



© Fondo de Cultura Económica

INFORMACIÓN Y TELECOMUNICACIONES

Autor: FEDERICO KUHLMANN / ANTONIO ALONSO

- [COMITÉ DE SELECCIÓN](#)
- [EDICIONES](#)
- [PREFACIO](#)
- [I. INTRODUCCIÓN](#)
- [II. SEÑALES, SISTEMAS Y SUS CARACTERÍSTICAS](#)
- [III. LAS TELECOMUNICACIONES HASTA 1950](#)
- [IV. HACIA LAS COMUNICACIONES MODERNAS](#)
- [V. REDES DE TELECOMUNICACIONES](#)
- [VI. SERVICIOS MODERNOS DE TELECOMUNICACIONES](#)
- [EPÍLOGO](#)
- [GLOSARIO](#)
- [COLOFÓN](#)
- [CONTRAPORTADA](#)



COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores

Dr. Leopoldo García-Colín

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Guillermo Haro †

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Emilio Rosenblueth †

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora Fundadora:

Física Alejandra Jaidar †

Coordinadora:

María del Carmen Farías



Primera edición, 1996

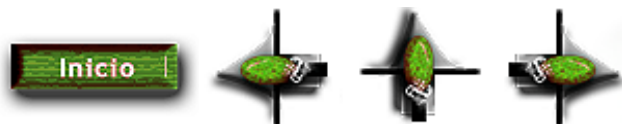
La Ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

D.R. © 1996 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227, 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-5093-X

Impreso en México



PREFACIO

LAS TELECOMUNICACIONES MODERNAS son un catalizador del desarrollo de las naciones: representan un elemento indispensable para el funcionamiento adecuado de las empresas e instituciones y forman parte de la vida cotidiana de una gran parte de los habitantes de este planeta. Sin embargo, a pesar de estar presentes en muchas de las actividades de la humanidad —al hablar por teléfono, al ver televisión, al escuchar la radio, al realizar una transacción en algún banco—, pocas personas entienden la manera en que se realizan las telecomunicaciones. Lo que la mayoría de las personas sabe es que, de alguna manera, se transmite algo, quizá por arte de magia, utilizando equipos de gran complejidad. Pero ignoran los principios básicos que hacen posible esas transmisiones.

El objetivo de este libro es que el lector entienda los principios en que se basan las telecomunicaciones, y que pueda responder a las siguientes preguntas:

¿Qué es la información?

¿Cómo se transmite y se procesa la información?

¿Cuáles son los componentes de un sistema de telecomunicaciones?

¿Cómo han evolucionado las telecomunicaciones y cómo funcionan los sistemas tradicionales?

¿Hacia dónde están evolucionando las telecomunicaciones?

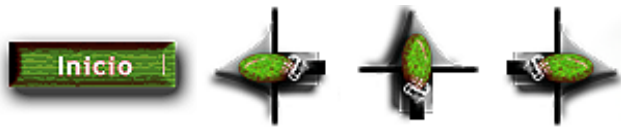
¿Qué tipo de nuevos servicios o sistemas pueden ser esperados con los nuevos avances tecnológicos?

Para poder responder a estas preguntas, se conduce al lector de manera sistemática a través de la evolución de las telecomunicaciones. En la introducción se presentan los conceptos fundamentales de las comunicaciones, su uso en épocas remotas, la importancia del concepto "información", y se menciona a los científicos y tecnólogos destacados que han contribuido de manera significativa al desarrollo de este campo del conocimiento. Asimismo se explica la importancia que tienen las señales y los sistemas, así como la forma en que éstos interactúan —estas ideas se ilustran con numerosos y sencillos ejemplos—. A continuación se ofrece una descripción del funcionamiento de tres sistemas fundamentales en las telecomunicaciones tradicionales: la telegrafía, la telefonía y la radiodifusión.

A partir de la segunda mitad de este siglo se inició un desarrollo tecnológico y científico sin precedente en la historia de la humanidad. La segunda Guerra Mundial fue el escenario que propició muchos sucesos que a la larga nos permitirían llegar a los sistemas y los servicios de telecomunicaciones disponibles en la actualidad. En el capítulo denominado "Hacia las comunicaciones modernas" se analizan los conceptos establecidos en esa época, tales como codificación, criptografía, sincronía, conversión analógico digital, entre otros, que son fundamentales para las telecomunicaciones modernas. Para ello se utiliza el "telégrafo hidráulico con sincronización óptica" —telégrafo muy sencillo, utilizado antes de nuestra era—. En este capítulo también se hace hincapié en las ventajas de las comunicaciones digitales sobre las analógicas.

Ya que uno de los elementos más importantes de los sistemas modernos son las redes de telecomunicaciones —de hecho, en ellas se basan las telecomunicaciones actuales—, en el capítulo V se exponen los conceptos necesarios para entender qué son, para qué sirven, cómo se enlazan y que tipo de servicios prestan. Finalmente, en el capítulo VI se habla acerca de los servicios modernos de telecomunicaciones, tales como servicios de valor agregado, comunicaciones satelitales, radiolocalización de personas, control de flotillas de vehículos por medio de radio y satélites, etc. El epílogo atisba algunas imágenes de lo que podría ser el futuro del mundo cuando cuente con redes globales y supercarreteras de información. Para facilitar la lectura y aclarar posibles dudas sobre el significado de algunas palabras, un glosario anexo recoge los términos más utilizados en la literatura de las telecomunicaciones.

Agradecemos al Fondo de Cultura Económica la paciencia que tuvo durante la elaboración del libro. Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a Jorge Rimblas, Marisol López y Rodrigo Assael por su ayuda en la elaboración de las figuras, a Silvia Guardati por el diseño de la portada, a Víctor Valadez.



I. INTRODUCCIÓN

LAS PALABRAS "COMUNICACIÓN" E "INFORMACIÓN" pertenecen al lenguaje cotidiano; se usan y se conoce su significado en forma intuitiva, nadie subestima su importancia, pero pocas personas podrían definir las en forma precisa.

Desde el punto de vista etimológico, la palabra "comunicación" proviene de la raíz latina *communicare*, es decir, "hacer común" algo. Por otra parte, "información" tiene su origen en las palabras *in* y *formare*, es decir, "instruir hacia adentro". A partir de estas dos palabras, y debido a la importancia que en épocas recientes han cobrado, se ha generado una enorme cantidad de variantes, cada una con un significado muy preciso, aplicable a ciertos tipos de situaciones. Por ejemplo, "telecomunicaciones" significa comunicar a distancia, "informática" (que proviene de "información", *auto* y *mática*) supone el procesamiento automático de la información; "telemática" es la conjunción de "telecomunicaciones" e "informática", e implica la transmisión y el procesamiento automático de la información.

En una de las obras de mayor repercusión sobre las telecomunicaciones modernas, *A Mathematical Theory of Communication*, de C. E. Shannon y W. Weaver, editada por la University of Illinois Press, en 1949, se define el concepto de comunicación de una manera muy sencilla: "comunicación son todos aquellos procedimientos por medio de los cuales una mente afecta a otra". Esto incluye voz, texto impreso o escrito, música, artes, teatro y danza. En la misma obra se amplía la idea anterior para incluir la posibilidad de comunicación entre máquinas: "comunicación son todos aquellos procedimientos por medio de los cuales un mecanismo afecta la operación de otro", y se menciona explícitamente, como ejemplo, el control de aviones.

Pero volviendo a las dos palabras originales (información y comunicación), es necesario mencionar que ambas tienen una gran cantidad de acepciones, y sus significados pueden ser sorprendentemente distintos, como veremos a continuación.

La información es coleccionable, almacenable o reproducible. Se utiliza para tomar decisiones, conduce también a conclusiones acertadas o equivocadas, puesto que puede ser interpretada de diversas formas por distintos individuos, dependiendo de muchos factores subjetivos y del contexto en que se encuentre la persona que la recibe e interpreta. Así como es posible comunicar una noticia, también se comunican los estados de ánimo, opiniones o conocimientos. Citamos un caso a manera de ejemplo: el 19 de junio de 1815, en la Bolsa de Valores de Londres, un mensajero proveniente de Ostend, Bélgica, entregó en secreto una noticia a Nathan Rothschild. De inmediato, Rothschild vendió todas sus acciones. Los observadores, enterados de que Rothschild tenía fuentes confiables de información, lo imitaron porque supusieron que ello se debía a una victoria napoleónica en Waterloo, lo cual pondría en serios problemas a la prosperidad británica y su hegemonía sobre Europa. Hacia el mediodía, en un mercado de valores totalmente deprimido, Rothschild compró nuevamente todos los valores que él y todos los que lo imitaron habían vendido, a sólo una fracción del precio de las ventas originales. Horas más tarde llegó la noticia de la victoria de Wellington, con lo cual los valores no sólo recuperaron su precio de la mañana, sino que, al estar en manos de una sola persona, éste aumentó... y con ello Rothschild ganó una fortuna, en pocas horas, por tener y manejar adecuadamente información que nadie más poseía. ¹ 

Todo lo relacionado con las comunicaciones —es decir, las técnicas, la ciencia, la tecnología— se ha visto fuertemente impulsado por las necesidades militares de cada época. Una infinidad de hechos históricos documentan el derrumbe de personajes, la derrota de ejércitos y la pérdida de enormes fortunas, porque alguna de las partes en pugna contaba con información estratégica que las otras partes no poseían.

La mayor influencia sobre las comunicaciones la tuvo la segunda Guerra Mundial: en esa época la humanidad ya se encontraba en la frontera de la revolución tecnológica, misma que las actuales generaciones hemos tenido la oportunidad de presenciar desde hace algunos años. Muchos de los sucesos que condujeron a la conclusión de la guerra, con el resultado que todos conocemos, estuvieron relacionados con la disponibilidad de información oportuna o con la interceptación ingeniosa de información del enemigo. Los requerimientos de comunicaciones instantáneas, seguras y privadas de esa época fueron determinantes para que las comunicaciones sean lo que son hoy en día. Recientemente, un almirante retirado de la Real Armada Británica describió cómo su conocimiento de los códigos con que se enviaban órdenes a los submarinos alemanes le permitió conducir convoyes de los Aliados

alrededor de buques enemigos, y cómo esto condujo finalmente a una victoria en el Atlántico. Este tipo de espionaje militar también dio a los Aliados las primeras pistas sobre las armas alemanas basadas en bombas V,

por lo cual se decidió el bombardeo del centro de desarrollo estratégico alemán en Peenemünde. ²  También se sabe que, en los últimos días de la guerra, Churchill y Roosevelt se comunicaban telefónicamente sólo si existía la seguridad de que nadie los escuchaba o de que si alguien lo hacía, no los entendería; esto se resolvió con el siguiente esquema: después de establecer una perfecta sincronización entre los equipos de ambos líderes, se usaban dos copias idénticas de grabaciones de ruido. Entonces, en las habitaciones donde iban a realizarse las conversaciones se activaba el inicio de las grabaciones idénticas, con la mayor precisión de tiempo posible, (por ejemplo a las 00:00 horas GMT). Con esa ruidosa "música de fondo" transmitían su conversación: mientras uno de ellos sumaba el ruido a su voz antes de la transmisión, el otro lo restaba de lo que recibía (o sea, de la suma de voz y ruido); con esta última operación quedaba sólo la voz en el receptor. Cualquier interceptación de las transmisiones sólo hubiera sido capaz de reproducir el ruido, totalmente ininteligible, debido a que su volumen era mucho mayor que el de la voz.

Se sabe de muchos escándalos financieros en los cuales las personas que poseen información confidencial antes que otras, la usan a su favor, y ganan grandes capitales (este uso personal de información confidencial es ilegal en muchos países).

En estos días es difícil pensar que alguien niegue conscientemente que la información tiene un valor; la información ha ido ganando importancia conforme la gente que toma decisiones está convencida de que ésta se puede asociar a un valor real, frecuentemente ligado a un valor material o económico. Esto es distinto de lo que ocurría en otras épocas, en que predominaban otros bienes y servicios, que tenían mayor valor económico. A las épocas de grandes cambios en la historia de la humanidad, se les han asignado nombres especiales: el Renacimiento, la Ilustración, Revolución industrial... En nuestros días, última década del siglo XX, es de tal importancia poseer, administrar y transmitir información, que toda la humanidad se ve y se seguirá viendo afectada, influida y posiblemente dominada por quienes tienen, administran y transmiten este recurso, razón por la cual a esta época se le han impuesto los calificativos de *sociedad de la información* o de *Revolución electrónica*, éste último debido a la facilidad con que se procesa y transmite la información por medio de los sistemas modernos basados en dispositivos electrónicos.

Uno de los aspectos más abstractos e importantes de la información es que su valor puede disminuir a lo largo del tiempo. Es decir, en un momento determinado a alguien le puede interesar contar con cierta información, pero ese interés puede decrecer o incluso desaparecer algún tiempo después. Por otra parte, es necesario que la información sea de interés para el individuo que la adquiere o recibe, quien, además, no debe conocer *a priori* su contenido; en caso contrario, dicha información le resultará irrelevante. Es evidente que este estado de incertidumbre no necesariamente tiene que ser consciente ni voluntario.

La información se origina en una fuente y se hace llegar a su destinatario por medio de un mensaje a través de un canal de comunicación; el destinatario generalmente se encuentra en un punto geográfico distante, o por lo menos, separado de la fuente. La distancia entre fuente y destinatario puede variar desde pocos centímetros (al hablar frente a frente a un volumen normal) hasta cientos y aun miles de kilómetros (como es el caso de transmisiones telefónicas intercontinentales o de transmisiones desde y hacia naves espaciales).

Esto constituye precisamente el problema central de las telecomunicaciones, ya que al haber una fuente que genera información en un punto y un destinatario en otro punto geográfico distante del primero, se trata de saber cuál es la mejor manera de hacer llegar al destinatario la información generada por la fuente, de manera rápida (por la dependencia temporal de la importancia de la información), segura (para garantizar que la información no caiga en manos de alguien que haga mal uso de ella, o a quien simplemente no estaba destinada), y veraz (para garantizar que en el proceso de transmisión no se alteró el contenido de la información). En nuestros días, influidos fuertemente por aspectos de tipo económico, intervienen además otros factores, tales como el costo de hacer llegar la información de la fuente a su destino. Si el factor costos no fuera determinante, con seguridad conversaríamos telefónicamente con amistades o parientes en otros países sin importar la duración de las llamadas.

El problema central de las telecomunicaciones también fue definido con claridad por Shannon, nuevamente con una sencillez asombrosa, quien estableció que un sistema de comunicaciones consiste en cinco componentes:

1) una fuente de información, 2) un transmisor de información cuya función consiste en depositar la información proveniente de la fuente en un canal de comunicaciones, 3) un canal de comunicaciones, a través del cual se hace llegar la información de la fuente al destino, 4) un receptor que realiza las funciones inversas del transmisor, es decir, extrae la información del canal y la entrega al destinatario, y 5) un destinatario (véase la figura I.1).

Un mensaje se usa para hacer llegar información de fuente a destino, y no es lo mismo un mensaje que la información que éste contiene. Considérese el siguiente ejemplo: Una persona (A) desea enviar cierta cantidad de dinero por medio de un giro telegráfico a otra persona (B). En este caso, A es la fuente, B el destinatario. La información es aquello necesario para conocer la cantidad de dinero y para originar la entrega del mismo a B, y el mensaje es el conjunto de palabras o símbolos telegráficos necesarios para que B conozca la intención de A y para que B pueda disponer del dinero que A le envía.

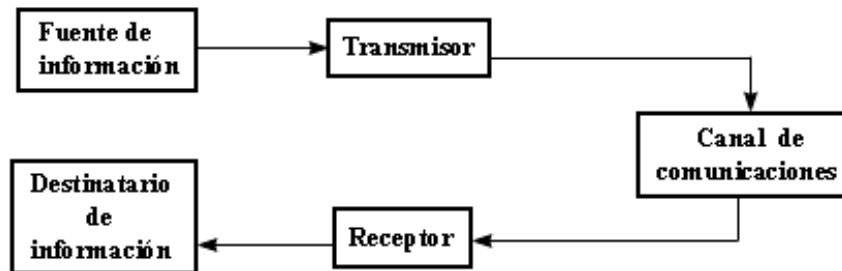


FIGURA I.1 Componentes de un sistema de comunicaciones.

Desde los orígenes de la humanidad, la forma natural en que la información se transmite entre personas es a través del lenguaje oral. (En la actualidad, también existe la necesidad de transmitir información entre máquinas.) Debido a la naturaleza efímera de los mensajes orales (hay que recordar el dicho popular de que "las palabras se las lleva el viento"), siempre existió el deseo y la necesidad de hacer que el contenido de información sea invariante en el transcurso del tiempo. Ello dio origen a los mensajes escritos, los cuales han evolucionado desde las pinturas rupestres, la escritura cuneiforme, los pictogramas, los jeroglifos y el lenguaje fonético de los fenicios en el siglo XI a. C., hasta los distintos conjuntos de símbolos con que hoy se cuenta. Los precursores de las memorias electrónicas, magnéticas u ópticas de hoy son precisamente el papel y los muros de las cavernas. A lo largo del proceso, para pasar de los mensajes escritos a los símbolos codificados, el hombre inventó y perfeccionó sistemas que son frecuentemente utilizados en la actualidad, tales como la imprenta y la fotografía.

Desde la Antigüedad se reconocía la necesidad de transmitir información a distancia. Desde entonces, las soluciones a este problema han estado íntimamente relacionadas con el desarrollo cultural, social y político de la humanidad. Para transmitir información entre dos puntos, primero debe ser "envasada" en un "contenedor", que posteriormente se enviará a través de un canal; dicho proceso es tan abstracto como el de la misma información, pero se explica con la ayuda de algunos ejemplos: si la información consiste en ideas, decisiones o estados de ánimo, las maneras de enviarla a distancia por medio de palabras, texto impreso, imágenes, ondas acústicas, ondas electromagnéticas o señales intermitentes de humo —por mencionar sólo algunas—, y los canales de comunicación para cada uno de ellos son respectivamente el aire, el correo, un cable de televisión, el aire y la atmósfera en los dos últimos casos. De esto se ve que el medio o canal a través del cual se transmite la información es un elemento que impone restricciones sobre los "contenedores" de la información: una onda acústica sólo puede ser transmitida por un canal que conduzca ondas acústicas y una eléctrica, por un medio conductor de señales eléctricas. Afortunadamente, hoy en día, con ayuda de la tecnología, es posible solucionar estas limitaciones y convertir señales de un tipo a otro: el precursor de esto es el micrófono, por medio del cual se convierte una señal acústica en una señal eléctrica.

El mensaje fue creado por el hombre para comunicarse, es decir, para hacer común algo que en este caso

específico es la información. Esto es una muestra palpable del ingenio humano: la creación de un mensaje forzosamente implica la necesidad de codificar la información para que sea susceptible de ser enviada o transmitida; no sería posible transmitir una idea si no se utilizara el lenguaje oral, el corporal, el escrito, o algún otro; estos lenguajes son precisamente las versiones codificadas de la información. Es posible explicar las funciones del codificador de la siguiente manera: así como no se puede enviar una carta (es decir, un sobre de papel que contiene otros papeles en su interior, cuyos símbolos o texto contienen la información que se desea transmitir) a través de un canal telefónico o de la atmósfera (esto último sólo es posible si se lanza el sobre como proyectil y su alcance es de unos cuantos metros), tampoco es posible enviar señales de humo utilizando para ello un sobre de papel. Por tanto, es indispensable adaptar el mensaje que contiene la información al canal por el que será transmitido. Esta es precisamente la función de un codificador. Para que se complete el proceso de comunicación, se requiere que tanto el que origina el mensaje como el que lo recibe conozcan la forma en que fue codificada la información (esto es, el código que fue empleado); en otras palabras, para que dos personas se comuniquen por la vía oral, es indispensable que ambas hablen el mismo idioma, y para que dos personas se comuniquen por vía telefónica, se requiere que, además de hablar el mismo idioma, ambas tengan a su disposición un aparato telefónico y que ambos aparatos estén unidos por medio de conductores de señales (véase figura I.2.).

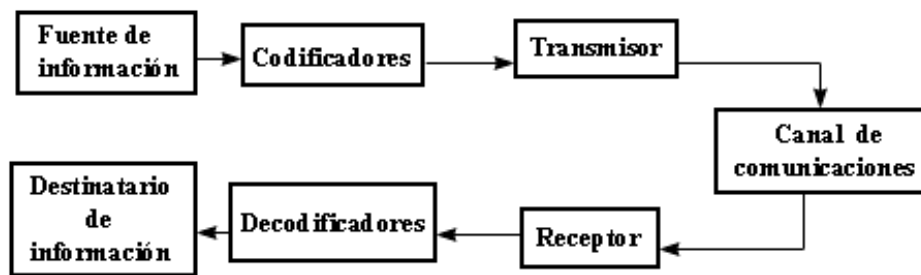


FIGURA I. 2 Sistema de comunicación con codificadores.

El hombre, al querer cubrir distancias cada vez mayores, empezó a utilizar sistemas cada vez más complejos, conforme se lo permitían los avances científicos y tecnológicos. Como consecuencia, también comenzó a usar sistemas de codificación tan abstractos como la escritura misma: símbolos basados en señales intermitentes de humo, o en diversas combinaciones de señales de fuego generadas por medio de antorchas. Éstos fueron los

precursores de la codificación de la información. El historiador griego Polibio (204-122 a. C.)³  relata que la manera en que se codificaban las 24 letras del alfabeto griego era colocando cada una de ellas en una retícula cuadrada de 5 x 5 unidades: por ejemplo, el código de la letra "alfa", colocada en el primer espacio, era "primer renglón, primera columna". Se puede afirmar que también fue Polibio quien diseñó el primer sistema digital de comunicaciones síncronas. En este caso, se trabajaba en la misma línea visual, de una isla a otra, con dos recipientes cilíndricos de igual tamaño llenos de agua. Ambos tenían un pequeño orificio por donde salía un chorro de agua. Dentro de los recipientes se contaba con una regla que tenía un conjunto de símbolos convencionales: necesito refuerzos, necesito alimento, manden barcos, etc. Por medio de una antorcha se señalizaba (se informaba) de una isla a otra el instante en que debía ser abierto el orificio, y por medio de otra antorcha se señalizaba el instante en que debía ser cerrado. El mensaje transmitido era precisamente aquel que se encontraba a la altura del agua en el momento de cerrar los orificios. Por supuesto que la sincronía era un factor extremadamente crítico; si ésta fallaba podían recibir, por ejemplo, refuerzos de caballería cuando lo que en realidad necesitaban eran alimentos (véase la figura I.3.).

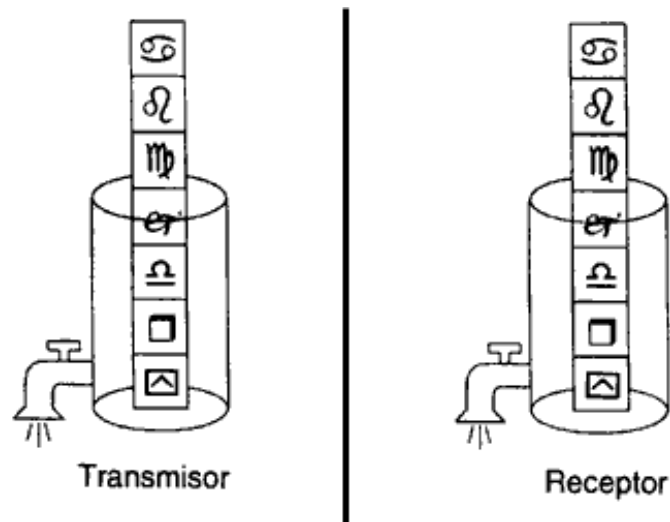


Figura I.3 Codificador de Polibio.

La documentación que existe acerca del desarrollo de la transmisión de información, es decir, de las telecomunicaciones, principalmente en sus orígenes, es más escasa que aquella referente a la evolución de los lenguajes escritos; de hecho, la primera existe gracias a los segundos.

Es probable que entre los primeros sistemas de los cuales se valió el hombre para transmitir información a distancia fue el de los mensajeros humanos. Sin embargo, cuando la distancia era mayor que la que podía recorrer un mensajero (ya sea caminando o cabalgando) en el tiempo requerido para que el destinatario no perdiera interés en la información o para que ésta no llegara demasiado tarde, surgió el sistema denominado de "relevos". Esta nueva evidencia del ingenio humano está documentada en fuentes históricas sobre las comunicaciones en el Imperio romano: ahí se menciona la existencia de "mutaciones" y "mansiones", o sea, estaciones para cambio de cabalgadura y para descansar, respectivamente (estos conceptos son precursores de los hoteles y moteles ubicados en las carreteras de hoy).

Un mensajero que en aquella época tenía que recorrer largas distancias estaba también forzado a salvar todas las asperezas topográficas propias de la región. El hombre se percató, entonces, del hecho de que las señales ópticas podían recorrer mayores distancias y más rápidamente que las señales de tipo acústico. Es decir, una persona puede alcanzar a ver algo que ocurre a una distancia mayor que aquella que puede ser cubierta por medio de sonidos o, en el caso extremo, de gritos. Esta "nueva tecnología" podía, además, fácilmente salvar obstáculos, como barrancos, cerros, ríos o lagos.

Esquilo (525-456 a. C.), en su tragedia *Agamenón*, relata cómo alrededor del año 1000 a. C. ya se utilizaba este sistema en combinación con el de los relevos: se estableció un sistema de comunicación óptica entre Troya y Argos, que contaba con estaciones repetidoras, y lograba cubrir en una noche una distancia de más de 500 km (en mar y tierra). Por medio de este sistema la reina Clitemnestra recibió en Mikenos la noticia acerca de la caída de Troya; para ella esto significaba el inminente regreso de su esposo. Cabe mencionar que en esa época, debido a que las señales ópticas se generaban por medio de antorchas, eran más efectivas las transmisiones durante la noche que durante el día.

En nuestros días persiste el sistema de las repetidoras; la función de un satélite de comunicaciones "estacionado" a 35 000 km de distancia de la Tierra es la misma que la de un guerrero griego en la cima del monte Atos (el más alto entre Troya y Mikenos), a una altura de 2 033 metros sobre el nivel del mar: recibir información de un punto y retransmitirla a otro, sin introducir ninguna modificación.

Describir la forma en que las comunicaciones han evolucionado desde aquellas épocas hasta nuestros días sería equivalente a hacer un relato histórico de la humanidad misma. Así, pues, partiendo del hecho de que siempre ha existido la necesidad o simplemente el deseo de transmitir información a distancia en forma rápida y confiable, a

continuación exponemos la evolución de esta rama del conocimiento, explicando también el funcionamiento de algunos sistemas usados en la actualidad.

A pesar de que en el pasado remoto fueron ideados los precursores de las telecomunicaciones modernas, cuando al principio pequeños grupos de individuos y después países enteros construyeron sus propias infraestructuras para satisfacer la necesidad de transmitir información a distancia, los fundamentos técnicos del área datan del pasado y el presente siglo. Una excepción es el correo, que se inició hace ya algunos siglos y en el cual los principios básicos aún perduran: la información que se ha de transmitir se codifica en palabras, que a su vez son plasmadas en papel (o sus predecesores); se utilizaba posteriormente algo similar a lo que ahora se conoce como un "sobre", el cual era depositado en un buzón (o su equivalente). Todos los sobres depositados en los buzones eran recolectados y transportados a una oficina central en donde se seleccionaba la ruta que había de seguir cada sobre; para llegar a su destino se pasaba por una etapa de transporte que incluía todos los recursos disponibles en cada época, hasta que finalmente se entregaba al destinatario. Durante un largo periodo en la historia de la humanidad, ésta fue la única forma de comunicación a distancia, desde luego adaptándose a las posibilidades que iban ofreciendo los nuevos adelantos tecnológicos: en lo que se refiere al transporte, del caballo se pasó a los barcos y los ferrocarriles, después a los automóviles y por último a los aviones.

Fue necesario el descubrimiento de muchos fenómenos elementales de la física, tales como la electricidad y el magnetismo, para que surgieran competidores para el sistema postal; esto ocurrió gracias a los trabajos pioneros de los físicos ⁴  A. Volta (1745-1827); G. S. Ohm (1787-1854); J. C. Maxwell (1831-1879); A. M. Ampère (1775-1836); J. Henry (1797-1878); M. Faraday (1791-1867); H. C. Oersted (1777-1851); C. Wheatstone (1802-1875); K. F. Gauss (1777-1855). Sus trabajos fueron aplicados exitosamente a los primeros sistemas de telecomunicaciones por H. Baudot (1845-1903); C. Chappe (1767-1805, quien fue el primero en utilizar la palabra "telégrafo" para identificar el sistema que usaba para enviar mensajes a su hermano mientras estaba en la escuela); S. Morse (1791-1872); G. Marconi (1874-1937); A. G. Bell (1847-1922) y H. Hertz (1857-1894). Después del telégrafo óptico se originó el telégrafo eléctrico en su versión alámbrica (1844), la cual evolucionó a su versión inalámbrica (1874). Posteriormente, en 1876, hace casi 125 años, surgió el sistema telefónico. El teléfono primero sorprendió, luego provocó temor (Lenin: para la contrarrevolución no hay instrumento más adecuado que un teléfono). Para los usuarios, salvo en aspectos de cobertura y conectividad, sigue siendo "casi" lo mismo que hace 125 años, es decir, una caja negra (o ahora de colores) con un micrófono y un auricular. El teléfono se fue convirtiendo en el sistema predominante, debido a que existía un abismo enorme en sus características con respecto al sistema postal e incluso al telegráfico, gracias a su velocidad, su confiabilidad, su bidireccionalidad y su privacidad. Tan sólo 35 años después de su introducción (o sea, alrededor del año 1910) ya existían en los Estados Unidos de América cerca de unos 7 millones de teléfonos (como referencia, a fines de 1992, en México existían poco menos de 7 millones de líneas telefónicas).

La mayoría de los usuarios del servicio telefónico no podrían imaginar lo que serían sus vidas sin el teléfono. Está basado, sin lugar a dudas, en la computadora más compleja, más grande, más distribuida de todo el mundo. Casi de manera instantánea se pueden comunicar dos personas desde un punto a otro del planeta de manera automática, con tan sólo oprimir unos pocos botones o girando el pequeño disco de plástico del aparato telefónico. La conexión, selección de rutas y circuitos, la señalización, la facturación, ocurren casi sin intervención humana en el proceso.

Durante estos 125 años de vida del teléfono, se han desarrollado de manera paralela otras tecnologías complementarias y, por añadidura, acontecimientos muy importantes promovieron aún más el acelerado desarrollo del área. Ya desde la primera Guerra Mundial se reconoció plenamente el valor estratégico de la transmisión de información, y se le dio además algunos elementos que hasta esos momentos no habían sido considerados importantes: no era suficiente que llegara la información a su destino, sino que debía llegar de manera confiable y segura, sin la posibilidad de ser interceptada o escuchada por otras personas, a pesar de la presencia inevitable del ruido en los canales de comunicaciones. Estos problemas constituyen los temas centrales de la teoría de la información, producto de la mente genial de C. E. Shannon.

Aunque en este momento hay numerosas opciones para resolver el problema central de las telecomunicaciones, los tres servicios originales (teléfono, telégrafo, correos) aún subsisten y, en mayor o menor medida, siguen teniendo una importancia considerable dentro de las comunicaciones modernas para algunas aplicaciones especiales; no obstante, existe la posibilidad de que esta afirmación no pueda ser sostenida dentro de algunas décadas.

En estas fechas estamos presenciando una carrera tecnológica en la cual es frecuente ver nuevos sistemas y servicios que hasta hace unos años eran inimaginables. Ello ha sido originado por un sinnúmero de descubrimientos científicos y tecnológicos sobresalientes dentro de las comunicaciones, que han dado forma a lo que hoy son las telecomunicaciones modernas.

Los servicios y sistemas basados en tecnologías modernas que actualmente tiene a su disposición la humanidad cubren una amplia gama que va desde la telefonía hasta la transmisión de datos por medio de redes donde las computadoras establecen "diálogos" entre sí, pasando por todos los sistemas de comunicación con que gran parte del mundo se enfrenta todos los días (seguramente sin percatarse de su complejidad), tales como todas las modalidades de la radiodifusión, entre las que se encuentran la radio y la televisión, así como todas las variantes de la telefonía (desde la tradicional hasta la radiotelefonía celular).

Dentro del contexto de la ciencia, la tecnología y la ingeniería, es posible afirmar que la riqueza y la belleza de las telecomunicaciones radican en el hecho de que en ella convergen y encuentran un equilibrio la ciencia pura, la ciencia aplicada, la ingeniería y la tecnología. La presencia de la ciencia se puede identificar desde los orígenes de las telecomunicaciones en los trabajos de los científicos que dieron vida a esta disciplina hasta los trabajos fundamentales de Wiener y Shannon. Por otra parte, la tecnología y la ingeniería se hacen presentes en el momento de convertir dichos conocimientos científicos en satisfactores de necesidades humanas.

Las dos áreas que en el pasado han influido, pero que recientemente tienden a converger y a confundirse con las telecomunicaciones, son la electrónica y la computación.

