

1

SISTEMA GENERAL DE COMUNICACIÓN DE DATOS

1.1 LA REVOLUCIÓN DE LA COMUNICACIÓN ENTRE COMPUTADORAS

Los años 70 y principios de los 80 vieron una mezcla de los campos de las ciencias de computadoras y las comunicaciones de datos que profundamente cambiaron la tecnología, productos y compañías de la ahora industria combinada de comunicación de computadoras. Aunque las consecuencias de esta revolucionaria mezcla están aún en proceso, es seguro decir que la revolución ha ocurrido, y que cualquier investigación en el campo de las comunicaciones de datos debe ser hecha en este nuevo contexto.

Esta revolución ha producido varios hechos trascendentes.

- No hay diferencia fundamental entre procesamiento de datos (computadoras) y comunicación de datos (equipos de conmutación y transmisión).
- No hay diferencia fundamental entre las comunicaciones de datos, voz y video.
- Las líneas entre computadoras de un solo procesador, computadoras con multiprocesadores, redes locales, redes metropolitanas y redes de gran alcance se han puesto borrosas.

El resultado ha sido una creciente sobreposición de las industrias de comunicaciones y de computadoras desde la fabricación de componentes hasta la integración de los sistemas. Consecuentemente se desarrollaron sistemas integrados que transmiten y procesan todo tipo de datos e información. Ambos, la tecnología y las organizaciones de normatividad técnica están dirigiéndose hacia un único sistema público que integre todas las comunicaciones y que virtualmente haga fuentes de datos e información de fácil y uniforme acceso mundialmente.

1.2 SISTEMA GENERAL DE COMUNICACIÓN DE DATOS

Empezamos nuestro estudio con un modelo simple de comunicaciones, que presentamos en la figura 1.1. El propósito fundamental de las comunicaciones de datos es el intercambiar información entre dos agentes. En la figura, la información del mensaje m , esta representada por los datos g y es generalmente presentada al transmisor en forma de una señal variable en el tiempo, $g(t)$. La señal $g(t)$ para ser transmitida es convertida en una señal $s(t)$, la cual debe estar adaptada a las características del medio de transmisión.

En el otro extremo, el receptor recibe la señal $r(t)$, la cual podría diferir de la señal $s(t)$ y la convierte en la señal $g'(t)$, la cual es aparente para la salida. La señal $g'(t)$, o datos g' , es aproximadamente igual a la señal de entrada $g(t)$. Finalmente, el dispositivo de salida entrega el mensaje de salida m' al agente de destino. Esta simple narración implica una abundante complejidad técnica. Como por ejemplo de aplicación presentamos al correo electrónico.

En este caso, consideramos que el dispositivo de entrada y el transmisor son componentes de un computador personal. El agente es un usuario que desea enviar un mensaje a otro

usuario, por ejemplo: “La reunión programada para el 12 de enero fue cancelada” (m). Esta serie de caracteres es la información. El usuario activa el programa de correo electrónico en su computador personal e ingresa el mensaje vía teclado (dispositivo de entrada). La serie de caracteres se almacena temporalmente en la memoria principal. Se pueden considerar como una secuencia de caracteres (g) o, más literalmente, una secuencia de bits (g) en la memoria principal. El computador personal se conecta a un medio, como una red de área local o a la red telefónica, a través de un dispositivo de entrada/salida (transmisor), tal como un transceptor de la red local o un módem.

Los datos de entrada se transfieren al transmisor como una secuencia de bits [$g(t)$] o más literalmente como una secuencia de voltajes $g(t)$ sobre un bus de comunicaciones o cable. El transmisor se conecta directamente al medio y convierte a los bits entrantes $g(t)$ en una señal $s(t)$ apropiada para transmitirse. La señal $s(t)$ presentada al medio de transmisión está sujeta a diversos deterioros, antes de alcanzar el receptor. Así la señal $r(t)$ recibida podría diferir en algún grado de $s(t)$. El receptor intenta estimar la naturaleza de $s(t)$, basado en $r(t)$ y su conocimiento del medio, produciendo una secuencia de bits $g(t)$.

Estos bits se envían al computador principal, donde se almacenan temporalmente en la memoria como un bloque de bits o caracteres (g). Por su lado, el sistema del destino intentará determinar si ocurrió un error y si es así, coopera con el sistema fuente para obtener eventualmente un bloque de datos completo y libre de errores. Estos datos son presentados al usuario vía un dispositivo de salida, tal como una pantalla o una impresora. El mensaje m será visto por el usuario de destino como una copia exacta del mensaje original m .

Existe una variación que vale la pena mencionar. El agente en ambos extremos podría ser un proceso de computadora en vez de ser un usuario humano. Por ejemplo, los mensajes podrían estar guardados en un disquete o cinta para ser enviados automáticamente cuando ciertas condiciones ocurran (en la noche, cuando las tarifas telefónicas son más bajas). O un mensaje podría ser recibido cuando el usuario está disponible, siendo almacenado en disco o cinta para una recuperación posterior. Este ejemplo nos ilustra la naturaleza de las comunicaciones de datos.

En la tabla 1.1 se muestra otro enfoque adicional: las tareas claves que desarrolla un sistema de comunicación de datos. La lista es algo arbitraria; hay elementos que pueden ser mezclados, otros que pueden ser agregados, y otros representan tareas que pueden ser realizadas a diferentes niveles del sistema. Sin embargo, la lista presentada está de acuerdo al tema que tratamos.

El primer aspecto, UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN, se refiere a la necesidad de hacer un uso eficiente de las facilidades de transmisión que son típicamente compartidas entre

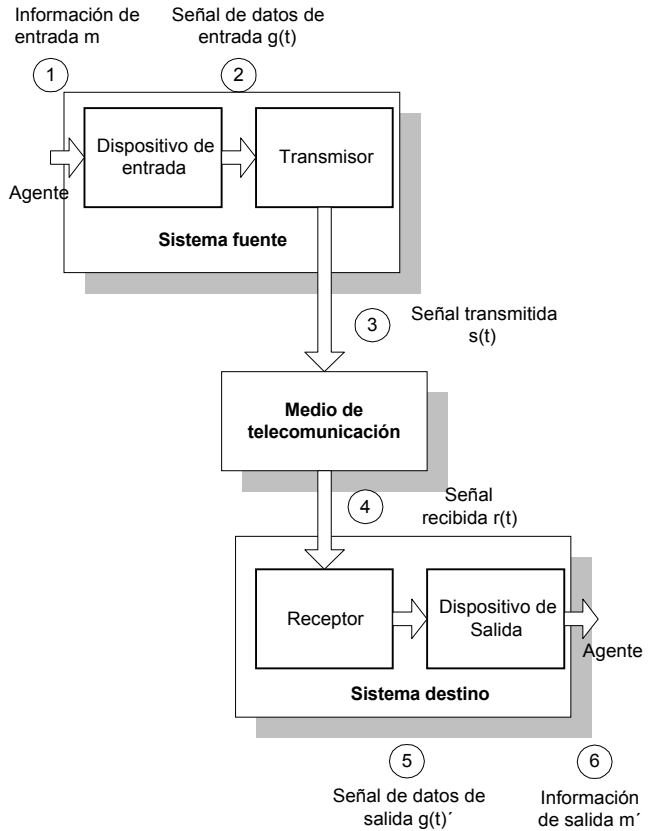


Figura 1.1 Sistema general de comunicación de datos

varios dispositivos de comunicación. Se usan varias técnicas (como multiplexaje) para asignar la capacidad total del medio de transmisión entre varios usuarios. Además se requiere varias técnicas de control de congestión para que el sistema se sobrecargue por excesiva demanda de los servicios de transmisión.

Para comunicarse, un dispositivo debe tener una INTERFACE con el sistema de transmisión. Todas las formas de comunicación discutidas en este documento dependen, en el fondo, del uso de señales electromagnéticas que se propagan sobre un medio de transmisión. Así, una vez que la interface esté establecida, se requiere de la GENERACIÓN DE SEÑALES para la comunicación. La propiedad de estas señales, tanto en forma como en intensidad, deben ser tales que ellas sean capaces de propagarse a través del medio de transmisión y de ser interpretables como datos en el receptor.

No solamente las señales generadas deben conformar los requerimientos del sistema de transmisión y del receptor, sino que también debe haber alguna forma de SINCRONIZACIÓN entre el transmisor y el receptor. El receptor debe ser capaz de determinar cuándo una señal empieza a llegar y cuándo termina. También debe saber la duración de cada elemento de señal.

Más allá de decidir sobre la naturaleza y temporización de las señales, hay una variedad de requerimientos de comunicación entre las dos partes que deben agruparse bajo el nombre de ADMINISTRACIÓN DE INTERCAMBIOS. Si los datos tienen que ser intercambiados en ambas direcciones por un periodo de tiempo, las dos partes deben cooperar. Esa administración debe incluir convenciones tales como: *a)* si ambos dispositivos podrían transmitir simultáneamente o deben hacerlo por turnos; *b)* la cantidad de datos que debe ser enviado cada vez; *c)* el formato de los datos; y *d)* qué hacer si se presentan ciertas contingencias como errores.

