



EDUCACION PERMANENTE
Universidad de la República

Universidad de la República
*Escuela Universitaria de Bibliotecología
y Ciencias Afines*
"Ing. Federico E. Capurro"

Conceptos de Redes de Computadoras

Ing. Angel Caffa¹, MSc. , MBA

**Escuela Universitaria de Bibliotecología y Ciencias
Afines**

Universidad de la República

**Sede Central: Emilio Frugoni 1427, 11200 Montevideo, Uruguay / Telefaxes (5982) 4005810 / 4085576
Teléfonos (5982) 4010788 / 4011423
Anexo: J. Rodó 1839, Planta Alta, 11200 Montevideo, Uruguay / Teléfono: (5982) 4082925
Bedelía: En el Anexo / Telefax: (5982) 4020297**

Correo electrónico: eubca@adinet.com.uy / Sitio Web: <http://www.eubca.edu.uy>

¹ angel.fing.edu.uy

Agradecimientos

El autor agradece a los estudiantes del curso de Redes y Sistemas de Información que leyeron versiones preliminares del libro y aportaron nuevos puntos de vista.

Índice

Introducción	4
Capítulo 1: Puesta al día en conceptos de informática	6
Capítulo 2: Redes de computadoras: generalidades	11
Capítulo 3: Modelos de redes	16
Capítulo 4: Capa física	20
Capítulo 5: Capa de enlace	27
Capítulo 6: Capa de red.....	36
Capítulo 7: Capa de transporte.....	47
Capítulo 8: Capa de sesión.....	55
Capítulo 9: Capa de presentación	58
Capítulo 10: Capa de aplicación	62
Capítulo 11: La Familia de Protocolos TCP/IP.....	62
Capítulo 12: El fenómeno Internet desde el punto de vista del usuario	67

Introducción

Este manual se ha escrito con el objetivo de recoger los conceptos expuestos en el curso de actualización “Conceptos de Redes para Archivólogos y Bibliotecólogos”. Sin embargo, también se espera sirva de apoyo al capítulo de redes del curso “Redes y Sistemas de Información” de la Licenciatura en Bibliotecología en EUBCA.

A juicio del autor, definir el área de influencia del Licenciado en Bibliotecología centrada en las bibliotecas es una visión limitada que restringe enormemente el futuro posicionamiento de estos profesionales en el mercado laboral. Parece más adecuado pensar en términos de *especialistas en manejo de información*. Aceptadas las consideraciones anteriores, las materias relacionadas con el área informática deberían formar una componente fundamental dentro de la currícula, y dentro de las mismas, la presentación de conceptos técnicos y la profundización en los mismos se presenta como inevitable.

El objetivo de estos cursos de redes es brindar una formación básica en el tema, presentando los conceptos fundamentales, pero sin descuidar algunos detalles técnicos para así dar un enfoque práctico y cercano a la realidad. Se busca aportar elementos que permitan al futuro profesional interactuar en un lenguaje común con especialistas en informática, y poder participar de decisiones que involucren diseño y/o evolución de redes de computadoras. Este manual prioriza de algún modo lo conceptual sobre lo técnico, pero no evita los aspectos técnicos.

La parte técnica del curso está basada en el libro “Redes de Computadoras” de Andrew Tanenbaum, y el enfoque sigue el mismo estilo que el curso “Comunicación de Datos” de la carrera Ingeniería en Computación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Se ha intentado incorporar también la experiencia recogida por el autor en el dictado y coordinación de los cursos “Redes I”, “Redes II” y “Tópicos de Computación” de las carreras de “Ingeniería en Informática” del Universitario Autónomo del Sur entre los años 1996 y 2000.

La discusión de Internet desde el punto de vista del usuario está influenciada por el enfoque que el Cr. Roberto de Luca utilizó en la versión 2000 de su curso “Modelos de Negocios en eBusiness” en el Master en Administración de Empresas en la Facultad de Administración y Ciencias Sociales de Universidad ORT.

También se ha buscado capitalizar el intercambio con los estudiantes surgido del dictado del curso “Redes y Sistemas de Información” en EUBCA en los años 1999 y 2000, así como en el curso de actualización mencionado antes.

El capítulo 1 presenta una breve puesta al día en conceptos de informática. En el capítulo 2 se discuten conceptos generales relacionados con las redes de computadoras: conceptos, definiciones, clasificaciones, etc. El capítulo 3 introduce algunos modelos de redes y su utilidad. Los capítulos 4 a 10 analizan en profundidad el modelo OSI, estudiando cada una de las capas. El capítulo 11 trata la familia de protocolos TCP/IP, e introduce la red Internet desde el punto de vista técnico. En el capítulo 12 se discute el fenómeno Internet desde el punto de vista del usuario, con especial énfasis en los diferentes modelos de negocios que sustentan buena parte de los sitios de Internet.