La electrónica es piedra angular de las telecomunicaciones, ya que los sistemas modernos están contruidos con componentes electrónicas. Los pioneros de este campo son indudablemente Shockley y Bartee, quienes inventaron la pieza fundamental de la electrónica: el transistor. A ellos se les podría calificar como científicos o ingenieros. El transistor, a la postre, se convertiría en la piedra angular del procesamiento y la transmisión de la información. Este pequeño dispositivo dio también vida a los circuitos integrados, cuya importancia es incuestionable; en la actualidad existen y se usan circuitos integrados, o sea, pastillas de silicio de unos cuantos milímetros cuadrados, que contienen millones de transistores, que, a su vez, en conjunto, realizan millones de operaciones aritméticas o lógicas por segundo.

Por otra parte, a partir de la década de los años treinta, surge la chispa genial de A. M. Turing (1912-1954), quien, apoyado en trabajos previos de H. Hollerith (1860-1923) y C. Babbage (1792-1871), dio vida a los conceptos que conforman ahora la ciencia y la ingeniería de la computación. En los años cuarenta, producto de los trabajos de J. P. Eckert (1919-), J. W. Mauchly (1907-1980) y J. G. Brainerd, se abrieron a la humanidad las puertas del mundo de la computación: en 1943 se construyó la primera computadora, denominada ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator). En la última década de este siglo se puede apreciar la trascendencia de ese desarrollo: es difícil concebir o imaginar un sistema medianamente complejo (es decir, que tenga que realizar muchas operaciones matemáticas con cierto grado de automatización) que no tenga circuitos electrónicos, entre los cuales, seguramente, se encuentran microprocesadores. Estos últimos son los descendientes de la primera computadora ENIAC.

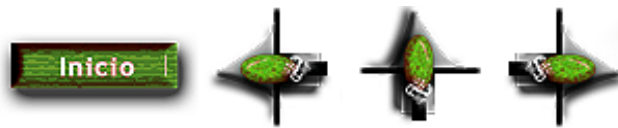
La complementación mutua de diferentes tecnologías y el desarrollo paralelo y concurrente de muchas de ellas han dado a las telecomunicaciones un grado de avance que hace apenas dos décadas y media era totalmente insospechable. Se cuenta en estos días con una infraestructura de telecomunicaciones con cobertura global, que ofrece una enorme variedad de sistemas interconectados, y que pone a disposición de los usuarios la más increíble diversidad de servicios de telecomunicaciones. Enumerarlos y saber cómo funcionan constituye todo un reto: desde el servicio básico de telefonía con todas sus modalidades y variaciones —como sus versiones local, de larga distancia, rural—, pasando por los distintos esquemas de radiotelefonía —como la móvil y la portátil—, hasta llegar al videotexto, las redes privadas y públicas de transmisión de datos, así como las redes digitales con servicios integrados, la radiodifusión, la televisión —con sus versiones vía cable, de alta resolución—, servicios de valor agregado como el teletexto, el fax, la radiodeterminación, la localización de personas, de vehículos y de flotillas de vehículos en movimiento, y casi todos los servicios que se prestan con las redes modernas de telecomunicaciones (casi todas las palabras que inician con el prefijo *tele*: telemedicina, telebankos, telecompras, televotaciones, teleconferencias, etcétera).

Vale la pena recordar la frase célebre de I. Newton (1642-1727): "yo no podría ver tan lejos si no me apoyara en

los hombros de gigantes". Los gigantes de las telecomunicaciones en que se apoyaron los científicos a partir de 1940 fueron las transmisiones radioeléctricas (las cuales permitieron el desarrollo de la televisión, la radio, las microondas y los satélites) y eléctricas (que a su vez dieron origen al teléfono, los cables submarinos, el télex y al concepto genérico de redes de telecomunicaciones).

Las mentes de las personas que permitieron llegar a este punto, de los "gigantes", aparte de que se les clasifique subjetivamente como científicos, ingenieros o tecnólogos, tienen algo en común: fueron geniales, privilegiadas por haber podido poner a disposición de la humanidad sus inventos o desarrollos, sus conocimientos científicos, que han cambiado de manera radical el comportamiento del ser humano, dándole la posibilidad de comunicarse, casi de forma instantánea, de muy diversas maneras, con casi cualquier otro habitante de este planeta.

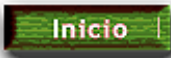
Pero aún existe espacio para seguir explotando sus resultados. Hay que recordar que las ideas geniales provienen de genios, y que, lamentablemente, éstos no abundan, pero también que las ideas verdaderamente innovadoras dan herramientas poderosas y amplias posibilidades de explotación al servicio de la humanidad durante un largo tiempo. Los nuevos gigantes de nuestra época tienen la ventaja de poder apoyarse sobre los hombros y los sólidos resultados de los genios del pasado.

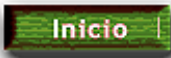


¹ Citado libremente de A. Gupta, "Satellite Communications: Forward to the Brave New World", *IEEE Communications Magazine* vol. 22, núm. 9, 1984, extraído a su vez de J. L. Servan-Schreiber, *The Power to Inform-Media: The Information Business*, McGraw-Rill, 1974, p. 189.

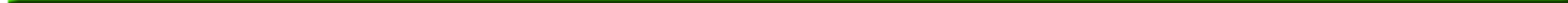


2 D. Kahn, "Cryptology Goes Public", *IEEE Communications Magazine*, marzo, 1980.





4 B. Bunch y A. Hellemans, *The Timetables of Technology* Simon & Schuster, 1993.



II. SEÑALES, SISTEMAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

DEBIDO A LA GRAN IMPORTANCIA que en el contexto de la información y las telecomunicaciones, tienen las señales y los sistemas, el propósito de este capítulo consiste en presentar las ideas y los conceptos necesarios para que se entienda lo que es una señal y un sistema, así como la manera en que interactúan en las telecomunicaciones. No es únicamente en dicha área donde han adquirido importancia; también en otros campos del conocimiento, tales como aeronáutica, astronáutica, acústica, sismología, ingeniería biomédica, medicina en general (recuérdese la importancia que tienen los electrocardiogramas y los electroencefalogramas, así como las tomografías axiales computarizadas y los estudios basados en resonancia magnética nuclear), sistemas de generación y distribución de energía eléctrica, control de procesos de transformación (ingeniería química) y de manufactura (ingeniería industrial o mecánica), uso doméstico y entretenimiento (vale la pena resaltar el efecto que recientemente han tenido los discos compactos, conocidos comúnmente como CD, en los cuales, a pesar de tratarse de señales acústicas de alta fidelidad, es decir, música, cada una de sus componentes genera y procesa algún tipo de información; este ejemplo será analizado más adelante).

En cada una de esas áreas del conocimiento, las señales utilizadas son de distinta naturaleza: en acústica se trata de señales generadas por fuentes de sonido como la voz, la música o cualquier clase de ruido; en control de procesos pueden ser señales de tipo térmico, mecánico o eléctrico generadas por los procesos mismos; en medicina pueden ser señales eléctricas o magnéticas generadas por el organismo humano; en sismología se trata de señales mecánicas, es decir, movimientos de la corteza terrestre. Sin embargo, todas ellas tienen algo en común: cada señal tiene una o más características que reflejan el comportamiento de uno o varios fenómenos físicos; es decir, que en alguna de sus características contiene información acerca de los fenómenos físicos que entran en juego.

Para analizar esto con mayor detalle, considérese como ejemplo el área de la sismología. El fenómeno físico participante en la generación de un sismo es el movimiento brusco de las capas que forman la corteza terrestre. Como estos movimientos generalmente son de tipo "impulsivo", producen, a su vez, movimientos en la superficie terrestre, ocasionando lo que se conoce como un sismo. Dicho movimiento tiene ciertas características, tales como intensidad y naturaleza ondulatoria. Si el movimiento de la superficie terrestre se traduce de alguna manera a una señal eléctrica, las características de la señal sísmica se preservan, pero en este caso se contaría con una señal que podría ser estudiada con mayor facilidad que la señal mecánica original. Considerando que un posible futuro gran sismo que afectaría de manera muy negativa a la ciudad de México podría generarse en la costa del estado de Guerrero, recientemente se instaló en esa zona un conjunto de sensores (sistemas que detectan los movimientos de las capas terrestres con base en aceleraciones) que generan señales eléctricas características de los movimientos de tipo mecánico por lo común asociadas a los sismos. Estas señales son transmitidas vía radio a la ciudad de México. Como los movimientos generados por el sismo viajan a lo largo de la superficie terrestre a una velocidad de aproximadamente 300 metros por segundo, y las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, las señales eléctricas transmitidas por este medio son recibidas en México antes de la llegada de las ondas sísmicas (es decir, del temblor). Con ello, los habitantes de la ciudad de México dispondrán de un tiempo valiosísimo antes de la llegada del sismo, durante el cual, si la población está bien capacitada y entrenada, se pueden realizar labores de evacuación.

En este ejemplo se aprecia la dependencia que existe entre el tiempo y una señal: cualquier persona que haya estado presente durante un sismo, recordará que conforme avanza el tiempo los movimientos de la tierra cambian de sentido, se percibe una especie de "vaivén" o de "sube y baja", y, afortunadamente, también conforme avanza el tiempo, la intensidad de los movimientos disminuye hasta que todo vuelve a su estado inicial de reposo.

Esta dependencia del tiempo es una de las características más importantes de casi todas las señales que serán tratadas en este libro. En términos un poco más formales, las características de la señal son "una función del tiempo". Para ilustrar esto, en la figura II.1 se presentan dos señales aparentemente iguales en forma, pero distintas entre sí porque su relación con el tiempo es diferente: la primera tiene una duración de 5 segundos, elevándose a su valor máximo en 3 segundos, mientras que la segunda sube a su valor máximo en 2 segundos y tiene una duración total de $11/3$ segundos.

En lo sucesivo, para indicar de manera explícita que la señal es función del tiempo, se utilizará la siguiente

notación:

y , x , u otra letra indica la amplitud de la señal;

t representa el tiempo;

$y(t)$ o $x(t)$ indica que y o x son función del tiempo.

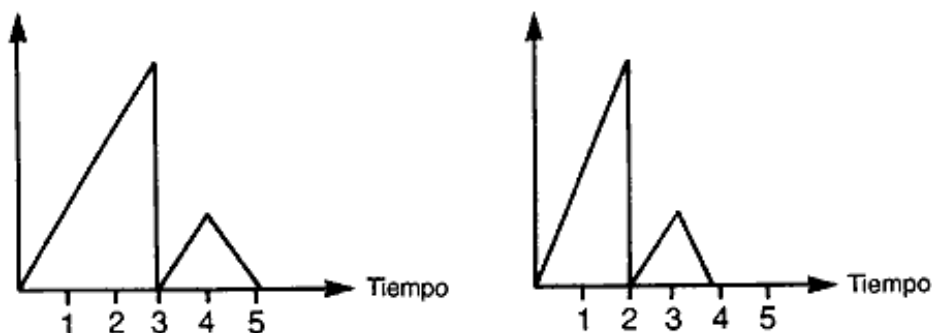


Figura II.1 *Dos señales con igual forma pero distinta relación temporal.*

En los ejemplos mencionados, las señales varían de una manera continua en función del tiempo; esto significa que conforme avanza el tiempo la señal adquiere valores dentro de un intervalo continuo. Ello se puede aclarar si se analiza un ejemplo donde esto no ocurra. Considérese una señal proveniente de un contador de vehículos al pasar por una caseta de peaje en una carretera. En este caso, el valor que adquiere la señal de conteo puede ser uno de los números asociados con un proceso de conteo: a lo largo del tiempo pueden haber pasado por la caseta 1, 82 o 197 vehículos, pero el número de vehículos no puede haber sido 63.3. A diferencia del primer caso, en que se habla de "señales continuas en amplitud" o "señales analógicas", esta segunda clase de señales se denomina "señales continuas en el tiempo, discretas en amplitud": la señal únicamente puede tomar, a lo largo del tiempo, valores de un cierto conjunto, que en este ejemplo, son los números enteros 0, 1, 2, 3, 4, 5... etc. Los cambios entre los valores enteros pueden ocurrir en cualquier instante (este hecho es lo que la hace continua en el tiempo).

En la figura II.2 se ilustra una señal $x(t)$ que es continua en el tiempo y continua en amplitud, y una señal $y(t)$ que es continua en el tiempo pero discreta en amplitud.

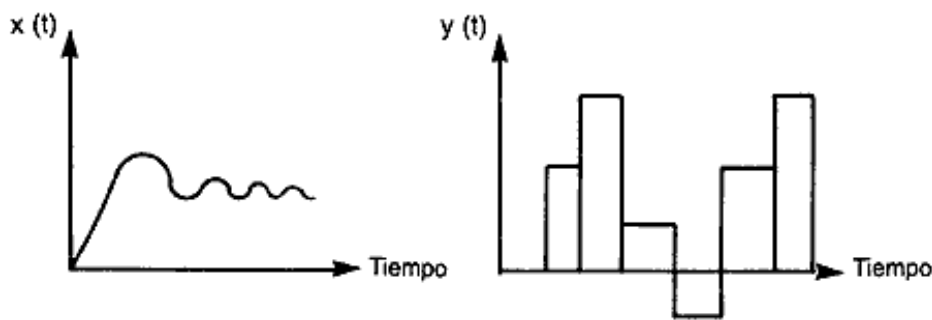


Figura II.2. *Señales $x(t)$ y $y(t)$.*

Por otra parte, ambas clases de señales tienen un valor determinado para cada valor del tiempo. Sin embargo, existe la posibilidad de que una señal adquiera valores únicamente en ciertos instantes de tiempo (por ejemplo, cada segundo, cada minuto o cada año). Esto puede deberse, ya sea a que así es el fenómeno físico asociado, o bien porque no se tienen los mecanismos para medir las características de las señales más que en determinados instantes. Para ilustrar esta clase de señales, denominadas "discretas en el tiempo", a diferencia de las primeras que son "continuas en el tiempo", supongamos que la señal de interés proviene de las imágenes captadas por una cámara de cine. Una cámara de cine toma en realidad fotografías fijas a razón de entre 24 y 30 fotografías por segundo (esta velocidad es lo suficientemente grande como para engañar al ojo humano y dar la impresión de que se trata de imágenes de objetos en movimiento). En este ejemplo se trata de muestras de imágenes en movimiento, captadas lo suficientemente rápido como para que su contenido de información no se pierda. Este fenómeno, interesante e importante dentro de las telecomunicaciones, se denomina teorema del muestreo. H. Nyquist lo postula de la siguiente manera:

No es necesario observar todo el tiempo una señal analógica o continua en el tiempo para poder decir cuál es su valor en cualquier momento, aunque la señal no haya sido observada en ese instante. Es suficiente observar sus valores en instantes suficientemente cercanos entre sí, para poder reconstruir la señal de la misma manera que si no se hubiera dejado de observar la señal en ningún instante. La restricción es que el tiempo entre las observaciones (técnicamente éstas se conocen como las "muestras" de la señal) debe ser lo suficientemente pequeño para poder captar aun las variaciones más rápidas.

Este principio, si bien no es válido universalmente, sí es lo suficientemente general para ser aplicable a una gran cantidad de señales (las señales que de alguna manera son de interés práctico), y, de hecho, es uno de los pilares de las telecomunicaciones digitales (esto será analizado más adelante). Sus implicaciones son muy profundas: por ejemplo, en lugar de tener que guardar toda la evolución de una señal a lo largo del tiempo, es suficiente guardar un conjunto de las muestras de la señal, sin perder la posibilidad de reconstruir toda la señal a partir de sus muestras.

En el ejemplo de la cámara de cine, cada cuadro de la película que representa una imagen fija de la escena filmada es una muestra de la realidad continua, y la reconstrucción de la señal a partir de dichos cuadros o muestras fijas la realizan el ojo y el cerebro humanos de manera tal que el observador en ningún momento se percata de la naturaleza discreta de lo que está viendo.

En la figura II.3 se ilustra una señal analógica $x(t)$, así como su versión muestreada, que designaremos $x[mT]$, donde las muestras ocurren en los instantes en que el tiempo t toma los valores $T, 2T, 3T, \dots$, etc. Estos instantes se llaman *tiempos de muestreo*, y al tiempo entre muestras consecutivas se le llama *intervalo de muestreo*.

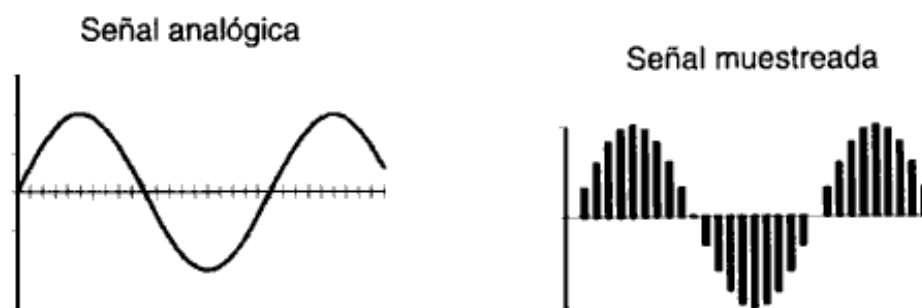


Figura II.3. Teorema de muestreo.

Finalmente, cuando una señal discreta en el tiempo sólo puede tomar valores de amplitud discretos, entonces se trata de una señal discreta tanto en el tiempo como en amplitud. Este tipo de señales ha cobrado una gran importancia en las comunicaciones digitales, ya que los sistemas modernos de telecomunicaciones son eficientes

y efectivos precisamente debido a este tipo de señales. A las señales que son discretas en el tiempo y en amplitud se les denomina *señales digitales*, y cuando la amplitud de la señal solamente puede tomar uno de dos valores entonces se trata de una *señal digital binaria*.

Antes de seguir con la identificación y clasificación de las señales vale la pena introducir el concepto de sistema; por una parte, esto facilitará las explicaciones que siguen, y por la otra, es por medio de un sistema como se procesan las señales para realizar lo que de ellas se espera.

Se denomina "sistema" al conjunto de componentes o dispositivos del mundo físico que interactúan entre sí, que aceptan señales como entradas, las transforman y generan otras señales a su salida. En la figura II.4 $x(t)$, $S[x(t)]$, $y(t)$, representan, respectivamente, la entrada al sistema, el sistema que transforma la señal de entrada, y la salida del sistema.

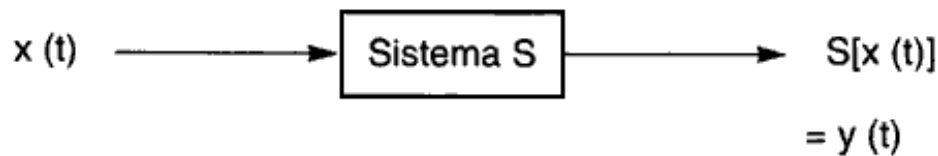


Figura II.4. Entrada $x(t)$, sistema S y salida $y(t)$.

Un sistema puede ser visualizado como una caja negra del mundo físico que transforma la señal a su entrada para generar la señal a su salida.

Los siguientes son ejemplos sencillos de sistemas, y en cada caso se identifica cuál es la entrada y cuál la salida:

a) *Equipo de sonido*. La entrada es una señal de música (codificada eléctrica, mecánica u ópticamente) que puede provenir de un disco fonográfico (conocido coloquialmente como LP), una cinta magnética, un disco compacto o una antena de radio; la salida es una señal de audio. De hecho, el equipo de sonido puede ser considerado como un conjunto de sistemas, donde las salidas de unos son las entradas de otros; por ejemplo, el primer sistema puede ser el tocadiscos de CD. Su entrada es una señal grabada precisamente en el CD; esta señal es procesada ópticamente por el sistema, y se genera a la salida una señal eléctrica que a su vez es la entrada del amplificador. La salida del amplificador es una réplica de la entrada. Si además se cuenta con altavoces, entonces la señal eléctrica amplificada es convertida por los altavoces en réplicas acústicas.

b) *Televisor*. La entrada es una señal eléctrica proveniente de una antena, de un cable o de una videgrabadora, y la salida es una señal visual en la pantalla del televisor y una señal acústica en los altavoces de éste.

c) *Muestreador*. Este sistema, mencionado en párrafos anteriores, tiene como entrada una señal continua en el tiempo, y a su salida una señal discreta en el tiempo, donde cada muestra tiene una amplitud igual o proporcional a la de la señal original en el tiempo de muestreo (figura II.5).

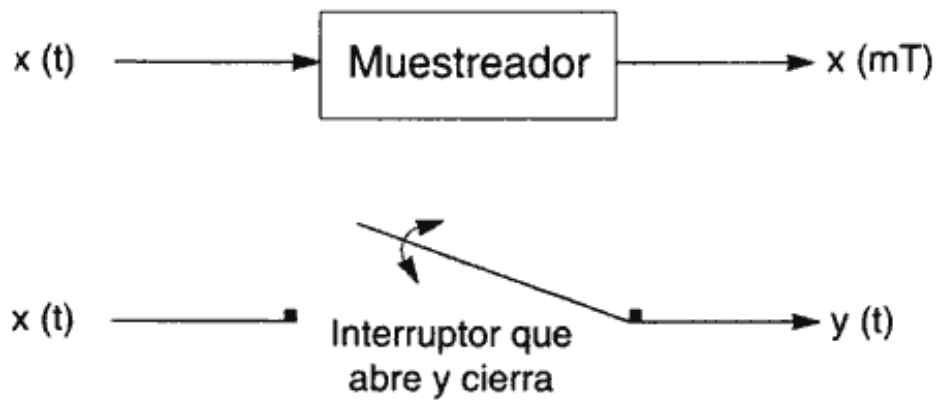


Figura II.5. Muestreador como sistema.

d) *Cuantizadores*. También tienen funciones importantes en las telecomunicaciones. Visto como sistema, la entrada a un cuantizador es cualquier señal continua, y la salida es una versión cuantizada de la misma; si la entrada es continua en el tiempo y en amplitud, la salida es continua en el tiempo, pero discreta en amplitud (figura II.6).

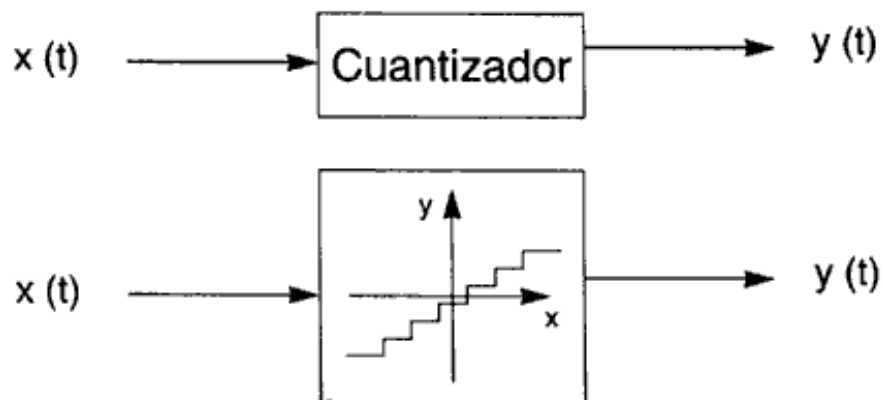


Figura II.6. Cuantizador como sistema.

Los ejemplos del equipo de sonido y el televisor ilustran que es posible interconectar sistemas, de manera tal que la salida de unos sean las entradas de otros, generando de esta manera sistemas más generales. En la figura II.7 se ilustra la conexión en serie de dos sistemas S1 y S2. Se puede observar que la salida de S1 es la entrada de S2, y que la salida de S2 es la transformación que realiza la conexión de ambos sistemas sobre la entrada de S1.



Figura II.7. Cascada de sistemas.

Habiendo establecido los conceptos básicos de un sistema es posible hablar ahora con más detalle sobre las señales digitales. Una señal digital es discreta en el tiempo, y únicamente puede tomar valores de un conjunto finito de símbolos o valores (cuando el número de símbolos es 2, por ejemplo, 0 y 1, se trata de una señal binaria). La forma de convertir señales digitales en general a señales binarias será tratada más adelante.

Una señal digital puede provenir de los siguientes tipos de fuentes:

- 1) Una fuente discreta en el tiempo, que genera señales digitales, como números, letras o texto. Estas señales son digitales porque los números o letras que genera la fuente (símbolos de la fuente o alfabeto de la fuente) sólo pueden pertenecer a un conjunto finito de símbolos. Si son números decimales, cada símbolo que genera la fuente únicamente puede ser un número perteneciente al conjunto 0, 1, 2, 3..., 9. Si son letras del abecedario, cada símbolo puede ser una letra del conjunto A, B, C..., X, Y Z.
- 2) Una fuente que genera señales discretas en el tiempo y continuas en amplitud, caso en el cual hay que generar una señal discreta en amplitud a partir de las señales continuas. Para realizar este proceso, se necesita cuantizar cada valor de la fuente, es decir, aproximar cada valor continuo por medio de uno discreto. La cuantización puede ser, por ejemplo, por redondeo de cada muestra, es decir, redondeando cada valor continuo al valor discreto más cercano (más adelante se verá esto con más detalle).
- 3) Una fuente continua en el tiempo y continua en amplitud. En este caso es necesario muestrear la señal continua, para posteriormente cuantizarla de acuerdo con lo descrito anteriormente (figura II.6).

Como ya se ha mencionado en repetidas ocasiones, aunque una señal contiene información de interés en alguna de sus características —por ejemplo, en la variación respecto al tiempo de la amplitud o la duración—, no debe ser confundida con la información que contiene. En la figura II.8 se presentan dos señales que aparentemente tienen la misma forma, pero que difieren en su duración; de hecho, estas dos señales podrían corresponder a un "punto" y una "raya" de una señal telegráfica.

Partiendo entonces de las ideas anteriores, y estando claro que, si bien una señal contiene información, no es lo mismo una señal que la información que ésta contiene, cabe plantearse la siguiente pregunta: ¿en qué parte o en qué característica de una señal está contenida la información? La respuesta a esta cuestión ha sido una de las razones de ser de los ingenieros en telecomunicaciones de las últimas décadas. Más específicamente, ha habido un interés definitivo en la manera de hacer que una señal contenga la información de interés en alguna de sus características, tratando de que ello ocurra de manera eficiente y económica.

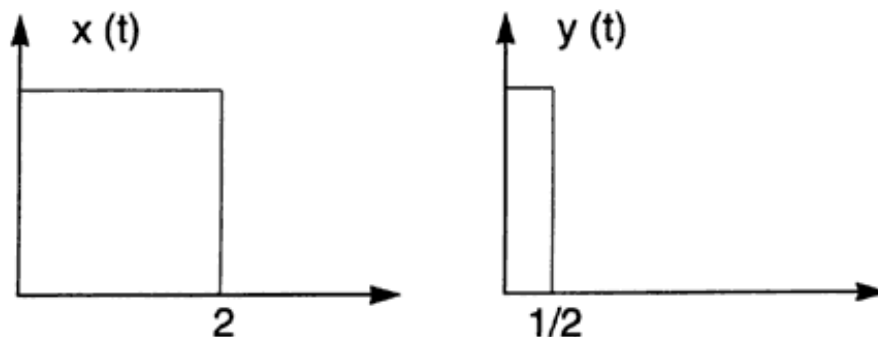


Figura II.8. Señales iguales en forma pero con distinta duración.

Para profundizar más en esto es importante introducir el concepto de una señal senoidal. Recuérdese que $y(t)$ representa una señal; se dice que una señal $z(t)$ es una señal senoidal, cuando su representación es del tipo:

$$z(t) = a(t) \sin wt$$

En esta expresión, $a(t)$ es la amplitud de la señal (en este momento se puede suponer que $a(t)$ es una constante, es decir, $a(t) = a$; $\sin$ representa la función trigonométrica del seno; t es el tiempo; y w la frecuencia de la señal. En la figura II.9 se ilustran señales senoidales en las cuales $a = 1$, y la frecuencia w toma los valores 1, 2 y 4. Se puede apreciar que cuando $w = 4$ la frecuencia de la señal es mayor que cuando $w = 1$, y esto se traduce en una variación mucho más rápida de la señal respecto al tiempo. La frecuencia de una señal se mide en hertz (Hz), en memoria de H. Hertz, quien por primera vez estudió el fenómeno, o bien en kilohertz (1 kHz = 1000Hz), o incluso, megahertz (1 MHz = 1 000 000 Hz). Un Hz representa una variación de un ciclo completo en un segundo; 1 MHz representa 1 millón de ciclos por segundo.

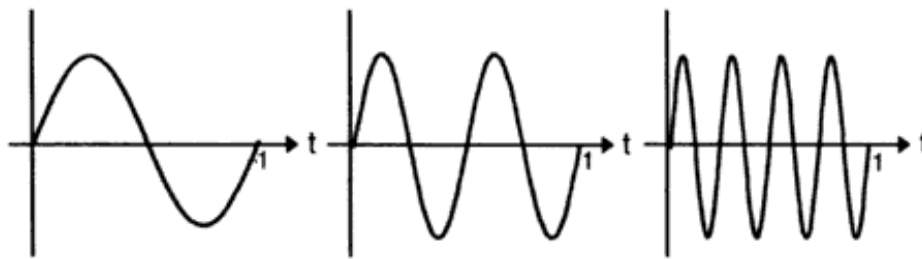


Figura II.9. Señales senoidales con diferentes frecuencias.

Aparte de que por sí mismas son de gran interés matemático, la importancia de las ondas o señales senoidales radica en que, en un conjunto de condiciones generales, muchas señales pueden ser expresadas como la suma de ondas o señales senoidales (véase figura II.10). Este hecho fue establecido en 1822 por el matemático J. Fourier (1768-1830). Un ejemplo ilustrativo de la composición de señales por medio de ondas senoidales es la música generada por órganos o sintetizadores electrónicos: las tonalidades que generan son la suma de distintas combinaciones de tonos "puros". En ingeniería de comunicaciones, una señal senoidal (de una sola frecuencia) es lo que en acústica (señales auditivas) sería un "tono puro".

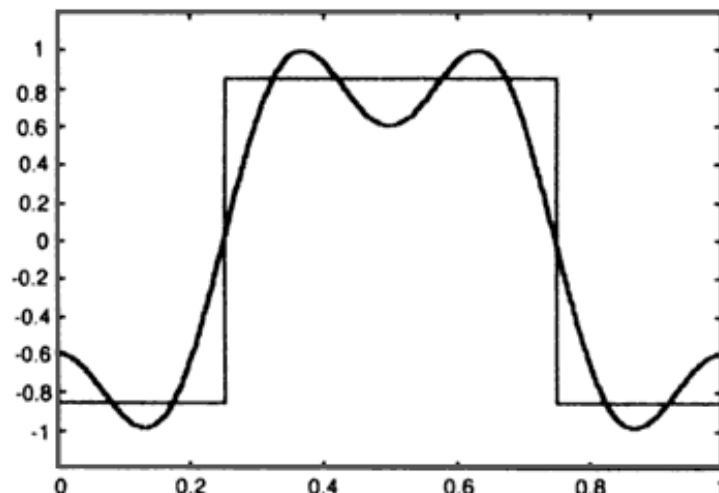


Figura II.10. Un pulso como la suma de senoides.

No todas las personas pueden escuchar las frecuencias más altas (tonos agudos) generados por el órgano, y hay combinaciones de tonos que al oído de una persona le parecen agradables y al de otra desagradables. En la ingeniería de comunicaciones a este fenómeno se le conoce como *respuesta en frecuencia de un sistema* (en este caso, del oído humano). El rango de frecuencias contenidas en una señal se conoce como el ancho de banda de la señal. Por ejemplo, existen pequeños silbatos que generan tonos de frecuencias muy altas, que no pueden ser escuchados por el promedio de los seres humanos porque las frecuencias son más altas que las que su oído les permite percibir (son de "ultrasonido", es decir, "de un sonido más allá de los que el oído percibe"), pero que se usan para dar órdenes a los perros, que sí perciben dichos sonidos, lo cual quiere decir que el oído de un perro tiene una respuesta en frecuencia más amplia que el oído de un ser humano.

Para ilustrar aún más este concepto, considérese por ejemplo, la música reproducida por medio de un equipo electrónico. Normalmente, al ser humano le parece más agradable, más real, la música reproducida por medio de un equipo que tenga el calificativo de "alta fidelidad". Ello significa que este equipo es capaz de reproducir señales cuyas frecuencias son tan altas que un equipo que no es de "alta fidelidad" no alcanza a reproducirlas, pero que en una sala de conciertos sí podría escuchar. En una sala de conciertos, la información la generan los instrumentos musicales; las vibraciones mecánicas producidas por ellos son transportadas en lo que comúnmente se conoce como ondas acústicas que llegan a los oídos del auditorio. Es interesante notar que cada uno de los instrumentos puede generar en cualquier instante de tiempo un tono de cualquier frecuencia o combinaciones de ellas (dentro de un rango especificado por una frecuencia mínima y una máxima), y con cualquier intensidad, nuevamente en un rango de intensidades mínima y máxima.

Un equipo de alta fidelidad debe ser capaz de reproducir señales hasta de 20 kHz (que está por arriba de la frecuencia máxima que percibe el oído humano), y los silbatos para perros a que se ha hecho referencia generan tonos cuyas frecuencias son del orden de 30 kHz.

Así como una señal puede ser caracterizada por su dependencia respecto al tiempo, también existe la posibilidad de caracterizarla de acuerdo con las señales senoidales que pueden ser sumadas para formar la señal. Esto se conoce como "espectro en frecuencia de la señal". Se entiende por el "ancho de banda de una señal" la cantidad de frecuencias que están contenidas en una señal.