Para circunstancias donde los errores no pueden ser tolerados, se requiere DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES. Éste es usualmente el caso de sistemas de procesamiento de datos. Por ejemplo, en la transferencia del archivo de una computadora a otra, simplemente no es aceptable que el contenido de ese archivo sea alterado accidentalmente. Además se requiere un CONTROL DE FLUJO para que la fuente no sobrecargue el medio ni el destino al enviar datos más rápido de lo que éstos puedan ser procesados y absorbidos.

Seguidamente mencionaremos dos conceptos distintos pero relacionados: DIRECCIONAMIENTO Y ENRUTAMIENTO. Cuando más de dos dispositivos comparten un medio de transmisión, el sistema debe ser informado por la fuente de la identidad de la estación destinataria. El sistema de transmisión debe asegurar que la estación de destino, y sólo esa estación, reciba los datos. Aún más, este sistema puede ser en sí mismo una red a través de la cual se pueda escoger varias trayectorias, y de las cuales se elige una ruta específica.

Un concepto distinto al de corrección de errores es el de RECUPERACIÓN. Esta técnica es necesaria cuando un intercambio de información, tal como una transacción con una base de datos, es interrumpida por una falla en alguna parte del sistema. El objetivo de esta técnica es que el sistema pueda reasumir la actividad en el punto de la interrupción o al menos que restaure el estado de los sistemas involucrados, a la condición previa al inicio del intercambio de información.

El FORMATO DEL MENSAJE involucra un acuerdo entre ambas partes, “la forma de los datos” que van a intercambiarse. Ambas partes deben usar el mismo código binario de caracteres.

Frecuentemente, es importante proporcionar algún grado de PROTECCIÓN al sistema de comunicación de datos. El remitente de los datos desearía tener la seguridad de que sólo el destinatario recibirá sus datos y viceversa. Finalmente, un sistema de comunicación de datos es tan complejo que no puede funcionar por sí mismo. Requiere capacidades de ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA para configurarlo, supervisar su estado, reaccionar ante fallas y sobrecargas y planear in-

TAREA	
1	Utilización del sistema de transmisión
2	Interface
3	Generación de señales
4	Sincronización
5	Administración de intercambios
6	Detección y corrección de errores
7	Control de flujo
8	Direccionamiento y enrutamiento
9	Recuperación
10	Formato del mensaje
11	Protección
12	Administración del sistema

Tabla 1.1 Tareas de un sistema de comunicación de datos

teligentemente su crecimiento futuro.

De esta manera, hemos ido desde la simple idea de comunicación de datos entre fuente y destino, a un modelo de seis etapas, relacionando una lista un poco formidable de tareas de comunicaciones de datos.

1.3 REDES DE COMUNICACIÓN DE DATOS. GENERALIDADES

En su manera más simple, la comunicación de datos ocurre entre dos dispositivos directamente conectados, punto a punto, por algún medio de transmisión. Sin embargo, no es práctico conectar dos dispositivos de esta forma, debido a las siguientes causas:

- Los dispositivos pueden estar alejados uno del otro. Por ejemplo, sería muy costoso tener un enlace dedicado entre dos equipos que situados a miles de kilómetros uno del otro.
- El hecho que un conjunto de dispositivos deseen comunicarse uno con el otro en distintos momentos. Tal es el caso de los teléfonos de una red pública o las computadoras y terminales de una empresa.

La solución a estas situación, es conectar a los dispositivos vía una **red de comunicaciones**.

En la figura 1.2, se tiene una colección de dispositivos que desean comunicarse; a los cuales nos referiremos de manera genérica como **estaciones de red** o simplemente **estaciones**. Estas pueden ser computadoras, terminales, teléfonos ú otros dispositivos de comunicaciones. Cada estación se conecta a un **nodo de red**. Los nodos a los que se conectan las estaciones son la frontera de la red de comunicaciones, que transfiere datos entre ellas.

Las redes de comunicaciones se clasifican sobre la base de su arquitectura y las técnicas usadas para transferir datos. En este contexto trataremos los siguientes tipos de redes:

- Redes por conmutación
 - Redes por conmutación de circuitos
 - Redes por conmutación de paquetes
- Redes de difusión amplia (*broadcasting*)
 - Redes de área local (LANs)
 - Redes de paquetes por radio
 - Redes satelitales

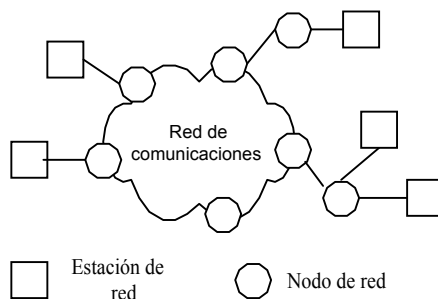


Figura 1.2 Red de comunicaciones

1.3.1 REDES POR CONMUTACIÓN

En una **red por conmutación** (figura 1.3), los datos se transfieren de una fuente a un destino por una serie de nodos intermedios. Éstos (incluyendo los nodos de frontera) no analizan el contenido de los datos; su propósito es proporcionar una facilidad de conmutación que moverá los datos de un nodo a otro hasta que alcancen su destino.

En una **red por conmutación de circuitos**, los enlaces de comunicaciones entre dos estaciones se establecen a través de los nodos de la red. Cada enlace es una secuencia de enlaces físicos entre los nodos. Sobre cada enlace, un canal lógico se dedica a la conexión. Los datos generados por una estación fuente se transmiten por el enlace dedicado tan rápido como es posible. En cada nodo, los datos entran se enrutan o conmutan al canal de salida apropiado sin retardo. La red de telefonía básica es un ejemplo común de red de conmutación de circuitos.

En una **red por conmutación de paquetes** el enfoque es totalmente distinto. En este caso, no se dedica un enlace por una trayectoria a través de la red, sino que los datos se envían en una se-

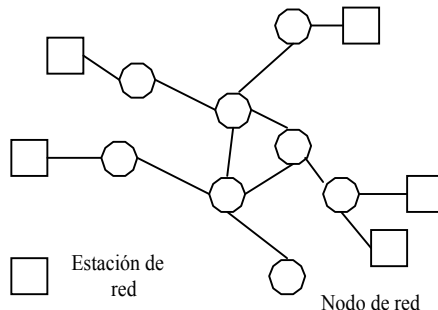


Figura 1.3 Red de conmutación

cuencia de pequeños paquetes. Cada paquete pasa de nodo en nodo por la red en una trayectoria que los lleva de la estación fuente a la estación destino. En cada nodo, el paquete entero se recibe, se almacena brevemente y luego se transmite al siguiente nodo. Las redes de conmutación de paquetes se usan para las comunicaciones entre terminales y computadoras o entre computadoras.

1.3.2 REDES DE DIFUSIÓN AMPLIA

En las **redes de difusión amplia** (*broadcasting*) –ver figura 1.4– no hay nodos de conmutación intermedios. En cada estación, un transmisor/receptor se comunica por un medio compartido por otras estaciones. Una transmisión de una estación se difunde y recibe en todas las otras estaciones. Un ejemplo simple es un sistema de comunicación de voz vía radio ciudadana, en la que todos los usuarios que sintonicen la frecuencia de cierto canal podrían comunicarse. En este caso, nos atañe una comunicación entre computadoras y terminales, en donde los datos se transmiten a menudo en paquetes. Ya que el medio se comparte, sólo una estación puede transmitir a la vez.

Las **redes de transmisión de paquetes por radio y redes satelitales** son redes similares de redes de difusión amplia (figuras 1.4a y 1.4b).

En ambos casos, las estaciones transmiten y reciben por sus antenas, y todas las estaciones comparten el mismo canal o radiofrecuencia. En una **red de transmisión de paquetes por radio**, las estaciones están dentro del rango de transmisión una de la otra y difunden directamente una hacia la otra. En la **red satelital**, los datos no pasan directo de transmisor a receptor sino que se retransmiten vía satélite; cada estación transmite hacia el satélite y recibe desde el satélite.

Las **redes de área local** (*Local Area Networks* -LAN) y las **redes de área metropolitana** (*Metropolitan Area Networks* - MAN) son dos redes típicas que trabajan en difusión amplia. Una LAN es una red de comunicaciones confinada a una área pequeña, tal como un solo edificio, local o una pequeña agrupación de edificios. Una MAN abarca una área mayor, tal como un complejo de edificios o una ciudad completa. Los dos casos más comunes de LAN y MAN se ven en las figuras 1.4c y 1.4d. En una red de topología tipo bus, todas las estaciones se conectan a un hilo o cable común. La transmisión de cualquiera de las estaciones se propaga por ese medio en ambas direcciones y la reciben todas las estaciones. La red de anillo consiste en un lazo cerrado, donde cada estación está conectada a un elemento repetidor. La transmisión de una determinada estación circula por el anillo, pasando a través de las otras para ser recibida por la estación destino.

Cada uno de estos tipos de redes, a su manera, resuelve los problemas citados al inicio de esta sección. Más adelante realizaremos una descripción detallada de cada una de ellas.