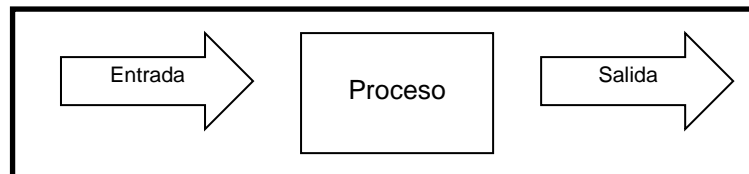
Los ejercicios buscan hacer este manual independiente (en la medida de lo posible) de las tecnologías actuales, entonces todos los datos relativos al estado actual del arte son dejados para investigar en forma guiada a través de los ejercicios. En todo caso no se debe perder de vista la rapidez con que evolucionan los productos y herramientas informáticas. Otros ejercicios buscan reafirmar conceptos o exponer problemáticas comunes.

Tenga claro el lector que este libro es un manual de un curso, y debería ser leído como tal. En particular, se recomienda investigar cada punto marcado como ejercicio.

Capítulo 1: Puesta al día en conceptos de informática

En la actualidad, el uso de las computadoras está ampliamente difundido, no sólo ya como herramienta programable de uso general, sino también como sistemas embebidos², resolviendo por ejemplo el tráfico de llamadas en la central telefónica de una empresa o controlando el flujo de combustible dentro de un auto.

En todos los casos, la función de cualquier computadora se puede abstraer en el siguiente esquema:



Los componentes tangibles (lo que se puede tocar) dentro de un sistema informático reciben el nombre de *hardware* y los no tangibles (los programas) se denominan *software*.

Hardware

A continuación se presentan los elementos más comunes del hardware de un sistema informático, tomando como guía el esquema anterior.

Los dispositivos de entrada más comunes son:

- Teclado: recibe datos correspondientes a teclas presionadas. Actualmente hay dos tipos, según la ficha de conexión: DIN y mini-DIN (PS/2).
- Ratón: recibe órdenes de movimiento horizontal o vertical (todo movimiento complejo se puede descomponer en una sucesión de movimientos horizontales y verticales muy pequeños), y si alguno de sus botones fue presionado. Actualmente hay dos tipos, según la ficha de conexión: mini-DIN o serial DB9.
- Scanner: permite digitalizar imágenes. Hay dos tipos, de acuerdo a la conexión a la computadora: paralelo o USB.
- Lector de código de barras: cada código de barras está asociado a un número, que en general corresponde a codificaciones que permiten identificar objetos rápidamente. Por ejemplo en un POS (point of sale= punto de venta).
- Lápiz óptico: permite marcar puntos al indicarlos con un lápiz sobre la pantalla. Con la popularización de los scanners ha quedado reducido a aplicaciones específicas.
- Tableta digitalizadora: permite marcar puntos al indicarlos con un lápiz sobre una tableta. Con la popularización de los scanners ha quedado reducido a aplicaciones específicas.
- Joystick: control para juegos.
- Cámaras fotográficas y de filmación. Normalmente se comunican con el PC vía USB.
- Micrófono: para recoger datos de audio.

Existen otros, relacionados con aplicaciones más particulares.

Los dispositivos de salida más comunes son:

² Los sistemas embebidos son sistemas incluidos dentro de otros más complejos.

- Monitor: Permite desplegar datos en pantalla. Actualmente son color en casi todos los casos, y sus características técnicas (resolución, etc.) están determinadas en gran medida por las de la tarjeta gráfica del mismo. El monitor recibe de la computadora datos (concretamente de la tarjeta de video), y a veces (puede conectarse directamente) corriente. Algunos –llamados multimedia- contienen parlantes y/o micrófono incorporados, teniendo conexiones especiales destinadas a tales efectos.
- Impresora: Permite desplegar datos en papel. Algunos de los tipos más comunes:
 - Láser: utilizan la misma técnica de impresión que las fotocopadoras: se distribuye un material especial (tóner) que luego se fija por calor. Son la alternativa más rápida.
 - Inyección de tinta: la alternativa más económica, lográndose además una razonable calidad y velocidad.
 - Matriz de puntos: un conjunto de agujas se configuran de acuerdo al carácter a imprimir y éste se imprime por impacto sobre una cinta entintada. Robustas y rápidas al imprimir texto.
 - Margarita: También de impacto, pero en este caso existe una “margarita” de caracteres similar a la de una máquina de escribir.
 - Térmica: Imprimen quemando un papel especial, que usualmente es caro.
- Parlantes: Los parlantes son dispositivos de salida de los datos correspondientes a audio. Su interfaz con la computadora es usualmente una tarjeta de sonido, que en algunos casos puede venir ya integrada a la motherboard.
- Impresoras de código de barras: caso particular de impresora.
- Plotter: impresora diseñada con el objetivo de imprimir gráficos y planos.

En cuanto a procesamiento, se puede desagregar el esquema en las siguientes partes:

- Unidad Central de Proceso (UCP): Es quien regula todas las operaciones de la computadora. Tiene dos partes: Unidad Aritmético Lógica (UAL) que es donde se ejecutan todas las operaciones con los datos, y la Unidad de Control (UC), que es quien controla el flujo de ejecución. El procesador tiene unas celdas de memoria llamadas registros, que son de rápido acceso y en las que coloca los operandos y donde obtiene la salida en cada una de sus operaciones. Cada procesador (o familia) tiene su propio lenguaje ensamblador en el que se pueden especificar sus operaciones a bajo nivel de abstracción. Su velocidad se mide usualmente en Mhz. Una computadora puede tener más de un procesador.
- Memoria RAM (o memoria principal): Random Access Memory, esta memoria es la que contiene datos y programa en ejecución. De contenido volátil, es decir, necesita de corriente para conservarlo. A veces la RAM se complementa con la memoria caché (memoria de rápido acceso ubicada entre la RAM y la UCP), donde se almacenan resultados intermedios para mayor velocidad de acceso.
- Memoria ROM: Read Only Memory, contienen los programas de arranque de la computadora. No pierde su contenido cuando se apaga la computadora.
- Placa madre: es la placa donde están todos los componentes de la computadora.
- Bus: Son cables por donde se intercambia información entre dos componentes de la computadora. Existen diferentes protocolos a utilizarse aquí según el tipo de dispositivo: IDE, SCSI, SCSI2 y según el tipo de conexión: PCI, PCMCIA, ISA, EISA.
- Memoria secundaria: En esta memoria se guardan datos en forma persistente (es decir que se conservan más allá del apagado de la computadora). Hay muchas alternativas:
 - Discos: Compuesto de un conjunto de superficies magnetizables que giran y son leídas por un conjunto de cabezas, los discos constituyen

hoy una parte fundamental de la computadora. Permiten acceso aleatorio a datos, y en ellos residen programas (incluido el sistema operativo) y datos.

- Diskettes: Discos de menor capacidad para poder portar datos. La unidad lecto-escritora se denomina diskettera.
- CDs: Compact Disks. Aunque lo más difundido son aún las lectoras, es posible grabarlos una o varias veces, según la tecnología a utilizar. Basados en lectura óptica.
- DVDs: Digital Video Disks. Tecnología similar a los CDs pero que permiten guardar más datos.
- Cintas: De acceso secuencial³, guardan gran volumen de datos aunque la velocidad de acceso no es buena. Por lo barato de los cartuchos, se utilizan para backups.
- ZIP y Jazz: utilizan la misma tecnología que los diskettes, pero con más capacidad de almacenamiento de información.

La unidad básica de almacenamiento de información es el bit. Un bit puede valer 0 o 1. Un byte u octeto son 8 bits. 1024 ($= 2^{10}$) bytes son un Kb (Kilo Byte), 1024 Kb son un Mb (Mega Byte), 1024 Mb. son un Gb. (Giga Byte) y 1024 Gb. son un Tb. (Tera Byte).

Ejercicios

- 1.1) Explicar la diferencia entre dispositivo de acceso aleatorio y dispositivo de acceso secuencial. Dar ejemplos.
- 1.2) Explicar la utilidad de las cintas a la hora de hacer respaldos siendo un dispositivo mucho más lento que los discos.
- 1.3) Para cada alternativa de almacenamiento primario y secundario indicar capacidad según la disponibilidad actual en el mercado.
- 1.4) Buscar información sobre la arquitectura Von Neumann, y su concepto central de “programa y datos en una misma memoria”. Notar que este concepto es central en la arquitectura de toda computadora.
- 1.5) Hacer un relevamiento de precios de todos los dispositivos mencionados.
- 1.6) Recomendar una configuración doméstica, sobre un presupuesto de U\$S 1000.- incluidos todos los impuestos. Compararlo contra el PC más barato del mercado.
- 1.7) Investigar acerca de la configuración de un PC más barata del mercado. Describirla y criticarla.
- 1.8) Recomendar una configuración para una máquina de uso más exigente, sobre un presupuesto de a) U\$S 1500.- b) U\$S 2000.- y c) U\$S 3000.- incluidos impuestos.
- 1.9) Averiguar uso y funcionamiento de las arquitecturas redundantes y discos RAID. Investigar en qué medida se pueden incluir en presupuestos según las categorías vistas en 1.8.
- 1.10) Comentar brevemente la evolución en capacidad/prestaciones de alternativas correspondientes a la respuesta de 1.6 desde 1985 a la fecha.
- 1.11) Averiguar las alternativas actuales de dispositivos USB (teclados, ratones, etc.). Buscar argumentos a favor del uso de este protocolo de conexión de acuerdo a los vendedores.

³ Notar que las demás tecnologías mencionadas son de acceso aleatorio.

- 1.12) Buscar información comparativa de discos SCSI frente a los discos IDE.
- 1.13) Discutir ventajas y desventajas de las placas madre “todo on board”.
- 1.14) Buscar información de UPSs, estabilizadores de tensión y protectores de línea.
- 1.15) Averiguar la utilidad de los racks dentro de un centro de cómputos.
- 1.16) Relevar las medidas de seguridad en un centro de cómputos, frente a contingencias como incendios o robos.
- 1.17) Relevar la oferta de discos duros en base a parámetros como: capacidad, velocidad de rotación, etc. Investigar qué son las tecnologías de almacenamiento redundante.
- 1.18) Investigar qué significa que una computadora pueda manejar fuentes redundantes de alimentación.
- 1.19) Averiguar la diferencia entre una fuente AT y una ATX. Investigar los voltajes desde/hacia la fuente, y determinar en función de los mismos los componentes del PC en cuya manipulación puede existir riesgo de electrocución.
- 1.20) Averiguar qué son los discos “hot swap”.

Para profundizar aspectos de arquitectura de computadoras se recomienda el libro [Tan92].

