

Características de transmisión: El rango de 30 MHz a 1 GHz es efectivo para comunicaciones de difusión. A diferencia del caso de las ondas electromagnéticas de baja frecuencia, la ionosfera es transparente a las ondas de radio por encima de 30 MHz. Así la transmisión se limita a la línea de visión y los transmisores distantes no interferirán entre sí debido a la reflexión de la atmósfera. A diferencia de las frecuencias más altas de la región de microondas, las ondas de radiodifusión son menos sensibles a la atenuación de la lluvia.

Al igual que con el microondas, la cantidad de atenuación debida a la distancia obedece Ecuación (5.1), esta es, $10 \log (4\pi/\lambda)^2$ dB. Debido a la longitud de onda más larga, las ondas de radio tienen relativamente menos atenuación.

Una fuente principal de deterioro para las ondas de radiodifusión es la interferencia multitrayecto. El reflejo de la tierra, el agua y los objetos naturales o hechos por el hombre pueden crear múltiples caminos entre antenas.

5.2.5. Infrarrojo

Las comunicaciones infrarrojas se logran utilizando transmisores / receptores (transceptores) que modulan la luz infrarroja no coherente⁸. Los transceptores deben estar dentro de la línea vista el uno al otro directamente o por reflejo de una superficie de color claro como el techo de una habitación.

Una diferencia importante entre la transmisión de infrarrojos y microondas es que el primero no penetra paredes. Por lo tanto, los problemas de seguridad e interferencia encontrado en sistemas de microondas no están presentes. Además, no hay problema de asignación de frecuencia con infrarrojos, porque no se requiere licencia.

⁸ Luz no coherente: luz de múltiples frecuencias y fase de vibración, la cual se ensancha, se dispersa, haciéndose menos intensa en un corto periodo de tiempo.

5.3. Propagación de la señal en medios no guiados

Una señal irradiada desde una antena viaja a lo largo de una de tres rutas: onda terrestre, onda espacial o línea de visión (LOS). La Tabla 5.3.1 muestra en qué rango de frecuencia predomina cada una. A continuación, se ofrece una descripción de cada modo.

Tabla 5.3.1: Rango de frecuencias, modo de propagación y uso típico de las señales

Banda	Rango de Frecuencias	Longitud de onda en el espacio libre	Características de la propagación	Uso Típico
ELF (extremely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1000 km	Onda Terrestre	Frecuencias de líneas eléctricas, usado por sistemas de control
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1000 to 100 km	Onda Terrestre	Comunicación analógica en sistemas telefónico de abonados
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	Onda Terrestre, baja atenuación día y noche, alto ruido atmosférico	Navegación de largo alcance, comuni-
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	Onda Terrestre: poco menos confiable que VLF	Navegación de largo alcance; comunicación marina, balizas de radio
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1,000 to 100 m	Onda Terrestre, y de noche, Onda Espacial, atenuación baja en la noche y alta en el día.	Radio marítima; transmisión AM
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	Onda Espacial: varía la calidad con la hora del día, estación y frec.	Radio amateur, comunicación militar
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	Línea vista: dispersión debido a la inversión de temperatura, ruido cósmico	Televisión VHF; Transmisión FM y radio bidireccional, comunicación con aviones por AM y ayuda a la aeronavegación
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	Línea vista, ruido cósmico	Televisión UHF; telefono celular; Radar; enlaces de microondas; sistemas de comunicaciones persona
SHF (super high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	Línea vista, atenuación por lluvia arriba de 10GHz, atenuación atmosférica oxígeno y vapor H ₂ O	Comunicación por satélite; Radar terrestre enlaces de microondas; bucle local inalámbrica
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	Línea vista, atenuación atmosférica debido oxígeno y vapor H ₂ O	Experimental, bucle radial inalámbrico, astronomía radial
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	Línea vista	LAN's infrarrojos, aplicaciones de artefactos electrónicos
Visible light	400 to 900 THz	770 to 330 nm	Línea vista	Comunicación óptica

5.3.1. Propagación de la Onda Terrestre

La propagación de la onda de tierra (Figura 5.3.1.1(a)) sigue más o menos el contorno del Tierra y puede propagarse a distancias considerables, muy por encima del horizonte visual. Este tipo de propagación se encuentra en frecuencias de hasta aproximadamente 2 MHz. Varios factores explican la tendencia de la onda electromagnética en esta banda de frecuencia a seguir la curvatura de la Tierra. Un factor es que la onda electromagnética induce una corriente en la superficie de la Tierra, cuyo resultado es ralentizar el frente de onda cerca de la Tierra, causando que éste se incline hacia abajo y por lo tanto siga la curvatura de la Tierra. Otro factor es la difracción, que es el fenómeno relacionado con el comportamiento electromagnético de las ondas en presencia de obstáculos. Las ondas electromagnéticas en este rango de frecuencias se dispersan en la atmósfera tal manera que no penetran en la atmósfera superior. El ejemplo más conocido de comunicación de onda de tierra es la radio AM.