1.4 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

La transmisión a través de un enlace de datos ocurre entre un transmisor y un receptor sobre un medio de transmisión. Definimos un enlace de datos como un circuito de comunicaciones o tra-

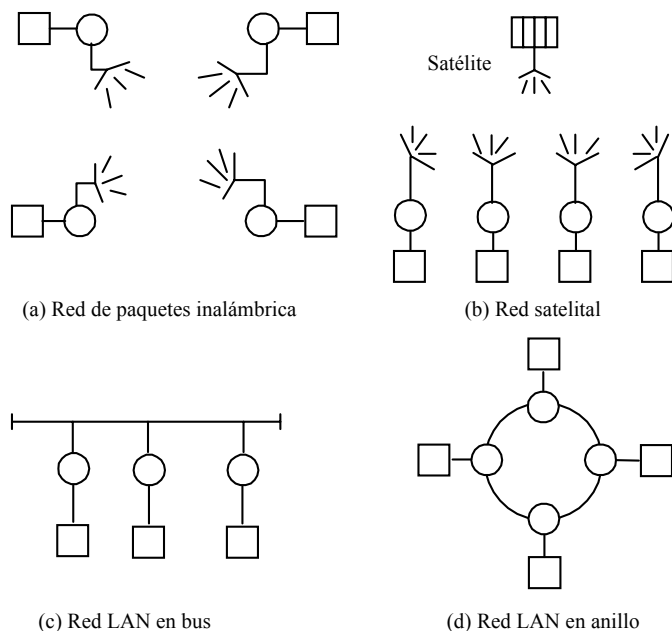


Figura 1.4 Redes de difusión amplia (*broadcasting*)

vectoria de transmisión que conecta dos puntos. Las características y la calidad de su transmisión se determinan tanto por la naturaleza del medio y la naturaleza de la señal. Para su estudio se clasificamos a los medios en dos grupos: a) Medios guiados, y b) Medios no guiados.

En ambos casos las comunicaciones toman la forma de ondas electromagnéticas. En un medio guiado las ondas son guiadas a través de una trayectoria física, tal como ocurre con los pares alámbricos trenzados, el cable coaxial y la fibra óptica. Los medios no guiados proporcionan un medio para transmitir las ondas electromagnéticas pero no las guían, sino que éstas se propagan por el aire, el vacío o el agua del mar. Son medios no guiados las microondas terrestres, las microondas satelitales y el radio.

1.4.1 MEDIOS GUIADOS

El medio en sí mismo es más importante para determinar las limitaciones de la transmisión. Entre los medios guiados tenemos: el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica. La tabla 1.2 muestra las características típicas. A continuación desarrollamos estos tres tipos de medios.

MEDIO DE TRANSMISIÓN	VELOCIDAD BINARIA	ANCHO DE BANDA	DISTANCIA ENTRE REPETIDORES
Par trenzado	4 Mbps	250 KHz	2 – 10 km
Cable coaxial	500 Mbps	350 MHz	1 - 10 km
Fibra óptica	2 Gbps	2 GHz	10 – 100 km

Tabla 1.2 Características típicas de transmisión de los medios guiados

1.4.1.1 PAR TRENZADO

a) Descripción física

Consiste en dos alambres de cobre aislados en un arreglo de patrón de espiral regular. Típicamente un conjunto de estos pares se agrupa para formar un cable multipar, dentro del cual están envueltos con una cubierta protectora gruesa.

Los hilos o alambres tienen entre 0,016 y 0,036 pulgadas (0,040 mm a 0,129 mm) de espesor, que corresponde a los calibres 26 a 16. Los calibres comunes son 19, 22, 24, y 26. Los cables se trenzan entre ellos en pares en un patrón espiral regular con 2 a 6 pulgadas por vuelta completa, para minimizar la interferencia al poner pares adyacentes en cables multipares.

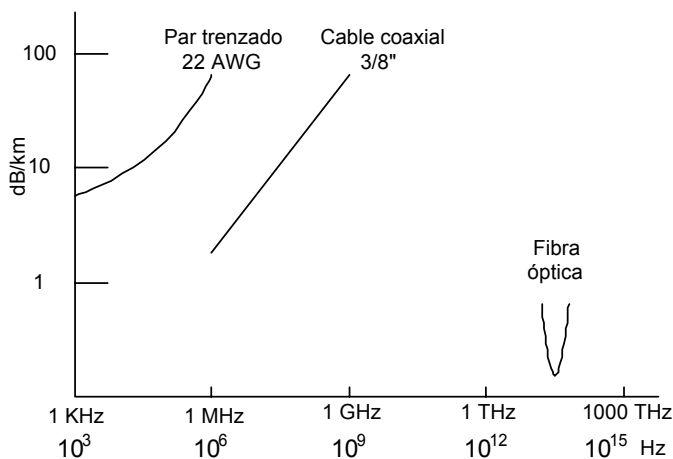


Figura 1.5 Atenuación típica de los medios guiados

b) Características de transmisión.

La figura 1.5 muestra que en estos pares la atenuación depende fuertemente de la frecuencia. Ellos pueden usarse para transmitir tanto señales analógicas como digitales.

Transmisión de señales analógicas

Para las señales de voz se puede transmitir a 6 kilómetros sin repetidores. Esto se debe a que la pérdida a nivel de voz es de 1 dB/km. Para transmitir señales analógicas punto a punto es posible utilizar un ancho de banda de hasta 1.1 MHz.

Transmisión de señales digitales

Para líneas digitales punto a punto se puede transmitir datos hasta 4 Mbps y aún más según la longitud del par. La figura 1.6 muestra la velocidad de datos versus la distancia de un par balanceado según la norma EIA-RS422. Es susceptible al ruido y a la interferencia por su fácil acoplamiento a las cargas electromagnéticas. El ruido impulsivo se introduce fácil en él. Por ejemplo, un par tendido en paralelo a una línea de energía de 60 Hz será fácilmente inducido, por lo que debe

protegerse con un enmallado o cobertura metálica. El entrelazado reduce la interferencia a bajas frecuencias. Usar diferentes longitudes de entrelazado entre pares reduce la diafonía (*crosstalk*).

c) Aplicaciones

Es el medio más utilizado para emitir tanto señales análogas como digitales. Es la pieza principal del sistema telefónico (*backbone*) y el lazo (*loop*) del abonado telefónico. También se usa como cable de trabajo para las comunicaciones dentro de los edificios y entre ellos. Los pares alámbricos se

usan más en la transmisión analógica de voz. Aunque el rango de las frecuencias componentes de la voz humana está entre 20 Hz y 20 KHz, sólo se requiere un ancho de banda normalizado de 300 a 3400 Hz para transmitir voz inteligible.

También se puede enviar datos digitales a distancias moderadas. Para enlaces locales se requiere típicamente un módem con una velocidad de 28,8 Kbps. Es posible transmitir señalización en banda base o digital. Por ejemplo es factible transmitir un circuito T1 (USA) con 24 canales PCM de voz que forman un agregado de 1.544 Mbps o un circuito E1 (ITU-T) con 30 canales PCM de voz formando un enlace de 2.048 Mbps. Además sirven para implementar redes de computadoras de bajo costo dentro de un edificio.

1.4.1.2 CABLE COAXIAL

a) Descripción física

El cable coaxial (figura 1.7) consiste en dos conductores, pero construido distinto al par trenzado y tiene un rango más amplio de frecuencias. Es un conductor cilíndrico exterior hueco, que rodea a un conductor de un solo hilo interior. El conductor interior puede ser sólido o de múltiples hilos y es mantenido en su lugar sea por anillos aislantes regularmente espaciados o por un material dieléctrico sólido. El conductor exterior puede ser sólido o trenzado y está cubierto con una cubierta o camisa. Un cable coaxial tiene un diámetro de 0,4 a 1 pulgada. Los dos cables coaxiales actualmente usados son los cables de 50 y 75 ohmios.

b) Características de Transmisión

Se pueden transmitir señales analógicas o digitales. Los sistemas de larga distancia pueden ser analógicos o digitales. El cable de 50 ohmios es usado exclusivamente para transmisión digital (en banda base) para lo cual se usa la codificación en banda base Manchester. Se llegan a velocidades de más de 10 Mbps. Para estas señales se requiere repetidores cada kilómetro aproximadamente; con un espaciamiento más cercano para velocidades más altas. Sobre sistemas experimentales se logran velocidades hasta de 800 Mbps a un espaciamiento de 1,6 Km.

El cable de 75 ohmios se usa tanto para transmisión analógica como digital. Para transmisión analógica se llega a un rango de frecuencias de 300 a 400 MHz. En CATV los canales de tele-

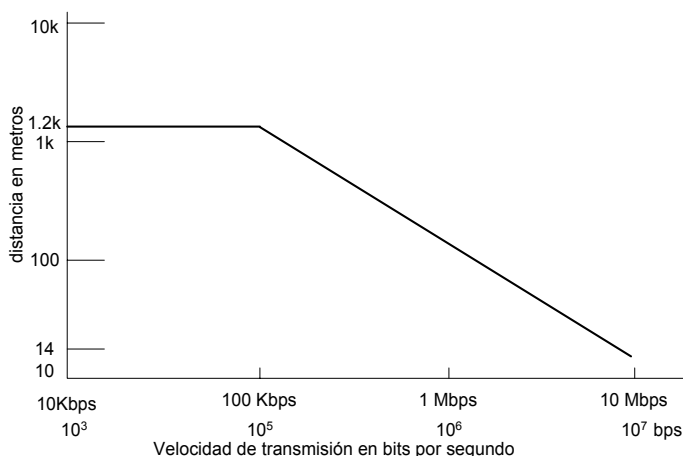


Figura 1.6 Longitud de un par trenzado vs. su velocidad de transmisión en una configuración balanceada RS422

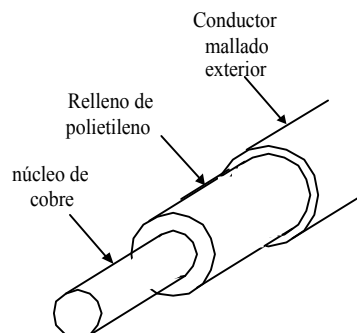


Figura 1.7 Construcción del cable coaxial

visión son ubicados en un ancho de banda de 6 MHz. El cable de 75 ohm se usa en sistemas de televisión por cable o CATV (*Community Antenna TeleVision*). En este caso se transmite señales analógicas en multiplexaje por división de frecuencias, llamada **transmisión en banda ancha**. También se puede transmitir digitalmente en alta velocidad modulando señales analógicas, en este caso se conoce como **banda ancha de un solo canal**.