Software

A continuación se discuten conceptos generales relacionados con el software de los sistemas informáticos.

Se denomina software a todo lo no tangible en un sistema informático, es decir, los programas. Hay varias clasificaciones para los programas, y aquí se utilizarán algunas de modo de dar una idea general.

Los programas de uso general se dirigen a solucionar problemas comunes a muchos usuarios, mientras que los programas de uso específico son usualmente programados a medida de modo de solucionar algún problema concreto en una organización.

También es útil considerar programas de alto y bajo nivel (de abstracción). Los primeros son más cercanos al usuario y los otros son más cercanos a la máquina.

Un tipo de software muy importante son los sistemas operativos. Un sistema operativo es un conjunto de programas que administra el acceso de los usuarios a los recursos de la computadora.

Los sistemas operativos se clasifican en monotarea/multitarea según permitan la ejecución de varios programas a la vez o no y en monousuario/multiusuario según permitan el acceso de más de un usuario (reconociendo derechos de acceso diferenciados) o no.

Algunos ejemplos de sistemas operativos:

- Unix: Linux, Solaris, HP-UX, AIX, etc. son implementaciones particulares de este sistema operativo multiusuario multitarea.
- Windows 95/98/Me: Multitarea/Monousuario.
- Windows NT/2000/XP: Multitarea/Multiusuario.
- MS-DOS: Monotarea/Monousuario.

La seguridad de sistemas es un área de importancia cada vez mayor, ya que las computadoras abarcan un conjunto cada vez más amplio de actividades. La seguridad se puede medir en dos dimensiones: dejar acceder a los recursos del sistema solamente a los usuarios registrados y controlar niveles de acceso y manejo de datos para estos usuarios registrados. La elección del conjunto de sistemas operativos a utilizar es la base del esquema de seguridad de los sistemas de una organización.

Para profundizar en el área de sistemas operativos, se puede recurrir a [Dei90].

Otros programas de uso general importantes son (todos corren sobre un sistema operativo):

- Paquetes de automatización de tareas de oficina (Office, etc).
- Servidores de aplicaciones de red (correo, páginas, etc.)
- Manejadores de bases de datos.
- Etc.

Ejercicios

1.11) Completar la lista de sistemas operativos, resolviendo la clasificación según monotarea/multitarea y monousuario/multiusuario.

1.12) Completar la lista de programas de uso general.

1.13) En la lista de 1.12, comentar sobre qué sistema operativo corren los programas.

1.14) Comentar la relación entre que un sistema operativo sea monousuario/multiusuario y la seguridad del mismo.

1.15) Comentar la relación entre que un sistema operativo sea monousuario/multiusuario, la seguridad y la posibilidad de trabajar en red⁴.

⁴ Por el momento considerar la "posibilidad de trabajar en red" como la posibilidad de intercambiar información entre dos o más computadoras. Este término se formaliza en el capítulo siguiente.

Capítulo 2: Redes de computadoras: generalidades

Definición de red

Una red de computadoras es un conjunto de computadoras autónomas interconectadas. La palabra interconectadas hace referencia a que existe algún mecanismo que les permite intercambiar datos. Una computadora es autónoma si tiene CPU y memoria propias.

Cada computadora en la red se denomina host.

El concepto de autonomía manejado implica excluir de la red a las terminales tontas, ya que las mismas sólo gestionan entrada/salida.

Las redes permiten compartir recursos.

Notar que no aparece la palabra servidor en la definición de red propuesta.

Ejercicio

2.1) Buscar otras definiciones de red, en especial en los manuales de productos de Microsoft y Novell.

El modelo centralizado vs el modelo de computación en red

Históricamente, la primer alternativa para compartir recursos fueron los mainframes. Este modelo centralizado del sistema implica la existencia de una computadora central a la que se accede desde muchas terminales tontas. Las terminales tontas sólo hacen entrada/salida, todo el proceso ocurre en el mainframe.

Las ventajas de los mainframes son:

- Permiten compartir recursos
- Existe un solo punto de acceso a todos los recursos del sistema
- Se pueden resolver los respaldos desde un solo puesto de trabajo.

Sin embargo, al haber una única CPU y memoria (que son los recursos clave) se observa una competencia de los procesos por estos recursos clave.

El modelo de trabajo en red (que sucedió cronológicamente al modelo centralizado) permite compartir recursos conservando las ventajas marcadas en el modelo centralizado, pero además:

- No hay competencia por CPU y memoria.
- La inversión se puede escalar, es decir el sistema se adapta gradualmente a nuevas exigencias de cómputo.
- Mayor flexibilidad en cuanto a la disposición espacial/geográfica de los equipos, al no requerirse un centro de cómputos para albergar una computadora de gran porte.
- Mejor relación costo/performance.
- Permiten compartir recursos.
- Se pueden implementar mecanismos de confiabilidad basados en la duplicación de la información.
- Una red es un mecanismo poderoso de comunicación entre sitios remotos.

Las causas de la llegada de las redes, pueden resumirse en:

- El bajo costo del hardware populariza el uso de la computadora.
- Las nuevas tecnologías de comunicación de datos permiten una eficaz interconexión.
- En su comienzo, las computadoras se utilizaban para el tratamiento de la información. Actualmente las computadoras se utilizan para tratamiento de la información y comunicación de datos.