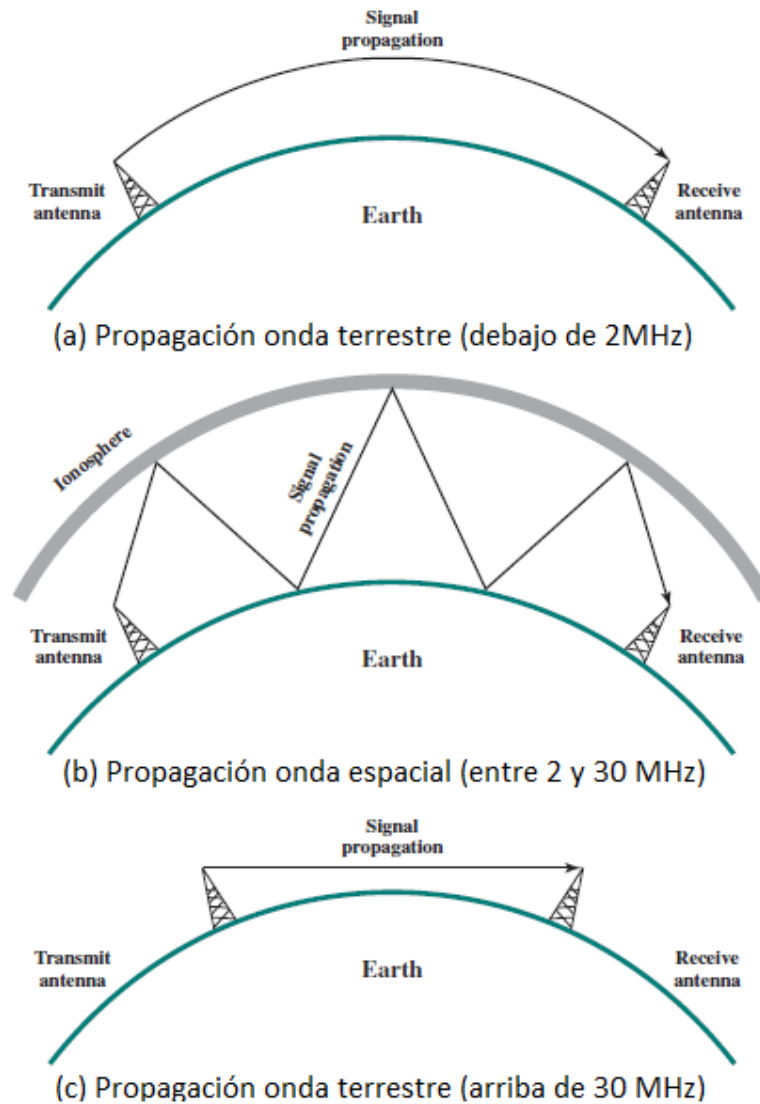


Figura 5.3.1.1: Modos de propagación inalámbrica

5.3.2. Propagación de la onda espacial

La propagación de ondas de cielo se utiliza para radioaficionados y transmisiones internacionales, como BBC y Voice of America. Con la propagación de la onda espacial, una señal generada por una antena ubicada en la tierra se refleja en la capa ionizada de la atmósfera superior (ionósfera) y vuelve a la Tierra. Aunque parece que la onda se refleja desde la ionósfera como esta fuera una superficie reflectante dura, en realidad el efecto es causado por el fenómeno de la refracción.

Una señal propagada por medio de una onda espacial puede viajar a través de varios saltos, rebotando en la ionósfera y volviendo a la tierra (Figura 5.3.1.1(b)). Con este modo de propagación, se puede recoger una señal a miles de kilómetros del transmisor.