El cable coaxial tiene una característica de respuesta en frecuencia superior al par trenzado, y de aquí que se le emplea para transportar frecuencias más altas y velocidades de datos mayores. Debido a su construcción concéntrica y con protección, es menos susceptible a la interferencia y a la diafonía que el par trenzado. Las principales limitaciones en su comportamiento son la atenuación, el ruido térmico y el ruido de intermodulación. Este último está presente sólo cuando se transmiten varios canales FDM o varias bandas de frecuencias.

Para lograr una adecuada calidad de señal, se debe mantener una determinada relación S/N. El ingeniero tiene 2 variables de compromiso: a) la potencia de señal y b) espaciamiento de amplificadores. La relación S/N puede elevarse colocando los amplificadores más cerca entre sí para amplificar la señal con más frecuencia. Por otro lado, distanciar los amplificadores entre sí reduce los costos. Sin embargo, esto servirá sólo en la región de operación donde el ruido dominante sea el térmico, el cual es relativamente constante independientemente de la señal. Además cuando un determinado número de señales en anchos de banda adyacentes son transportados por el cable, el ruido de intermodulación aumenta conforme se incrementa la potencia de la señal.

Para transmisión a larga distancia de señales analógicas se requiere amplificadores situados a pocos kilómetros entre sí, con un espaciamiento aún más cercano cuando se transmitan frecuencias más altas. El ancho de banda utilizable se extiende hasta 400 MHz. La inmunidad al ruido de los cables coaxiales depende de la aplicación y la forma como sean instalados, siendo en general superior a la de los pares trenzados para altas frecuencias.

c) Aplicaciones

Es el medio más versátil y se usa como *backbone* de redes LAN en telefonía de larga distancia y en distribución de televisión. Usa la técnica de multiplexaje por división de frecuencia (FDM) y puede transportar más de 10.000 canales de voz simultáneamente.

1.4.1.3 FIBRA ÓPTICA

a) Descripción física

Una fibra óptica es un medio de transmisión, de vidrio o plástico, delgado y flexible (2 a 125 μm) capaz de conducir un rayo óptico. En la figura 1.8 se muestra un cable de fibra óptica; tiene forma cilíndrica y consta de tres secciones concéntricas: núcleo (*core*), recubrimiento (*cladding*) y revestimiento (*jacket*). El **núcleo**, que es la parte más interna, consiste en uno o más hilos muy delgados (o fibras) hechos de vidrio o plástico. Cada fibra es cubierta por un **recubrimiento**, de vidrio o plástico también, pero con propiedades ópticas diferentes a las del núcleo. La capa externa llamada **revestimiento** se fabrica de plástico y otros materiales para protegerlas de la humedad, abrasión, ruptura y del ambiente.

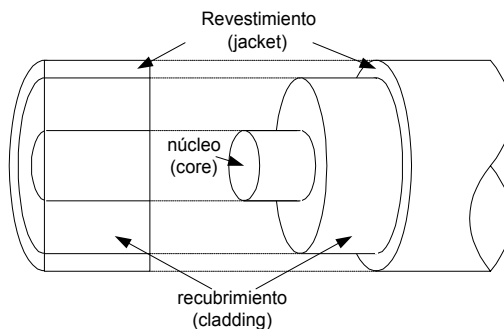


Figura 1.8 Conductor de fibra óptica

La capa externa llamada **revestimiento** se fabrica de plástico y otros materiales para protegerlas de la humedad, abrasión, ruptura y del ambiente.

b) Características de Transmisión

Las siguientes características son ventajas sobre el par trenzado y el cable coaxial:

- Mayor ancho de banda:** 2 Gbps sobre decenas de kilómetros. Este valor es mucho mayor que los cientos de Mbps/Km para el cable coaxial y los pocos Mbps/Km para el par trenzado.
- Menor tamaño y peso:** Son mucho más delgadas que el cable coaxial o los cables multipares pares trenzados. Se instalan en las canaletas dentro de los edificios y subterráneamente también con la ventaja de su menor tamaño. Su menor peso reduce los requerimientos de soporte.

- c) Menor atenuación (0.2 dB/km.): Su atenuación es significativamente menor que la del cable coaxial o par trenzado, y es constante sobre un amplio rango.
- d) Aislamiento electromagnético: Los campos electromagnéticos externos no afectan a la fibra óptica, siendo invulnerable a interferencias, ruido impulsivo, o diafonía. Además, al no irradiar energía no interfieren con otros equipos y proporcionan un alto grado de seguridad contra la intrusión (monitorización) pues le es inherente la dificultad de ser interceptada.
- e) Mayor espaciamiento entre repetidores (60 - 100 kilómetros): El costo de un sistema disminuye pues tiene menos repetidores.
- f) Baja tasa de probabilidad de errores: Tiene un BER mínimo de 3×10^{-10} al tener menos repetidores y así menos fuentes de error.

La fibra óptica permite transmitir un rayo de luz codificado por una señal mediante una reflexión interna total. La reflexión total ocurre en un medio transparente con un índice de refracción superior al del medio que lo rodea. Así, la fibra óptica actúa como una guía de ondas para frecuencias en el rango de 10^{14} a 10^{15} Hz, que cubre el espectro visible y parte del infrarrojo.

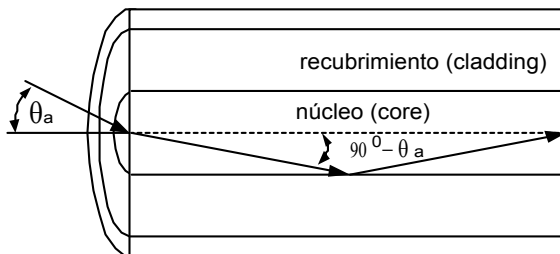


Figura 1.9 Principio de transmisión por fibra óptica

La figura 1.9 muestra el principio de la transmisión por fibra óptica. La luz de la fuente ingresa por el núcleo de vidrio. Los rayos en ángulos bajos son reflejados y propagados a través de la fibra, mientras que otros rayos son absorbidos por el recubrimiento (*cladding*) que rodea al núcleo. Esta forma de propagación se llama **en multimodo** por la variedad de ángulos que refleja. Si reducimos el radio del núcleo, se reflejan pocos haces de luz; y si reducimos el radio al orden de la longitud de onda, sólo pasará un ángulo o modo. Este modo de propagación se llama **monomodo** (ver figura 1.10c).

La propagación en monomodo brinda performance superior a la multimodo por lo siguiente: Con la transmisión multimodo hay múltiples trayectorias de transmisión, cada una con longitud y tiempo diferentes para atravesar la fibra. Por ello, los elementos de la señal se dispersan en tiempo y limitan la velocidad en que puedan recibirse los datos con exactitud. La propagación multimodo también se conoce como propagación **multimodo de índice escalonado** o *step index* (ver figura 1.10a). En cambio, en la transmisión monomodo, con un solo modo de transmisión tal distorsión no ocurre.

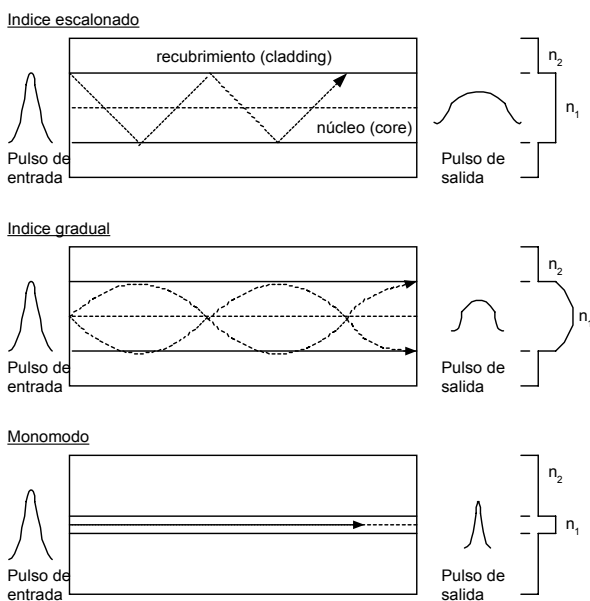


Figura 1.10 Fibras de índice escalonado, gradual y monomodo

Finalmente, variando el índice de refracción del núcleo, surge un tercer modo de transmisión llamado **multimodo de índice gradual** (ver figura 1.10b), intermedia entre los dos modos anteriores. La refracción variable enfoca los rayos con más eficiencia que la propagación multimodo. La tabla 1.3 compara los tres tipos de modos de transmisión por fibra. Como se aprecia, se puede alcanzar capacidades mayores que las del cable coaxial o del par trenzado.