Ejercicio

2.2) Dar ejemplos correspondientes a cada una de las ventajas y desventajas anteriores.

Protocolos de comunicación

Un protocolo es un conjunto de reglas formales de comportamiento. Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas formales que rigen la comunicación de datos.

En comunicación de datos, a las reglas que forman los protocolos también se las llama protocolos.

Al estudiar las redes, se encuentran protocolos de comunicación asociados a la resolución de actividades asociadas a la comunicación entre computadoras.

Los protocolos se estudian agrupados por niveles o capas, que en general quedan determinados por el nivel de abstracción de los mismos. Se dice que los protocolos más cercanos a la computadora (como podría ser el que especifica las dimensiones de un conector) son de más bajo nivel de abstracción que los protocolos más cercanos al usuario (como podría ser el que especifica la forma en que se envían los correos desde el servidor al cliente de mail).

Cuando un conjunto de protocolos de igual o distintos niveles se utilizan juntos se denominan familia de protocolos.

El paradigma cliente/servidor

Al considerar el conjunto de computadoras que integran una red, surge la necesidad de aprovechar al máximo el potencial de cómputo que constituye ese conjunto de computadoras independientes pero interconectadas.

El problema pasa por optimizar el aprovechamiento de esta enorme capacidad de cómputo, pero minimizando el tráfico de datos en la red.

La idea principal detrás del paradigma cliente-servidor es la búsqueda de paralelizar al máximo las aplicaciones, teniendo en cuenta la heterogeneidad de plataformas y el estado actual de la tecnología de la programación en paralelo.

La solución es partir las aplicaciones en dos, desde las etapas tempranas de diseño. Esas dos partes se llaman cliente y servidor. La aplicación servidor se especializa en la aplicación en sí misma, y da servicios al cliente, ocupándose de los aspectos generales. La aplicación cliente resuelve las necesidades particulares de cada punto de trabajo, como ser interfaz, aspectos dependientes de la arquitectura, etc., y pide servicios al servidor.

El correo electrónico y la publicación de páginas de WWW son ejemplos de aplicaciones que siguen el paradigma cliente-servidor.

Las computadoras donde se ejecutan los módulos servidor y cliente reciben el nombre de máquina servidor y máquina cliente respectivamente.

Ejercicios

2.3) Explicar detalladamente el funcionamiento del paradigma cliente/servidor en los dos ejemplos anteriores (correo y páginas WWW).

2.4) Identificar otras aplicaciones cliente/servidor y comentar su funcionamiento.

Clasificación de las redes

A continuación se discuten algunos criterios de clasificación de las redes. En la realidad se encuentran modelos híbridos entre las diferentes categorías.

- Según la tecnología de transmisión:
 - Redes punto a punto: basadas en conexiones punto a punto, es decir, todas las conexiones son entre pares de máquinas.
 - Redes de difusión: basadas en conexiones multipunto (o canales o broadcasts), que implican varias máquinas que comparten un canal y por lo tanto el mismo debe ser arbitrado.
- Según el tamaño:
 - LAN: red de área local (usualmente dentro de los límites de un edificio). En general utilizan tecnología multipunto en sus conexiones.
 - MAN: red de área metropolitana.
 - WAN: red de área amplia. En general utilizan tecnología punto a punto en sus conexiones.
- Según su topología:
 - Anillo
 - Estrella
 - Completa
 - Arbol/Jerárquica
 - Canal
 - Mixta
 - Irregular

La topología de la red describe la disposición física de sus equipos.

Ejercicio

2.5) Dar ejemplos para cada uno de los casos de las clasificaciones anteriores.

2.6) Elegir una red del mundo real. Clasificarla en términos de las categorías anteriores.

2.7) Completar dibujos de cada una de las topologías.

Grafo de una red

La Teoría de Grafos puede ser de gran ayuda a la hora de modelar redes.

Esto significa que dada una realidad (una red en este caso), se puede construir un modelo de la misma (utilizando Teoría de Grafos en este caso). Este modelo captura un conjunto de detalles que se ha decidido son relevantes, y deja de lado un conjunto de detalles que resultan irrelevantes para el estudio que se esté desarrollando. Así, el modelo es más simple de manipular. En el modelo se resuelve el problema que se está considerando, y finalmente se traduce dicha solución en términos de la realidad inicial. Una ventaja de esta metodología de trabajo es que en el modelo, muchos problemas se presentan de forma estándar, y ya han sido resueltos. Este es el caso de la Teoría de Grafos como herramienta para modelar.

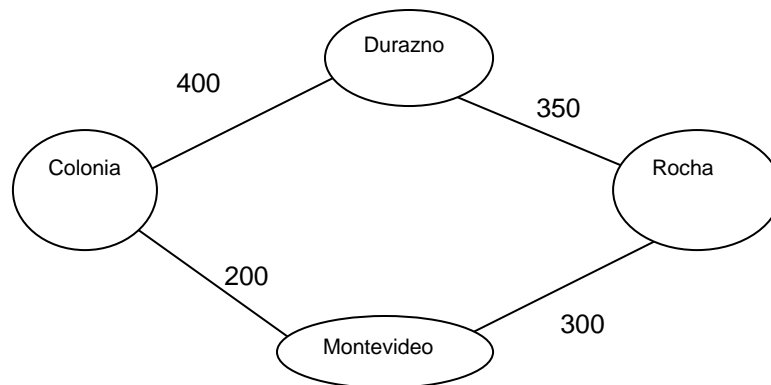
Un grafo es un par $\langle V, A \rangle$ donde V es un conjunto de vértices y A un conjunto de aristas.