Para entender estos conceptos, analicemos la posibilidad de transmitir música utilizando una línea telefónica. Realizando este experimento se puede comprobar que no es posible transmitir música de alta fidelidad por este canal, debido a que la música tiene componentes en frecuencia cercanos a 20 kHz, mientras que el canal telefónico sólo es capaz de transmitir tonos hasta de cerca de 4 000 Hz. Los 20 kHz son el ancho de banda de la señal, y los 4 000 Hz son el ancho de banda del canal telefónico. Si se realiza el experimento, se notará que la música que se escucha difiere de la versión original; a este efecto se le conoce como "distorsión": la música de alta fidelidad es distorsionada por el canal telefónico. El efecto de transmitir una señal de gran ancho de banda por un canal de un ancho de banda menor se ilustra en la figura II.11.

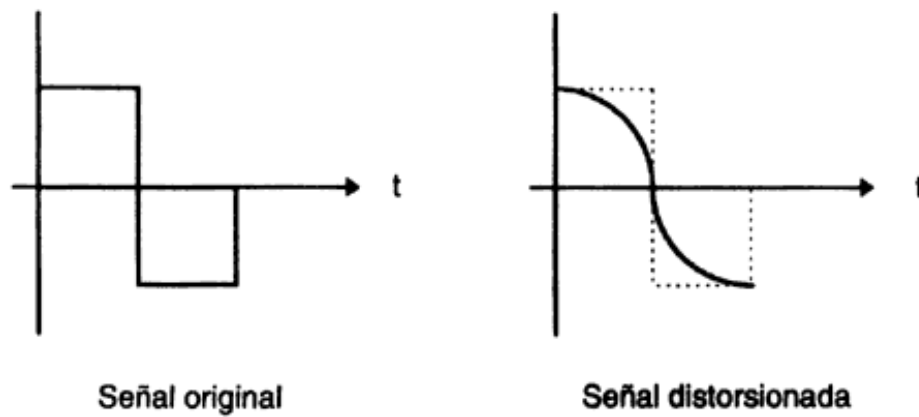


Figura II.11. Distorsión por anchos de banda diferentes.

Como parte de esta introducción a las señales y los sistemas, se presentan a continuación algunos problemas interesantes en los sistemas de telecomunicaciones, que se resuelven procesando una señal por medio de algún tipo de sistema:

a) Amplificación de una señal. Como ya se vio anteriormente, un amplificador es un sistema que tiene a su salida una réplica de la señal de entrada, cuya amplitud fue amplificada por el sistema.

b) Suma de señales. Este sistema tiene dos o más señales de entrada, y la salida de este sistema es precisamente la suma de las entradas (figura II.12).

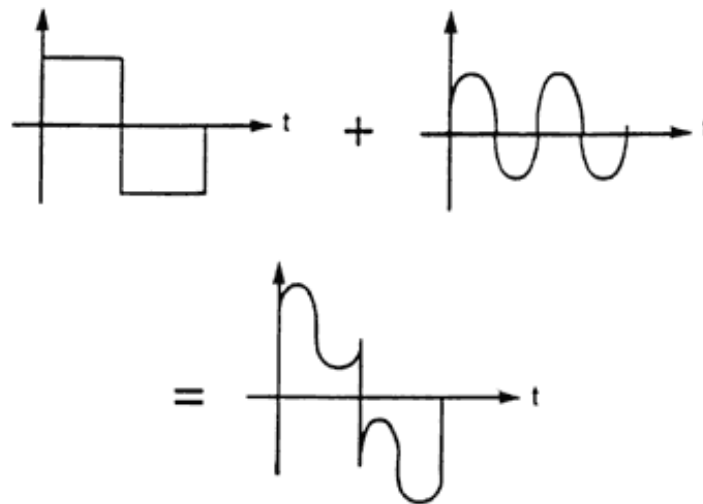


Figura II.12. Suma de señales.

c) Multiplicador de señales. Este sistema, como el anterior, tiene dos o más señales de entrada, y la salida es el producto de ellas. Se conoce también con el nombre de modulador de amplitud (figura II.13), ya que, si una de las señales (de baja frecuencia) multiplica a otra de alta frecuencia (portadora) la salida del sistema

genera un espectro igual al de la señal moduladora, pero trasladado a la frecuencia de la portadora. Esto es la base de lo que se conoce como AM (amplitud modulada o modulación de amplitud). En este proceso se "sobrepone" el contenido de información de la señal moduladora sobre otra señal (portadora).

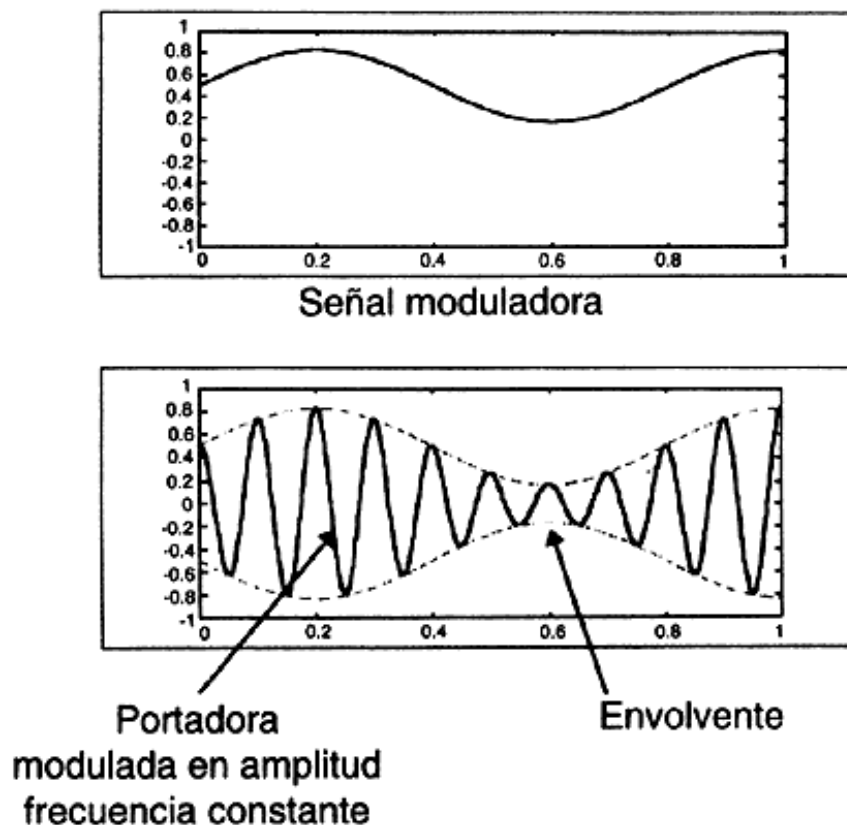


Figura II.13. Modulación en amplitud y en frecuencias.

d) *Codificación de la fuente.* Este sistema fue mencionado en la introducción, y realiza el procesamiento necesario para convertir una señal analógica (continua en el tiempo y en amplitud) en una señal digital. Este sistema consiste en la conexión en serie de un muestreador, un cuantizador y un codificador (figura II.14).

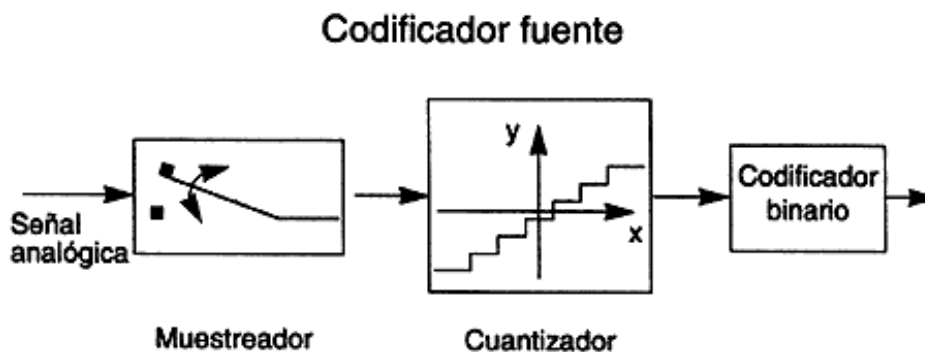


Figura II.14. Codificador fuente.

e) *Filtrado*. Por medio de un filtro se eliminan ciertas componentes de frecuencia de una señal. Un ejemplo de esto fue planteado al hablar de la posibilidad de transmitir música por un canal telefónico. Existen diversos tipos de filtros que, dependiendo de la porción del espectro que eliminan, pueden ser paso-bajas (eliminan las frecuencias altas), paso-altas (eliminan las frecuencias bajas), paso-banda (sólo dejan pasar frecuencias dentro de una banda) o supresor de banda (eliminan las componentes dentro de una banda). Estos filtros se ilustran en la figura II.15. Cabe mencionar que, en las figuras, si en alguna o algunas frecuencias la amplitud es cero, esto significa que de la señal de entrada se eliminan todas las componentes en las frecuencias donde esto ocurre, generando de esta manera la señal filtrada.

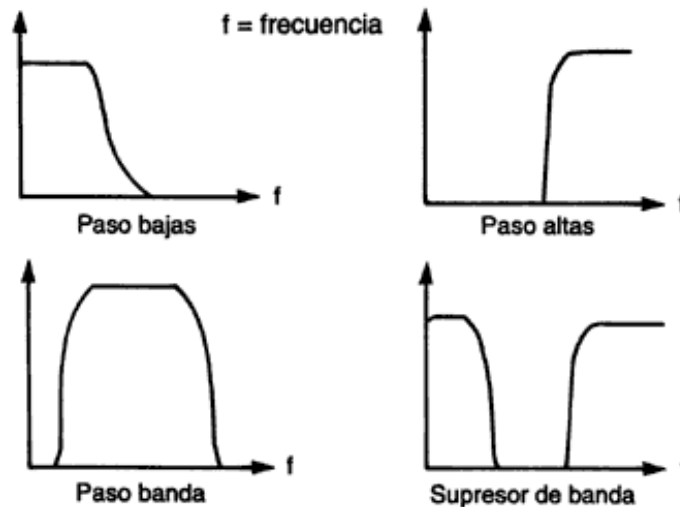


Figura II.15. Filtros.

Para concluir este capítulo, es indispensable hablar sobre el peor enemigo de las telecomunicaciones: el ruido (a pesar de ser enemigo de las telecomunicaciones, es un aliado de los ingenieros en telecomunicaciones, ya que, de no haber ruido en las transmisiones, no habría ingenieros cuya función fuera eliminar su efecto).

Así como en el lenguaje cotidiano el ruido es aquello que molesta, que perturba, que impide realizar alguna tarea, el "ruido" en las telecomunicaciones es todo aquello que modifica el contenido de información de una señal. Como la fuente desea que la información llegue a su destino lo más parecida a aquella generada por la fuente, el hecho de que se introduzca ruido actúa en contra del proceso de comunicación. El ruido en las telecomunicaciones es, por lo tanto, una distorsión: en el sonido, en el caso de la telefonía; en la imagen, en el caso de la televisión; errores, en el caso de la telegrafía, etc. No es posible hasta el momento tener un sistema de comunicaciones en el cual no haya ruido. Pero, por fortuna, los distintos procesos de ruido en los canales han sido modelados matemáticamente, de manera tal que estos modelos reflejen con verdad la realidad y, por lo tanto, el efecto del ruido pueda ser disminuido. En la figura II.16 se muestran señales que corresponden a muestras de ruido.

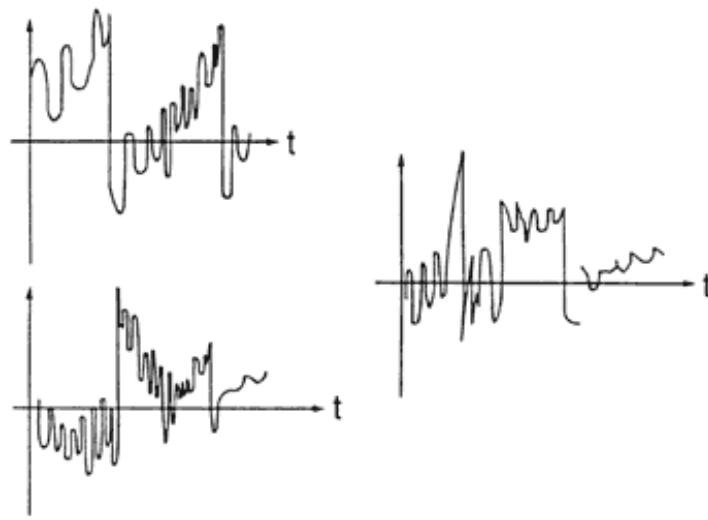


Figura II.16. Muestras de ruido.

Se puede apreciar que en todos los casos las representaciones del ruido tienen trayectorias que son aleatorias, difícilmente predecibles, por lo cual es necesario recurrir a modelos probabilísticos para su análisis. Para apreciar realmente lo que es el ruido, conviene "sintonizar" un radioreceptor en una frecuencia en que no haya ninguna transmisión, preferentemente en AM. Como puede escucharse, existe una especie de "zumbido", que es precisamente el ruido en el canal.

Aunque el ruido puede afectar de diversas maneras una transmisión (sumándose o multiplicándose con la señal que contiene la información), en este libro se analizarán únicamente casos en que el efecto del ruido es aditivo. Esto se ilustra en la figura II.17, donde se muestra una señal binaria (que toma valores positivos o negativos), el ruido en la transmisión y la suma de la señal más el ruido.

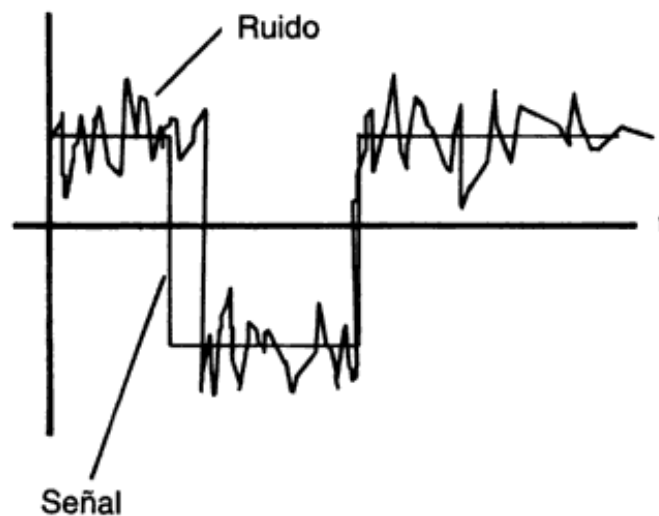
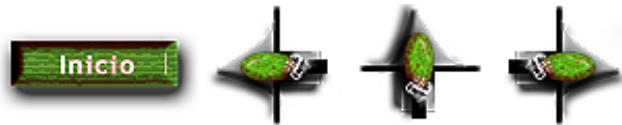


Figura II.17. Señal binaria más ruido.

Las ideas anteriores permiten plantear un problema adicional de las telecomunicaciones y que se presenta

principalmente en las comunicaciones en que las señales son digitales. Supongamos que se transmite una señal binaria a través de un canal ruidoso, tal como se presenta en la figura II.17, al recibirse la señal en el receptor, la señal que fue transmitida tiene una forma diferente a la que se transmitió. Entonces, una de las principales funciones del receptor consiste en tomar una decisión, basada en la señal distorsionada, acerca de la señal que se transmitió: ¿se trata, en cada instante, de un "1" o se trata de un "0"? Este problema se conoce con el nombre de "detección". El problema de detección también tiene mucha importancia en algunos aspectos de navegación aérea: como será analizado más adelante, el sistema conocido como "radar" (que significa *radio detection and ranging*, es decir, detección y medición de distancias por radio) consiste en la emisión de pulsos electromagnéticos de duración corta; cuando en su trayectoria encuentran algún obstáculo, parte de la energía se refleja en dicho objeto extraño, y esa energía reflejada, a su vez, es recibida en una central. Como la señal reflejada normalmente contiene poca energía, tiene una amplitud pequeña, que puede ser distorsionada con facilidad por el ruido atmosférico. Entonces es necesario tomar una decisión entre las dos siguientes posibilidades: ¿la señal recibida proviene de una onda reflejada, o se trata únicamente de ruido?

Hasta aquí han sido presentados conceptos fundamentales acerca de las señales y de los sistemas más importantes en las telecomunicaciones. Estos conceptos serán integrados en los siguientes capítulos para formar sistemas completos de telecomunicaciones; por lo tanto, frecuentemente se hará referencia a este material a lo largo del presente libro.



III. LAS TELECOMUNICACIONES HASTA 1950

EL CRECIMIENTO Y LA MADURACIÓN de las telecomunicaciones, la disminución de los costos reales de los servicios, y el aumento en disponibilidad, confiabilidad, seguridad y conectividad de los servicios ofrecidos, no han sido producto de desarrollos aislados y espontáneos de las comunicaciones como áreas científica y tecnológica independiente; han sido resultado de avances muy importantes en diversos campos del conocimiento como la ingeniería espacial y la aeronáutica, pasando por la ciencia de materiales y la física, hasta la tecnología digital, o sea, la electrónica y la computación. Muchos de estos avances, como ya ha sido mencionado, se lograron a partir de fines y propósitos militares, pero muchos otros, tuvieron sus orígenes en aplicaciones civiles; específicamente, en el caso del teléfono, la meta original ni siquiera fue resolver un problema de telecomunicaciones, sino que fue producto de experimentos conducidos por Bell para ayudar a su esposa, quien tenía problemas auditivos. De hecho, lo que Bell pretendía era obtener un sistema que permitiera visualizar las señales de voz para auxiliarlo en sus labores de enseñanza a personas sordomudas.

Se puede observar una evolución paulatina que tiene su origen en los sistemas más rudimentarios, los cuales hoy nos parecen obsoletos. Incorporando de manera sistemática los adelantos permitidos por los avances científicos y tecnológicos se generan nuevos sistemas y servicios que con frecuencia dejan asombrado no únicamente al lego en la materia, sino también a ingenieros y usuarios familiarizados con sistemas de "otras generaciones" tecnológicas.

Las telecomunicaciones se han convertido en un satisfactor de necesidades cotidianas de un importante número de habitantes y corporaciones de este planeta. Pero a pesar de esto, solamente unos cuantos se habrán preguntado cómo opera algún sistema en especial. Asimismo, pocas personas están conscientes de cuáles han sido los verdaderos fundamentos de las comunicaciones, los cimientos sobre los cuales se han construido las telecomunicaciones de fines de este siglo.

Con objeto de estudiar con cierto detalle algunos conceptos importantes de este fascinante mundo de la transmisión de información a distancia, iniciamos este capítulo presentando de manera esquemática los sistemas tradicionales de las telecomunicaciones, desde el punto de vista más sencillo, aclarando que los adelantos fueron introducidos lentamente, mejorando poco a poco todo lo existente hasta ese momento, conforme la ciencia y la tecnología lo iban permitiendo. Se explicará el funcionamiento del sistema telegráfico más simple, el del teléfono, el de la radio y el de la televisión monocromática (blanco y negro). Sin estas experiencias no se hubiera podido evolucionar al sistema global de telecomunicaciones con que hoy se cuenta, y que permite establecer prácticamente de manera instantánea y automática la comunicación entre dos aparatos telefónicos cualesquiera del planeta. Tampoco se contaría (o se hubiera contado, en su momento) con el servicio de télex, ni existirían ahora el correo electrónico, la televisión cromática, las transmisiones de FM estereofónica, las transmisiones de televisión de alta resolución con sonido de alta fidelidad, o el facsímile (véase pág. 107). Por supuesto, no podríamos pensar ahora tampoco en las redes de computadoras.

EL TELÉGRAFO

La telegrafía eléctrica, iniciada hace un siglo y medio, fue durante largo tiempo una buena alternativa para el correo, puesto que ofrecía una transmisión prácticamente instantánea, aunque limitaba su uso a mensajes cortos. Como intervenían operadores, no era posible transmitir información confidencial o secreta. Utilizaba una codificación del texto a símbolos que pueden llamarse "puntos" y "rayas" eléctricos u ópticos, realizada por alguien en forma manual. Si bien la transmisión de las señales telegráficas ocurría entonces a la misma velocidad que las transmisiones de datos con las redes de informática de hoy (¡la física no ha cambiado!), la diferencia entre un sistema del siglo pasado y uno de fines del siglo XX radica en la cantidad de información que se transmite en el tiempo: antes eran unos cuantos símbolos por minuto, mientras que los sistemas de ahora son capaces de transmitir millones de símbolos por segundo.

La telegrafía se originó antes de que la física y la electricidad alcanzaran la madurez para explotar cabalmente los beneficios de este invento. Existe documentación acerca de telégrafos ópticos, basados en sistemas similares a los semáforos, que operaban en 1794 en la primera República Francesa, y en Gran Bretaña en 1795. En 1793, C. Chappe desarrolló un telégrafo óptico que permitió la transmisión de mensajes por medio de señales obtenidas

con la ayuda de brazos articulados y cuyas posiciones indicaban el símbolo de que se trataba. Incluía torres repetidoras de la señal, separadas de 5 a 10 km entre sí. Con ello, si había buena visibilidad, se podían transmitir entre Tolón y París, a través de 120 torres, aproximadamente 50 símbolos por hora, y se requerían 40 minutos para que un mensaje cubriera la distancia citada. Esto fue un enorme logro, puesto que eran transmisiones cuyas velocidades eran 90 veces mayores que las de los mensajeros con cabalgaduras. Para apreciar de nuevo la importancia de las comunicaciones en el aspecto militar, cabe mencionar que precisamente por medio de un telégrafo de semáforos se transmitieron las noticias acerca de las victorias francesas sobre Austria en 1794. En menos de una década proliferaron telégrafos tipo Chappe en Rusia, Suecia, Dinamarca, Prusia, India y Egipto.

Sin embargo, para que el sistema telegráfico fuese explotable por medio de sistemas eléctricos, fue necesario dominar primero la electricidad. Tuvieron que pasar muchos años para que Morse, alrededor de 1844, hiciera las primeras demostraciones, enviando mensajes entre Baltimore y Washington, y después entre Boston y Nueva York. Más tarde, ya con la posibilidad de la electricidad, es decir, enviando los mensajes por medio de cables metálicos, el servicio penetró cabalmente en el mercado. Los cables fueron instalados en forma paralela a las vías de los ferrocarriles, fundamentalmente para facilitar su mantenimiento y para reparar las líneas dañadas (situación que se presentaba con bastante frecuencia). En las transmisiones alámbricas se envían señales eléctricas utilizando para ello el código Morse, representando los "puntos" y las "rayas" con diferentes valores de voltajes.

En el primer año de este siglo, se introdujo la telegrafía inalámbrica, siendo el pionero G. Marconi, quien logró transmitir exitosamente señales telegráficas a través del Atlántico. Con ello se estableció la posibilidad de sustituir los cables metálicos por emisiones electromagnéticas, dando así a este sistema una mayor libertad de acción, y, sobre todo, la posibilidad de cubrir mayores distancias a un costo mucho menor por no tener que instalar postes ni líneas metálicas entre los lugares que se deseaba comunicar. La mayor ventaja de la telegrafía inalámbrica sobre la alámbrica reside en que la primera se realiza por medio de transmisiones tipo punto a multipunto, encargándose el medio atmosférico de transportar la información desde la fuente al destino.

Por otra parte, la desventaja de este sistema consiste en que, por estar la señal en el canal atmosférico disponible para todos, se pierde privacidad en la comunicación, ya que todo aquel que así lo desee y que cuente con los equipos específicos, puede recibir e interpretar la señal. Esto creó la necesidad de proteger la información que sería transmitida por este medio, utilizando sistemas de criptografía.

El paso del lenguaje escrito al "código" Morse, tal como lo indica su nombre, es precisamente una etapa de codificación, en la cual a cada símbolo del alfabeto escrito se asigna una sucesión de símbolos binarios (lo cual quiere decir que únicamente existen dos posibilidades, que en este caso son "puntos" y "rayas"). Este concepto, aunque rudimentario, es la primera versión estructurada, según los conceptos modernos, de un sistema de comunicaciones digitales. Para ejemplificar esta idea, asígnesele un "uno" al punto eléctrico y a la "raya" eléctrica, un "cero".

Entonces, la palabra "COMUNICACIONES" se codifica con la clave Morse en el conjunto de puntos y rayas

“.....”

Si ahora, a cada raya ("-") se le asigna un "1" y a cada punto se le asigna un "0", la codificación resulta ser

```
1010111110011000101
001101000111100000
```

Nótese que si tanto el transmisor como el receptor conocen los símbolos que serán usados, la información codificada es independiente de dichos símbolos y sólo depende de sus posibles combinaciones. De hecho, si cambiamos todos los puntos por rayas y viceversa, la estructura de la palabra codificada no cambia; si el receptor hace lo mismo, la comunicación puede llevarse a cabo sin ningún problema. La palabra consistente en unos y ceros, de hecho, también es una versión codificada con el código de Morse de la palabra "COMUNICACIONES"; más específicamente, es una versión que utiliza un código digital binario (es decir, que sólo utiliza dos posibles símbolos digitales binarios).

En la telegrafía más simple se transmiten las señales por medio de cables metálicos inyectando en ellos voltajes de distinta duración para el punto y la raya. En el receptor, es necesario detectar la presencia de esas señales así

como su duración para poder diferenciar entre ambos posibles símbolos. En la telegrafía inalámbrica la codificación se realiza igual que en la alámbrica, pero en lugar de tener conductores metálicos (cables) que realizan la función del canal de comunicaciones, se inyectan las señales, en este caso electromagnéticas, a la atmósfera, siendo ésta el canal de comunicaciones.

Con el desarrollo del telégrafo eléctrico se dispuso, por primera vez en la historia de la humanidad, de un sistema de telecomunicaciones que, a diferencia de los telégrafos ópticos que lo precedieron, estaba disponible 24 horas al día, independientemente de las condiciones climatológicas y de la hora del día. Si a esto se le agregan aspectos de tipo económico y el hecho de que el nuevo sistema podía prestar servicio al público en general, se puede ver el impacto del nuevo servicio: a través de él se instauró la presencia de las telecomunicaciones en la vida cotidiana de la sociedad.

EL TELÉFONO

Este sistema, tal como se conoce en la actualidad, fue producto de muchos trabajos desarrollados de manera paralela, fundamentalmente en Europa y en Estados Unidos. Tiene sus orígenes en los experimentos de J. Fourier (1768-1830) y R. Willis (1800-1875) sobre la naturaleza de las señales de voz, y de C. Bourseul (1829-1907), quien concibió la posibilidad de transmitir voz por medio de cables, usando una membrana metálica para generar corrientes eléctricas (señales eléctricas con contenido de información similar al de las señales de voz). La factibilidad de este concepto fue demostrada experimentalmente por P. Reis (1834-1874), quien dedicó su vida a estudiar las propiedades mecánicas del oído humano. En Europa, a pesar de haberse realizado demostraciones exitosas de estas innovaciones, se juzgó que el sistema, si bien novedoso, no tendría mayor aplicación y por tanto no tuvo el impacto que debió haber tenido.

Sin embargo, A. G. Bell, quien en 1876 patentó en Estados Unidos un invento similar, tuvo mayor tenacidad (y los recursos económicos suficientes) para llevar su invento hasta sus últimas consecuencias. A pesar de que al ofrecer en venta su patente a la Western Union Telegraph Company en 100 000 dólares, la reacción fue similar a la europea, Bell siguió adelante con sus trabajos. Presentó su invento en la Exposición Mundial de Filadelfia en 1876, y poco tiempo después la misma Western Union le ofreció 25 millones de dólares por la patente. Bell declinó la oferta y fundó su propia empresa (Bell Telephone Company), que se convertiría en una de las empresas más grandes y poderosas del planeta (tan sólo en los primeros tres años de su operación instaló más de 50,000 aparatos telefónicos).

El sistema telefónico consiste fundamentalmente en tres elementos:

1) El aparato telefónico, que consta a su vez de circuitería electrónica, un sistema que convierte voz en señales eléctricas para su transmisión y un sistema que convierte señales eléctricas en señales acústicas. Los circuitos electrónicos del aparato telefónico son los encargados de hacer la señalización, es decir, de activar el timbre a la hora de recibir una llamada, o de seleccionar el número al cual se desea hacer una llamada. Esta última operación se realiza en México, y en países con tecnología similar, enviando pequeños pulsos eléctricos que permiten a la central seleccionar al destinatario. La manera en que esto ocurre es la siguiente: a cada número del disco dactilar le corresponde el mismo número de pulsos eléctricos. En otras palabras, al seleccionar el número 123-4567 con el disco dactilar, se envían del aparato a la central 7 sucesiones de pulsos separados cada uno por el mismo intervalo de tiempo, y cada sucesión a su vez está separada de la precedente y la sucesiva por un intervalo más largo; en este ejemplo se tendría un pulso, seguido de dos pulsos, tres, y así sucesivamente. No hace mucho la selección del número por medio de pulsos fue sustituida por una selección por medio de distintas frecuencias, donde a cada número le corresponde un tono distinto. Con esa información se establece un circuito eléctrico entre los aparatos de ambos usuarios, es decir, el del que marca el número y el del que recibe la llamada.

2) Un sistema de transmisión, por medio del cual se hacen llegar las señales de voz convertidas a eléctricas de uno a otro de los usuarios. En el trayecto entre ellos hay una gran cantidad de conductores eléctricos (aunque también contienen fibras ópticas, enlaces satelitales, canales de microondas, cables submarinos) y de dispositivos electromecánicos o electrónicos que garantizan la continuidad de la trayectoria de los dos aparatos entre los que se desea sostener la conversación.

3) Un sistema de conmutación, por medio del cual se seleccionan las rutas que debe seguir una llamada para

llegar de la fuente al destino. La información acerca del número seleccionado es proporcionada a la red por medio del usuario (al "marcar" un número), para posteriormente ser procesada en las centrales telefónicas ubicadas en los extremos de los canales. De esta manera se selecciona la ruta que debe seguir una llamada.

El elemento de transmisión junto con el de conmutación podrían llamarse también red de transmisión o red telefónica.

El sistema de conmutación consiste en un conjunto de centrales telefónicas enlazadas por medio de canales. La función de las centrales consiste en establecer un circuito o canal ininterrumpido entre los dos aparatos en que se sostiene una conversación. Es evidente que no es posible tener un canal de comunicaciones entre cualquier par de usuarios del servicio telefónico. Por ejemplo, para comunicar a cuatro usuarios entre sí, con canales dedicados (es decir, un cable que sale de las instalaciones de uno de ellos y llega a las instalaciones del otro), se requerirían seis canales dedicados, lo cual sí parece factible; para enlazar a 200 usuarios, el número de canales sería de 19 900, lo cual tampoco parece imposible; pero para enlazar a 1000 usuarios el número de canales requeridos es de $1000 \times 999/2$, es decir, cercano a 500 000. Si se considera que en México hay actualmente más de 8 millones de usuarios del servicio telefónico (hogares o empresas), y que, además, en el mundo existen cerca de 1000 millones de usuarios, el número de canales que se requerirían es exorbitante.

La solución que se instrumentó para resolver este problema es la siguiente: considerando que se requiere un enlace dedicado entre todas las posibles parejas de usuarios, para hacer llegar la llamada proveniente de ese usuario desde su hogar u oficina hasta la red telefónica, se establece un canal entre el usuario y la central más cercana. Entre las diferentes centrales existen suficientes canales para que un buen número de usuarios puedan sostener conversaciones simultáneamente. Estos canales se asignan a conversaciones, de acuerdo con el orden en que se solicitan por los usuarios. Es decir, al "descolgar" el aparato telefónico, uno recibe la invitación a marcar (lo que se conoce como "línea"), se transmite el número al que se desea hablar, y la central se encarga de buscar un canal para establecer la llamada. Si el usuario fuente escucha el tono de "ocupado", esto puede deberse a que el aparato destino está en otra llamada, o bien, a que en algún segmento de la ruta seleccionada no se pudo encontrar un canal disponible para la conversación.

Las llamadas de larga distancia por selección automática reciben un tratamiento similar. La diferencia está en que, al seleccionar lo que se conoce como el acceso de larga distancia, la central busca una ruta hacia una central que está enlazada a otras centrales de larga distancia. Estas rutas, a diferencia de las locales, que están basadas principalmente en cables de cobre, son vía satélite, o usan enlaces de microondas, y recientemente se basan en cables de fibra óptica. Al llegar la llamada a la ciudad destino, se entrega la llamada a las centrales locales, para completar la llamada localmente.

La primera central telefónica comercial fue instalada en 1878 (tan sólo dos años después del invento del teléfono) en Connecticut, y daba servicio a 21 aparatos telefónicos. Sin embargo, el número creció de manera muy acelerada, al grado de que en 1880 ya había 138 en Estados Unidos, las cuales enlazaban más de 30 000 usuarios. Diez años después de la patente de Bell ya había en Estados Unidos más de 150 000 suscriptores; 12 000 en Canadá; 26 000 en Gran Bretaña; 22 000 en Alemania; 12 000 en Suecia; 9 000 en Francia, y 7 000 en Rusia.

RADIODIFUSIÓN (RADIO Y TELEVISIÓN)

Las transmisiones de radio y televisión tuvieron sus inicios en las dos primeras décadas de este siglo. En este período fueron sentadas las bases para la radiotransmisión, que a la postre daría origen a las transmisiones comerciales de radio, así como a las de la transmisión y recepción de señales de video, sobre las cuales se basa la televisión moderna. En este proceso, participaron principalmente E. H. Armstrong (1890-1954), con sus trabajos en radiorreceptores; V. Zworykin (1889-1982), quien trabajó en cámaras de televisión; J. L. Baird (1888-1946), quien por primera vez logró transmitir la imagen de un rostro humano a través de la televisión, con calidad "reconocible" (en blanco, negro y distintos tonos de grises). Las transmisiones regulares de estaciones de televisión también se iniciaron en esa época: en 1928 la WRNY de Nueva York; en 1929 la BBC de Londres; la CBS y la NBC de Estados Unidos en 1931. En 1951 había en Estados Unidos más de 15 millones de televidentes.