Para transmitir señales luminosas los sistemas de fibra óptica utilizan dos tipos de fuentes de luz: *a)* Diodo emisor de luz (LED - *Light Emitting Diode*) y *b)* Diodo láser (LD - *LASER Diode*).

	MULTIMODO DE ÍNDICE DE PASO	MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL	MONOMODO
Fuente luminosa	LED o Láser	LED o Láser	Láser
Ancho de banda	Amplio (hasta 0.2 GHz/km)	Muy amplio (0.2 a 3 GHz/Km)	Extremadamente amplio (3 - 50 GHz/Km)
Empalme (<i>splicing</i>)	Difícil	Difícil	Difícil
Aplicación típica	Enlaces entre computadoras	Troncales telefónicas de longitud moderada	Enlaces de telecomunicaciones
Costo	Menos costos	Más costoso	El más costoso
Diámetro del núcleo	50 a 125 μm	50 a 125 μm	2 a 78 μm
Diámetro del recubrimiento	125 a 440 μm	125 a 440 μm	15 a 60 μm

Tabla 1.3 Comparación de los tres tipos de fibra óptica

El LED es un semiconductor que emite luz cuando se le aplica electricidad. El diodo láser (LD) es un semiconductor que trabaja con el principio del láser en el cual los efectos de electrónica cuántica son estimulados para producir un haz superradiante de ancho de banda angosto. El LED es más económico y opera sobre un rango mayor de temperatura y tiene mayor vida útil. El diodo láser es más costoso y más eficiente y provee mayores velocidades de datos. En la recepción se usa un detector que convierte la luz en energía eléctrica. Para tal efecto se usan dos tipos de fotodiodo: *a)* Detector PIN (juntura PN intrínseca) y *b)* APD, Fotodiodo de avalancha.

El fotodiodo PIN tiene un segmento de silicio intrínseco (I) entre las capas P y N de un diodo. El diodo de avalancha es similar en apariencia pero usa un campo eléctrico mayor. Ambos son básicamente contadores de fotones. El PIN es menos costoso y menos sensitivo que el APD.

Para transmitir datos digitales sobre fibra óptica se usa una técnica de desplazamiento de amplitud (ASK), la cual en este contexto es conocida como modulación de intensidad. Para los transmisores LED, los dígitos **1** binarios son representados por cortos pulsos de luz y los dígitos **0** binarios, por ausencia de luz. Los transmisores láser tienen normalmente una corriente de polarización fija que hace que el dispositivo emita un bajo nivel de luz. Este bajo nivel representa un **0** binario, mientras una mayor amplitud de luz representa un **1** binario.

Hay una estrecha relación entre la longitud de onda empleada, el tipo de transmisión y la velocidad de datos lograda. Ambos, la fibra multimodo y la fibra monomodo, pueden soportar diferentes longitudes de onda y emplear diodo láser o LED. En la fibra óptica de vidrio, la luz se propaga mejor en tres distintas longitudes de onda “ventanas”, centradas en 850, 1300 y 1500 nanómetros (μm). Todas las ventanas están en la porción infrarroja del espectro de frecuencias, debajo de la porción de luz visible, la cual se ubica entre 400 y 700 μm .

En cuanto a la atenuación producida por la fibra, las menores pérdidas se logran usando fibras de sílice ultrapuro fundido, de difícil fabricación. Por esto se prefiere usar fibras de vidrio de multicomponentes, más económicas y de buena performance. La fibra plástica es aún más económica y pese a tener grandes pérdidas, se usa para enlaces cortos. Estas pérdidas se muestran en la tabla 1.4 para los tres tipos de fibra en sus tres ventanas.

MODOS	MATERIAL NÚCLEO / RECUBRIMIENTO	850 μm	1300 μm	1500 μm
Monomodo	Vidrio: sílice/sílice	2	0,5	0,2
Multimodo (índice escalón)	Vidrio: sílice/sílice	2	0,5	0,2
Multimodo (índice escalón)	vidrio sílice/plástico	2,5	grande	grande
Multimodo (índice escalón)	Vidrio: multicompuesto/multicompuesto	3,4	grande	grande
Multimodo (índice gradual)	Vidrio: sílice/sílice	2	0,5	0,2
Multimodo (índice gradual)	Vidrio: multicompuesto/multicompuesto	3,5	grande	grande

Tabla 1.4 Pérdidas de transmisión de los tres tipos de fibra en dB/Km

c) Aplicaciones

Actualmente la fibra óptica goza de considerable aplicación en las telecomunicaciones de larga distancia y su uso en aplicaciones militares esta creciendo. Las continuas mejoras en su perfor-

mance y disminución de precios, conjuntamente con sus ventajas inherentes, resultará en nuevas áreas de aplicación tal como las redes de área local y distribución de video en corta distancia. El uso más común de la fibra óptica es el enlace punto a punto, el cual puede soportar muchas bajadas tanto con cables trenzados o coaxiales.

1.4.1.4 Medios No Guiados

Entre estos medios tenemos a las microondas terrestres, las microondas satelitales y el radio. Para estos medios, a diferencia de los medios guiados, el ancho de banda de la señal producida por la antena transmisora, es más importante que el medio para determinar sus características de transmisión. De aquí, cuanto más alta sea la frecuencia central de la señal, mayor es el ancho de banda potencial y consecuentemente mayor la velocidad de transmisión digital.

Otra propiedad de las señales transmitidas por antenas es la direccionalidad. En general a más bajas frecuencias, las señales son omnidireccionales y a más altas frecuencias, es posible enfocar la señal en un rayo direccional. Hay 2 rangos de frecuencia que interesan en nuestra tema:

- a) Las frecuencias de microondas de un rango de 2 a 40 GHz. A estas frecuencias son posibles rayos altamente directivos y fácilmente adaptables para transmisiones punto a punto.
- b) Las frecuencias de rango de 30 MHz a 1 GHz se utilizan para transmisión omnidireccional y son adecuadas para radiodifusión

Seguidamente los examinamos su descripción física, características de transmisión y aplicaciones.

1.4.1.5 MICROONDAS TERRESTRES

a) Descripción física

La mayoría de sistemas de microondas usados para enlaces full duplex son sistemas digitales. Muchos radioenlaces de microondas analógicas estas siendo reemplazadas por radio-enlaces digitales. Definamos que es radio digital.

Un radio digital, en nuestro contexto, es definido como un equipo de radio en el cual una o más propiedades (amplitud, frecuencia y fase) de la señal de radiofrecuencia está cuantificada por una señal moduladora. La palabra digital implica un conjunto discreto de niveles de amplitud, frecuencias o fases como resultado de la señal moduladora. Asumamos que la señal moduladora es un tren serial de bits síncrono. Para un determinado sistema la información de este tren de bits puede ser PCM u otra forma de información serial de datos.

Sin embargo, no debemos perder de vista los aspectos del sistema de radio digital. Un transmisor de radio digital debe trabajar con el receptor del lado remoto para conformar un enlace. Puede haber varios enlaces con repetidores y para su apropiado funcionamiento se debe tener en cuenta la temporización, la tasa de errores (*Bit Error Rate* – BER), los códigos, y la justificación (bits de relleno y bits deslizados).

Acerca de la capacidad de los sistemas, el CCIR en su norma Rep. 378-5; Ref. 3, define:

- Sistemas de baja capacidad con velocidades hasta de 10 Mbps.
- Sistemas de capacidad mediana con velocidades de más de 10 Mbps hasta 100 Mbps.
- Sistemas de gran capacidad con velocidades mayores de 100 Mbps.

b) Características de transmisión

Existen tres técnicas de modulación genéricas: modulación de amplitud (*Amplitude Modulation* – AM), modulación de frecuencia (*Frequency Modulation* – FM) y modulación en fase (*Phase Modulation* – PM). La terminología de la industria a menudo añade las letras “SK” a la primera letra del tipo de modulación, tal como ASK que significa *Amplitude Shift Keying*; FSK como *Frequency Shift Keying* y PSK como *Phase Shift Keying*.

Cualquiera de las tres técnicas básicas de modulación pueden ser de dos niveles o multinivel. Para el caso de dos niveles, un estado representa el binario “1” y el otro estado el binario “0”. Para los sistemas multinivel o M-ary, hay más de dos niveles o estados, usualmente múltiplos de 2, con pocas excepciones tal como sistemas de respuesta parcial, por ejemplo el duobinario.

Los sistemas de cuatro niveles son muy comunes, tal como el QPSK. En este caso, cada nivel o estado representa dos bits de información o dos símbolos codificados. Para sistemas de 8 niveles, tal como el FSK 8-ary o PSK 8-ary, se transmiten 3 bits por cada transición o cambio de estado y para el sistema de 16 niveles (16-ary) se transmiten 4 bits por cada cambio de estado o transición. En los sistemas M-ary se requiere alguna forma de codificación previa a la modulación y la respectiva decodificación después de la demodulación para recuperar el tren original de bits. En la figura 1.11 se presenta un modulador QPSK típico.