Una arista es un par de vértices, por lo que A es un subconjunto de $V \times V$ (que contiene todos los pares posibles de vértices).

En los grafos orientados, importa el orden de los vértices que componen una arista, y se dice que las aristas tienen dirección. Cuando el orden no importa, el grafo es no orientado.

A veces se agrega una función $f : A \rightarrow R$, siendo R el conjunto de los Reales, La función f se dice función de costos, y refleja el hecho de que “transitar” por una arista tiene un costo asociado.

Por ejemplo, si se quieren estudiar las rutas para un reparto entre las capitales de Montevideo, Colonia, Durazno y Rocha, un buen modelo en términos de grafos podría ser:



Algunos comentarios respecto al modelo anterior:

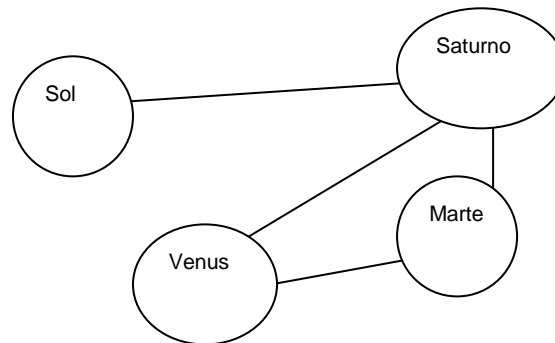
- La función de costos captura de alguna forma la dificultad de trasladarse de un punto a otro (distancia, estado de la ruta, probabilidad de atascos, etc.)
- De acuerdo al modelo, no se utiliza la ruta directa Colonia-Rocha.
- Las otras ciudades no son relevantes para el análisis, desde el momento que se decidió no incluirlas en el modelo.
- Se utiliza un grafo no orientado, lo que implica que no hay diferencias en la dirección de la ruta.

Para definir un grafo hay que:

- Dar el conjunto de vértices
- Dar una regla para la determinar las aristas
- Especificar la función de costos si la hubiera.

El grafo de una red es un grafo (en general) no orientado, y (en general) sin función de costos, cuyos vértices son los hosts de la red y existe arista entre dos vértices siempre que exista comunicación directa entre los dos hosts asociados a dichos vértices.

Así, el siguiente es un ejemplo de grafo de red:



Los vértices del grafo son etiquetados usualmente con los nombres de los hosts. A veces se colocan etiquetas en las aristas, por ejemplo cuando es relevante diferenciar los tipo de conexiones.

Los vértices entre los que existe arista se dicen adyacentes. Las computadoras entre las que existe conexión directa en la red se dicen adyacentes.

Un camino en el grafo es una secuencia de aristas. Los vértices extremos de algún camino en el grafo se dice están conectados, y consecuentemente, las máquinas asociadas a vértices conectados en el grafo de la red se dicen conectadas. Las máquinas conectadas son las que pueden intercambiar información. En el ejemplo, Venus y Marte son adyacentes, Venus y Sol están conectadas.

Capítulo 3: Modelos de redes

Las aplicaciones de red se pueden diseñar y también interpretar a la luz de algún modelo de redes.

Los modelos más populares son:

- Modelo de transparencia
- Modelo cliente/servidor
- Modelo de referencia OSI
- Modelo TCP/IP

Estos modelos, lejos de ser excluyentes, se pueden utilizar en forma complementaria.

El modelo de transparencia

La meta principal de este modelo es ocultar la presencia de la red. Las aplicaciones diseñadas según este modelo deben obtener acceso transparente a los recursos de la red.

Un ejemplo es el NFS de Sun (NFS=Network File System): las aplicaciones acceden a sistemas de archivos remotos de la misma forma que a los locales⁵.

Se denominan aplicaciones distribuidas a aquellas que ocultan los detalles de la comunicación a través de la red. En contraste, una aplicación de red usa los servicios de la red sin ocultar su presencia.

El modelo cliente/servidor

Es el modelo más común para el software de red y es el mencionado antes bajo el título “paradigma cliente/servidor”.

Este modelo plantea la existencia de procesos (servidores) en ciertas máquinas, que proveen servicios a otros (clientes) en otras.

Un proceso cliente contacta un proceso servidor y solicita algún servicio.

Este modelo permite aprovechar de forma más eficiente la potencialidad que ofrece un conjunto de computadoras interconectadas en una red:

- Se optimiza el uso de la capacidad de procesamiento.
- Se minimiza el tráfico en la red, ya que paraleliza al máximo posible.

Al diseñar la aplicación, ésta se divide en dos partes: cliente y servidor. El servidor se especializa en la aplicación en sí misma. El cliente resuelve detalles de comunicación con el usuario.

Por ejemplo, un servidor de base de datos. El proceso de información que implica la resolución de las consultas se hace en el servidor (que es donde reside la base de datos). La comunicación con el usuario, atendiendo por ejemplo a detalles particulares de la interfaz, se realiza en el cliente. Puede haber incluso más de un tipo de cliente, debido a la existencia de usuarios o hardware diferentes.