5.3.3. Propagación de línea de visión

Por encima de 30 MHz, no funcionan los modos de propagación de onda terrestre ni espacial y la comunicación debe ser por línea vista (Figura 5.3.1.1(c)). Para comunicación satelital, una señal por encima de 30 MHz no se refleja en la ionosfera y, por lo tanto, se puede transmitir una señal entre una estación terrena y un satélite sobrepasando la línea del horizonte. Para la comunicación terrestre, las antenas del transmisor y el receptor deben estar dentro de una línea de visión “efectiva” entre sí. El término “efectiva” se utiliza porque las microondas están curvadas o refractadas por la atmósfera. El nivel de curvatura e incluso la dirección de la misma dependen de condiciones que no se analizan en las presentes notas. De todos modos, en general las microondas siguen la curvatura de la tierra, por lo tanto, se pueden propagar más allá de la línea de visión óptica.

Refracción: A continuación, una breve reseña sobre la refracción. La refracción ocurre porque la velocidad de una onda electromagnética es una función de la densidad del medio a través del cual viaja. En el vacío, una onda electromagnética (como la luz o una onda de radio) viaja a aproximadamente 3×10^8 m / s. Esta es la constante, “*c*”, comúnmente conocida como la velocidad de la luz, pero en realidad se refiere a la velocidad de la luz en el vacío. En aire, agua, vidrio y otros medios transparentes o parcialmente transparentes, las ondas electromagnéticas viajan a velocidades inferiores a “*c*”.

Cuando una onda electromagnética se mueve de un medio de una densidad a un medio de otra densidad, su velocidad cambia. El efecto es que la onda cambia la dirección de la misma, justo en el límite entre los dos medios. Cuando se mueve de un medio menos denso a uno más denso, la ola se dobla hacia el más medio más denso. Este fenómeno se observa fácilmente sumergiendo parcialmente un palo en agua. El índice de refracción, o índice de refracción, de un medio en relación con otro es el seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción.

El índice de refracción también es igual a la relación de las velocidades respectivas en los dos medios de comunicación. El índice absoluto de refracción de un medio se calcula en comparación con el vacío. El índice de refracción varía con la longitud de onda, de modo que los efectos de la refracción difieren para señales con diferentes longitudes de onda.

Aunque se produce un cambio abrupto y único en la dirección a medida que se mueve una señal de un medio a otro, en caso de que la señal se mueva a través de un medio en el cual el índice de refracción cambia gradualmente, esto producirá una curva continua y gradual de la señal. En condiciones normales de propagación, el índice de refracción de la atmósfera disminuye con altura para que las ondas de radio viajen más lentamente cerca del suelo, en contraposición con lo que pasa en las alturas. El resultado es una ligera flexión de las ondas de radio hacia la Tierra.

Línea vista óptica y línea vista de radio: El término línea vista óptica se refiere a la propagación en línea recta de ondas de luz. El término línea de visión de radio, o línea

vista “efectiva”, se refiere a la propagación de ondas de radio dobladas por la curvatura de la tierra. Sin obstáculos intermedios, la línea vista óptica puede expresarse como:

$$d = 3.57 \sqrt{h}$$

donde d es la distancia entre una antena y el horizonte en kilómetros y h es la altura de la antena en metros. La línea vista de radio o “efectiva” al horizonte se expresa como:

$$d = 3.57 \sqrt{Kh}$$

donde K es un factor de ajuste para tener en cuenta la refracción. Una buena regla de oro es $K = 4/3$. Por lo tanto, la distancia máxima entre dos antenas para la propagación de línea vista “efectiva es $3.57\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2}$, donde h_1 y h_2 son las alturas de las dos antenas.

Ejemplo: La distancia máxima entre dos antenas para transmisión línea vista “efectiva” si una antena tiene 100 m de altura y la otra está a nivel del suelo es:

$$d = 3.57 \sqrt{Kh} = 3.571133 = 41 \text{ km}$$

Ahora suponga que la antena receptora tiene 10 m de altura. Para lograr la misma distancia, ¿Qué altura debe tener la antena transmisora? El resultado es:

$$41 = 3.57 (\sqrt{Kh_1} + \sqrt{13.3})$$

$$\sqrt{Kh_1} = (41 / 3.57) - \sqrt{13.3}$$

$$h_1 = 7.842 / 1.33 = 46.2 \text{ m}$$

Esto supone un ahorro de más de 50 m en la altura de la antena transmisora. Este ejemplo ilustra el beneficio de elevar las antenas receptoras sobre el nivel del suelo para reducir la altura necesaria del transmisor.