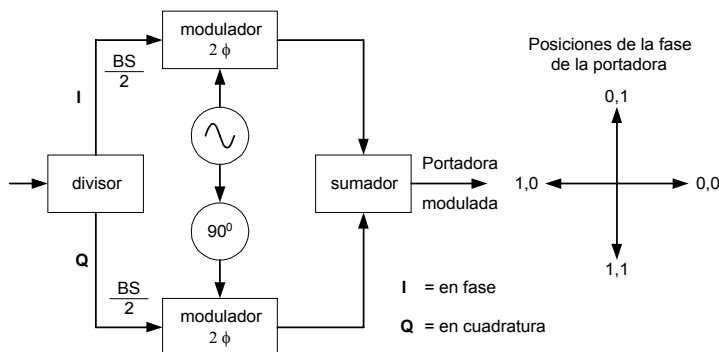


Figura 1.11 Modulador QPSK (4-ary PSK)

c) Aplicaciones

Los enlaces de radio digital para portadoras (administraciones de telecomunicaciones) o portadores especializados tienen las siguientes aplicaciones:

- Troncales locales digitales en particular interconectando centrales digitales.
- Rutas de alto tráfico conectado centrales en áreas locales.
- Para expandir una ruta de un cable de frecuencia vocal donde un radioenlace digital es más económico que expandir las facilidades de planta externa tanto con PCM o agregando cables de pares metálicos.
- Todas la redes digitales planificadas hasta 15 años, donde se comprueba que un radioenlace digital es más económico que los cables metálicos o de fibra óptica.
- Redes militares donde es más fácil implementar servicios de encriptación.
- Redes de datos privadas sean bancarias, comerciales e institucionales.

1.4.1.6 MICROONDAS SATELITALES

a) Descripción Física

Un satélite de comunicaciones es una estación repetidora de microondas. Esencialmente, un satélite es un repetidor de radio en el cielo (*transponder*).

El satélite enlaza dos o más transmisores / receptores de microondas, conocidos como estaciones terrenas. El satélite recibe las transmisiones sobre una banda de frecuencias (segmento de subida - *Uplink*), amplifica (transmisiones analógicas) o repite (transmisiones digitales) la señal, y la retransmite en otra frecuencia (segmento de bajada - *Downlink*). Un solo sistema operará en un determinado número de bandas de frecuencias, llamados canales transpondedores o simplemente *transponders*.

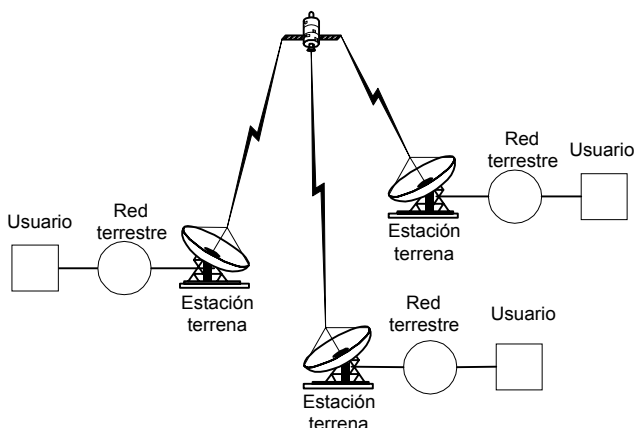


Figura 1.12 Un sistema satelital básico

Un sistema satelital, que se muestra en la figura 1.12, consta de un *transponder*, una estación terrena para controlar su operación y una red de estaciones terrenas usuarias que brindan

las facilidades para la transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones.

En la figura 1.13 se presenta en mayor detalle un enlace con las estaciones terrenas. Las transmisiones vía satélite se categorizan tanto como de bus o de carga pagada (*payload*). Las transmisiones de bus incluyen mecanismos de control que soportan la operación de la carga pagada. La carga pagada o *payload* consiste en la información del usuario que se transporta a través del sistema. Aunque recientemente nuevos servicios de datos y radiodifusión de televisión tienen más demanda, la transmisión de señales telefónicas convencionales (análoga o digital) aún forman la mayor parte de la carga pagada del satélite.

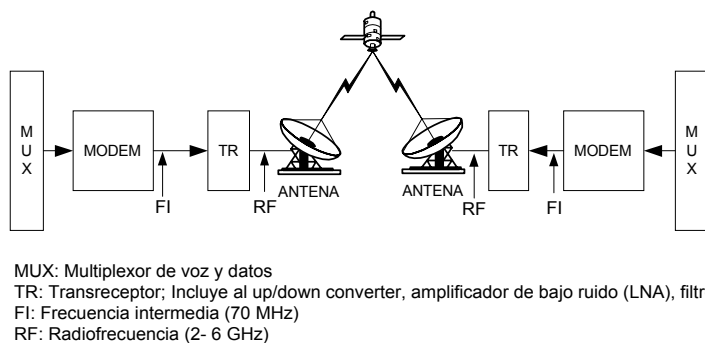


Figura 1.13 Estaciones terrenas satelitales

El tipo más simple de satélite es el **reflector pasivo**, un dispositivo que simplemente “rebota” una señal de un lugar a otro. La luna es un satélite natural de la tierra. Consecuentemente, alrededor de 1950, llegó a ser el primer *transponder*. Para que un satélite funcione efectivamente, se requiere que permanezca estacionario con respecto a su posición sobre la tierra. De otra manera no se mantendría en la línea de vista de las estaciones terrenas todo el tiempo.

Los satélites geostacionarios o geosíncronicos son satélites que orbitan en un patrón circular con una velocidad angular igual a la de la tierra. Para tal fin debe tener un periodo de rotación igual al de la tierra, lo que se logra a una altura de 35.784 Km (36.000 Km). A esta órbita se denomina órbita geoestacionaria.

Consecuentemente, ellos permanecen en una posición fija con respecto a un punto determinado de la tierra. Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones dentro de su **sombra**, el cien por ciento del tiempo. La sombra de un satélite incluye todas las estaciones terrenas que tienen una trayectoria de línea de vista hacia éste y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja obvia es que requieren pesados y sofisticados dispositivos de propulsión a bordo para mantenerlos en una órbita fija, siendo su tiempo orbital de 24 horas, el mismo de la tierra.

El satélite recibe transmisiones en una banda de frecuencia (segmento especial de subida – *Uplink*), amplifica (transmisión analógica) o repite (transmisión digital) la señal y transmite en otra frecuencia (segmento espacial de bajada – *Downlink*). Un satélite único puede operar sobre un determinado número de bandas de frecuencias, llamados *transponders*.

b) Características de Transmisión

El rango óptimo para transmisión satelital es de 1 a 10 GHz. A menos de 1 GHz hay ruido significativo de fuentes naturales como el ruido galáctico, solar, atmosférico y el causado por el hombre. A más de 10 GHz la absorción atmosférica y precipitaciones pluviales atenúan mucho la señal.

La mayor parte de satélites que brindan servicio punto a punto usan un ancho de banda en el rango de 5,925 a 6,425 GHz para el segmento de subida (*uplink*) y en el rango de 3,7 a 4,2 GHz para el segmento de bajada (*downlink*). A esta combinación de frecuencias se le conoce como la banda 4/6 GHz. Como ésta, a la fecha, está un poco saturada, se ha desarrollado la banda de 12/14 GHz (segmento de subida: 14 a 14,5 GHz y segmento de bajada de 11,7 a 12,2 GHz). A estas frecuencias los problemas de atenuación han sido superados y se usan estaciones terrenas más pequeñas y económicas. Se anticipa que esta banda se saturará pronto por lo cual se ha proyectado la banda de 19/29 GHz (segmento de subida: 27,5 a 31 GHz y segmento de bajada de 17,7 a 21,2 GHz). Esta banda tiene una atenuación más severa, pero permite mayor ancho de banda (2500

MHz versus 500 MHz) y utiliza receptores aun más pequeños.

Debe destacarse ciertas peculiaridades de las comunicaciones satelitales. En primer lugar, el retardo de propagación de la transmisión de una estación a la recepción en otra estación es de 240 a 300 milisegundos. Este retardo, perceptible en las conversaciones telefónicas ordinarias, introduce problemas en el control de errores y control de flujo de las comunicaciones de datos.

En segundo lugar, las comunicaciones satelitales son un medio inherente de difusión amplia, es decir que muchas estaciones pueden transmitir al satélite y muchas estaciones pueden recibir desde el satélite. Los primeros satélites eran del tipo **activo** y del tipo **pasivo**.

- Un satélite **pasivo** es aquél que simplemente refleja la señal de regreso a tierra. No hay dispositivos de ganancia a bordo para amplificar o repetir la señal.
- Un satélite **activo** es aquél que retransmite electrónicamente una señal hacia la tierra, es decir, recepciona, amplifica y retransmite la señal.

Una ventaja de los **satélites pasivos** es que no requieren equipo electrónico sofisticado, aunque no dejan necesariamente de usar energía. Algunos tienen un transmisor de radio *beacon* para su rastreo (*tracking*). Un *beacon* es una portadora no modulada transmitida continuamente para que la estación terrena se sincronice con ella y para alinear a sus antenas o para determinar la localización exacta del satélite. Una desventaja de los satélites pasivos es el uso ineficiente de la potencia transmitida. Las frecuencias usadas por los satélites se subdividen según la tabla 1.5.