⁵ La palabra local hace referencia a la propia máquina, mientras que la palabra remoto indica otra máquina dentro de la red.

El modelo TCP/IP

Los protocolos TCP/IP son –como se discutirá más adelante- el núcleo de Internet.

La terminología del modelo OSI ayuda a describir TCP/IP, pero para un análisis más estricto, surge la necesidad de un nuevo modelo para describir estos protocolos.

Una descripción adecuada resulta de considerar 4 capas.

El modelo TCP/IP y sus capas se analizará más adelante.

El modelo de referencia OSI

Es un modelo desarrollado por ISO: International Standards Organization. OSI significa: Open Systems Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos).

El modelo propone una división del problema “interconectar computadoras a través de redes” en 7 capas o subproblemas.

Los cuestionamientos principales que se hacen a este modelo son:

- Muchas redes existentes no mapean bien su estructura en las capas del modelo.
- La división en 7 capas conduce a implementaciones ineficientes.

De todos modos constituye una herramienta de utilidad indudable a la hora de analizar el funcionamiento de una red y los distintos problemas que surgen. El modelo de referencia OSI provee un marco de referencia común para discutir las comunicaciones.

El modelo divide el estudio de una red en 7 capas. Es decir, que el problema original se subdivide en 7 subproblemas más simples (técnica “divide y reinarás”).

Cada capa brinda servicios a la inmediatamente superior.

Los objetivos detrás de esta división son:

- Favorecer la interoperabilidad entre productos de la distintas empresas.
- Minimizar el impacto de cambios.

Mientras la interfaz que define la comunicación entre capas adyacentes permanezca fija, es posible cambiar la implementación de las funciones dentro de una capa sin afectar al resto.

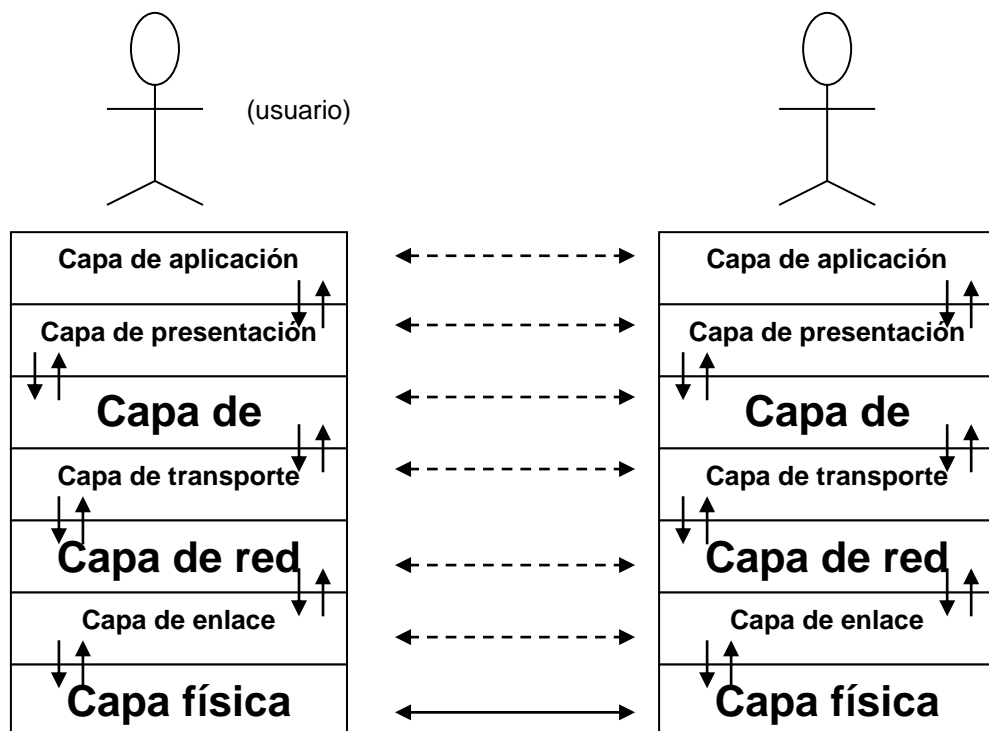
Al analizar la comunicación entre dos aplicaciones, se programa pensando a cada capa como virtualmente conectada con su par.

Entonces, cada capa está comunicada virtualmente con su par y, excepto la 1, cada capa está comunicada físicamente con la capa inmediatamente inferior. La única conexión física es a nivel de capa 1.

Las líneas punteadas en la figura muestran la comunicación virtual, y las líneas rellenas muestran la comunicación real.

En la figura también se presentan las 7 capas del modelo OSI.

ISO establece en el modelo OSI estándares para interfazs y para protocolos. La norma correspondiente es la norma ISO 7498.



Los datos “bajan” de una capa a otra hasta alcanzar el nivel inferior de la “pila”. Luego los datos se transmiten a través del medio de comunicación. Al llegar al otro extremo, los datos “suben” hasta llegar a la capa par con la que originó la transmisión.

Cuando un mensaje baja en la pila, cada capa agrega su propia información al mensaje.