En 1941 se iniciaron transmisiones regulares de radio con la técnica FM (modulación de frecuencia), bajo la dirección de E. H. Armstrong.

Tanto para el sistema de radio como para el de televisión (conocidos genéricamente como sistemas de

radiodifusión) es necesario que las señales originales, que contienen la información que ha de ser transmitida, sean convertidas en señales eléctricas, para posteriormente, a su vez, convertirlas en señales electromagnéticas, mismas que serán depositadas en la atmósfera para su transmisión.

En el sistema de la radio este proceso se realiza de la siguiente manera: las señales que contienen la información que se ha de transmitir son señales acústicas provenientes ya sea de voz o de algún instrumento que genere música. La conversión de estas señales acústicas a señales eléctricas se realiza por medio de algún tipo de micrófono, es decir, un sistema que acepta a su entrada señales acústicas (vibraciones mecánicas del aire) y que a su salida genera señales con las mismas características en lo referente a la información que contienen, pero que ahora son de tipo eléctrico. En este caso, la información consiste en la forma de las señales, ya sea como función del tiempo, o bien, equivalentemente, en la manera en que está compuesta por señales de tipo senoidal. Es importante resaltar que para una reproducción exacta de la música es necesario conservar toda la composición de la señal, es decir, las frecuencias y las amplitudes a lo largo del tiempo, ya que esto es lo que permitirá diferenciar entre sonidos generados por una flauta, por un piano o por un coro, por ejemplo. La reproducción de las señales (es decir, la reconversión de señal eléctrica en señal acústica) se realiza por medio del proceso inverso: se inyecta la señal eléctrica en un sistema que genera, a partir de las señales eléctricas, señales acústicas (figura III.1). Normalmente esto ocurre por medio de bocinas o altavoces, los cuales tienen bobinas que mueven membranas de cartón, mismas que, a su vez, mueven el aire y generan las ondas perceptibles por el oído.



Figura III.1. Conversión de señales eléctricas en acústicas.

En el caso de la televisión, la señal que contiene la información es de mayor complejidad que la de la radio, ya que las señales contienen, además de información acerca de sonidos, información acerca de composición luminosa de imágenes. En este capítulo se explicará únicamente la televisión monocromática, es decir, blanco y negro. Los tres elementos que contienen información acerca de las imágenes son los siguientes:

- la distribución de luminosidad, es decir, la forma en que aparecen luces (blanco), sombras (negros) y las distintas tonalidades de grises;
- la composición de la imagen en función de las tres dimensiones espaciales; y
- los movimientos de los elementos mencionado

Adicionalmente se tiene, desde luego, el sonido, mismo que recibe un tratamiento similar al del caso de la radio.

A través de cámaras de televisión se integran los tres factores anteriores en una señal eléctrica equivalente, cuya amplitud varía con relación al tiempo. Esta conversión se realiza por medio de un proceso de barrido: la cámara genera un haz que se mueve horizontalmente de izquierda a derecha, detectando las variaciones en las características luminosas de las imágenes. Al llegar al extremo derecho de la imagen, regresa el haz a la izquierda, se mueve ligeramente hacia abajo, y repite el proceso hasta llegar a la parte inferior derecha de la imagen. En ese momento el haz regresa a la esquina superior izquierda de la imagen y repite el proceso (véase figura III.2)

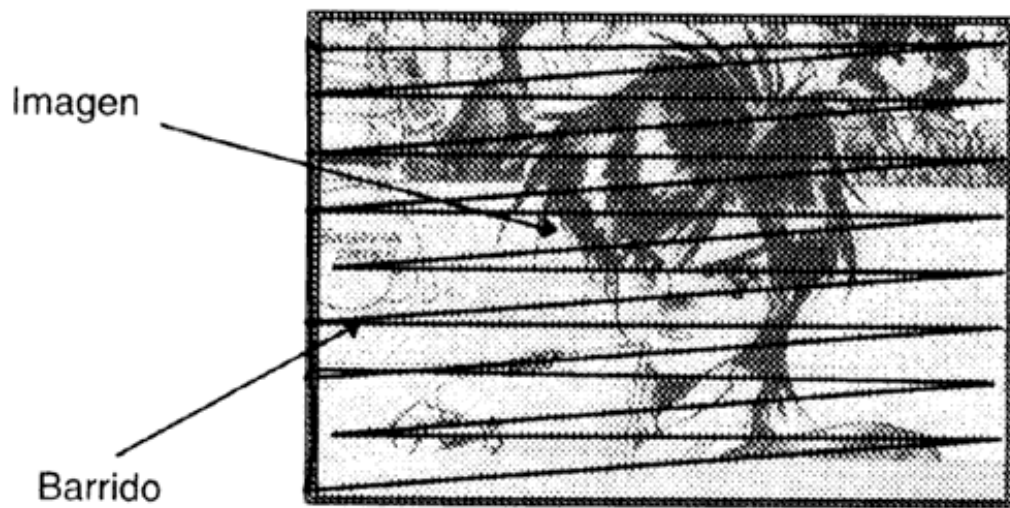


Figura III.2. Barrido de una imagen.

El número de líneas horizontales por imagen determina la calidad de la imagen reproducida, y existen diferentes normas internacionales al respecto. En el sistema empleado en México se usan 525 líneas horizontales por imagen. Por otra parte, al igual que en el caso del cine, para dar al ojo humano la sensación de imágenes que se mueven de una manera suave, se generan imágenes fijas a razón de 60 por segundo. Cada imagen se genera por las 525 líneas horizontales mencionadas. Es evidente que las señales que han de ser transmitidas, para no perder demasiado detalle, requieren captar y transmitir aun las variaciones más rápidas que sin la televisión podría captar el ojo humano. Esto requiere de un ancho de banda de 4.2 MHz. La parte de audio necesita una banda adicional de 25 kHz. Para evitar traslapes entre los canales, entre dos canales adyacentes (por ejemplo, el 4 y el 5), se deja un espacio libre, conocido como banda de guardia. Las transmisiones se realizan en diferentes países con distintas normas.

Además, para garantizar que la imagen en el aparato receptor sea de buena calidad, que no se mueva aleatoriamente, o que no aparezcan rayas horizontales o verticales en la pantalla, se requiere de información adicional en la señal; esta información se conoce como información de control o de sincronía, y a través de ella se garantiza que el aparato receptor interprete cada imagen recibida como una imagen completa, es decir, que no tome y reproduzca la mitad de una imagen y la mitad de la siguiente para generar una imagen en el receptor.

La reproducción se hace invirtiendo las operaciones realizadas en la conversión inicial: se toma la señal eléctrica y se inyecta en un sistema (cinescopio) en el cual se realiza un barrido en la misma forma que la descrita, generando a su paso puntos de diferente luminosidad e intensidad en la pantalla (figura III.3). Esto es lo que ve el hombre. Pero la reproducción es de la misma forma que la transmisión: 60 imágenes fijas por segundo, cada una de las cuales está compuesta por 525 líneas horizontales.

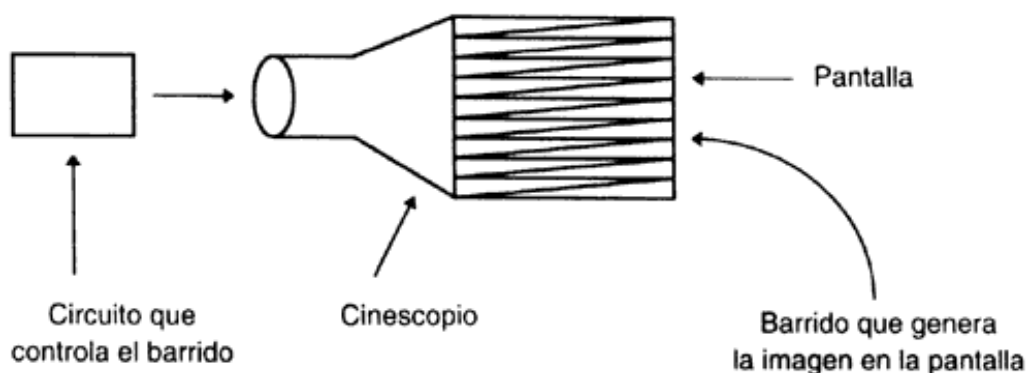


Figura III.3. Generación de imagen en el receptor.

La generación de imágenes cromáticas (es decir, de televisión a colores) está basada en los mismos principios básicos, aunque con procedimientos más complejos necesarios para el envío y la recepción de la información de los colores.

Una vez que se cuenta con las señales eléctricas equivalentes, las transmisiones tanto de radio como de televisión se realizan de una manera muy parecida. Se emplean sistemas de transmisión que consisten básicamente en las siguientes componentes:

a) Modulador: su función consiste en trasladar el espectro de la señal a la banda en que debe realizarse la transmisión. Cada canal que se transmite, tanto en radio como en televisión, tiene una distinta frecuencia portadora, y esto es precisamente lo que ubica a un canal en el sitio adecuado del sintonizador del receptor. Por ejemplo, en radio (AM) la portadora de una señal que se recibe en 600 kHz del cuadrante, tiene una frecuencia de 600 kHz.

b) Transmisor, cuya función consiste en amplificar la señal proveniente del modulador e inyectarla en la antena de transmisión.

c) Antena de transmisión, encargada de inyectar en la atmósfera la señal proveniente del transmisor.

Esto supone que la señal de entrada del sistema es la señal eléctrica equivalente a la que contiene la información, es decir, del equipo de audio o de la cámara de televisión (véase figura III.4).

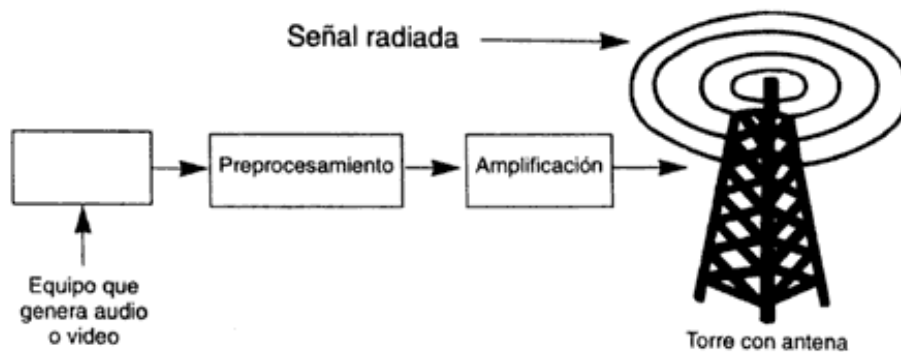


Figura III.4. Sistema de transmisión de radiodifusión.

Existen muchas formas de modular una portadora, y dependiendo del tipo de modulación la información de interés estará contenida en distintas partes de la señal modulada (y por tanto, recibida). Por ejemplo, en radio de amplitud modulada, como su nombre lo señala, la modulación es de amplitud, y por tanto la información está contenida precisamente en la amplitud de la portadora modulada. En FM (modulación de frecuencia), la información está contenida en la frecuencia de la portadora; esto significa que a mayores amplitudes de la moduladora (que contiene la información original) se transmite una portadora modulada, cuya frecuencia es mayor que la frecuencia nominal de la portadora, y cuando la moduladora tiene una amplitud menor la frecuencia de la señal transmitida también es menor (a amplitudes mayores de la moduladora corresponden frecuencias mayores de la portadora modulada) (figura III.5).

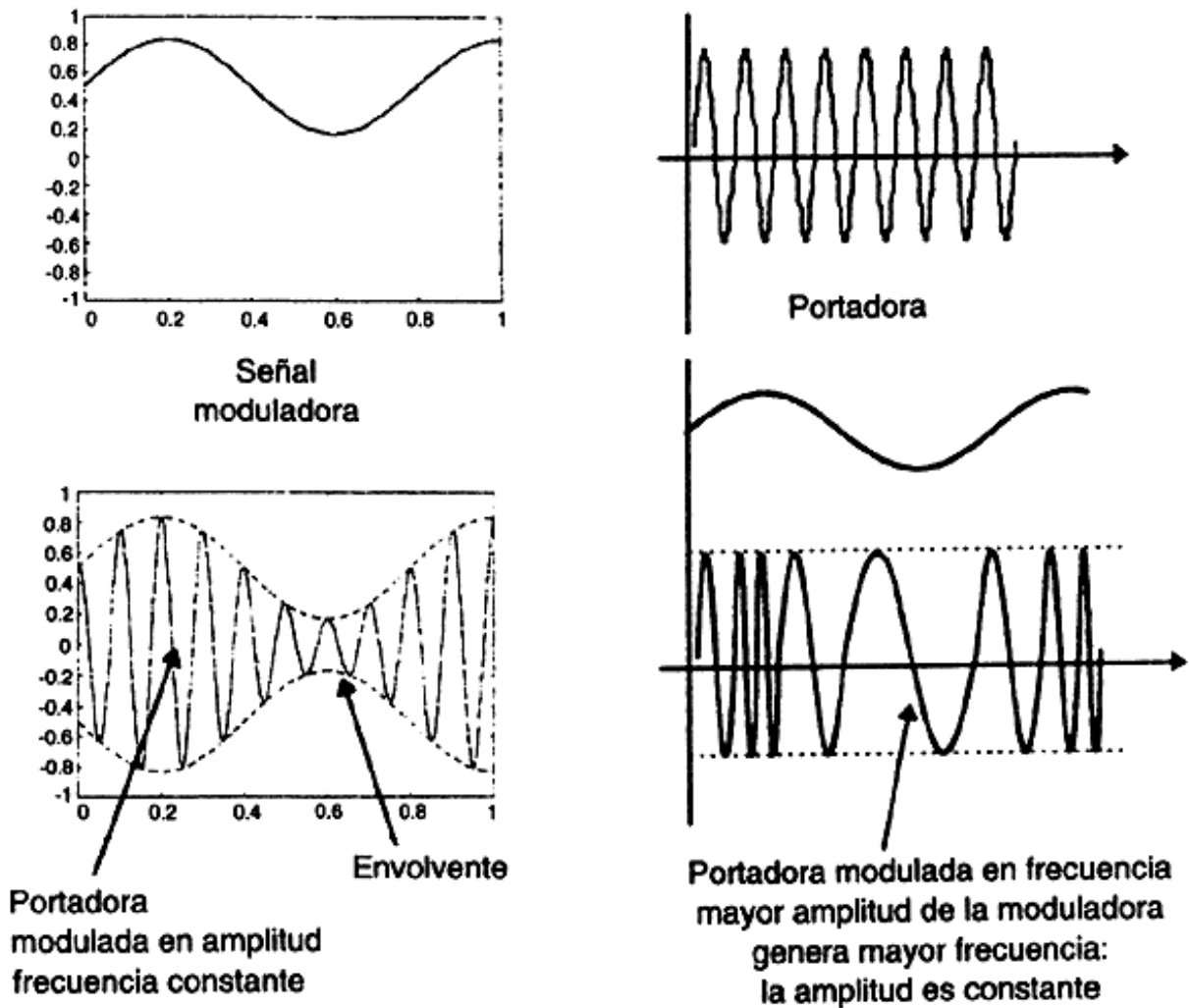
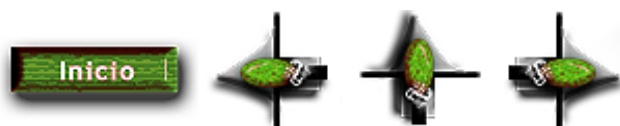


Figura III.5. Amplitud modulada (AM) y frecuencia modulada (FM) .

Para concluir este capítulo, es conveniente resaltar que, si bien estos tres sistemas de telecomunicaciones no son los únicos que estaban disponibles durante la primera mitad de este siglo, en ellos se conjugan las bases que posteriormente serían utilizadas para desarrollar los sistemas más modernos. Como puede observarse, los principios básicos de operación de estos sistemas tradicionales de comunicación tienen cada uno de ellos sus peculiaridades, pero comparten, sin embargo, muchos elementos comunes. En los capítulos siguientes se analizarán los elementos comunes de estos sistemas y se verá cómo éstos y las diferencias entre ellos han dado origen a los sistemas modernos de telecomunicaciones. Figura III.3. *Generación de imagen en el receptor.*



IV. HACIA LAS COMUNICACIONES MODERNAS

FRECUENTEMENTE SE HABLA DE LA "DINÁMICA" de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información. Pero ¿qué significa esto en realidad? A fines del siglo pasado era posible identificar unos cuantos acontecimientos y a otros tantos científicos que a la larga seguramente generarían un importante cambio en el área. Hoy esto ya no es posible. El número de acontecimientos, decisiones, inventos y desarrollos que contribuyen al avance del área es enorme y, de hecho, aumenta día con día. En un siglo (1850-1945) hubo menos cambios que los que ocurrirán en la próxima década o posiblemente en el próximo año.

Iniciamos este capítulo con una breve descripción del avance de las telecomunicaciones a lo largo del tiempo que más tarde introducirían los conceptos de las telecomunicaciones modernas; posteriormente se explican dichos conceptos.

1850: Utilizando la tecnología de la época, en telegrafía era posible transmitir unas cuantas palabras por minuto a través de algunos kilómetros de distancia. En los siguientes 50 años, con técnicas más complejas, y con base en transmisiones de radio (es decir, inalámbricas) que permitían comunicaciones con velocidades de propagación iguales a las que se utilizan hoy en día (a la velocidad de la luz), se logró, en 1870, enviar mensajes a tasas de transmisión del orden de 20 palabras por minuto. En 1901, después de las exitosas transmisiones de Marconi entre Poldhu, Inglaterra, y St. Johns, Canadá, fue posible transmitir —casi independientemente de la distancia entre transmisor y receptor— hasta cientos de palabras por minuto.

1945: Los avances que se lograron durante la segunda Guerra Mundial en el área de las comunicaciones fueron determinantes para su desarrollo futuro. En aquellos años se llevó al extremo el ingenio humano, al diseñar sistemas más rápidos, seguros, y privados que los que se conocían hasta ese momento. Frecuentemente se implantaban soluciones un tanto empíricas, sin tener aún dominados todos los aspectos científicos que se requerían para ampliar los conocimientos del área. Importaba en especial un aspecto: cómo emplear las comunicaciones para beneficiar los intereses militares que dominaban en aquellos días. Las dos guerras mundiales fueron así los dos acontecimientos que en mayor medida han afectado, no únicamente a las telecomunicaciones modernas, sino a la tecnología y la investigación científica en general (un ejemplo de esto es el desarrollo de los aviones). Ambas guerras fueron las responsables de convertir experimentos caseros en trabajos de grupos bien coordinados, patrocinados por gobiernos y corporaciones, buscando colectivamente nuevos desarrollos y aplicaciones novedosas de técnicas conocidas.

1965: El producto de una interesante colaboración multinacional para el uso del espacio fue el lanzamiento y puesta en operación del primer satélite comercial de comunicaciones, el INTELSAT I, conocido también como el "Pájaro madrugador". El INTELSAT I tenía una capacidad de 240 circuitos telefónicos. Dos años después se integraba un sistema global de comunicaciones vía satélite con la colocación en órbita de dos satélites adicionales de mayor capacidad, los INTELSAT II del Pacífico y del Atlántico, con lo cual se podía establecer comunicación telefónica (cerca de 720 circuitos para voz) entre cualesquiera ciudades del planeta. El INTELSAT V, puesto en órbita en 1980, puede procesar 12 000 llamadas telefónicas de manera simultánea, aparte de dos canales de televisión.

1988: El primer cable transatlántico de fibras ópticas, el sistema TAT-8, fue puesto en operación entre Estados Unidos y Gran Bretaña. Sus propietarios son ATT y un consorcio de 27 compañías y oficinas gubernamentales europeas. Puede transportar simultáneamente 40000 conversaciones telefónicas, lo cual es más que lo que pueden transportar todos los otros cables y enlaces satelitales transatlánticos combinados. Esto ocurrió 146 años después de que el primer conductor de señales subacuático fuera probado, en 1842 por S. Morse y E. Cornell, entre ambos lados del río Hudson; 137 años después de haber tendido cables que atravesaban el río Mississippi; 138 después del enlace Dover-Calais, y 122 después del primer cable exitoso que enlazaba Irlanda con Newfoundland. Las comunicaciones internacionales vía satélite siguen creciendo con una tasa anual de cerca del 10%. El sistema INTELSAT cuenta con 16 satélites en operación; 11 de ellos pueden transmitir entre 12 000 y 15 000 canales de voz y, adicionalmente, dos de televisión. De acuerdo con estas tendencias es posible suponer que dicha capacidad podrá ser expandida en el futuro a una cantidad cercana a los 100 000 circuitos telefónicos.

1996: Crecimiento explosivo de redes que enlazan todo el planeta, computadoras que se comunican a velocidades de millones de bits por segundo, telefonía celular, localización global de personas, redes personales de comunicación, televisión de alta definición, redes telefónicas interconectadas con redes de televisión por cable, realidad virtual, satélites de órbita baja, supercarreteras de información, etcétera.

Todos los avances científicos logrados en las telecomunicaciones han requerido muchos años de experiencia, de innovación y de expansión: en los años cuarenta, con objetivos de carácter militar, siendo de importancia secundaria el beneficio social que las comunicaciones tendrían como consecuencia; en los sesenta era muy satisfactorio poder conectar aparatos telefónicos en ambos extremos de un canal de satélite y sostener con inteligibilidad razonable una conversación telefónica; en los noventa se han incorporado los satélites a sistemas integrales de transmisión de información, con una gran variedad de medios de comunicación tales como fibras ópticas y cables metálicos, permitiendo la satisfacción de una amplia gama de necesidades de comunicación entre las cuales están la transmisión de datos, las teleconferencias y, desde luego, las transmisiones de conversaciones habladas. A mediados de los noventa es imposible concebir muchas actividades humanas cotidianas sin el apoyo de las telecomunicaciones: fax, teléfono celular, televisión a colores, radiolocalización de personas, redes de computadoras, etcétera.

Como ha sido descrito anteriormente, en un principio las telecomunicaciones se realizaban empleando señales cuya magnitud es una función directa del mensaje que se desea transmitir: en telefonía, por ejemplo, mediante la correspondencia de una señal de voltaje de amplitud grande a sonidos de volumen alto, y señales de amplitud pequeña a sonidos de bajo volumen (transmisión analógica). Las transmisiones de este tipo pueden tener problemas serios: si se le suma el ruido (que invariablemente está presente en todo canal de comunicaciones) a la señal transmitida, considerando que este ruido también tiene como efecto señales de amplitud variable desconocida e impredecible, entonces lo que se recibe en el receptor estará distorsionado por el ruido. Por ejemplo, todos hemos tenido la experiencia de querer dialogar con nuestra pareja en una discoteca donde la música está a un volumen altísimo. El diálogo es en realidad difícil, puesto que el "ruido del canal" normalmente tiene un volumen mucho mayor que el de la voz en una conversación, aun si se pretende hablar a gritos. (No obstante, es importante recordar, para este ejemplo, como veremos más adelante, que los seres humanos contamos también con los lenguajes gestual y corporal.)

El ruido es un fenómeno inevitable en las comunicaciones. Por tanto, la tarea de un ingeniero en telecomunicaciones consiste en diseñar sistemas que permitan hacer llegar la información de la fuente al destino a pesar del ruido, el cual, además, varía con el tiempo y es más perjudicial en algunas ocasiones que en otras.

Para resolver el problema del ruido se dispone de las comunicaciones digitales, que están basadas en el siguiente principio: supongamos que la información está contenida en sucesiones de colores que pueden ser cualquier tonalidad del espectro visible; si se modifica ligeramente alguno de los colores es difícil establecer de manera precisa cuál era el color original. Por ejemplo, si en lugar de ver azul rey se observa azul marino, no hay forma de saber si originalmente se tenía azul rey o azul marino. (El concepto mismo de la tonalidad de los colores es subjetivo y puede variar de persona en persona). Por otra parte, si se sabe que únicamente se puede observar blanco o negro, es posible establecer reglas de decisión sencillas para determinar si un tono específico de gris originalmente era blanco o negro. Es decir, a partir de qué tono de gris (del más claro hasta el más oscuro) se decidirá negro, con el entendimiento de que las tonalidades más claras corresponden al blanco.

El mismo principio se aplica a las comunicaciones digitales, con la excepción de que no se trata de colores (blanco o negro), sino de "unos" o "ceros". Recordando que en toda transmisión hay ruido sobrepuesto, si se transmite el voltaje correspondiente a un "cero" (0 volts) y se le suma ruido que hace aparecer a ese valor como un 0.4, se decidirá que lo transmitido fue un cero, mientras que si se reciben valores mayores de 0.5, la decisión a tomar será "uno". Recurriendo nuevamente al ejemplo de la discoteca con música a un volumen en extremo alto, si las personas que dialogan sólo disponen de dos palabras-gesto por ejemplo sí y no, aun estando muy alto el volumen resulta mucho más fácil decidir si lo que dijo la otra fue precisamente un sí o un no (figura IV. 1).

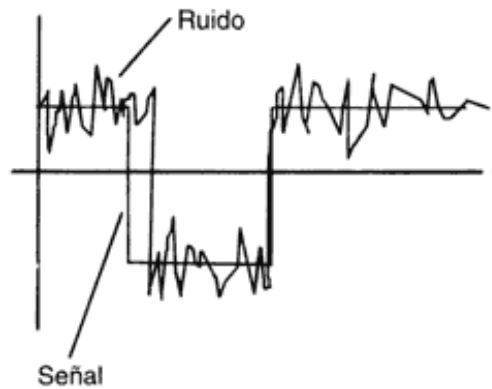


Figura IV.1. Señal digital ruidosa.

Las comunicaciones digitales tienen las siguientes ventajas sobre las analógicas:

—como las computadoras trabajan con información digital, esta debe ser procesada en microprocesadores digitales (ésta es una de las razones por las cuales se habla de la convergencia entre la electrónica, las telecomunicaciones y la computación), con lo cual se aumentan enormemente las posibilidades de procesamiento a grandes velocidades y de almacenamiento masivo de la información.

—estando la información en formato digital, es posible explotar plenamente las técnicas modernas de criptografía, codificación, compresión de datos, corrección y detección de errores y el procesamiento digital en general.

Para explicar cada una de las ventajas de las comunicaciones digitales se hará referencia a uno de los primeros sistemas de comunicaciones del que se tiene documentación: el sistema de Polibio (mencionado en la Introducción) que podría ser llamado "telégrafo síncrono apoyado en medición hidráulica de tiempo y en señalización óptica."

Recordemos que se trata de un sistema en el cual el mensaje que se desea transmitir pertenece a un conjunto finito de mensajes; es evidente que para que este tipo de comunicaciones tenga sentido, ambas partes (receptor y transmisor) deben estar conscientes de los posibles mensajes que uno transmitirá al otro. El sistema será empleado en este capítulo para explicar algunas de las ideas relacionadas con las comunicaciones digitales. Para ello, conviene describir nuevamente su operación:

mediante una antorcha se envía una señal de un punto geográfico a otro para poner en operación el sistema hidráulico por medio del cual el receptor obtendrá la información que se desea. Desde un punto de vista estricto, este sistema de comunicaciones digitales contiene también elementos de procesamiento distribuido: la información que se transmite es la señalización (las antorchas), que se usa para activar el sistema de procesamiento, que a su vez consiste en los cilindros con agua, y las reglas sobre las cuales están marcados los posibles mensajes; a estos últimos, en lo sucesivo, se les llamará cilindros codificadores. Con la señal de la primera antorcha se abren las dos válvulas por las que saldrá agua y bajará el nivel de los cilindros codificadores; con la segunda señal se cerrarán las válvulas para tomar la lectura (es decir, el mensaje) en el cilindro codificador del lado del receptor.

En este sistema se pueden identificar y explicar los siguientes problemas relacionados con (y de fundamental importancia para) las telecomunicaciones digitales:

a) *Conversión analógico-digital de una señal.* La altura de los cilindros codificadores, sobre los cuales están marcados los mensajes, puede tomar cualquier valor entre la altura máxima (recipiente externo totalmente lleno) y la mínima (recipiente externo totalmente vacío). Es decir, la altura es una variable analógica. Sin

embargo, cada uno de los mensajes tiene asociada una zona o un rango de alturas, al cual le corresponde cada uno de los mensajes. Si existen diez posibles mensajes, existen también diez posibles regiones de altura. Este proceso es, evidentemente, una conversión analógico a digital y tiene incorporado un proceso de cuantización del mismo tipo que fue mencionado en el capítulo II (figura IV.2).

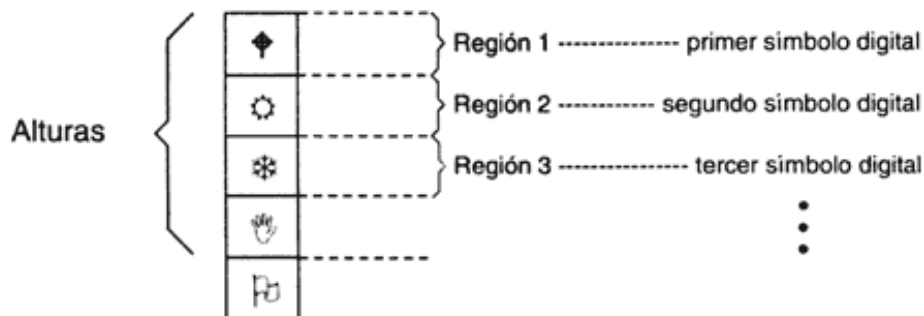


Figura IV. 2. Conversión analógico-digital en el codificador de Polibio.

b) *Codificación de un mensaje.* En realidad, la salida del sistema, una vez que se cierra la válvula, es la altura del cilindro interno del sistema; sin embargo, como el cilindro está subdividido en regiones, y a cada región le corresponde un mensaje, el mensaje está codificado. A cada altura posible le corresponde uno y sólo uno de los posibles mensajes. El conjunto de mensajes se conoce con el nombre de alfabeto de salida del codificador o conjunto de mensajes codificados (figura IV.3).

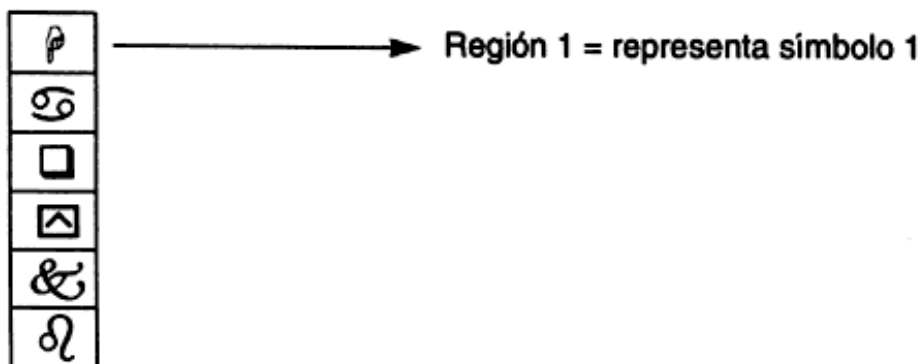


Figura IV.3. Codificación.

c) *Criptografía de un mensaje.* La criptografía es la ciencia de "cifrar información de manera tal que únicamente aquellas personas que conocen la forma en que fue cifrada la información y las claves con que fue realizado el proceso de cifrado pueden descifrarla". Pues bien: a pesar de que cualquier persona podría, en teoría, construir su propio "telégrafo síncrono apoyado en medición hidráulica de tiempo y en señalización óptica", no cualquiera podría recibir adecuadamente los mensajes transmitidos por los guerreros romanos, ya que el sistema tiene intrínseco un sistema

criptográfico con dos claves. La primera consiste en la forma en que fueron codificadas cada una de las alturas del cilindro codificador, esto es, el mensaje asociado a cada región tiene que ser conocido tanto por el receptor como por el transmisor. La segunda está en la apertura de las válvulas, ya que si el flujo de agua no es igual en transmisor y receptor, las alturas de los cilindros donde la información está codificada serán diferentes a la hora de cerrar las válvulas, por lo cual generarán en receptor y transmisor diferentes mensajes. Es más, para darle una mayor seguridad al envío de la información, receptor y transmisor podrían disponer de, por ejemplo, dos diferentes válvulas y tres diferentes cilindros codificadores con la información codificada de diferentes maneras; por medio de la antorcha se podría señalar cuál es la válvula que será utilizada y cuál es el cilindro flotador a ser empleado. El enemigo (técnicamente se le conoce como "criptoanalista") no puede conocer el mensaje correcto, excepto si usó la misma válvula y el mismo cilindro. Cabe mencionar que a lo largo del tiempo el enemigo podría deducir las claves observando las acciones correspondientes a cada clave; por esto resulta recomendable que en cada transmisión sea cambiada la clave (técnicamente esto se denomina clave dinámica) (figura IV.4).