BANDA DE FRECUENCIA	RANGO (GHZ)	BANDA DE FRECUENCIA	RANGO (GHZ)
L	1 – 2	Ku	12 – 18
S	2 – 4	K	18 – 27
C	4 – 8	Ka	27 – 40
X	8 – 12	Milimétrica	40 – 300

Tabla 1.5 Espectro de frecuencia de satélites

c) Aplicaciones

Los satélites de comunicaciones sirven para transmitir teléfono, telex, y televisión sobre grandes distancias y es el medio óptimo para los troncales de alto uso internacional. Compite con las microondas terrestres y el cable coaxial para muchos enlaces de larga distancia entre los países. Actualmente hay más de 80 satélites de comunicaciones en órbita (1988). Ellos proporcionan circuitos telefónicos y de datos portadores fijos, televisión por cable punto a punto (CATV); distribución de televisión, radiodifusión de música, servicio celular móvil, y redes privadas para corporaciones, agencias gubernamentales y aplicaciones militares. La red satelital global comercial INTELSAT (*International Telecommunications Satellite Organization*) es propiedad de un consorcio de más de 100 países y brinda servicios de alta calidad a sus miembros.

Además del servicio fijo, los servicios prestados por los satélites son (Tabla 1.6):

Móvil	Exploración terrestre	Radionavegación aeronáutica	Señales de tiempo
Tierra móvil	Investigación espacial	Radionavegación marítima	Radiodifusión
Marítimo móvil	Operaciones espaciales	Frecuencia normalizada	Radiodeterminación

Tabla 1.6 Servicios prestados por los satélites

1.4.1.7 RADIO

a) Descripción física

La diferencia principal entre el radio y las microondas es que el radio es generalmente omnidireccional y las microondas son muy focalizadas. No requiere antenas tipo disco. Además las frecuencias utilizadas son de diferente rango tal como se presenta en la tabla 1.7.

b) Características de Transmisión

El rango de 30 MHz a 1 GHz es muy útil para las comunicaciones de radiodifusión. Las ondas radiales son menos sensibles a la atenuación de la lluvia que las señales de microondas. Sin embargo, para transmisión de datos tienen la desventaja de su baja velocidad (en Kbps en vez de Mbps). Una causa principal de deterioro de las ondas de radio es la interferencia de trayectorias múltiples. Éstas son creadas por las reflexiones de la tierra, agua u objetos naturales o hechos por el hombre.

Este efecto es evidente cuando la recepción de un televisor muestra muchas imágenes conforme transcurre el paso de un avión.

El primer uso de la radio en transmisión de datos fue en una transmisión en *broadcasting* en el sistema ALOHA en Hawai. Se empleaban 2 bandas de frecuencias. Una banda a 407,35 MHz para transmisión de los terminales al controlador central y otro rango de 413,475 MHz en el otro sentido. El ancho de banda para ambos canales tenía 100 KHz con una velocidad de transmisión de 9600 bps. La transmisión era una corta ráfaga de paquetes. El rango punto a punto es de 30 kilómetros y con repetidores se llega a 500 kilómetros.

c) Aplicaciones

Lo utilizamos en el rango más restringido para cubrir VHF y parte de UHF (30 MHz a 1 GHz) el que cubre radio FM y TV de VHF y UHF. Otro uso conocido, es el *Packet radio*, el que usa antenas terrenas para enlazar muchos sitios en una red de datos.

Banda de frecuencia	Nombre	DATOS ANALÓGICOS		DATOS DIGITALES		Aplicaciones principales
		Modulación	Ancho de banda	Modulación	Velocidades transmisión	
30 - 300 KHz	Low Frequency LF (Baja Frecuencia)	Generalmente no práctica		ASK FSK MSK	0,1 - 100 bps	Navegación
300 - 3000 KHz	Medium Frequency MF (Frecuencia Media)	AM	Hasta 4 KHz	ASK FSK MSK	10 - 1000 bps	Radio AM comercial
3 - 30 MHz	High Frequency HF (Alta Frecuencia)	AM SSB	Hasta 4 KHz	ASK FSK MSK	10 - 3000 bps	Radio de onda corta y Banda Ciudadana
30 - 300 MHz	Very High Frequency VHF (Muy Alta Frecuencia)	AM SSB FM	5 KHz a 5 MHz	FSK PSK	Hasta 100 Kbps	Televisión VHF Radio FM
300 - 3000 MHz	Ultra High Frequency UHF (Frecuencia Ultra Alta)	FM SSB	Hasta 20 MHz	PSK	Hasta 10 Mbps	Televisión UHF Microondas terrestres
3 - 30 GHz	Super High Frequency SHF (Super Alta Frecuencia)	FM	Hasta 500 KHz	PSK	Hasta 100 Mbps	Microondas terrestres y satelitales
30 - 300 GHz	Extreme High Frequency EHF (Frecuencia Extremadamente Alta)	FM	Hasta 1 GHz	PSK	Hasta 750 Mbps	Punto a punto experimental

Tabla 1.7 Asignación de frecuencias de radio.

ANEXO A

APLICACIONES DE LAS TAREAS DEL MODELO GENERALIZADO DE COMUNICACIÓN DE DATOS

A continuación desarrollamos ejemplos aplicativos de las 12 tareas presentadas en la tabla 1.1

USO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Todo medio de telecomunicaciones es costoso, más aun cuanto mayor sea la distancia que cubre. Por lo cual se debe tratar de utilizar al máximo su ancho de banda, para transmitir todo tipo de información sea en forma de datos, voz y video. Para tal efecto se puede emplear multiplexores TDM o estadísticos tal como se muestra en la figura A.1.

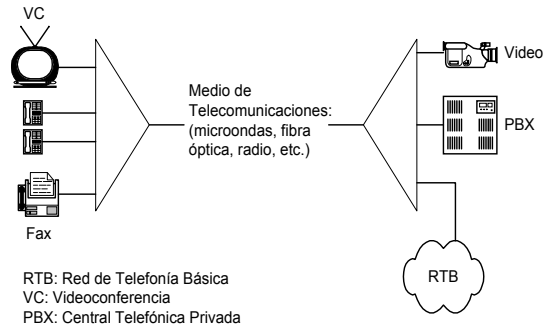


Figura A.1 Multiplexores estadísticos optimizando la utilización de un medio de comunicaciones

INTERFACE

Los equipos informáticos y de telecomunicaciones requieren interfaces compatibles para interconectarse y comunicarse entre ellos y con sus ambientes respectivos (informático y de telecomunicaciones). Tal es el ejemplo que presentamos en la figura A.2, en donde se muestran las interfaces de interconexión entre módems y computadores en un enlace punto a punto.

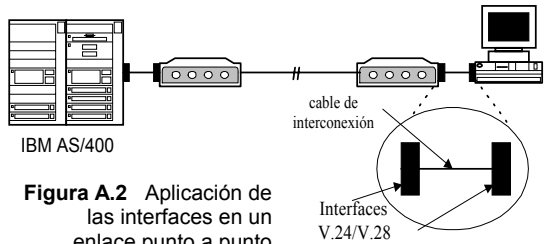


Figura A.2 Aplicación de las interfaces en un enlace punto a punto

GENERACIÓN DE SEÑALES

Los sistemas informáticos no están adaptados para comunicarse directamente con los medios de telecomunicaciones, por lo cual se debe tener dispositivos que generen señales analógicas o codificadas digitalmente para adaptar los bits a estos medios. La figura A.3 presenta el proceso por el cual un módem convierte los bits en señales moduladas en frecuencia.

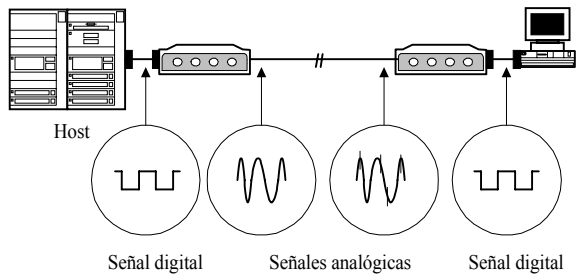


Figura A.3 Módem convirtiendo señales digitales en señales analógicas y viceversa

SINCRONIZACIÓN

Este proceso permite al receptor determinar el inicio de un carácter o una secuencia de bytes. Como ejemplo mostramos el caso de una comunicación usando el protocolo HDLC. En la figura A.4 se determina el inicio de la trama con un *flag* de inicio y su término con un *flag* de final.

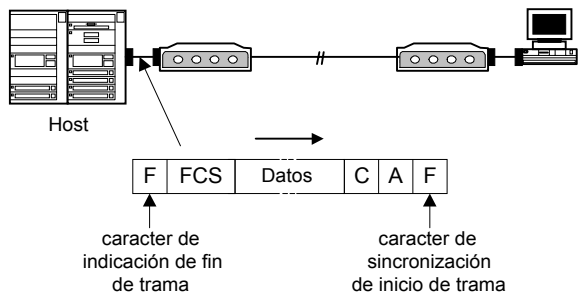


Figura A.4 Ejemplo de sincronización de protocolo HDLC

ADMINISTRACIÓN DE INTERCAMBIO DE SEÑALES

Para que un módem pueda transmitir las señales de un computador debe coordinar las acciones que debe llevar a cabo en el momento adecuado, lo cual requiere intercambiar señales de control. Ver la figura A.5.

DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES

En todo medio de telecomunicaciones existe ruido, tanto del tipo intrínseco (es decir, ruido propio del sistema) y ruido externo (generado por fuentes tales como el hombre, el universo, etc.).