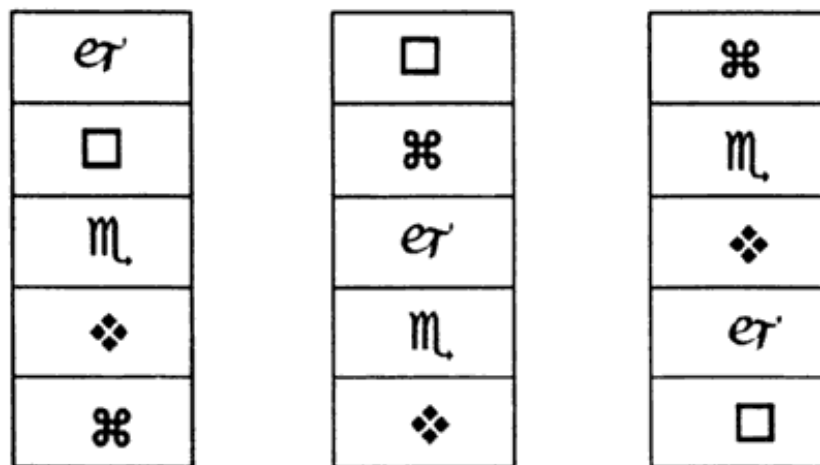


Figura IV.4. Uso de criptografía en el sistema.

d) Sincronización entre transmisor y receptor. El problema de la sincronización consiste en que tanto el receptor como el transmisor deben trabajar a la misma velocidad para que el primero extraiga del canal la información a la misma velocidad que el transmisor inyectó en el canal. En este ejemplo, la sincronización está implícita en la señalización por medio de la antorcha, así como en la velocidad con que se permite la salida del agua de los contenedores. Si en algún momento se pierde la sincronía, no puede realizarse adecuadamente el proceso de comunicación.

e) Necesidad de un protocolo. Así como dos personas o en general dos seres vivos necesitan establecer un conjunto de reglas por medio de las cuales puedan establecer comunicación, y en ausencia de ellas no es posible comunicarse, esto también es aplicable en comunicaciones entre sistemas (equipos o computadoras). Por ejemplo, para que dos personas se comuniquen telefónicamente, las reglas (que dependen de cada país y que aceptan ligeras variaciones) son las siguientes: al sonar el timbre del teléfono, el receptor toma el auricular y dice "bueno" en México, "hola" en España, "hello" en Estados Unidos, etc. Posteriormente, quien inició la llamada (transmisor) dice algo como "¿a dónde hablo?", a lo cual el receptor contesta "¿a dónde quería usted hablar?"... y así sucesivamente. Este hecho, es decir, la necesidad de contar con reglas que ambos interlocutores entiendan y respeten, se hace evidente en el ejemplo que se está analizando. Las reglas, en este caso, son las siguientes: i) el transmisor enciende su antorcha y abre la válvula de su contenedor de

agua, *ii*) el receptor al ver la antorcha del transmisor, abre su válvula y espera, sin dejar de observar en la dirección del transmisor, *iii*) al haber sido desalojada la cantidad de agua para que el mensaje del cilindro con los mensajes codificados sea el correcto, el transmisor envía nuevamente una señal con su antorcha, *iv*) el receptor, al ver la nueva señal, cierra su válvula, observa el mensaje en su cilindro, toma una decisión e instrumenta la acción que corresponde al mensaje recibido.

Sin un protocolo sería muy difícil lograr establecer una comunicación entre seres humanos, y, sobra decirlo, sería prácticamente imposible entre entes menos inteligentes que los seres humanos, tales como equipos o computadoras.

f) Presencia de distorsión y de ruido en las comunicaciones. La distorsión en un sistema de comunicaciones consiste en todo aquello que perturba el contenido de la información de un mensaje. Es decir, lo que dificulta al receptor la interpretación correcta del mensaje que le envió el transmisor. En el sistema que estamos estudiando, la distorsión se puede presentar cuando los orificios (válvulas) por donde sale el agua de los recipientes del transmisor y del receptor no son del mismo tamaño; en ese caso, aun si los orificios permanecieran abiertos el mismo tiempo permitirían que en cada uno de los recipientes escapara una cantidad diferente de agua y que, por tanto, al final del mensaje sus respectivos niveles de agua (código del mensaje) fueran distintos, impidiendo una comunicación correcta. Otras posibles fuentes de ruido en este sistema son distintos volúmenes de agua en los contenedores al iniciar la transmisión, diámetros diferentes de los cilindros de agua empleados como recipientes, o bien, diferencias en la forma en que fueron marcadas las alturas correspondientes a las regiones en ambas reglas.

g) Detección y toma de decisiones en las comunicaciones. En todo sistema de comunicaciones digitales, en el lado del receptor deben ser tomadas decisiones acerca del mensaje que envió el transmisor, ya que, por el efecto del ruido y la distorsión, las salidas del sistema podrían estar en alguna zona ambigua en la que no esté totalmente claro si el mensaje enviado fue el que corresponde a la región superior o a la inferior. En los sistemas modernos, en que las señales son unos o ceros, representados por voltajes, al sumárseles el ruido, puede no estar claro cuál fue el símbolo transmitido. Por ejemplo, si no hubiera ruido, un voltaje de 1 volt podría ser un "uno" y un voltaje de cero, podría ser un "cero"; pero si el ruido contribuye con, por ejemplo, 0.25 volts, la decisión que debe tomar el receptor es si ese voltaje que, si bien no es cero, tampoco es un claro "uno", corresponde ya sea a uno o al otro símbolo. En el sistema de Polibio, puede ocurrir que al cerrar el orificio la marca de las alturas no quede exactamente a la mitad de una región, caso en el cual la decisión consiste en evaluar las posibilidades de que dicho desplazamiento pueda haber sido originado por el mensaje que está en la parte superior o en la inferior de la marca deseada (figura IV.5).

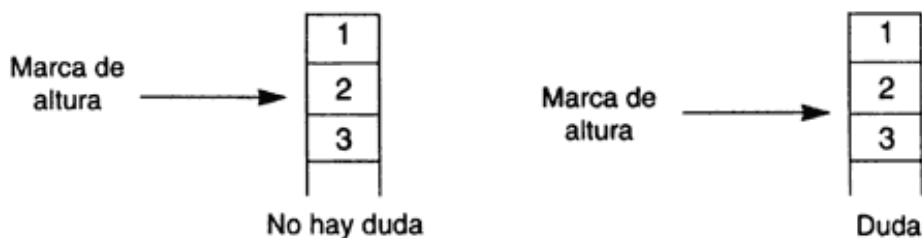


Figura IV.5. Ejemplo de zona ambiguo por efecto de ruido en el mensaje.

Con ayuda de los conocimientos de telecomunicaciones hasta aquí presentados, el sistema descrito puede ser ampliado para darle una mayor precisión y mejorar su desempeño; esto podría ser realizado, por ejemplo, con las siguientes modificaciones:

1) *Confirmando recepción correcta y/o solicitando una retransmisión.* En el ejemplo del telégrafo óptico-

hidráulico, el papel que desempeña el receptor es pasivo, es decir, se limita a recibir los mensajes pero no toma ninguna acción en caso de tener duda acerca de los mismos. Sin embargo, se podrían utilizar antorchas en el lado del receptor, pidiendo retransmisiones al transmisor hasta que el receptor esté satisfecho con el mensaje recibido y no tenga duda acerca de lo que debe hacer.

Este sistema de telecomunicaciones puede funcionar de dos maneras: *i)* el transmisor transmite sus mensajes y supone que el receptor los recibe adecuadamente, pero no espera que el receptor le confirme si esto ocurrió; *ii)* el transmisor transmite su mensaje, el receptor lo recibe y emite una señal de confirmación al transmisor cuando no tiene duda acerca del mensaje recibido; en caso de duda, le envía una solicitud de retransmitir. En este caso, tanto en la parte de transmisión como en la de recepción, tendrían que ser reinicializados los sistemas antes de la nueva transmisión (esto es, tendrían que volver a llenar de agua sus recipientes).

2) *Introduciendo repetidoras.* Cuando el alcance requerido por un sistema de telecomunicaciones es mayor que el permitido por la tecnología seleccionada, puede realizarse la comunicación por etapas, cubriendo distancias cortas y repitiendo los mensajes hasta que lleguen a su destino (recordemos el ejemplo de los relevos romanos). En el sistema estudiado una ampliación lógica consiste en la introducción de repetidoras; cada una de las repetidoras desempeñaría el papel de receptor, por una parte, con todas las funciones que éste tiene asociadas y, por la otra, el de transmisor hacia la siguiente etapa, también con cada una de las funciones que tiene asociado un transmisor (figura IV.6).

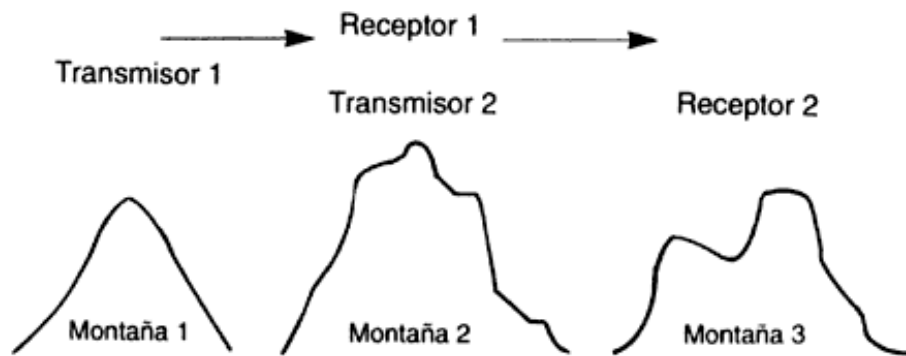


Figura IV.6. Uso de repetidoras.

3) *Agregando redundancia.* La redundancia consiste en agregar a un mensaje elementos que faciliten al receptor la toma de decisiones acerca del mensaje transmitido. En el caso del telégrafo óptico-hidráulico, esto puede ser realizado si el receptor tiene, por ejemplo, tres sistemas idénticos. Cuando observa la señal de la antorcha indicándole que debe abrir la válvula, lo hace simultáneamente en los tres, y hace lo mismo en el momento de cerrarlas. Al tomar la lectura, lo hace en los tres sistemas, y toma su decisión con base en los tres. Así, si las tres lecturas coinciden no hay duda, pero si una de ellas señala algo diferente a lo de las otras dos, el receptor basa la decisión en la mayoría. Con esto disminuye significativamente la probabilidad de errores (figura IV.7).

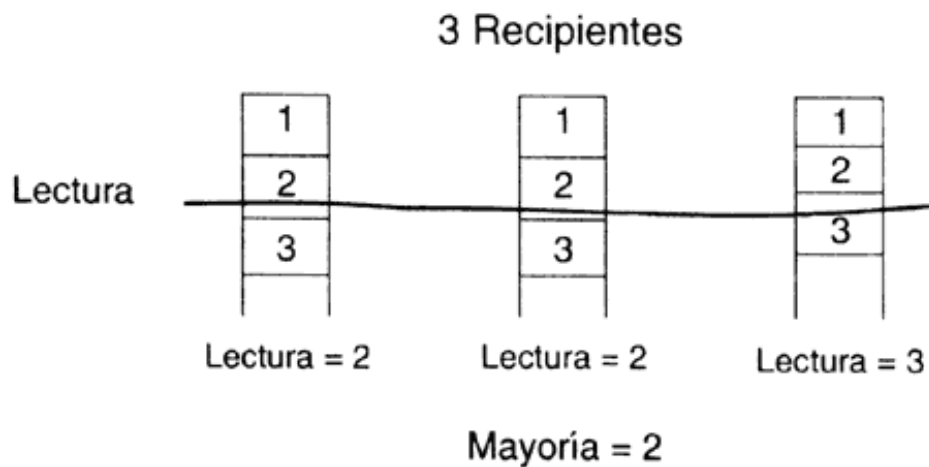


Figura IV.7. Decisión por mayoría.

4) *Permitiendo transmisiones punto a multipunto.* Frecuentemente es necesario contar con los mensajes transmitidos en más de un punto de manera simultánea. Esto, a diferencia del caso en que se transmite en un solo punto y el mensaje está destinado a un solo punto (transmisión punto a punto), se conoce como transmisión punto a multipunto (este caso es el precursor de la radiodifusión). En caso de requerirse por las necesidades de la aplicación, el sistema en estudio es fácilmente convertible a un sistema punto a multipunto. Esto implica tener varios receptores en distintos lugares que pudieran recibir las señales de las antorchas del transmisor. Todos ellos deben estar familiarizados tanto con los códigos como con las claves criptográficas, para que los mensajes puedan ser recibidos exitosamente en tantos puntos geográficos como fuera necesario (evidentemente, dentro de la zona de cobertura del sistema, es decir, en todos aquellos puntos en que pudieran ser observadas las señales ópticas provenientes de la antorcha del transmisor) (figura IV.8).

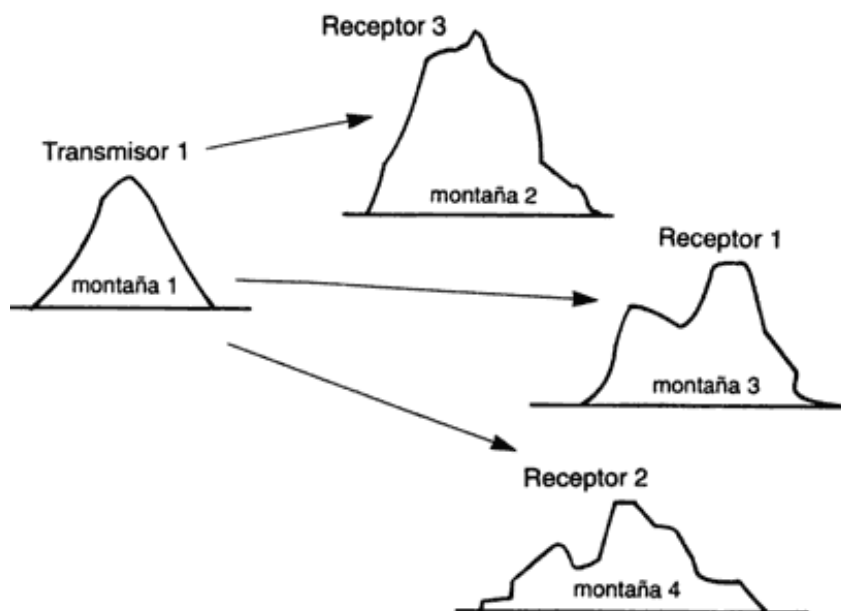


Figura IV.8. Transmisión punto a multipunto.

Como se puede observar en el análisis anterior, los conceptos de las comunicaciones modernas son de una simplicidad asombrosa y responden a ideas sencillas que fueron instrumentadas y utilizadas por el hombre hace más de 20 siglos. Sin embargo, al utilizar esas ideas con equipos y sistemas basados en tecnologías modernas, se

han logrado manejos de cantidades de información a velocidades que no sólo en la época de Polibio eran inimaginables, sino que aun en la primera mitad de este siglo parecían imposibles de alcanzar.

Para contrastar las ideas ilustradas con el sistema anterior y mostrar su utilización en un sistema moderno, a continuación se describe otro ejemplo de un sistema basado en tecnologías de vanguardia, y que desde su introducción, hace apenas unos 10 años, ha revolucionado los sistemas que existían hasta entonces: el reproductor de discos-compactos (*CD-player*). Los sistemas CD han pasado a ser parte del entretenimiento cotidiano del hombre de finales de este siglo; muchas personas tienen estos sistemas y las radiotransmisoras los usan cada vez más para reproducir la música que difunden. Aunque este sistema no es propiamente de transmisión de información, contiene varias etapas de procesamiento de señales propias de las telecomunicaciones.

Es de conocimiento público que las reproducciones de música realizadas por medio de la tecnología de los discos compactos tienen mayor calidad de sonido que las basadas en los discos tradicionales (conocidos como LP), y también que la calidad de estos últimos es incomparable con la música generada por los discos de los años cincuenta (los conocidos de 78 revoluciones por minuto). La razón es precisamente que los discos compactos usan representaciones digitales de la música, es decir, están basadas en "unos" y "ceros". Por tanto, pueden explotar plenamente las ventajas de las comunicaciones digitales, como la codificación, la redundancia para la corrección de errores y el procesamiento de las señales por medio de microprocesadores.

La música de los LP se genera a través de voltajes (muy pequeños, por cierto) captados por medio de la aguja del reproductor, y que se producen por medio de irregularidades en los surcos del disco. Es lógico que una aguja al pasar un cierto número de veces por la misma irregularidad del disco, se altere paulatinamente por la fricción y el desgaste, degradando así la calidad de las reproducciones a lo largo del tiempo. En los CD, la lectura de la información se realiza por medio de lectores ópticos basados en emisores láser a semiconductor, de manera tal que no hay contacto físico entre el lector y el disco, lo cual evita el desgaste del mismo. Por otra parte, aunque se modificara ligeramente el disco compacto, es decir; aunque se cambiaran algunos unos a ceros y viceversa, como la información es digital (está codificada en una enorme sucesión de bits, es decir, de "unos" y "ceros") y contiene redundancia, el sistema puede tomar decisiones que le permitan, por una parte, detectar cuando fueron alterados algunos bits, y por otra, regenerar la señal original de manera satisfactoria (aunque los discos tengan "rayones"), casi podríamos decir, con la calidad original.

En el momento de generar un CD, la primera etapa de procesamiento consiste en tomar las señales correspondientes a la música original (es decir, las señales analógicas correspondientes a los canales derecho e izquierdo) para hacerlas pasar por un proceso de muestreo. Para generar música de alta fidelidad (hasta 20 kHz) se toman 44 100 muestras por segundo de cada uno de los canales. Posteriormente, para realizar el proceso de conversión de analógico a digital, se utiliza un cuantizador de 65 536 niveles. Las 44 100 muestras cuantizadas correspondientes a cada segundo de música deben entonces ser codificadas, para lo cual se requieren 16 bits por cada una de ellas (nótese que $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2$, 16 veces, es decir la potencia décimo sexta de 2 es precisamente 65 536). Estos números permiten estimar la cantidad de bits contenidos en un solo CD: supongamos que la duración de un CD típico es de una hora (3 600 segundos), que a cada segundo le corresponden 44 100 muestras por cada uno de los canales, y que a cada muestra se le asignan 16 bits. Multiplicando todos estos números se concluye que en un CD hay miles de millones de bits, que deben ser extraídos del CD y procesados sincronamente. ⁵ 

Sin embargo, todos ellos son necesarios para reconstruir la señal original en el reproductor con la calidad típica de estos sistemas (se ha llegado a afirmar que a través de estos sistemas se logra alcanzar una nueva y más intensa experiencia musical). Cada uno de los bits se graba ópticamente en una capa de poliéster que es lo que le da forma al disco. El reproductor, antes de enviar la señal al amplificador de audio, lee los bits del disco, decide si cada uno de ellos es un uno o un cero elimina los errores (una vez detectados) y reconstruye la señal analógica correspondiente a la música. Hasta ese momento, la señal de la música prácticamente no tiene distorsión (con excepción de la introducida por la conversión analógico a digital) y es hasta la amplificación y la reproducción en las bocinas en donde la música puede sufrir alguna distorsión o modificación indeseable. Si la música es difundida por radio, el canal de radio también introduce algún tipo de ruido adicional.

Los científicos de la primera mitad de este siglo, aunque desde luego no tenían reproductores de discos compactos, estaban conscientes del efecto potencial que podría tener esta nueva forma de representar y procesar una señal por medio de dos símbolos únicamente, y empezaron a estudiar el problema desde el punto de vista teórico. En 1949, C. E. Shannon propuso lo que llamó una "Teoría matemática de la comunicación", donde

analiza las siguientes cuestiones fundamentales:

- a) ¿Cómo se puede medir la cantidad de información contenida en un mensaje?
- b) ¿Cómo se puede medir la capacidad que tiene un canal para transmitir información?
- c) Cuáles son las características deseables para un codificador?; y cuando este proceso se realiza en forma eficiente, ¿cuánta información puede ser enviada a través de un canal?
- d) ¿Cuáles son las características generales de los procesos de ruido y cómo afectan la calidad de los mensajes recibidos en el receptor?

Los conceptos y las ideas contenidos en dicha teoría han servido desde su publicación como semillas para la mayoría de los trabajos modernos de las comunicaciones digitales. Se postulan definiciones de índices óptimos de desempeño, y se demuestra la existencia de mecanismos de procesamiento de información: un buen número de los resultados actuales giran alrededor de la obtención, el diseño y la realización electrónica de sistemas y dispositivos electrónicos que alcancen o por lo menos se aproximen tanto como se desee a los desempeños predichos por Shannon. Para explicar los conceptos establecidos por Shannon, partimos de su sistema conceptual, cuyas componentes se explicarán a continuación. El sistema conceptual se presenta en la figura IV.9, señalando las diferentes transformaciones que va sufriendo la señal desde la fuente hasta llegar al usuario.

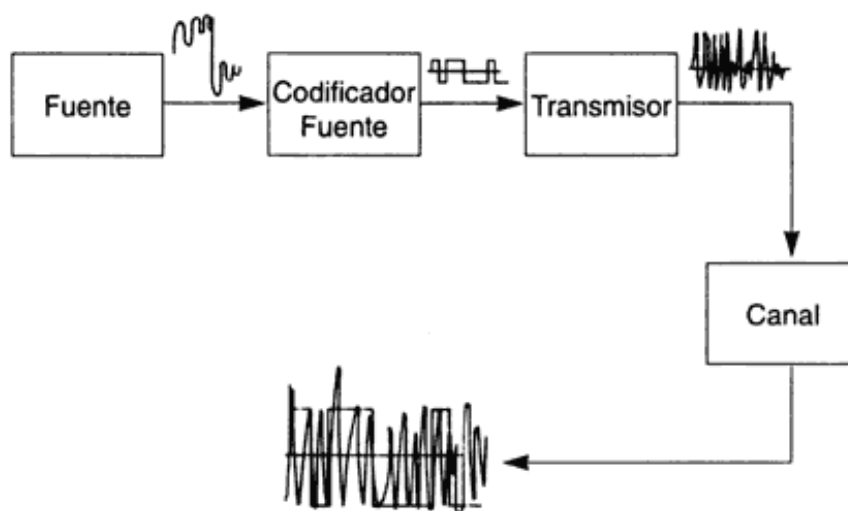


Figura IV.9. Sistema de comunicaciones con transformaciones.

La fuente ya ha sido descrita en repetidas ocasiones y por tanto no abundaremos más sobre sus características. En el bloque que sigue a la fuente, es decir, el codificador de la fuente, se realiza la función de convertir el mensaje proveniente de la fuente (el cual no necesariamente es de tipo digital o binario) en un mensaje binario, esto es, en una sucesión de unos y ceros.

A su salida se tiene conectado el codificador del canal. Su función es proteger la información transmitida contra los efectos y fenómenos a que está expuesta al viajar a través del canal. Esto se logra agregando redundancia a la información transmitida, con el objeto de que en el lado del receptor se pueda identificar cuándo ocurrió esta situación. A través de bloques o palabras largas es más fácil la inmunización contra el efecto del ruido. Para ilustrar esto considérese un sistema que introduce redundancia de manera tal que se transmite tres veces cada letra de un mensaje que puede consistir en cadenas de letras del alfabeto de 32 posibilidades (éste es un método que fue descrito en el sistema de telégrafo de Polibio). Al ocurrir un error se toma una decisión basada en mayorías. Por ejemplo, si se desea transmitir la palabra "mamá", con este esquema se codifica en "mmaaammmaááá". Si en el receptor se recibe "mmaaxmmmaáá", al aplicar la decisión por mayoría, se llega nuevamente a "mamá", porque

las tercias aax y mnm se interpretan o decodifican como a y m" respectivamente. En el mejor de los casos se podrán corregir los errores, pero para facilitar el procesamiento muchas veces es suficiente detectar la presencia de uno o más errores, aunque no se identifique su posición (nótese que en un sistema binario, al identificar la presencia y posición de un error su corrección es inmediata, puesto que en un sistema donde solamente hay dos posibles símbolos, un "uno" y un "cero", la única forma en que puede aparecer un error es cambiando un "uno" a un "cero" o un "cero" a un "uno"). Identificando la presencia de un error, aunque no su posición, el receptor puede solicitar al transmisor la retransmisión del mensaje (esta idea también fue ilustrada con el telégrafo óptico-hidráulico).

El canal, desde un punto de vista estricto, no pertenece ni al lado del transmisor, ni al del receptor, sino que es el elemento que une a ambos lados del sistema. Como ya fue mencionado repetidamente, no hay canal perfecto, es decir, todo canal introduce ruido. Independientemente del material del que está construido el canal, éste transporta la información digital o binaria por medio de pulsos de dos distintos valores. Si el canal es metálico, los pulsos serán de voltaje; si es óptico, los pulsos se representan por medio de intensidades luminosas. La forma en que transmite la información es precisamente una de las características que hacen que un canal sea distinto de otro. Pero desde el punto de vista de la teoría de la información, el parámetro más importante de un canal consiste en lo que se denomina su capacidad, es decir, la cantidad de información que puede transmitir por unidad de tiempo. La capacidad de un canal depende, entre otros factores, del material del que está construido. Las capacidades de los canales han evolucionado desde valores pequeños, tales como las de los canales telefónicos (estas capacidades, aunque pequeñas, no fueron motivo de preocupación cuando fueron construidos los primeros canales telefónicos, porque no se disponía de los elementos tecnológicos para poder aspirar a alcanzar la capacidad de los canales). Las capacidades más grandes disponibles en la actualidad son las de canales basados en fibras ópticas.

Finalmente, del lado del receptor se realizan las operaciones inversas a las efectuadas en el lado del transmisor: el decodificador del canal decide si en la transmisión de un símbolo hubo error o no, y hace lo posible por identificar su posición para corregirlo, o, en su caso, solicitar una retransmisión del mensaje. El decodificador de la fuente reconstruye la señal original a partir de la sucesión binaria que le envía el decodificador del canal, para así entregar al usuario final la versión reconstruida de lo que fue generado en la fuente.

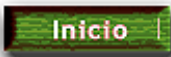
Para terminar este capítulo, el lector conocerá acerca de los volúmenes de información que deben ser manejados para los servicios utilizados por el hombre en la actualidad y para completar la imagen que se debe haber formado con los miles de millones de bits contenidos en un solo CD. En el siguiente cuadro se presentan cantidades de información aproximadas, que corresponden a algunos tipos de mensajes.

mensaje	cantidad aproximada de información
1 segundo de voz	8 000 a 64 000 bits, dependiendo de la calidad requerida; pueden emplearse incluso menos de 4 000 bits, pero ello resulta de muy baja calidad
1 página de texto	250 palabras con longitud promedio de 5 caracteres son aproximadamente 10 000 bits (refiriéndose sólo a texto)
1 imagen fija de TV	en blanco y negro, dependiendo de la resolución, aproximadamente entre 125 000 y 1 millón de bits

Inicio



5 J. B. Peek, "Communcations Aspects of the Compact Digital Audio System", *IEE Communications Magazine*, vol. 23, núm. 2, febrero de 1985.



V. REDES DE TELECOMUNICACIONES

UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES consiste en una infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino, y con base en esa infraestructura se ofrecen a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones (figura V.1). En lo sucesivo se denominará "red de telecomunicaciones" a la infraestructura encargada del transporte de la información. Para recibir un servicio de telecomunicaciones, un usuario utiliza un equipo terminal a través del cual obtiene entrada a la red por medio de un canal de acceso. Cada servicio de telecomunicaciones tiene distintas características, puede utilizar diferentes redes de transporte, y, por tanto, el usuario requiere de distintos equipos terminales. Por ejemplo, para tener acceso a la red telefónica, el equipo terminal requerido consiste en un aparato telefónico; para recibir el servicio de telefonía celular, el equipo terminal consiste en teléfonos portátiles con receptor y transmisor de radio, etcétera.

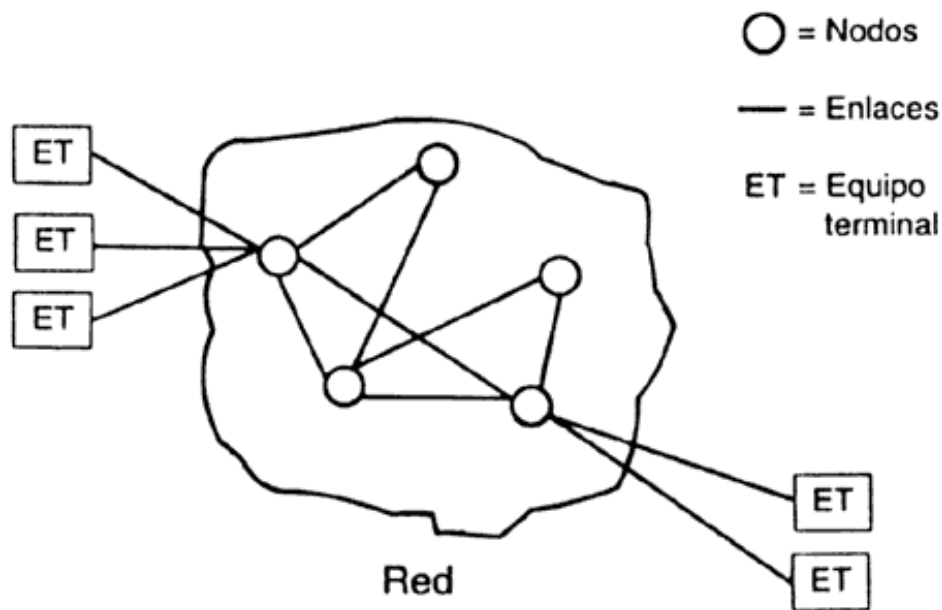


Figura V.1. Red y equipo terminal.

Para fines ilustrativos, se puede establecer una analogía entre las telecomunicaciones y los transportes. En los transportes, la red está constituida por el conjunto de carreteras de un país y lo que en ellas circulan son vehículos, que a su vez dan servicio de transporte a personas o mercancías. En las telecomunicaciones se transporta información a través de redes de transporte de información.

En este capítulo se describen las redes con que se cuenta en la actualidad para ofrecer distintos servicios de telecomunicaciones, se presentarán los equipos terminales, y se explicará el funcionamiento de algunos de los servicios que se ofrecen al público en general.

La principal razón por la cual se han desarrollado las redes de telecomunicaciones es que el costo de establecer un enlace dedicado entre cualesquiera dos usuarios de una red sería elevadísimo, sobre todo considerando que no todo el tiempo todos los usuarios se comunican entre sí. Es mucho mejor contar con una conexión dedicada para que cada usuario tenga acceso a la red a través de su equipo terminal, pero una vez dentro de la red los mensajes utilizan enlaces que son compartidos con otras comunicaciones de otros usuarios. Comparando nuevamente con los transportes, a todas las casas llega una calle en la que puede circular un automóvil y a su vez conducirlo a una

carretera, pero no todas las casas están ubicadas en una carretera dedicada a darle servicio exclusivamente a un solo vehículo. Las calles desempeñan el papel de los canales de acceso y las carreteras el de los canales compartidos.

En general se puede afirmar que una red de telecomunicaciones consiste en las siguientes componentes: a) un conjunto de nodos en los cuales se procesa la información, y b) un conjunto de enlaces o canales que conectan los nodos entre sí y a través de los cuales se envía la información desde y hacia los nodos.

Desde el punto de vista de su arquitectura y de la manera en que transportan la información, las redes de telecomunicaciones pueden ser clasificadas en:

a) *Redes conmutadas*. La red consiste en una sucesión alternante de nodos y canales de comunicación, es decir, después de ser transmitida la información a través de un canal, llega a un nodo, éste a su vez, la procesa lo necesario para poder transmitirla por el siguiente canal para llegar al siguiente nodo, y así sucesivamente (figura V.2).

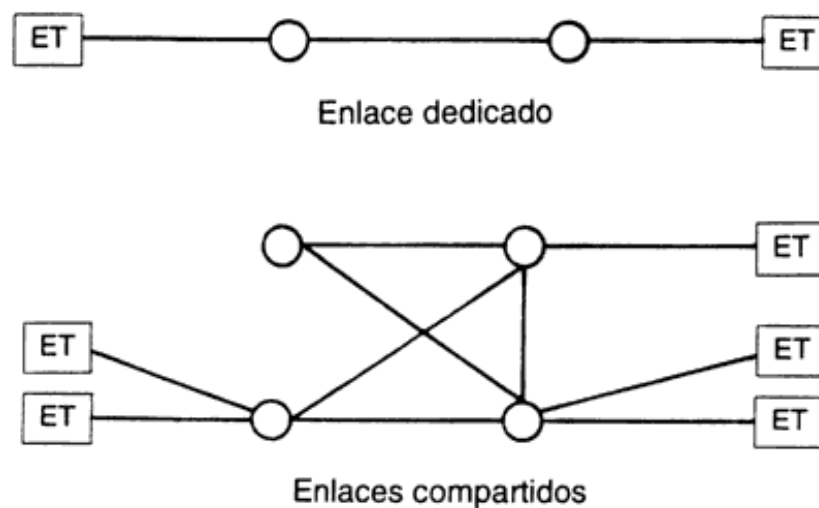


Figura V.2. Red conmutada.

Existen dos tipos de conmutación en este tipo de redes: conmutación de paquetes y conmutación de circuitos. En la conmutación de paquetes, el mensaje se divide en pequeños paquetes independientes, a cada uno se le agrega información de control (por ejemplo, las direcciones del origen y del destino), y los paquetes circulan de nodo en nodo, posiblemente siguiendo diferentes rutas. Al llegar al nodo al que está conectado el usuario destino, se reensambla el mensaje y se le entrega (figura V.3). Esta técnica se puede explicar por medio de una analogía con el servicio postal. Supongamos que se desea enviar todo un libro de un punto a otro geográficamente separado. La conmutación de paquetes equivale a separar el libro en sus hojas, poner cada una de ellas en un sobre, poner a cada sobre la dirección del destino y depositar todos los sobres en un buzón postal. Cada sobre recibe un tratamiento independiente, siguiendo posiblemente rutas diferentes para llegar a su destino, pero una vez que han llegado todos a su destino, se puede reensamblar el libro.

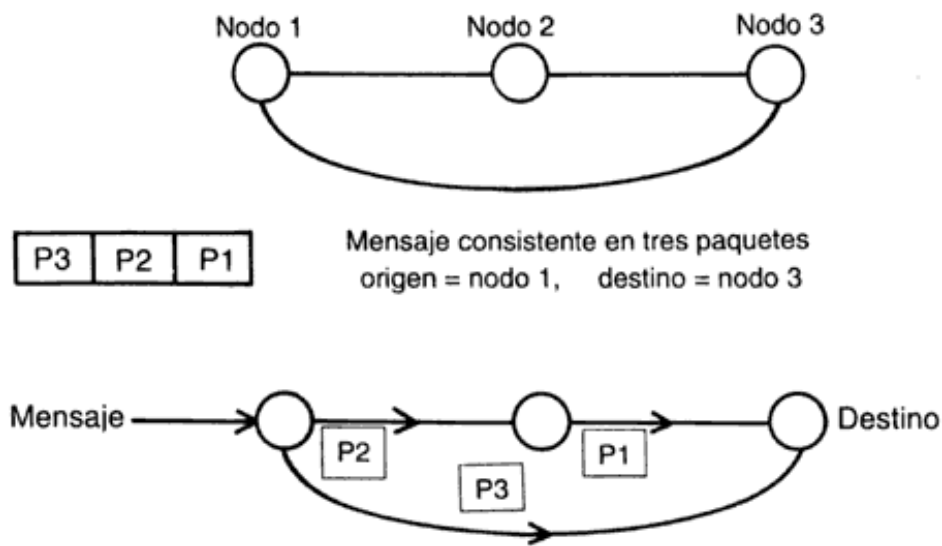


Figura V.3. Conmutación de paquetes.

Por otra parte, en la conmutación de circuitos se busca y reserva una trayectoria entre los usuarios, se establece la comunicación y se mantiene esta trayectoria durante todo el tiempo que se esté transmitiendo información (figura V.4).

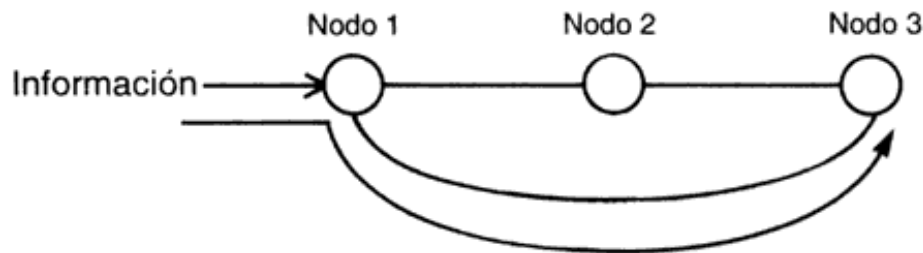


Figura V.4. Conmutación de circuitos.

Para establecer una comunicación con esta técnica se requiere de una señal que reserve los diferentes segmentos de la ruta entre ambos usuarios, y durante la comunicación el canal quedará reservado precisamente para esta pareja de usuarios.

b) *Redes de difusión.* En este tipo de redes se tiene un canal al cual están conectados todos los usuarios, y todos ellos pueden recibir todos los mensajes, pero solamente extraen del canal los mensajes en los que identifican su dirección como destinatarios. Aunque el ejemplo típico lo constituyen los sistemas que usan canales de radio, no necesariamente tienen que ser las transmisiones vía radio, ya que la difusión puede realizarse por medio de canales metálicos, tales como cables coaxiales. En la figura V.5 se presentan ejemplos de redes de difusión con diferentes formas y arreglos de interconexión (topologías), aplicables a redes basadas en radio o en cables. Lo que si puede afirmarse es que típicamente las redes de difusión tienen sólo un nodo (el transmisor) que inyecta la información en un canal al cual están conectados los usuarios.

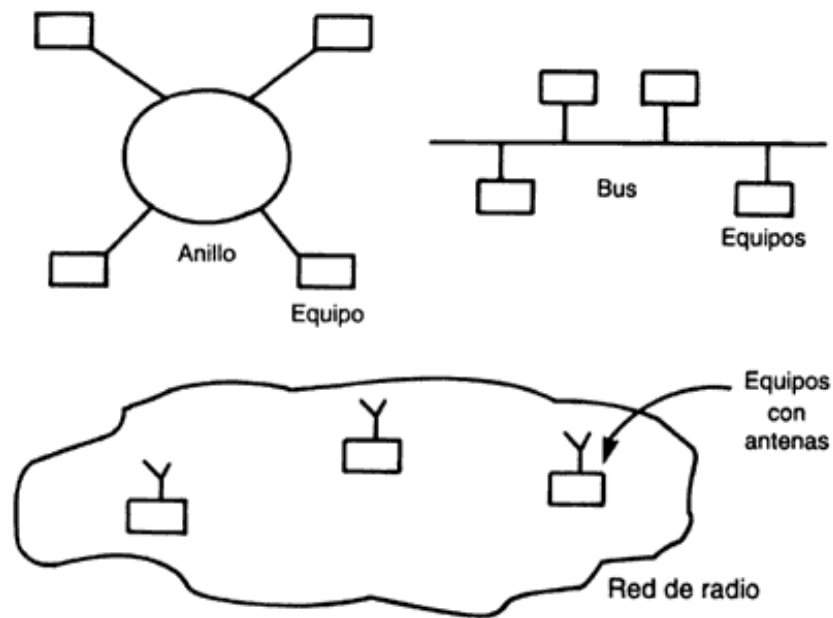


Figura V.5. Anillo, bus, red con radio.

Para todas las redes cada usuario requiere de un equipo terminal, por medio del cual tendrá acceso a la red, pero que no forma parte de la misma. De esta forma, un usuario que desee comunicarse con otro utiliza su equipo terminal para enviar su información hacia la red, ésta transporta la información hasta el punto de conexión del usuario destino con la red y la entrega al mismo a través de su propio equipo terminal (figura V.6)

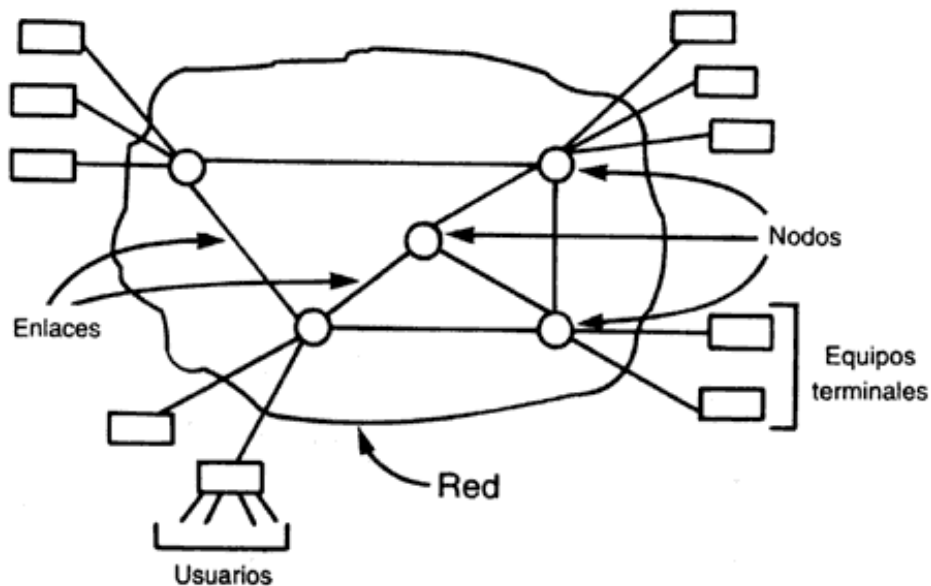


Figura V.6. operación de una red.

Los usuarios no pueden transmitir información en todas las redes. Por ejemplo, en televisión o radiodifusión, los

usuarios son pasivos, es decir, únicamente reciben la información que transmiten las estaciones transmisoras, mientras que, en telefonía, todos los usuarios pueden recibir y transmitir información.

La función de una red de telecomunicaciones consiste en ofrecer servicios a sus usuarios, y cuando ésta es utilizada para que sobre ella se ofrezcan servicios de telecomunicaciones al público en general (por ejemplo, la red telefónica) se le denomina una red pública de telecomunicaciones. Cuando alguien instala y opera una red para su uso personal, sin dar acceso a terceros, entonces se trata de una red privada de telecomunicaciones: una red de telecomunicaciones utilizada para comunicar a los empleados y las computadoras o equipos en general, de una institución financiera, es una red privada.

Una característica importante de una red es su cobertura geográfica, ya que ésta limita el área en que un usuario puede conectarse y tener acceso a la red para utilizar los servicios que ofrece. Por ejemplo, existen redes locales que enlazan computadoras instaladas en un mismo edificio o una sola oficina (conocidas como LAN por su nombre en inglés: *local area network*), pero también existen redes de cobertura más amplia (conocidas como WAN por su nombre en inglés: *wide area network*), redes de cobertura urbana que distribuyen señales de televisión por cable en una ciudad, redes metropolitanas que cubren a toda la población de una ciudad, redes que enlazan redes metropolitanas o redes urbanas formando redes nacionales, y redes que enlazan las redes nacionales, las cuales constituyen una red global de telecomunicaciones (véanse las figuras V.7 y V.8).

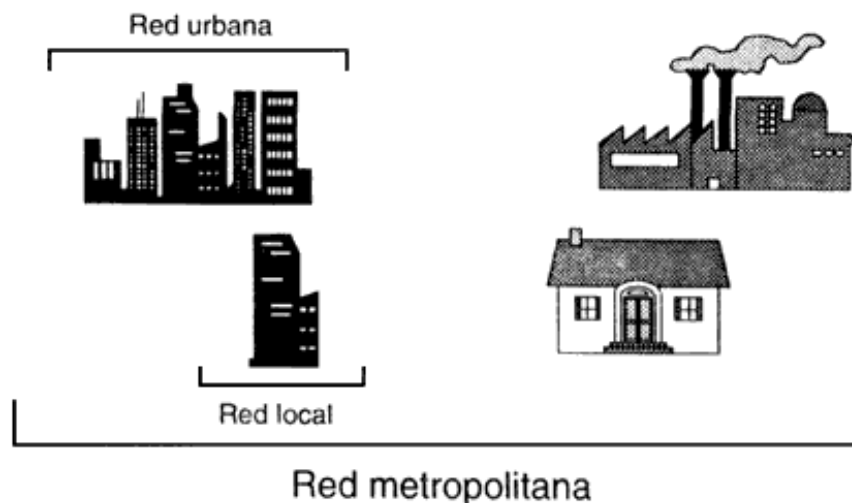


Figura V.7. Red local, red urbana, red metropolitana.

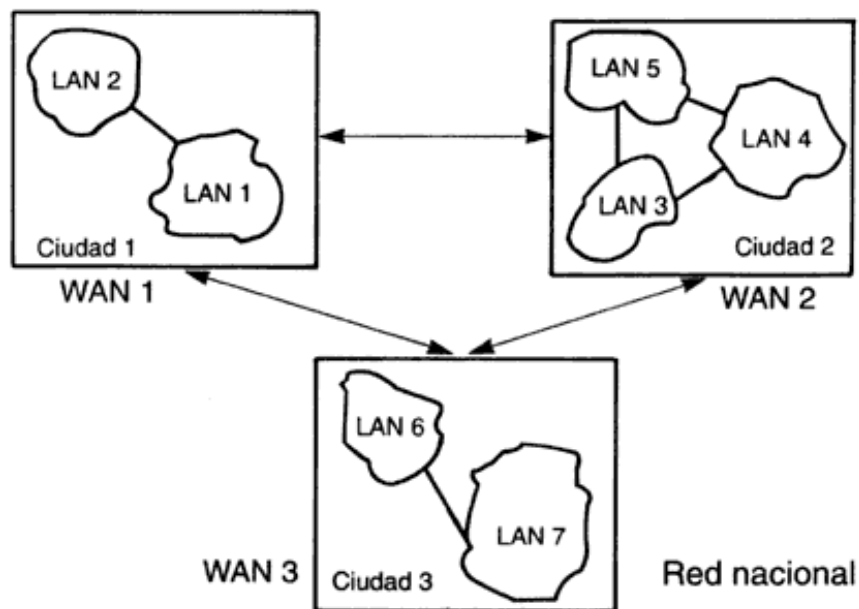


Figura V.8. Una red nacional.

Uno de los desarrollos más sorprendentes de los últimos años es indudablemente la posibilidad de conectar todas las redes de cobertura limitada en una red global que, al menos en teoría, permite enlazar y comunicar usuarios ubicados en cualquier parte del mundo. Esto es lo que ha dado origen a términos como globalización de la información. Actualmente existen redes de telecomunicaciones que permiten comunicación telefónica instantánea entre dos usuarios de dos países del planeta, que envían información financiera entre instituciones de dos países cualesquiera, que envían señales de televisión de un país a otro, o que permiten localizar personas por medio de receptores de radio en muchos países del mundo.

Como ya ha sido mencionado, las componentes de una red son un conjunto de nodos y otro de canales que permiten que los primeros se comuniquen. A continuación se proporcionarán detalles acerca de estas componentes.

CANALES

El canal es el medio físico a través del cual viaja la información de un punto a otro. Las características de un canal son de fundamental importancia para una comunicación efectiva, ya que de ellas depende en gran medida la calidad de las señales recibidas en el destino o en los nodos intermedios en una ruta. Los canales pueden pertenecer a una de dos clases:

1) Canales que guían las señales que contienen información desde la fuente hasta el destino, por ejemplo: cables de cobre, cables coaxiales y fibras ópticas. Por estos tipos de canales pueden ser transmitidas las siguientes tasas:

cable de cobre (par trenzado)	hasta 4 Mbps (4 millones de bits por segundo)
cable coaxial	hasta 500 Mbps (500 millones de bits por segundo)
fibra óptica	hasta 2000 Mbps (2 000 millones de bits por segundo; o bien 2 "giga" bps: 2 Gbps)

Los cables de cobre son, sin lugar a duda, el medio más utilizado en transmisiones tanto analógicas como

digitales; siguen siendo la base de las redes telefónicas urbanas. El material del que están formados produce atenuación en las señales, de manera tal que a distancias de entre 2 y 6 km, dependiendo de la aplicación, deben ser colocadas repetidoras. Los cables coaxiales tienen un blindaje que aísla al conductor central del ruido en la transmisión; han sido muy utilizados en comunicaciones de larga distancia y en distribución de señales de televisión. Recientemente se han utilizado también en redes de transmisión de datos. La distancia entre repetidoras es similar a la de los cables de cobre, debido a que se utiliza una mayor banda para la transmisión, permitiendo mayores tasas en las comunicaciones digitales (figura V.9). Finalmente, las fibras ópticas transmiten señales ópticas en lugar de las eléctricas de los dos casos anteriores. Son mucho más ligeras que los cables metálicos y permiten transmitir tasas muchísimo más altas que los primeros. Además, aunque las señales se ven afectadas por ruido, no se alteran por ruido de tipo eléctrico y pueden soportar distancias mayores entre repetidoras (del orden de 100 km). Sus aplicaciones principales son enlaces de larga distancia, enlaces metropolitanos y redes locales.

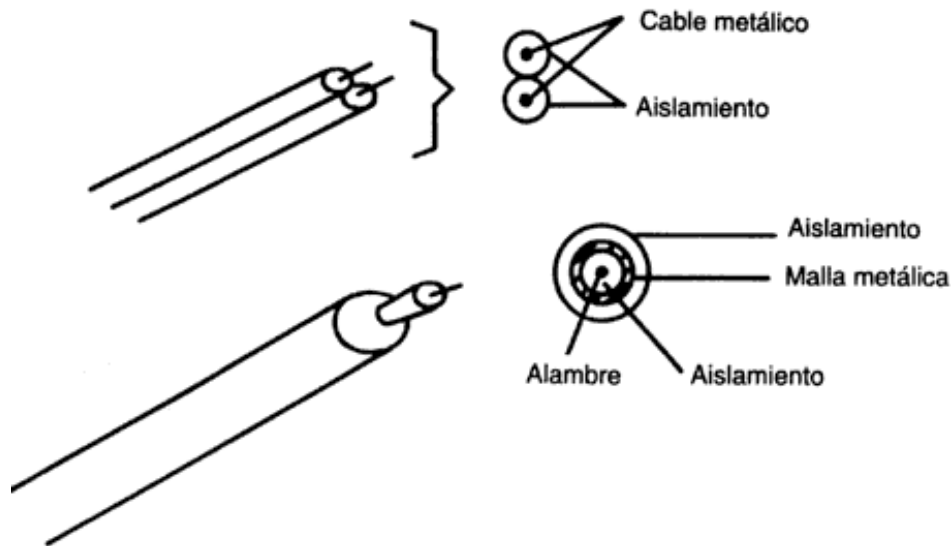


Figura V.9. Tipos de cables metálicos.

La diferencia fundamental entre las transmisiones que utilizan fibras ópticas y las de naturaleza puramente eléctrica está en el hecho de que en las primeras la información se sobrepone a señales ópticas, es decir, la información modula alguna característica de una señal óptica. Las ventajas de este tipo de transmisiones son múltiples: son mucho menos sensibles a ruido de tipo eléctrico, y, por el espacio que ocupan en el espectro las señales ópticas, la capacidad de estas transmisiones es mucho mayor que las de los sistemas basados en cables metálicos. Un área en la cual las fibras ópticas han sido de extraordinaria importancia es la de transmisiones transoceánicas; la demanda de este tipo de transmisiones ha crecido a tasas del orden de 24% al año en el Atlántico, penetrando asimismo el Pacífico, el Caribe y el Mediterráneo. La clave para este tipo de aplicaciones está en disponer de dispositivos de alta confiabilidad, grandes anchos de banda y pocas pérdidas; esto originó que, alrededor de 1980, surgiera la primera propuesta de un sistema transoceánico basado en fibras ópticas, lo cual, a su vez, permitió instalar en 1988 el primer sistema de este tipo.

2) Canales que difunden la señal sin una guía, a los cuales pertenecen los canales de radio, que incluyen también microondas y enlaces satelitales. Las microondas utilizan antenas de transmisión y recepción de tipo parabólico para transmitir con haces estrechos y tener mayor concentración de energía radiada. Principalmente se utilizan en enlaces de larga distancia, desde luego con repetidoras, pero a últimas fechas se han utilizado también para enlaces cortos punto a punto.

Los enlaces satelitales funcionan de una manera muy parecida a las microondas. Un satélite recibe en una banda señales de una estación terrena, las amplifica y las transmite en otra banda de frecuencias. El principio de

operación de los satélites es sencillo, aunque al transcurrir los años se ha ido haciendo más complejo: se envían señales de radio desde una antena hacia un satélite estacionado en un punto fijo alrededor de la Tierra (llamado "geoestacionario" por ello). Los satélites tienen un reflector orientado hacia los sitios donde se quiere hacer llegar la señal reflejada. Y en esos puntos también se tienen antenas cuya función es precisamente captar la señal reflejada por el satélite. De ese punto en adelante, la señal puede ser procesada para que por último sea entregada a su destino.

Las ventajas de las comunicaciones vía satélite son evidentes: se pueden salvar grandes distancias sin importar la topografía o la orografía del terreno, y se pueden usar antenas que tengan coberturas geográficas amplias, de manera tal que muchas estaciones receptoras terrenas puedan recibir y distribuir simultáneamente la misma señal que fue transmitida una sola vez. Y por lo mismo, las comunicaciones vía satélite han servido para una gran variedad de aplicaciones que van desde la transmisión de conversaciones telefónicas, la transmisión de televisión, las teleconferencias, hasta la transmisión de datos. Las tasas de transmisión pueden ser desde muy pequeñas (32 kbps) hasta del orden de los Mbps. Los requerimientos en cuanto a acceso múltiple, manejo de diversos tipos de tráfico, establecimiento de redes, integridad de los datos, así como seguridad, se satisfacen con las posibilidades ofrecidas por la tecnología VSAT (terminales de apertura muy pequeña o *very small aperture terminals*). Entre los servicios que pueden ser ofrecidos por medio de la tecnología VSAT se encuentran: radiodifusión y servicios de distribución, bases de datos, información meteorológica y bursátil, inventarios, facsímiles (véase la página 107), noticias, música programada, anuncios, control de tráfico aéreo, televisión de entretenimiento, educación, colección de datos y monitoreo, climatología, mapas e imágenes, telemetría, servicios interactivos bidireccionales, autorizaciones de tarjetas de crédito, transacciones financieras, servicios de bases de datos, servicios de reservaciones, servicio a bibliotecas, interconexión de redes locales, correo electrónico, mensajes de emergencia, videoconferencias comprimidas, etcétera.

Para entender mejor la operación de los sistemas basados en transmisiones vía satélite (y su asociación con "antenas parabólicas"), a continuación se presenta el principio en que se basan este tipo de antenas. La geometría de una parábola es tal, que una emisión que llega a la parábola paralela a su eje es reflejada pasando por su foco, y una emisión que sale de su foco, al incidir sobre la superficie parabólica, es reflejada paralela a su eje (figura V.10).



Figura V. 10. Operación de una antena parabólica.

Aplicando estas ideas a las telecomunicaciones se puede ver que si se orienta el eje de la antena parabólica hacia el satélite, las emisiones provenientes del mismo llegarán a la antena paralela a su eje, y aquellas emisiones provenientes del foco de la parábola seguirán una trayectoria paralela al eje de la parábola hasta llegar al satélite. Como consecuencia, en el foco de la parábola debe ser colocado un "colector" de energía que capte todo lo que proviene del satélite (que fue reflejado por la parábola) y lo envíe a los circuitos de procesamiento. En ese mismo punto debe ser ubicado el transmisor, cuya función consiste en hacer llegar la información hacia el satélite para que éste, a su vez, la retransmita hasta su destino final.

Algunos lectores habrán observado que en muchos puntos de una ciudad existen antenas de tipo parabólico cuyas orientaciones son más horizontales que apuntando hacia un satélite. Éstas son antenas de microondas, en las cuales se utiliza el mismo principio de "direccionalidad" descrito antes. Cabe destacar finalmente, que la diferencia principal entre emisiones de radio y de microondas está en que las primeras son omnidireccionales (en todas las direcciones), mientras que las segundas son unidireccionales: por lo tanto, la radio no requiere antenas de tipo parabólico. Aunque, estrictamente hablando, el término radio incluye todas las transmisiones electromagnéticas, las aplicaciones de la radio se asignan de acuerdo con las bandas del espectro en que se realizan las transmisiones. Como la longitud de onda de una señal depende de su frecuencia, hablar de un segmento espectral en específico es equivalente a hablar del rango en que se encuentra la longitud de las ondas en ese segmento. Por ejemplo, a las frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz (1 GHz = 1 000 MHz) se les llama microondas: las longitudes de onda están contenidas en un rango de 100 cm y 1 mm, aunque al rango entre 30 GHz y 300 GHz (correspondiente a longitudes de onda entre 10 mm y 1 mm) también se lo conoce como ondas milimétricas. En el siguiente cuadro se presentan las aplicaciones de los distintos rangos del espectro.

Esta clasificación es muy burda, ya que dentro de cada uno de los rangos anteriores existen muchísimas más aplicaciones que no han sido mencionadas aquí.

Finalmente, cabe hacer hincapié en que una red moderna de telecomunicaciones normalmente utiliza canales de distintos tipos para lograr la mejor solución a los problemas de telecomunicaciones de los usuarios; es decir, con frecuencia existen redes que emplean canales de radio en algunos segmentos, canales vía satélite en otros, microondas en algunas rutas, radio en otras y, desde luego, en muchos de sus enlaces, la red pública telefónica.

<i>Banda</i>	<i>Nombre</i>	<i>Aplicaciones</i>
30-300 Khz	LF (low frequency) - baja frecuencia	navegación aérea y marítima
300-3000 Khz	MF (medium frequency) - frecuencia media	navegación, radio, comercial AM, enlaces privados fijos y móviles
3-30 Mhz	HF (high frequency) - alta frecuencia	radiodifusión onda corta, enlaces fijos y móviles
30-300 Mhz	VHF (very high frequency) - muy alta frecuencia	televisión, radio FM, enlaces fijos y móviles
300-3000 Mhz	UHF (ultra high frequency) - frecuencia ultra alta	televisión y microondas, navegación meteorología
3-30 Ghz	SHF (super high frequency) - frecuencia super alta	microondas y satélite, radionavegación

NODOS

Los nodos, parte fundamental en cualquier red de telecomunicaciones, son los equipos encargados de realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una de las señales o mensajes que circulan o transitan a través de los enlaces de la red. Desde un punto de vista topológico, los nodos proveen los enlaces físicos entre los diversos canales que conforman la red. Los nodos de una red de telecomunicaciones son equipos (en su mayor parte digitales, aunque pueden tener alguna etapa de procesamiento analógico, como un modulador) que realizan las siguientes funciones:

a) *Establecimiento y verificación de un protocolo.* Los nodos de la red de telecomunicaciones realizan los diferentes procesos de comunicación de acuerdo con un conjunto de reglas que les permiten comunicarse entre sí. Este conjunto de reglas se conoce con el nombre de protocolos de comunicaciones, y se ejecutan en los nodos para garantizar transmisiones exitosas entre sí, utilizando para ello los canales que los enlazan.

b) *Transmisión.* Existe la necesidad de hacer un uso eficiente de los canales, por lo cual, en esta función, los nodos de la red adaptan al canal la información o los mensajes en los cuales está contenida, para su transporte eficiente y efectivo a través de la red.

c) *Interfase.* En esta función el nodo se encarga de proporcionar al canal las señales que serán transmitidas, de acuerdo con el medio de que está formado el canal. Esto es, si el canal es de radio, las señales deberán ser electromagnéticas a la salida del nodo, independientemente de la forma que hayan tenido a su entrada y también de que el procesamiento en el nodo haya sido por medio de señales eléctricas.

d) *Recuperación.* Cuando durante una transmisión se interrumpe la posibilidad de terminar exitosamente la transferencia de información de un nodo a otro, el sistema, a través de sus nodos, debe ser capaz de recuperarse y reanudar en cuanto sea posible la transmisión de aquellas partes del mensaje que no fueron transmitidas con éxito.

e) *Formateo.* Cuando un mensaje transita a lo largo de una red, pero principalmente cuando existe una interconexión entre redes que manejan distintos protocolos, puede ser necesario que en los nodos se modifique el formato de los mensajes para que todos los nodos de la red (o de la conexión de redes) puedan trabajar exitosamente con dicho mensaje; esto se conoce con el nombre de formateo (o, en su caso, de reformateo) (en la figura V. 11 se muestra el formato típico de un paquete).

Señal inicio	Dirección	Control	Información	Detección de errores	Fin
-----------------	-----------	---------	-------------	-------------------------	-----

Figura V.11. Formato típico de un paquete.

f) *Enrutamiento.* Cuando un mensaje llega a un nodo de la red de telecomunicaciones, forzosamente debe tener información acerca de los usuarios de origen y destino; es decir, sobre el usuario que lo generó y aquel al que está destinado. Sin embargo, cada vez que el mensaje transita por un nodo y considerando que en cada nodo hay varios enlaces conectados por los que, al menos en teoría, el mensaje podría ser enviado a cualquiera de ellos, en

cada nodo se debe tomar la decisión de cuál debe ser el siguiente nodo al que debe enviarse el mensaje para garantizar que llegue a su destino rápidamente. Este proceso se denomina enrutamiento a través de la red. La selección de la ruta en cada nodo depende, entre otros factores, de la situación instantánea de congestión de la red, es decir, del número de mensajes que en cada momento están en proceso de ser transmitidos a través de los diferentes enlaces de la red.

g) *Repetición.* Existen protocolos que entre sus reglas tienen una previsión por medio de la cual el nodo receptor detecta si ha habido algún error en la transmisión. Esto permite al nodo destino solicitar al nodo previo que retransmita el mensaje hasta que llegue sin errores y el nodo receptor pueda, a su vez, retransmitirlo al siguiente nodo.

h) *Direccionamiento.* Un nodo requiere la capacidad de identificar direcciones para poder hacer llegar un mensaje a su destino, principalmente cuando el usuario final está conectado a otra red de telecomunicaciones.

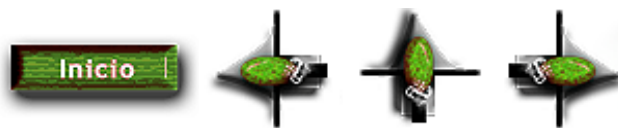
i) *Control de flujo.* Todo canal de comunicaciones tiene una cierta capacidad de manejar mensajes, y cuando el canal está saturado ya no se deben enviar más mensajes por medio de ese canal, hasta que los mensajes previamente enviados hayan sido entregados a sus destinos.

Dependiendo de la complejidad de la red, del número de usuarios que tiene conectados y a quienes les proporciona servicio, no es indispensable que todas las redes de telecomunicaciones tengan instrumentadas todas las funciones precedentes en sus nodos. Por ejemplo, si una red consiste solamente en dos nodos a cada uno de los cuales están conectados una variedad de usuarios, es evidente que no se requieren funciones tales como direccionamiento o enrutamiento en los dos nodos que forman la red. Se han descrito aquí, sin embargo, las funciones más importantes que deben tener instrumentadas los nodos de una red compleja.

Una vez expuestas las componentes de una red de telecomunicaciones, a través de la cual se transmite información entre los usuarios, cabe mencionar que lo que realmente da valor a las telecomunicaciones es el conjunto de servicios que se ofrecen por medio de las redes y que se ponen a disposición de los usuarios. Es decir, el valor depende del tipo de comunicación que puede establecer un usuario y del tipo de información que puede enviar a través de la red. Por ejemplo, a través de la red telefónica se prestan servicios telefónicos a personas y empresas. Entre estos servicios destinados a la comunicación oral están el servicio telefónico local (tanto residencial como comercial e industrial), el servicio telefónico de larga distancia nacional y el servicio telefónico de larga distancia internacional, aunque en los últimos años se pueden hacer también por esta red transmisiones de fax y de datos.

Por medio de una red de televisión por cable se pueden prestar servicios de distribución de señales de televisión a residencias en general, pero últimamente se han iniciado servicios restringidos a ciertos tipos de usuarios, como son los servicios del tipo "pago por evento". Es posible que, gracias a los avances tecnológicos en diversos campos, en un futuro no muy lejano estén interconectadas las redes de telefonía con las de televisión por cable, y a través de esta interconexión los usuarios podrán explotar simultáneamente la gran capacidad de las redes de cable para televisión y la gran cobertura y capacidad de procesamiento que tienen las redes telefónicas.

En el siguiente capítulo se utilizarán los conceptos anteriores para describir algunos servicios de telecomunicaciones, la forma en que son ofrecidos por medio de las redes existentes, la forma en que el usuario tiene acceso al servicio y las diferencias importantes que existen entre ellos.



VI. SERVICIOS MODERNOS DE TELECOMUNICACIONES

EN EL CAPÍTULO PRECEDENTE se proporcionó al lector un esbozo acerca de la concepción moderna de una red de telecomunicaciones. Con ello se pueden identificar los problemas relacionados con las diferentes opciones para transportar información entre puntos distantes. Sin embargo, como se ha mencionado en repetidas ocasiones, una red de telecomunicaciones carecería de valor si no pudiera ofrecer a los usuarios los diversos servicios de telecomunicaciones que requieren para sus fines particulares. Por lo tanto, en este capítulo presentamos un panorama acerca de algunos servicios de telecomunicaciones que los usuarios tienen a su disposición en la actualidad, comparando las características que dan valor a cada uno de ellos para alguna aplicación en particular, y describiendo la forma en que se ofrecen los servicios al público. En especial, *a)* los servicios ofrecidos por medio de la red telefónica, y *b)* los servicios basados en difusión de señales, con posibilidad de direccionamiento: bidireccionales (como la radiotelefonía celular y su evolución hacia los servicios personales de comunicación, y la radiolocalización de vehículos aplicada a la supervisión y el control de flotillas); unidireccionales (tales como la radiolocalización de personas).

Finalmente se presentarán algunas ideas acerca de lo que podría ser el futuro de las telecomunicaciones.