El ruido puede producir distorsión de la señal o cambios radicales causando que en el receptor se reciban señales con error. Estos errores deben ser detectados tanto por el dispositivo que adaptación al medio de telecomunicaciones como por el sistema informático.

Además de detectar los errores estos deben ser corregidos tanto por técnicas de corrección de errores hacia atrás (*Automatic Request - ARQ*) y hacia delante (*FEC - Forward Error Correction*). Un ejemplo aplicativo se puede apreciar en la figura A.6.

CONTROL DE FLUJO

Esta tarea es muy importante a fin de evitar que se pierda información, al estar el receptor sobrecargado con varias tareas y no ser capaz momentáneamente de seguir procesando las señales que le envía la fuente transmisora. Para su control hay mecanismos tal como lo hace el protocolo HDLC con sus tramas RNR y RR. Ver la figura A.7.

DIRECCIONAMIENTO Y ENRUTAMIENTO

Esta tarea se aplica al ambiente de redes de computadoras en donde existen nodos interconectados. Tal como se ve en la figura A.8, una computadora para poder es-

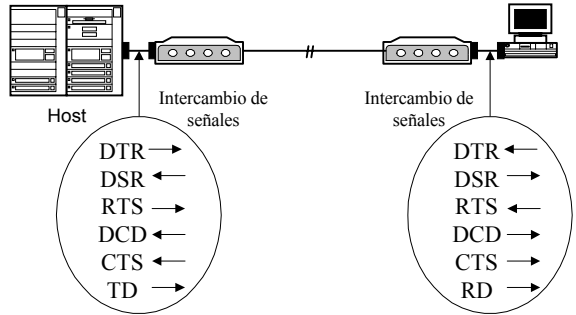


Figura A.5 Diagrama simple de intercambio de señales de la interface V.24 entre computador y módem

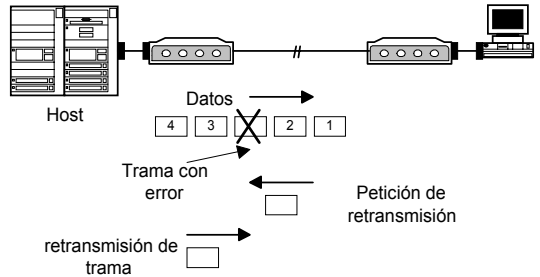


Figura A.6 Ejemplo de detección y corrección de errores usando el FCS y la técnica de corrección de errores hacia atrás (ARQ)

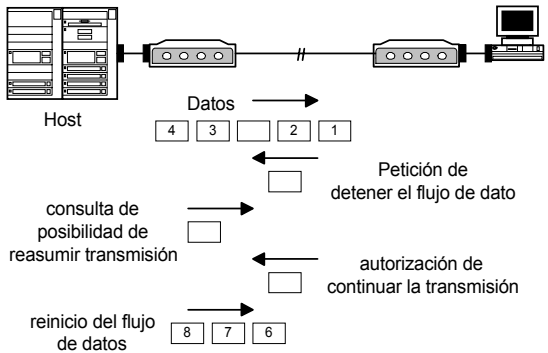


Figura A.7 Mecanismo de control de flujo en una transmisión de datos en enlace punto a punto

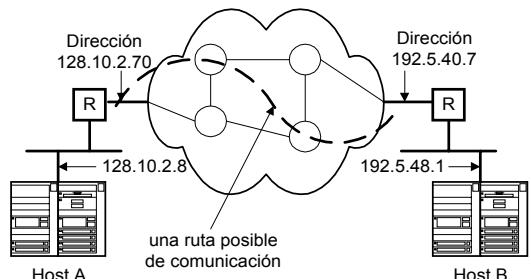


Figura A.8 Direccionamiento y enrutamiento en una comunicación entre dos computadoras vía Internet

tablecer una comunicación con otra computadora remota requiere conocer dos aspectos. El primero es tener la dirección de la computadora remota para acceder a ella. En este caso se le está dando una dirección IP, 192.5.40.7 a la computadora remota. Obviamente la computadora local también tendrá una dirección tal como 128.10.2.70.

Luego de obtener la dirección, la comunicación entre ellas puede llevarse a cabo por varias rutas, de entre las cuales se elegirá la ruta óptima por medio de algoritmos de enrutamiento utilizados por los nodos (normalmente *routers*), los cuales operan bajo un criterio determinado (tal como retardo, costo, tasa de errores).

RECUPERACIÓN

Este concepto se aplica a las comunicaciones vía redes WAN y consiste en el re-establecimiento de una comunicación luego de la avería de un nodo o de un enlace troncal de la red.

En los gráficos de la figura A.9 se muestra el procedimiento en caso de falla de un nodo. Se debe notar que los usuarios no sufrirán pérdida de la comunicación ni de información.

FORMATO DEL MENSAJE

Los datos que han de ser transferidos entre dos computadores normalmente deben tener la misma “forma”, es decir deben tener el mismo formato.

Es decir si un terminal es asíncrono, su contraparte debe operar o entender estos caracteres. En otro caso si un computador opera en protocolo HDLC de nivel 2, el nodo al cual está conectado debe operar también en ese protocolo. La figura A.10 muestra la transmisión de una trama del protocolo HDLC.

PROTECCIÓN

Como sabemos actualmente la información es un activo muy valioso, por lo cual ésta debe ser protegido cuando se transmite a través de una red pública de datos.

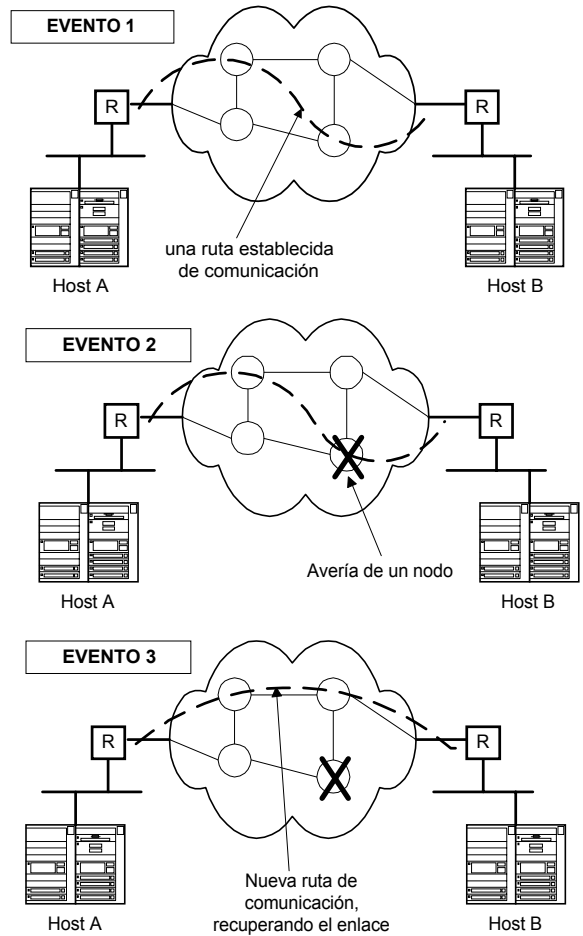


Figura A.9 Proceso de recuperación de enlace por falla de un nodo

Evento 1: Enlace de comunicación activo operando en forma normal

Evento 2: Falla de un nodo que forma parte del enlace activo

Evento 3: Recuperación del enlace con nueva ruta

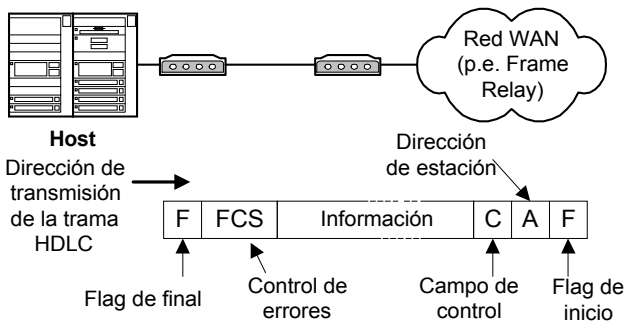


Figura A.10 Trama con formato HDLC transfiriendo información entre un computador y una red WAN

Para tal efecto se puede usar varios mecanismos de seguridad, los cuales pueden conformar una arquitectura de seguridad, tal como la encriptación, entre otros. En la figura A.11 mostramos la aplicación de la encriptación para proteger los datos que atraviesan una red pública y que garantizan su confidencialidad.

ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA

Toda red de comunicación de datos, luego de ser implementada de acuerdo al proyecto que la generó, requiere ser administrada para lograr su desarrollo armonioso y evolucionario (no revolucionario), para que brinde una óptima performance a sus usuarios. Para tal efecto existen mecanismos tales como el SNMP (*Simple Network Management Protocol*), el cual permite una monitorización de los diferentes componentes, en sus aspectos de fallas, performance, estado general, etc.

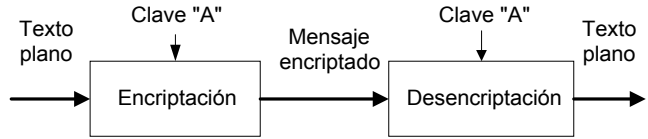


Figura A.11 Aplicación de la encriptación