Existen muchas maneras de clasificar los servicios de telecomunicaciones, ya que también existen diversos parámetros por medio de los cuales pueden ser comparados. Con el objeto de establecer un punto de partida, a continuación se presenta una tabla que resume las características de las redes empleadas para ofrecer cada uno de los servicios que se mencionan. En particular se utilizan los siguientes criterios de comparación:

a) Tipo de red. Se hablará únicamente de servicios ofrecidos al público en general, que utilizan como infraestructura redes públicas de telecomunicaciones, basadas fundamentalmente en transmisiones de radio o en señales guiadas por medio de conductores eléctricos u ópticos.

b) Cobertura. La extensión del área geográfica que cubre una red es de particular interés en la comparación, ya que los servicios no pueden ser ofrecidos fuera de dicha área geográfica. La cobertura puede ser caracterizada como local, regional o nacional.

c) Interconexión. A pesar de que la cobertura de una red puede ser local o regional, si está interconectada con otras redes de mayor cobertura se amplía de manera automática el área geográfica cubierta por la red. También es importante y consecuencia de este atributo el hecho de poder tener acceso a servicios prestados por otras redes interconectadas a la red a la que el usuario tiene acceso.

d) Direccionalidad. En una comunicación un usuario puede tener un papel pasivo o uno activo. Se ha incluido este rubro en el análisis, caracterizándolo por medio de U = unidireccional (receptor pasivo) o B = bidireccional (el receptor tiene un papel activo y también puede transmitir).

e) Punto-multipunto. El criterio acerca de los destinos posibles para un servicio se relaciona con varios de los aspectos anteriores, pero es de gran importancia por sí mismo. Se han considerado dos opciones: P-P (punto a punto), en la cual existe un solo transmisor y un solo receptor, y P-MP (punto a multipunto), donde hay un solo transmisor pero una cantidad distinta de uno (posiblemente ilimitada) de receptores.

f) Tipo de información. Se ha mencionado frecuentemente que la información que se transmite puede ser digital (D) o analógica (A), lo cual define algunos aspectos del alcance de un servicio; éste es otro criterio que se considera digno de mención. Cabe recordar que si se trata de información tipo digital se estaría en posibilidad de tener los beneficios de las comunicaciones digitales, tales como la criptografía digital, la corrección de errores, la compresión del ancho de banda y el procesamiento por medio de microprocesadores de alta velocidad.

g) Privacidad. Normalmente cuando se hace uso de un servicio de telecomunicaciones se desea tener la certeza de que sólo aquellos usuarios a quienes está destinada la información la reciben, y de que ningún intruso puede tener acceso al servicio sin tener autorización para ello; la privacidad que se proporciona a los usuarios

en cada servicio es distinta, por lo cual se considera que también es un factor que debe ser considerado (1 = baja privacidad, 2 = media, 3 = alta).

Evidentemente existen elementos adicionales que podrían ser incluidos (por ejemplo, costo del servicio, costo de los equipos terminales, características del canal de acceso), pero la lista anterior es suficiente para ilustrar diferencias entre los servicios presentados en el cuadro siguiente.

Antes de describir algunos de estos servicios, cabe mencionar que el cuadro no incluye todos los disponibles en la actualidad, y que día a día aparecen nuevos servicios que el público usuario puede utilizar para resolver problemas nuevos, o bien para resolver problemas viejos de maneras novedosas.

RED TELEFÓNICA

La red telefónica es, sin duda alguna, la más compleja, la de mayor cobertura geográfica, la que mayor número de usuarios tiene, y ocasionalmente se ha afirmado que es "el sistema más complejo de que dispone la humanidad". Permite establecer una llamada entre dos usuarios en cualquier parte del planeta de manera distribuida, automática, prácticamente instantánea. Ésta es el ejemplo más importante de una red con conmutación de circuitos.

Taxonomía de servicios modernos de telecomunicaciones

Servicio	Red			Dir.	Pto.	Info.	Priva.
	Tipo	Cobertura	Interconexión	U / B	P / MP	A / D	1, 2, 3
Telefonía	Cable Fibra Radio Satélite	Nacional	Cobertura global, con otras redes nacionales	B	P-P	A o D	1, 2, 3
Telefonía móvil	Radio	Local	Con red telefónica	B	P-P	A	1
Telefonía celular	Radio	Regional	Con otras redes celulares y telefónicas	B	P-P	A o D	1
PCN / PCS *	Radio	Local	Igual que celular	B	P-P	D	3
Datos	Cable Fibra Radio Satélite	Regional o nacional	Sí	B	P-P o P-MP	D	1
TV-difusión	Radio	Regional		U	P-MP	A o D	1
TV-cable	Cable	Regional	Sí	U o B	P-P o P-MP	A o D	2

TV-restringida	Cable o Radio	Regional	Sí	U	P-MP	A o D	2
Localización de personas	Radio	Regional o nacional	Otras redes de radiolocalización	U	P-MP	D	2
Comunicación especializada de flotillas	Radio	Regional	Otras redes y red telefónica	B	P-MP	A o D	1

* PCN = Personal Communication Networks; y PCS = Personal Communication Systems (véase [-Radiodifusión de señales-](#) en esta misma sección)

Una llamada iniciada por el usuario origen llega a la red por medio de un canal de muy baja capacidad, el canal de acceso, dedicado precisamente a ese usuario denominado *línea de abonado*. En un extremo de la línea de abonado se encuentra el aparato terminal del usuario (teléfono o fax) y el otro está conectado al primer nodo de la red, que en este caso se llama central local. La función de una central consiste en identificar en el número seleccionado la central a la cual está conectado el usuario destino y enrutar la llamada hacia dicha central con el objeto de que ésta le indique al usuario destino que tiene una llamada por medio de una señal de timbre. Al identificar la ubicación del destino, reserva una trayectoria entre ambos usuarios para poder iniciar la conversación. La trayectoria o ruta no siempre es la misma en llamadas consecutivas, ya que ésta depende de la disponibilidad instantánea de canales entre las distintas centrales.

Con esta arquitectura es muy probable que dos llamadas entre una pareja de usuarios ocupen diferentes rutas, lo cual frecuentemente se refleja también en la calidad de la llamada que los usuarios perciben.

Es evidente que por la dispersión geográfica de la red telefónica y de sus usuarios existen muchas centrales locales. Las centrales locales están enlazadas entre sí por medio de canales de mayor capacidad, de manera que cuando ocurran situaciones de alto tráfico no exista un bloqueo considerable entre las centrales. Existe una jerarquía entre las diferentes centrales que les permite a cada una de ellas enrutar las llamadas de acuerdo con los tráficos que se presenten (figura VI. 1).

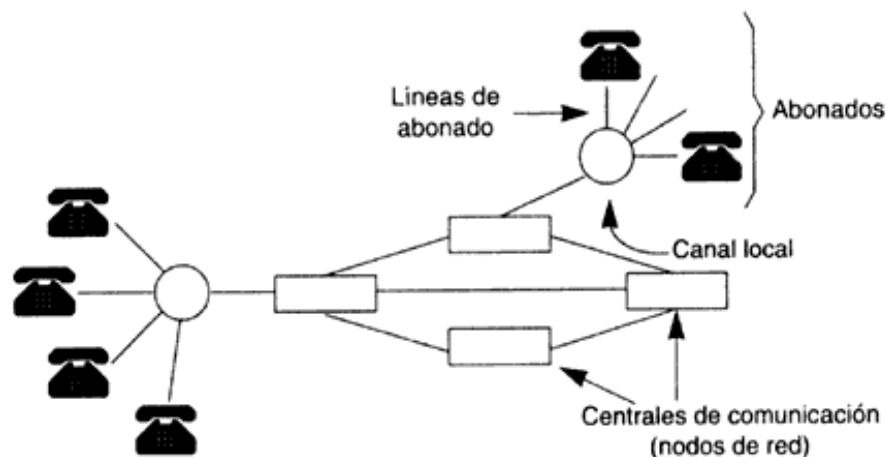


Figura VI.1. Arquitectura de una red telefónica.

Los enlaces entre los abonados y las centrales locales son normalmente cables de cobre, pero las centrales pueden comunicarse entre sí por medio de enlaces de cable coaxial, de fibras ópticas o de canales de microondas. En caso de enlaces entre centrales ubicadas en diferentes ciudades, se usan cables de fibras ópticas y enlaces satelitales, dependiendo de la distancia que se desee cubrir. Como las necesidades de manejo de tráfico de los canales que enlazan centrales de los diferentes niveles jerárquicos aumentan conforme aumenta el nivel jerárquico, también las capacidades de los mismos deben ser mayores en la misma medida; de otra manera, aunque el usuario pudiese tener acceso a la red por medio de su línea de abonado conectada a una central local, su intento de llamada sería bloqueado por no poder establecerse un enlace completo hacia la ubicación del usuario destino (evidentemente cuando el usuario destino está haciendo otra llamada, al llegar la solicitud de conexión a su central local, ésta detecta el hecho y envía de regreso una señal que genera la señal de "ocupado")

La red telefónica está organizada de manera jerárquica. El nivel más bajo (las centrales locales) está formado por el conjunto de nodos a los cuales están conectados los usuarios. Le siguen nodos o centrales en niveles superiores, enlazados de manera tal que entre cuanto sea la jerarquía, mayor será la capacidad que los enlaza. Con esta arquitectura se proporcionan a los usuarios diferentes rutas para colocar sus llamadas, que son seleccionadas por los nodos mismos de acuerdo con criterios preestablecidos, tratando de que una llamada no sea enrutada más que por aquellos nodos y canales estrictamente indispensables para completarla (se trata de minimizar el número de canales y nodos por los cuales pasa una llamada para mantenerlos desocupados en la medida de lo posible).

Asimismo existen nodos (centrales) que permiten enrutar una llamada hacia otra localidad, ya sea dentro o fuera del país. Este tipo de centrales se denominan centrales automáticas de larga distancia. El inicio de una llamada de larga distancia es identificado por la central por medio del primer dígito (en México, un "9"), y el segundo dígito le indica el tipo de enlace (nacional o internacional; en este último caso, le indica también el país de que se trata). A pesar de que el acceso a las centrales de larga distancia se realiza en cada país por medio de un código propio, el identificador del país señala sin lugar a dudas cuál es el destino final de la llamada. El código de un país es independiente del país que origina la llamada (figura VI.2).

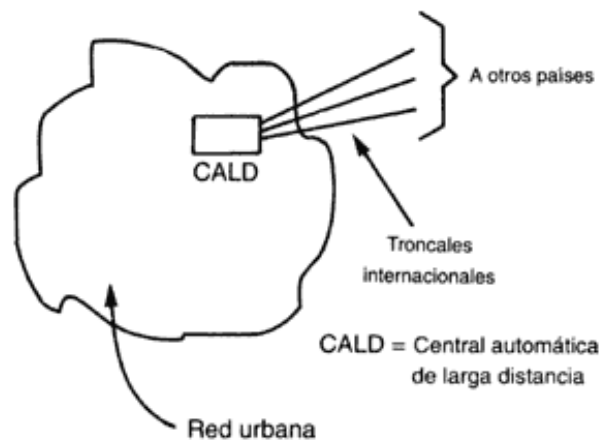


Figura VI.2 Llamadas a diferentes países.

Cada central realiza las siguientes funciones básicas:

1. Cuando un abonado levanta el auricular de su aparato telefónico, la central lo identifica y le envía una "invitación" a marcar
2. La central espera a recibir el número seleccionado, para, a su vez, seleccionar una ruta del usuario fuente al destino.

3. Si la línea de abonado del usuario destino está ocupada, la central lo detecta y le envía al usuario fuente una señal ("tono de ocupado")
4. Si la línea del usuario destino no está ocupada, la central a la cual está conectado dicho usuario genera una señal para indicarle al destino la presencia de una llamada.
5. Al contestar la llamada el usuario destino, se suspende la generación de dichas señales.
6. Al concluir la conversación, las centrales deben desconectar la llamada y poner los canales a la disposición de quien coloque nuevas llamadas a partir de ese momento.
7. Al concluir la llamada se debe contabilizar el costo de la misma, para que al final del periodo de facturación, se le cobre al usuario que la inició.

El servicio que tradicionalmente ha sido ofrecido al público en general por medio de la red pública telefónica, es el de comunicación de voz, es decir, la transmisión bidireccional de señales de voz, con el objeto de que dos usuarios puedan establecer y sostener una conversación. Este servicio, como ya se ha explicado, tiene básicamente dos componentes: 1) etapa de señalización, que incluye la selección del número del destinatario, la identificación de una ruta por medio de la conmutación, la reservación de la misma y el timbrado, y 2) etapa de transmisión, que consiste en la conversión de las señales acústicas en señales eléctricas, su transporte a través de los medios de comunicación, y la conversión de señales eléctricas nuevamente en acústicas para ser entregadas al destinatario.

Utilizando la red telefónica, pueden ser transmitidos documentos impresos o escritos; esto es lo que se conoce como "facsimile" o "fax". Este servicio que ofrece también la red telefónica se originó en Japón, debido a la dificultad de transmitir los caracteres escritos del japonés vía un procesador de texto. La penetración del servicio en el mercado se vio fuertemente impulsada por el establecimiento y adopción de normas internacionales desde una etapa temprana de su desarrollo (la falta de estas normas fue una desventaja definitiva para muchos otros servicios). Hasta hace unos 15 años se podía considerar la tecnología del facsimile como un gigante dormido, pero su uso se incrementó notablemente al legalizarse y liberalizarse en muchos países, y debido al avance de la tecnología, permitiendo transmisiones de alta velocidad y alta calidad, lo cual también tuvo como consecuencia la reducción del costo de los aparatos de fax y una simplificación en su operación. Actualmente se está estudiando la definición de normas para facsimile a color. De hecho, están en desarrollo sistemas nuevos que serían una mezcla de lo que actualmente es el facsimile y las fotocopadoras. Los tiempos de transmisión se han reducido de seis a menos de un minuto por página tamaño carta; las resoluciones han aumentado al pasar de 1728 pixels ("pixel" proviene del inglés "picture element") hasta 3 456 pixels por línea barrida, y al cambiar de 3.85 pixels/mm hasta 15.75 pixels/mm.

Para su transmisión, un equipo de fax hace un recorrido por medio de un haz a través de todo el documento que será transmitido, identificando, para cada punto del mismo, la intensidad del color, y asignándole una señal eléctrica. En este caso, se realiza la conversión de una señal óptica en una señal eléctrica; esta última puede entonces ser transmitida a través de la red telefónica, como si fuera una señal de voz. En este proceso, el protocolo que tienen que realizar los equipos terminales, que consiste en intercambiar señales para acordar, entre otros factores, el tiempo de inicio de la transmisión y la velocidad de la misma, es más complicado. Una vez que ésta ha sido iniciada, el equipo receptor realiza el mismo recorrido sobre la hoja de papel, a la misma velocidad, y va imprimiendo las señales ópticas que, a su vez, están basadas en las señales eléctricas que recibe.

Considerando la amplia cobertura de la red telefónica y los desarrollos tecnológicos de las últimas décadas, muchos esfuerzos se han dirigido hacia la posibilidad de transmitir señales digitales sobre la misma infraestructura, lo cual aumentaría de manera considerable la cantidad de servicios que podrían ser ofrecidos por medio de esta red. De lograrse esto, la red telefónica sería una red de transporte de bits (unos y ceros), sin importarle la fuente o el servicio que genera dichos bits. El razonamiento para lograr lo anterior es el siguiente: si a través de la red telefónica se pueden transmitir señales eléctricas que corresponden al rango de frecuencias que genera el hombre al producir sonidos hablados, entonces, si se generan tonos en este mismo rango que correspondan a los símbolos binarios "1" y "0" se podrían realizar transmisiones digitales binarias. Este proceso se conoce como modulación, y, el inverso, es decir, extraer del canal o de la red los tonos para generar nuevamente los símbolos binarios, es la demodulación. Con base en estos dos términos, los equipos que realizan

estas operaciones para transmisión de datos, se denominan *modems*. Los modems han evolucionado rápidamente: en la década de los sesenta podían ser transmitidos hasta 300 bits por segundo (bps) con un éxito aceptable; posteriormente, pasando por etapas de 600, 1 200, etc. se ha logrado contar con mdems disponibles comercialmente que manejan tasas de transmisión de 9 600 bps. En algunos casos se pueden efectuar transmisiones de 19 200 bps. Con esto se inició la comunicación entre computadoras y entre equipos digitales, en general utilizando la red pública telefónica. Por ejemplo, en sus orígenes, esto permitió realizar lo que en los años setenta se conocía como "procesamiento remoto", es decir, contando con una terminal de computadora, un par de modems (uno para cada extremo del canal de comunicaciones) y una línea telefónica, se podía interactuar remotamente con una computadora sin tener que estar físicamente en el mismo lugar que la máquina.

Al igual que en el caso de los equipos de fax, también fue indispensable el establecimiento de reglas claras que permitieran la comunicación entre los modems, para compensar efectos de retrasos en la red (originados por la conmutación) y, desde luego, por los efectos del ruido en las líneas. Estos logros en materia de transmisión de datos fomentaron el desarrollo de nuevos servicios de telecomunicaciones por medio de la red telefónica. Por ejemplo el videotexto, originalmente concebido como un servicio de información que emplearía monitores de televisión para desplegar texto originado en bases de datos remotas, transmitido a través de líneas telefónicas de la red pública, la cual es accesada por medio de un módem de baja velocidad (en 1986 había 100 000 terminales en la Gran Bretaña, 45 000 en la República Federal de Alemania, 25 000 en España, 20 000 en Holanda y Japón, y 15 000 en Italia, pero el éxito más grande corresponde sin duda a Francia, en donde hay cerca de 2 millones de usuarios). Otros ejemplos, y sin pretender que esto sea exhaustivo, consisten en servicios tales como la consulta remota a bases de datos, correos electrónicos (envío de mensajes entre computadoras), transmisión de archivos entre computadoras, y, en general, servicios que exploten las ventajas de las técnicas de procesamiento digital de señales.

Las centrales modernas (los nodos de la red) están basadas en sistemas totalmente digitales, lo cual contribuye a que se puedan ofrecer al usuario servicios tan sencillos como conferencias de voz, transmisión de datos y videoconferencias, y tan rudimentarios como dar de alta la línea de un nuevo usuario, indicar el número que llama, transferir llamadas a otro número telefónico, etc. La clave para explotar el potencial de la infraestructura digital está, por una parte, en el *hardware*, y por la otra en el *software*, cada día de mayor importancia. Entre los servicios nuevos, que gracias a la digitalización de las centrales han podido ofrecerse al público, se encuentran las llamadas de larga distancia sin costo para el que las inicia (en México LADA 800), las llamadas con abono al que las recibe (el servicio 1-900 en Estados Unidos) y diversos tipos de señalización como la presencia de un tono que avisa a los interlocutores la llegada de otra llamada durante su conversación.

Muchas de las funciones que ahora realizan las centrales también pueden ser efectuadas por conmutadores privados, que en realidad son pequeñas centrales telefónicas (en España se les llama "centralitas"). Entre ellas están la búsqueda de personas, la selección y la configuración de grupos, la disponibilidad de distintos modos de operación para diferentes horarios, la restricción de llamadas de larga distancia y la asignación de privilegios en general a cada una de las extensiones, el almacenamiento de información sobre llamadas y de las extensiones que las originaron, la puesta en espera de llamadas, la disponibilidad de directorios en línea, etcétera.

RADIODIFUSIÓN DE SEÑALES

Dentro de estos servicios existen dos clases: los bidireccionales y los unidireccionales. En el conjunto de los primeros se describirá la operación de la telefonía celular y su evolución hacia los servicios personales de comunicación (denominados *PCN* por su nombre en inglés —*Personal Communication Networks*—o *PCS* —*Personal Communication Systems*—) y, debido al interés que en la actualidad ha despertado, se describirá también el funcionamiento de sistemas de supervisión y control de flotillas de vehículos. Como servicio representativo de la segunda clase se analizará la radiolocalización de personas.

La radiotelefonía celular surgió como un avance importante de la radiotelefonía tradicional. En esta última, los conceptos de la red son muy similares a los de la red telefónica pública, con la excepción de que el acceso a la red por parte del usuario es por medio de un canal de radio, con sus equipos terminales correspondientes. En el servicio tradicional de radiotelefonía se cuenta con una sola estación base, es decir, una estación que realiza funciones de transmisión y de repetición. En las transmisiones se utilizan potencias extremadamente grandes, logrando así una gran zona de cobertura. Sin embargo, si durante una conversación un usuario se sale de la zona de cobertura, la conversación se interrumpe ya que este sistema no tiene capacidad de conmutación. Cada usuario tiene asignado un canal de radio con una frecuencia fija para accesar la red, lo cual hace ineficiente el uso del

espectro radioeléctrico, ya que, si uno de los usuarios con canales asignados en algún momento no lo utiliza, ese o esos canales estarían desocupados. En la figura VI.3 se puede ver que el número de usuarios de este tipo de sistema está limitado por el número de canales con que cuenta la red para ofrecer el servicio.

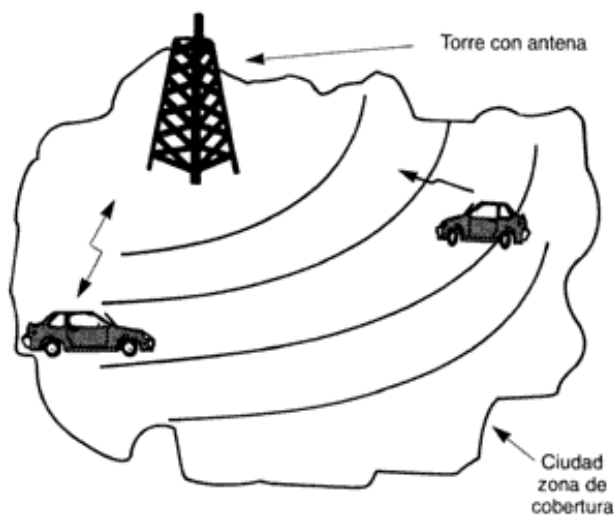


Figura VI.3. Radiotelefonía móvil tradicional.

La radiotelefonía tradicional fue evolucionando hacia el concepto de "telefonía celular", con base en dos objetivos: aumentar la calidad de los servicios que pueden ser ofrecidos, y aumentar, compartiendo las frecuencias, la utilización del espectro radioeléctrico, lo cual dio como resultado el aumento del número de usuarios de la red. Los primeros teléfonos móviles fueron introducidos en 1946, pero la primera red de telefonía celular fue puesta en operación en Japón en 1979 y en ese mismo año se inició la operación experimental de una red con 2 000 usuarios en Chicago. La primera red comercial de telefonía celular en Estados Unidos fue puesta en operación en 1983, y para 1987 existían en ese país 312 redes celulares operando en 205 ciudades.

El caso de México es también muy interesante, debido a que cuando se inició el servicio, las tecnologías ya habían sido ampliamente probadas en otros países y se tenía un buen estimador de la demanda que podría ser esperada. En 1989 se convocó a las empresas del ramo a presentar solicitudes para ofrecer este servicio en las nueve diferentes regiones en que fue dividido el país. Cada región recibiría servicio de dos operadores en competencia. Comercialmente los servicios se iniciaron en 1990. En los pocos años que han transcurrido desde entonces, la aceptación ha sido extraordinaria. A fines de 1992, el número aproximado de suscriptores al servicio, sumando ambos operadores de cada región, era el siguiente:

Región	Núm. aprox. de suscriptores
Baja California	10 000
Noroeste	8 000
Norte	16 000
Noroeste	30 000
Occidente	26 000

Centro	16 000
Golfo y Sur	16 000
Suroeste	11 000
Distrito Federal y alrededores	181 000
<i>Total</i>	<i>314 000</i>

Cada uno de los dos operadores regionales tiene asignadas dos bandas en la región que le corresponde: una para la comunicación del equipo móvil hacia las bases y otra para la comunicación de las bases hacia las unidades móviles. La asignación se muestra en el siguiente cuadro:

<i>Banda</i>	<i>Móvil (MHz)</i>	<i>Base (MHz)</i>
A	824-835, 845-846.5	869-880, 890-891.5
B	835-845, 846.5-849	880-890, 891.5-894

Cada una de las bandas, a su vez, está dividida en canales que ocupan 30 kHz cada uno, por lo cual, en cada banda caben 333 canales (o conversaciones simultáneas). Vale la pena resaltar que en cada región puede haber cualquier cantidad de células, usando cada una de ellas un determinado conjunto de estos 333 canales, siempre y cuando no sean utilizados los mismos canales en células adyacentes. Cada uno de estos canales funciona como canal de acceso a la red para los usuarios, por medio de equipos terminales que son teléfonos portátiles, consistentes en una unidad de control, un radiorreceptor, un radiotransmisor y su antena. Por otra parte, las oficinas de conmutación contienen todos los elementos necesarios para control de llamadas, interconexión con la red telefónica, contabilidad y facturación.

El servicio para el que inicialmente fue concebida la radiotelefonía celular fue similar al de la telefonía por medio de la red telefónica pública, es decir, comunicaciones de voz, pero con esquemas de acceso similares a los de la radiotelefonía tradicional, es decir, por medio de canales de radio. Las ventajas que se esperaba que la telefonía celular tendría sobre la red telefónica tradicional son: *a)* los equipos terminales (es decir, los aparatos telefónicos) son portátiles y no requieren de un enlace de cable para tener acceso a la red telefónica, *b)* un equipo terminal puede desplazarse dentro del área de cobertura sin interrumpir la comunicación, *c)* por medio de un equipo de telefonía celular se pueden establecer conversaciones con equipos telefónicos conectados a la red telefónica tradicional, *d)* el número de usuarios de una red puede aumentar casi sin límite debido a la posibilidad de reutilizar frecuencias, de reducir tamaños de células y de explotar adecuadamente las complejas técnicas de codificación.

La tecnología celular es diferente de los conceptos que la precedieron, al menos en lo referente a la posibilidad de reutilizar frecuencias. Con sistemas convencionales de radio, el objetivo era tener la mayor cobertura posible con cada una de las estaciones fijas, usando antenas montadas en altas torres, con potencias de transmisión grandes. A cada estación le corresponde un grupo de canales y la configuración del sistema no cambia a lo largo del tiempo. Con las redes celulares las potencias radiadas por las estaciones base se mantienen al mínimo, de manera tal que, en combinación con antenas localizadas a las alturas mínimas, se pueda garantizar la cobertura deseada con la calidad requerida. Con ello se logra que muchas células no adyacentes usen las mismas frecuencias sin interferir las transmisiones de unas con las de otras (en esto precisamente consiste la reutilización de frecuencias). Este revolucionario concepto está basado en las siguientes ideas: un canal de radio para una conversación telefónica consiste en un par de frecuencias, una para cada dirección de envío (base a móvil y móvil a base). Se insiste en

que células adyacentes tienen que utilizar distintas frecuencias, ya que, en caso contrario, habría interferencia entre las conversaciones que las usaran. Para ilustrar este punto recordemos que en ocasiones, al viajar por alguna carretera y estar escuchando radio llega un momento en que se pueden escuchar simultáneamente dos estaciones sin modificar la sintonía del receptor. Conforme uno avanza disminuye la intensidad de una de ellas y aumenta la de la otra. Este efecto es similar al descrito en las redes celulares.

Debe estar claro que células geográficamente separadas sí pueden emplear los mismos conjuntos de frecuencias sin que haya un efecto perjudicial entre las conversaciones que las usen. La limitante que existe en cuanto al número de usuarios del servicio en una célula se debe a la cantidad de frecuencias que se tienen asignadas en esa célula. Sin embargo, si se reduce el tamaño de las células, lo cual equivale a reducir el área de cobertura de las mismas (esto se logra disminuyendo la potencia transmitida, la altura de las antenas de las bases o ambas) se puede aumentar el número total de usuarios de una red, debido a que, si bien el número de usuarios por célula no aumenta, sí se incrementa el número total de células. Desde luego que cada célula, independientemente de su tamaño, debe tener una estación base, cuyas transmisiones (combinación de antena y potencia transmitida) sean tales, que cubran adecuadamente el área asignada (figura VI.4).

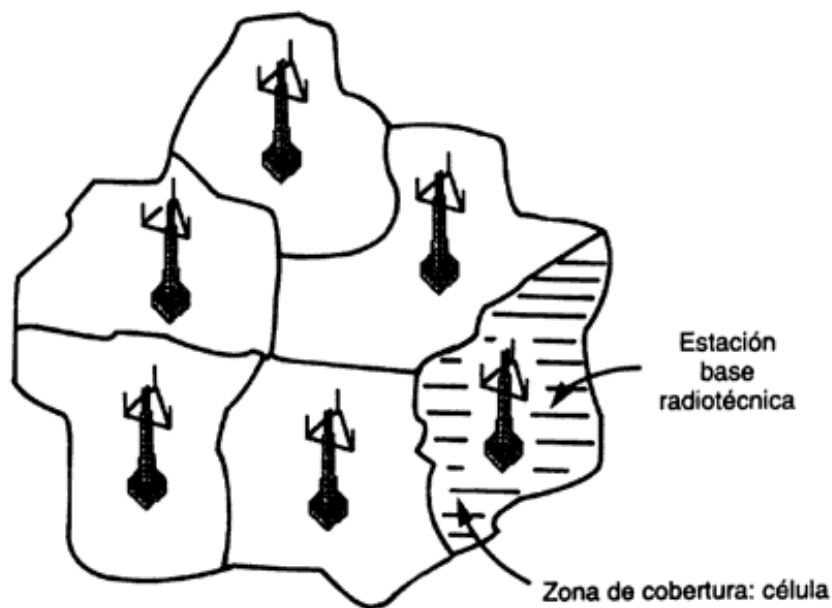


Figura VI.4. Configuración de un sistema celular con estaciones base.

La arquitectura de una red celular se muestra en la figura VI.5. En ella puede ser identificado el hecho de que células no adyacentes utilizan los mismos conjuntos de frecuencias. Por ejemplo, las células 1 y 5 de la figura utilizan los conjuntos de frecuencias F1, mientras que las células 2 y 6 tienen a su disposición los conjuntos de canales F2.

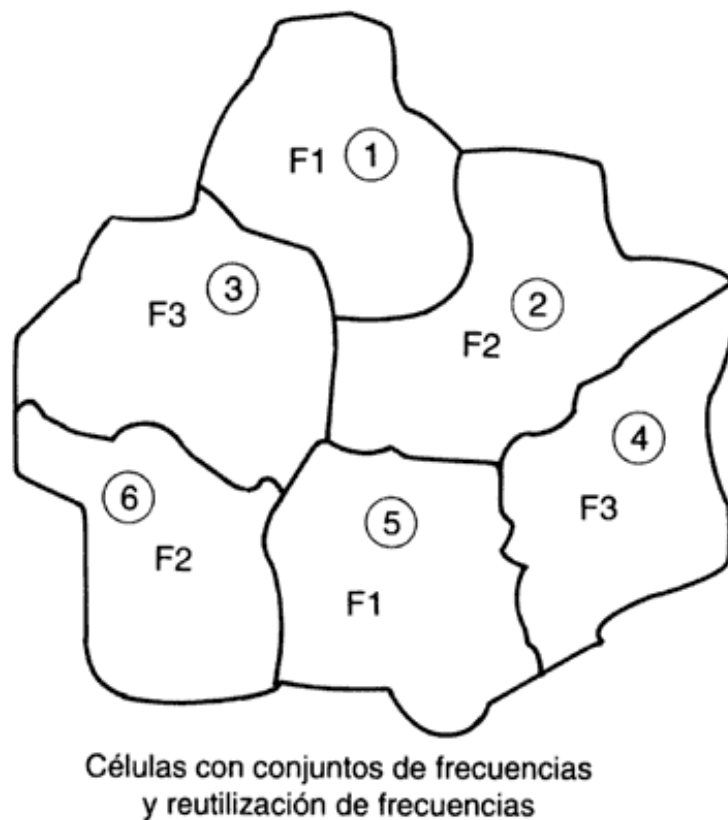


Figura VI.5. Sistema celular con reutilización de frecuencias.

El servicio más importante que se ofrece por medio de una red celular es el de comunicación de voz, el cual opera de la siguiente manera. En las llamadas originadas en la unidad móvil, cuando un usuario activa su teléfono, se realiza un proceso de búsqueda por el canal de control para identificar un canal con buena recepción. Generalmente éste está asignado a la base más cercana. Esta búsqueda es controlada por el equipo móvil y se realiza cuando el equipo no se está utilizando en una conversación. Una vez identificado el canal que será utilizado, la unidad móvil se considera inicializada y lista para establecer una comunicación. Después de esto, se envía el número seleccionado (correspondiente al usuario que se desea llamar) hacia la estación base, misma que envía esta información a la unidad de conmutación, que es la encargada de localizar la célula en la que está ubicada la unidad buscada. Una vez identificada, se le asigna un canal, se le notifica que tiene una llamada y se puede iniciar la conversación. Cuando la llamada se origina en un aparato de la red pública telefónica, se hace llegar la solicitud a la central celular de conmutación, la cual se encarga de localizar al usuario destino y de hacer la señalización correspondiente. Al terminar una conversación, ambos usuarios liberan los canales de radio asignados para esa conversación y las unidades móviles reactivan el monitoreo de la calidad de los canales. Finalmente, si durante la conversación de una unidad en movimiento se detecta que la unidad ha salido de la zona de cobertura de una célula (por medio de las intensidades de las señales en los canales de control), el sistema le asigna a esta conversación una nueva frecuencia (o sea, un nuevo canal de radio) y se realiza la nueva asignación sin que el usuario se percate de ello.

Aunque actualmente el servicio preponderante en estas redes es el de conversaciones de voz, existen equipos que permiten transmitir también mensajes de fax y de datos. La tecnología está evolucionando rápidamente y, en un futuro cercano, se podrán realizar con eficacia transmisiones digitales, ampliando de esta manera la gama de servicios que podrán ser ofrecidos a los usuarios.

Como complemento de la telefonía celular, utilizando nuevos avances tecnológicos en diversas áreas, surgieron hace aproximadamente una década los servicios personales de comunicación. Con este novedoso concepto la tendencia es que la comunicación se origine en una persona y termine en otra, independientemente de los lugares en los que se encuentren dichas personas. Tradicionalmente las comunicaciones han sido de equipo terminal a equipo terminal, estando los equipos terminales fijos en una habitación (por ejemplo, en la cocina, en la recámara,

en el escritorio, etc.). En otras palabras, estas ideas tienden a independizar las telecomunicaciones no únicamente de tiempo y distancia, sino también de la ubicación de los usuarios. Se podría concebir una gran variedad de servicios de valor agregado que podrían ser ofrecidos por medio de sistemas PCS, tales como enlaces de datos para uso personal, opciones para seleccionar recepción de llamadas dependiendo del lugar donde se encuentre el usuario, servicios de localización, despertador, etcétera.

Las redes de comunicación personal tienen sus orígenes en el sistema telefónico tradicional y en los teléfonos inalámbricos (se estima que en los hogares de Estados Unidos existen cerca de 30 millones de unidades), los cuales están equipados con su propia estación base, y lo único que requieren para funcionar es la compatibilidad entre el equipo y la estación base. Estos equipos se conocen con el nombre de primera generación de equipos inalámbricos.

Los equipos pertenecientes a la segunda generación tienen acceso a una red pública a través de estaciones base radioeléctricas, y a estaciones base que a su vez están conectadas a conmutadores telefónicos privados. Tienen mayor privacidad y seguridad que los equipos de la primera generación, porque usan protocolos más complejos.

Las redes de comunicación personal también capitalizaron las experiencias adquiridas a través de la telefonía celular referentes al aumento en la capacidad de manejo de usuarios de los sistemas tradicionales de radiotelefonía. Las soluciones propuestas para la telefonía celular permitieron aumentarla precisamente por medio de la partición de células y la reutilización de frecuencias. Sin embargo, al disminuir el tamaño de las células, principalmente en zonas urbanas con una alta densidad de población, creció también la necesidad de seleccionar con más cuidado las ubicaciones de las estaciones base correspondientes.

Pero a pesar de que difieren en muchos aspectos, tanto la telefonía celular como la inalámbrica tienen entre sus objetivos proveer a sus usuarios con accesos inalámbricos a la red pública de telefonía y a las redes de telecomunicaciones en general.

El objetivo del concepto de equipos de tercera generación de teléfonos inalámbricos portátiles consiste en establecer accesos unificados vía radio a redes que permitan disfrutar de la más variada gama de servicios de telecomunicaciones. Por su conducto se debe poder acceder a las redes desde puntos ubicados en zonas urbanas, rurales y dentro o fuera de edificios; deben asimismo funcionar adecuadamente, tanto estando inmóviles como en movimiento, independientemente de la velocidad de desplazamiento.

En lo referente a las tecnologías de transmisión; la primera generación de equipos inalámbricos y de teléfonos celulares está basada en transmisiones analógicas de las señales de voz, con modulación de frecuencia, con anchos de banda que varían entre 12.5 y 30 Khz.

Los PCS pueden ser caracterizados por lo siguiente: *a)* utilizan una red de radio basada en microcélulas, *b)* están basados en transmisiones digitales, *c)* utilizan una banda de alta frecuencia (típicamente en 1.8-2 Ghz), *d)* su mayor fortaleza no está en aplicaciones vehiculares, y *e)* son el primer paso hacia el objetivo de comunicación entre personas, más que entre equipos terminales.

El concepto de PCS puede ser detallado aún más, si se toman en consideración algunos servicios que en la actualidad se ofrecen por medio de los sistemas que han sido instalados y operados en plan piloto; esto se presenta en el siguiente cuadro.

<i>Característica</i>	
Llamadas entrantes	Sí
Llamadas salientes	Sí
Servicios fax	Sí
Voz / datos simultaneos	Sí
Asistencia por operadora	Sí

Llamadas por cobrar	Sí
Llamadas a tarjeta	Sí
Llamadas en conferencia	Sí
Indicador fuera del área	Sí
Usuarios por km ²	100 000

Los servicios bidireccionales que han sido descritos tienen la característica común de que, a pesar de tratarse de comunicación por radio (es decir, usando transmisiones basadas en difusión de señales), los equipos terminales de los usuarios son direccionables. Es decir, únicamente responden cuando en la información que reciben identifican su propia "dirección electrónica".

La direccionabilidad, concepto fundamental tanto para servicios unidireccionales como para los bidireccionales, consiste en lo siguiente. Cada equipo receptor tiene grabado en su memoria un número de identificación único (es decir, no hay otro equipo que tenga el mismo número). Cuando se transmite una señal digital que contiene un mensaje, éste va precedido por el número de identificación del usuario a quien va destinado el mensaje. Todos los equipos dentro del área de cobertura reciben esta señal, extraen del mensaje el número de identificación y lo comparan con el número que tienen grabado en su memoria. Si ambos números coinciden, entonces el equipo receptor activa sus circuitos para poder recibir el mensaje completo; en caso contrario, hace caso omiso de lo que recibió y vuelve a su estado de espera, verificando las direcciones cada vez que detecta un mensaje.

Es este mismo principio el que utilizan los servicios de radiolocalización de personas (en realidad el nombre del servicio, aun que muy difundido, es erróneo, ya que no se localiza a una persona sino que únicamente se envía un mensaje que llega a dicha persona por medio de su equipo personal). La red en la que se basa este servicio es de radio, con coberturas locales (por ejemplo, ciudades), nacionales o incluso internacionales (en este caso puede aumentarse la cobertura por medio de transmisiones vía satélite). Su operación se muestra en la figura VI.6.

Una persona que desea enviar un mensaje a otra debe hacer llegar su mensaje a la central de despacho de mensajes, por ejemplo, vía la red telefónica. El mensaje puede ser oral, caso en el cual contesta una operadora en la central, quien a su vez transcribe el mensaje para enviarlo a la computadora de control y ésta al equipo de transmisión. Pero los usuarios que deseen transmitir muchos mensajes también pueden disponer de un enlace directo con la computadora de despacho, de manera tal que se evite la necesidad de pasar por una operadora.

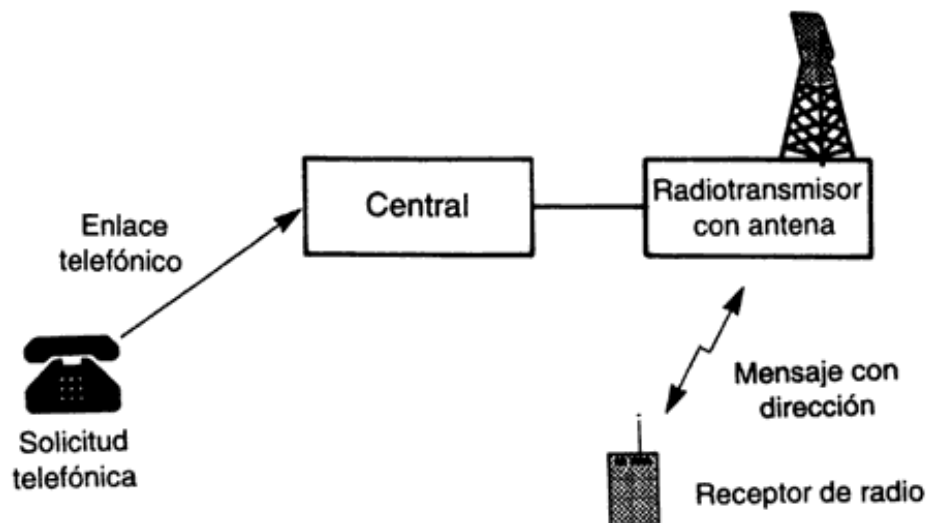


Figura VI.6. Esquema para localización de personas.

El acceso puede ser por medio de la red telefónica, usando un par de modems; en este caso, los mensajes ya irían en forma digital, los recibe la central, identifica los destinatarios y realiza la transmisión. Los mensajes se transmiten al aire de manera serial, es decir, uno detrás de otro; el equipo central de despacho es el encargado de efectuar el control de las transmisiones. Cada mensaje que se pone en el aire debe contener, aparte del texto, la dirección (identificador) del destinatario. Esto último es lo que utilizan los receptores para identificar cuáles de los mensajes están destinados a cuáles usuarios. Las transmisiones, desde luego, no tienen que estar destinadas únicamente a un receptor, ya que el identificador que se agregue al mensaje transmitido puede referirse a toda una familia de receptores; esta modalidad del servicio podría ser de interés para empresas que desean enviar mensajes, por ejemplo, a todo su equipo de vendedores, sin tener que hacer los envíos de manera individual.

El crecimiento de estos servicios ha sido muy importante, principalmente desde que se hacen las transmisiones en forma digital: por ejemplo, aunque en Japón ya ha empezado a disminuir la tasa de crecimiento anual de suscriptores de telefonía celular, el número de suscriptores de radiolocalización de personas sigue creciendo a un ritmo anual de 15%; cada año aumenta este número en cerca de 130 000 usuarios. Esta tendencia puede conservarse, ya que se están ofreciendo, adicionalmente a la localización de personas y al envío de mensajes, servicios tales como actualización periódica de pronósticos del tiempo, de situaciones de tráfico y congestión en avenidas principales de las grandes ciudades, resultados de operaciones en las bolsas de valores, etcétera.

Ha habido, además, importantes avances en los equipos receptores, ya que próximamente habrá en el mercado equipos de menos de 50 g, con dimensiones menores a las de una cajetilla de cigarros, con una memoria con capacidad de almacenamiento de unos 16 mensajes y despliegue alfanumérico. También se están ofreciendo receptores que tienen la forma y las características físicas de una pluma o de un reloj de pulsera.

Para concluir esta exposición sobre diferentes redes y servicios de telecomunicaciones modernos, se explicará a continuación el funcionamiento de un sistema que se ha introducido recientemente en el mercado en varios países, y que tiene un gran potencial por la enorme variedad de aplicaciones que puede tener: un sistema de localización, seguimiento y control de flotillas de vehículos (terrestres). En lo sucesivo, y debido a que este servicio no tiene un nombre comercial, se hará referencia a él como SLSC (sistema de localización, seguimiento y control).

El objetivo de un SLSC consiste en disponer en una estación central de supervisión y control la posición de cada uno de los vehículos que forman la flotilla para poder dar instrucciones a cada vehículo, para supervisar su operación, para detectar posibles robos o problemas de otro tipo, etc. (éstas son tan sólo algunas de las posibilidades). Cada una de estas posibles funciones puede ser de especial interés para, por ejemplo, flotillas de camiones repartidores, patrullas, ambulancias, bomberos, ajustadores de seguros o vehículos de servicio en general; como no hay límite en la cantidad de vehículos que pueden formar la flotilla, se puede pensar también sólo en supervisar y dar seguimiento a cualquier cantidad de automóviles, simplemente para facilitar su recuperación.

El SLSC tiene las siguientes componentes, mismas que se muestran en la figura VI.7:

- a) Una estación central de supervisión y control (llamada central de despacho) basada en una o dos computadoras personales, a la cual se tiene conectado un equipo de radiocomunicaciones. La función de esta estación consiste en "preguntar" vía radio a cada vehículo cuáles son las coordenadas del punto en que se encuentra.
- b) Un conjunto de unidades móviles que van instaladas en cada uno de los vehículos que serán supervisados; cada uno de ellos consiste en un módulo de radionavegación, un microcontrolador y el equipo de radiocomunicación necesario para establecer comunicaciones con la estación central. En el módulo de radionavegación se reciben señales precisamente de radionavegación (como las que usan los aviones o los barcos) y con base en ellas se calculan las coordenadas de la ubicación. Cuando la estación central las pregunta, la unidad móvil responde enviando estas coordenadas.
- c) Dependiendo de la cobertura que se desee tener puede ser necesario tener estaciones repetidoras de radio.

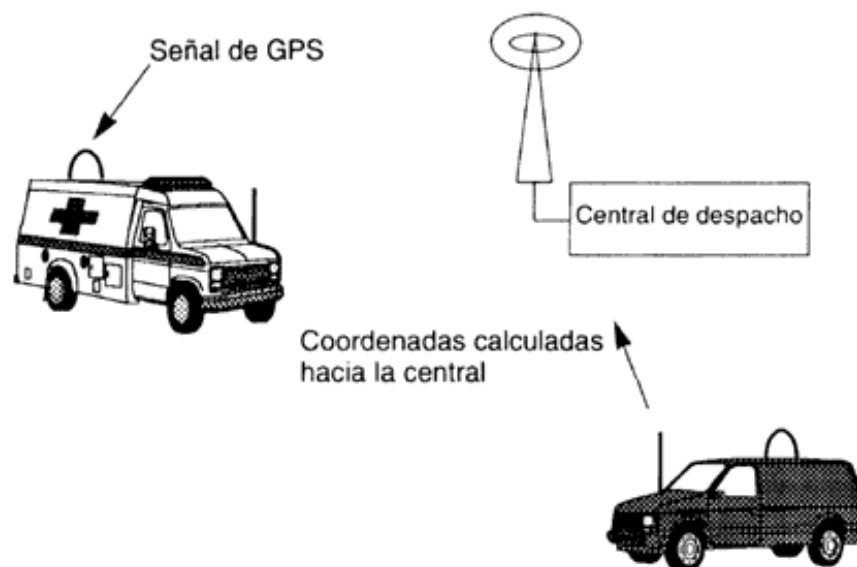


Figura VI.7. Operación de un sistema de SLSC .

El SLSC requiere para su funcionamiento de un canal de radio que puede ser de uso exclusivo para esta aplicación, o bien, puede ser parte de una red comercial como la celular. Este canal transportará información de la estación hacia los móviles y de los móviles hacia la central de manera ordenada. Dependiendo de la aplicación, deben ser instrumentados distintos protocolos de comunicaciones para que la información generada en las unidades móviles llegue adecuadamente a la estación central. Por ejemplo, si sólo se desea supervisar las rutas de, por ejemplo, 50 vehículos que forman la flotilla de camiones repartidores de alguna empresa, entonces la estación central (vía radio) enviará a cada móvil, de manera secuencial, una solicitud de envío de información. Las transmisiones son a manera de radiodifusión, por lo cual cada mensaje debe ir precedido por un identificador de la unidad que debe contestar. Una unidad móvil, al identificar su dirección, transmite su identificador y sus coordenadas. Al terminar de preguntar a una móvil, la estación central pasa a la siguiente, y así sucesivamente. El ciclo de actualizar la información de las 50 móviles puede requerir de 15 a 30 segundos (dependiendo de algunos factores en el diseño del sistema). Este protocolo entre la central y las móviles se llama (en inglés) *polling* ("levantar encuestas"). Si el sistema se diseña para otra aplicación, puede ser necesario cambiar el protocolo de comunicación. Por ejemplo, en un esquema en que se desea supervisar 100 000 vehículos para que no sean robados, está claro que "encuestar" a cada uno de ellos puede tomar minutos, o incluso horas, lo cual significa una enorme degradación en el desempeño (¿de qué me sirve saber dónde estuvo hace 4 horas mi coche robado?). En este caso debe ser instrumentado un protocolo de acceso múltiple en el cual, cuando un vehículo sea robado, sea éste quien inicie las transmisiones hacia la central de manera automática, al activarse, por ejemplo, botones o interruptores en las puertas. De esta forma sólo se estará supervisando a aquellas unidades ya robadas y que posiblemente puedan ser recuperadas si la estación central mantiene contacto con ellas mientras llega, por ejemplo, la policía.

Los ejemplos anteriores son pequeñas muestras del potencial que tienen las telecomunicaciones modernas. Cada día podrá ser observada con mayor claridad su influencia sobre la vida diaria de las personas y sobre la eficiencia de las empresas.

Inicio



Imágenes para el futuro

PARA CONCLUIR ESTE LIBRO presentamos un esbozo de lo que podría llegar a ser el futuro de las telecomunicaciones. Esto debe ser tomado con cautela: representa apenas una visión de lo que los autores consideran factible pues, como es bien sabido, no es posible hacer predicciones. Sin embargo, las siguientes ideas pueden ser consideradas como elementos adicionales a las presentadas a lo largo del libro, para que el lector pueda construir sus propias conclusiones sobre lo que podría llegar a ser el futuro.

Las tecnologías presentes y futuras relacionadas con las telecomunicaciones nos inducen a pensar de una manera diferente a como lo hemos hecho en el pasado. Los avances en tecnologías digitales y en transmisiones por fibras ópticas permiten hablar ahora de velocidades de transmisión y de conmutación menores de una milmillonésima de segundo. Entonces, utilizando como punto de partida los conceptos expuestos a lo largo de este libro, es decir, los orígenes de las telecomunicaciones y su vertiginoso desarrollo en la segunda mitad de este siglo, los autores han caído en la tentación de identificar las siguientes tendencias en los sistemas y los servicios de telecomunicaciones:

- a) Cada vez hay una conectividad mayor entre los usuarios de una red de telecomunicaciones y existe también mayor posibilidad de que las diferentes redes sean interconectadas, por lo cual es posible que en un futuro sea suficiente el estar conectado y tener acceso a una sola red para poder disfrutar de todos los servicios que se ofrezcan al público por medio de cualquier otra red. Seguramente no se verá revertido este hecho y la conectividad seguirá aumentando.
- b) Las comunicaciones entre personas tienden a hacerse cada día más independientes del lugar donde se encuentran las mismas, con lo cual se nota una tendencia hacia accesos inalámbricos (y por tanto, móviles o al menos portátiles), hacia las redes que ofrecen los diferentes servicios. Probablemente seguirán proliferando estos sistemas con accesos que den al usuario cada día una mayor movilidad.
- c) Las redes de telecomunicaciones tienden a ser redes de "autopistas" de información digital de muy altas capacidades, y la fuente de información, así como el servicio que se preste, son irrelevantes para la operación de las mismas. Para una red no hay diferencia entre el transporte de datos correspondientes a voz, imágenes, textos, archivos provenientes de una computadora, o provenientes de otros tipos de fuentes. En el futuro, las redes efectivamente serán redes de transporte inteligente de bits, a velocidades de muchos millones de bits por segundo. Al ser digital todo el transporte de información, la calidad que podrá ser disfrutada en cada uno de los servicios será muy alta.
- d) Es posible que cada habitante del planeta llegue a tener un solo número de acceso para todos los servicios que sean ofrecidos a través de la "súper-red": para telefonía en su casa, para radioteléfono en su automóvil, para teléfono celular de la nueva generación (tipo "servicio personal de comunicaciones"), para recibir faxes, correo electrónico, etcétera.
- e) Es indispensable que los servicios sean accesibles a todos los usuarios, para lo cual será necesario que todos los servicios y terminales, incluyendo la combinación de más de un servicio, sean muy amables y accesibles para la mayoría de la población.
- f) Las velocidades que se utilicen para las transmisiones y la calidad que se logre en los diversos servicios deben ser adecuadas para todas las aplicaciones. Las tarifas que haya que pagar por disfrutar cada uno de los servicios deberá estar acorde con el servicio.

A través de estas redes de alta capacidad y los servicios que en ellas serán ofrecidos se estará en posibilidad de "integrar todos los servicios", de tener "transferencias de información totalmente digitales", de empezar a construir la "supercarretera de información" y de que todo esto forme la base de la sociedad de la información del futuro.

El término "supercarretera de la información" (SCI), con justa razón, está de moda y últimamente ha sido explotado por sus implicaciones tecnológicas y económicas: en otros países se le conoce como *information superhighway*, *information Autobahn* o *Infobahn*. Como muchas personas creen entender el concepto, lo usan indiscriminadamente, y cada día se publican artículos sobre el tema. Para terminar este libro, y porque con seguridad en un futuro cercano todos tendremos que transitar por algunaSCI (es decir, información generada por nosotros o información requerida por nosotros y enviada hacia nosotros transportada por una de estas supercarreteras), en estos párrafos finales se hablará brevemente sobre este concepto.

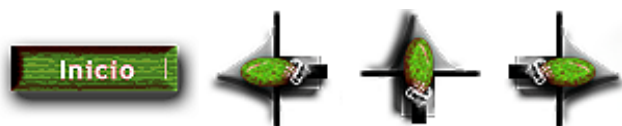
Los equipos de transmisión y control de una red de transmisión de datos permitirán la integración de prácticamente cualquier servicio sobre una misma red, sin disminuir la velocidad de transmisión o la calidad del servicio. Como en este momento ya es técnicamente posible contar con redes de alta velocidad que permitan una alta integración de servicios, la SCI del futuro, a pesar de que el concepto tiene un ingrediente de magia, representa, más que una revolución, una evolución de las redes actuales.

Por sus características de capacidad, con seguridad serán las fibras ópticas los medios predominantes en aquellas porciones de la red en que el número de usuarios y el tráfico que generan lo justifiquen. Hay que tomar en consideración que los costos de instalación de cables de fibras ópticas son elevados y que sólo se justifican cuando muchos usuarios comparten la red y generan suficiente tráfico como para que esa porción de la red sea utilizada todo o la mayor parte del tiempo. Al igual que en una supercarretera para vehículos, en una SCI deben existir "caminos de acceso" y "rutas secundarias", "caminos vecinales". Estos elementos de la red estarán basados en tecnologías tales como cables coaxiales, cables de cobre, enlaces de radio digital o microondas. Donde exista la posibilidad de hacerlo, serán interconectadas redes de cable coaxial (redes de televisión por cable) con las redes troncales de fibra que formen la parte dorsal de una SCI. Posiblemente será necesario también instalar en algunas casas o empresas canales de acceso tipo "fibra óptica hasta la casa" o "fibra óptica hasta la empresa". Probablemente también serán establecidos canales de acceso vía satélite cuando la topografía del terreno sea muy accidentada, a pesar de las características de retraso que tienen las transmisiones vía satélite (un viaje de una señal de subida hacia y bajada desde el satélite requiere de 250 mseg, lo cual para muchas aplicaciones será inaceptable, sobre todo, existiendo otras opciones). Usuarios de redes basadas en satélites de órbita baja para transmisión de datos (LEOS, por sus siglas en inglés: *low earth orbit satellites*) seguramente también podrán tener acceso a las SCI.

La evolución hacia una SCI tiene sus orígenes en las redes de transmisión de datos, primero de banda angosta (por ejemplo, la red Arpanet; que inició sus operaciones hace 25 años), y posteriormente de banda ancha. Por ejemplo, la red Internet es una red global que enlaza más de tres millones de computadoras y que tiene más de 30 millones de usuarios; en 1994 tuvo un crecimiento de 81%; en el primer semestre de 1994 se enlazaron a esta red un millón de nuevas computadoras. A través de esta red viajan miles de millones de bits con información proveniente de todo tipo de fuentes: sonidos, imágenes, textos, archivos de computadora, transacciones bancarias, paquetes de programas, correo electrónico, consultas a bancos de información o a bibliotecas, compras a distancia, aplicaciones de multimedia. Aunque habrá que trabajar arduamente en la definición de los mecanismos de acceso, de control y de conmutación más eficientes, así como en la definición de las arquitecturas de red más adecuadas para lograr transmisiones a las velocidades que se requieren para los servicios que se desea prestar en la SCI, se puede ver que ya se tiene un enorme trecho del camino recorrido.

Si los párrafos anteriores causaran la impresión de que el futuro ya casi está aquí, podría surgir la pregunta: ¿entonces ya no habrá más cambios espectaculares en el futuro de más largo plazo?

Y la respuesta a este cuestionamiento está implícita en el libro que aquí concluye: la historia demuestra que cada día surgen nuevos desarrollos que eran inimaginables una o dos generaciones antes, y que éstos se apoyan en todos los conocimientos y la experiencia acumulados a lo largo de la historia, desde las señales de humo y los caracoles usados por indígenas en América, hasta las redes digitales globales, las fibras ópticas y los satélites de comunicación.



GLOSARIO

alámbrica: una comunicación es alámbrica cuando utiliza canales de comunicación basados en cables metálicos.

aleatorio: un fenómeno físico es aleatorio cuando tiene asociados aspectos probabilísticos, es decir, que no pueden ser descritos con certeza.

ancho de banda: la diferencia entre la frecuencia máxima y la mínima contenidas en una señal.

atenuación: disminución en la magnitud de una señal.

bidireccional: una comunicación bidireccional es aquella en la cual puede ser enviada información tanto desde un transmisor hacia un receptor como desde este último hacia el primero.

bits: palabra que significa símbolos o dígitos binarios; proviene de *binary digits*; es también una medida de la cantidad de información contenida en un mensaje, definida por C. E. Shannon.

canal: se usa para identificar una trayectoria a través de la cual serán enviadas señales; también se usa para describir una banda de frecuencias.

células: regiones en las cuales está instalada una estación de radio.

cobertura: es el área geográfica que está incluida en una red o un servicio de telecomunicaciones.

codificar: representar cada uno de los símbolos provenientes de una fuente por medio de un conjunto de símbolos predefinidos.

compresión de datos: reducir la cantidad de bits asignados a la representación de un conjunto de datos.

comunicaciones digitales: comunicaciones basadas en dígitos, normalmente "0" y "1".

conectividad: posibilidad de establecer rutas de comunicación entre distintos puntos de una red o entre distintas redes de comunicaciones o entre usuarios de una o de varias redes.

confiabilidad: posibilidad que tiene un sistema de realizar las funciones para las que fue diseñado.

conmutación de paquetes: transmisión de información estructurada en unidades pequeñas llamadas paquetes, dando a cada paquete un tratamiento independiente de los demás a lo largo de la red.

conmutación de circuitos: transmisión de información en una red, asignando a cada "conversación" una trayectoria fija.

corrección de errores: posibilidad que se tiene en las comunicaciones digitales de corregir ciertos errores que ocurran en una transmisión.

criptografía: área de las telecomunicaciones que tiene como objetivo la protección de la información contra usuarios no autorizados.

cuantizador: sistema que tiene a su entrada una señal continua o analógica, y que genera a su salida una versión aproximada de la señal de entrada (por ejemplo, redondeando valores de la entrada).

detección: es el proceso de decidir cuál de las posibles señales que puede originar una fuente es la que con mayor probabilidad generó una señal recibida.

detección de errores: es la posibilidad que se tiene en las comunicaciones digitales de identificar la ocurrencia de ciertos errores en una transmisión.

dirección: es un identificador (electrónico) asignado a un equipo (receptor) para que el transmisor pueda enviarle información sólo a ese receptor.

disponibilidad: es la fracción de tiempo en que un sistema o un equipo opera adecuadamente; en equipos modernos, este indicador debe ser superior al 99.9%, lo cual representa, en promedio cerca de 45 minutos fuera de servicio en cada mes de operación.

distorsión: una alteración indeseada en la forma de una señal.

enlace: un canal de comunicaciones entre dos nodos o dos equipos.

enlaces satelitales: canal de comunicaciones que utiliza un satélite de comunicaciones para regenerar y retransmitir una señal.

enrutamiento: mecanismo por medio del cual se selecciona una ruta para que un mensaje llegue de la fuente al destino.

facsimile o fax: transmisión electrónica de documentos impresos a través de una red de telecomunicaciones.

filtro: sistema que elimina selectivamente algunas frecuencias de una señal.

frecuencia: número de periodos por unidad de tiempo; si la unidad de tiempo es un segundo, la frecuencia se mide en Hertz.

fuelle: origen de la información que ha de ser transmitida o procesada.

Giga: mil millones.

impulsivo: abrupto.

inalámbrico: una comunicación es inalámbrica si para que se realice se utiliza un canal de radio, es decir, no se usan canales basados en cables metálicos.

kilohertz: 1 000 hertz.

localización de vehículos: servicio basado en un subsistema de radionavegación (para localizar el vehículo) y uno de comunicación (para enviar su ubicación a una estación) para fines de supervisión o control de los vehículos.

localización de personas: es un servicio por medio del cual se envía un mensaje a una persona por medio de radio; el mensaje contiene la dirección "electrónica" de la persona, de manera tal que sólo ella lo reciba.

Megahertz: 1 millón de hertz.

microondas: es un término que se refiere a señales cuyas frecuencias sean mayores de aproximadamente 500 MHz.

muestreo: proceso mediante el cual se representa una señal continua por medio de valores discretos de la misma, llamados muestras.

nodos: puntos en los cuales se ubican equipos de procesamiento en una red, y a los cuales están conectados los enlaces de la misma.

PCN / PCS: *personal communication network / personal communication system*: servicios personales de comunicación.

privacia: característica que señala el hecho de que sólo los usuarios autorizados de la información pueden tener acceso a ella.

protocolo: conjunto de reglas que deben ser respetadas para que pueda ser realizado un proceso de comunicaciones.

punto a multipunto: comunicación que se origina en un punto geográfico y que puede estar destinada a muchos receptores en puntos geográficamente distantes.

radiotelefonía celular: telefonía basada en transmisiones de radio, que usan una red cuya área de cobertura está dividida en células.

redes locales: redes de comunicaciones con pequeñas áreas de cobertura (por ejemplo, edificios).

redes conmutadas: redes de telecomunicaciones que usan el principio de conmutación: compartir canales entre diferentes conversaciones.

redundancia: dígitos que se agregan a un mensaje, tales que, a pesar de no contener información, ayudan a detectar o corregir errores.

ruido: perturbaciones indeseadas que tienden a oscurecer el contenido de información en una señal.

rutas: sucesión de enlaces que conducen la información a través de una red, desde su origen hasta su destino.

satélite de comunicaciones: satélite estacionado en una órbita ecuatorial, siempre en la misma posición respecto a la Tierra ("geoestacionario"), cuya función es reflejar señales que recibe desde un punto de la Tierra, hacia una región de ésta; estos satélites están a una distancia de 35 784 km del ecuador.

satélites de órbita baja: satélites no estacionarios cuyas distancias desde la Tierra son de entre 200 y 2 000 km.

señalizar: proceso mediante el cual se notifica algo (es decir, se envía una señal de control) de un equipo de la red a otro.

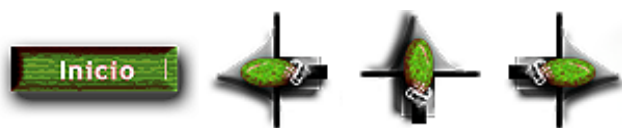
tasas de transmisión: número de símbolos digitales que se transmiten por un canal en cada segundo.

telebanco: realización de operaciones bancarias mediante el uso de las telecomunicaciones.

telecompras: realización de transacciones de compra-venta mediante el uso de las telecomunicaciones.

teleconferencias: realización de conferencias y juntas entre personas utilizando redes de telecomunicaciones.

telemedicina: algunas actividades de la medicina, tales como diagnóstico remoto o transmisión de imágenes radiológicas, realizadas mediante la utilización de redes de telecomunicaciones.



Inicio

COLOFÓN

Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de noviembre de 1996 en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso, S.A. (IEPSA), calzada de San Lorenzo 244, 09830 México, D.F.

Se tiraron 7 000 ejemplares

Tipografía y formación:

Mauricio Vargas Díaz

del Taller de Composición

del Fondo de Cultura Económica con tipos Garamond de 14:16 y 12:14.

Corrección: *Osvelia Molina, Héctor Veyna, Marcela Pimentel, Jimena Gallardo y Jorge Sánchez*

Preparación del material gráfico:

Guadalupe Villa

Fotomecánica

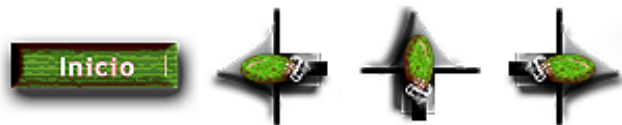
interiores: *Fotolito Marjan*

portada: Formación Gráfica

Cuidaron la edición *Axel Retif y los autores*

La Ciencia desde México

es una colección coordinada editorialmente por *Marco Antonio Pulido y María del Carmen Farías*.



CONTRAPORTADA

Comunicación e información, dos palabras que aun en nuestros días no tienen una definición precisa, pero que, sin embargo, desde la antigüedad se ha reconocido su importancia. Las soluciones a la necesidad de transmitir información a distancia han estado relacionadas con el desarrollo cultural, social y político de la humanidad. Al querer cubrir distancias mayores para comunicarse, el hombre ha tenido que emplear métodos cada vez más complejos.

Hoy presenciamos una carrera tecnológica de las telecomunicaciones con sistemas y servicios que años atrás eran inimaginables, por eso, en este libro, Kulhman y Alonso emplean un lenguaje sencillo, y ejemplos ilustrados, —desde los primeros símbolos basados en señales de humo o fuego, hasta las comunicaciones modernas— para que el lector pueda responder a preguntas como: ¿Qué es la información?, ¿Cómo se transmite y se procesa la información?, ¿Cuáles son los componentes de un sistema de telecomunicaciones?

Federico Kuhlmann es ingeniero mecánico electricista de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene una maestría en telecomunicaciones de la Universidad de Cornell y un doctorado en la misma área de la Universidad de Texas en Austin. Ha trabajado durante veinte años en diversas áreas de las telecomunicaciones, tanto en aspectos tecnológicos como estratégicos.

Antonio Alonso Concheiro es ingeniero mecánico eléctrico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene un doctorado en ingeniería de control del Imperial College of Science and Technology, Londres, Inglaterra. Fue director del Centro de Estudios Prospectivos de la Fundación Javier Barros Sierra y actualmente es socio consultor de Analítica Consultores S.C.

Ambos son coautores, junto con Alfredo Mateos, del libro Comunicaciones: Pasado y futuros del Fondo de Cultura Económica.