A medida que un mensaje sube en la pila, cada capa quita (y utiliza) su información del mensaje y pasa el resto a la capa inmediatamente superior.

La capa 1 es la de menor nivel de abstracción y la capa 7 es la de mayor nivel de abstracción.

Las cuatro capas inferiores son relativas a la red y las tres capas superiores son relativas a la aplicación.

Los nodos (hosts) intermedios (por los que pasan mensajes que comunican máquinas no adyacentes), sólo involucran sus tres capas inferiores en esa comunicación.

Cada vez que la capa N detecta un error, lo notifica a la N+1.

Ejercicios

3.1) Considerar el caso de a) el envío de un email b) el acceso a una página Web. Esquematizar el pasaje de información entre las diferentes capas del modelo OSI.

3.2) Conseguir la norma ISO mencionada.

Las 7 capas son:

- Capa física: Define las características físicas de la red.
- Capa de enlace: Provee entrega de datos entre máquinas físicamente adyacentes.
- Capa de red: Provee entrega de datos a través de la red.
- Capa de transporte: Provee detección y corrección de errores end-to-end.
- Capa de sesión: Maneja sesiones entre aplicaciones.
- Capa de presentación: Estandariza la presentación de datos.
- Capa de aplicación: Consiste en los programas de aplicación que usan la red.

El modelo OSI y sus capas se analizan en detalle en los capítulos siguientes.

Capítulo 4: Capa física

La capa física controla la transmisión de datos de una forma adecuada de acuerdo al medio de transmisión. Los protocolos de capa 1 incluyen especificaciones eléctricas y mecánicas.

El servicio brindado es la transmisión de cierta cantidad de bits. Para fijar ideas, ayuda mucho suponer que la función de la capa 1 es transmitir/recibir un solo bit por vez. También se asegura la entrega de los bits en orden.

En esta capa se define qué es un bit (nivel de corriente, etc.), cuánto dura, sincronizaciones, cuál es el canal, cómo es el medio de transmisión, los conectores utilizados, etc.

Los puntos importantes a decidir con relación a la capa 1 son:

- Medio de transmisión y conectores
- Topología (física)
- Señal digital o analógica
- Sincronización
- Ancho de banda a utilizar
- Multiplexión

Definiciones

Medio de transmisión: es el medio donde se transmiten los bits “en bruto” de una computadora a la otra.

Canal: el camino que comunica dos puntos de la red se llama canal, y físicamente, consta de uno o más medios.

Velocidad de transmisión: Mide el número de bits por segundo (bps) que se pueden transmitir.

Baudio: cantidad de cambios de estado del medio por segundo.

Ancho de banda de un canal: Es el ancho del intervalo de frecuencias que el canal deja pasar sin atenuación. Se mide en Hz (Hertz). El ancho de banda de un canal es proporcional a la velocidad con que se puede transmitir en el mismo.

Relación señal/ruido: Ruido son aquellas señales espúreas y no predecibles que se superponen a la señal a transmitir. Cuanto mayor es la relación señal/ruido, mayor es la capacidad del canal. La unidad de medida son los decibels (dB).

Los teoremas de Nyquist y Shanon establecen cotas para la cantidad máxima de información que se puede transmitir en un canal dado su ancho de banda, los niveles discretos de señal y la relación señal/ruido.

Atenuación, dispersión y repetidores: es la pérdida de potencia de la señal transmitida con la distancia. Las señales sufren atenuación que se ve incrementada con la distancia. Las demoras aumentan claramente con la distancia. Las señales sufren dispersión con la distancia. Para contrarrestar estos efectos existen dispositivos, por ejemplo los repetidores, que aplican la función identidad (transmiten la misma señal que reciben) pero la reconstruyen eliminando los efectos de atenuación y dispersión.

Las señales pueden ser analógicas o digitales. Una señal analógica tiene un rango denso⁶ de niveles posibles. Una señal digital tiene un rango discreto de niveles posibles, que en general serán 1 o 0.

Tipos de conexión física

Hay dos tipos de conexiones:

- Punto a punto: Existe una conexión entre dos computadoras.
- Multipunto: Existe una conexión entre un grupo de computadoras. Lo que uno transmite lo reciben todos. Si transmiten dos a la vez hay problemas llamados colisiones, que implican pérdida de lo transmitido. También se denomina a este tipo de conexiones como broadcast, canal o bus.

Medios de transmisión

Los medios se comparan en función de un conjunto de características:

- Costo
- Velocidad de transmisión
- Ancho de banda
- Relación señal/ruido
- Distancia de operación
- Dificultad de instalación y uso

Los medios de transmisión se pueden clasificar en guiados o no guiados.

- Medios guiados:
 - Par trenzado (blindado o no blindado)
 - Coaxial
 - Fibra óptica
- Medios no guiados:
 - Ondas de radio
 - Microondas
 - Enlaces satelitales
 - Ondas infrarrojas

Cable par trenzado

Es un par de conductores, cada uno aislado, trenzados entre sí. Cada uno de los cables puede ser unifilar (conductor sólido) o multifilar (varios hilos trenzados entre sí).

El trenzado disminuye la inducción de los campos magnéticos espúreos. Por ejemplo, el fenómeno de diafonía que observamos en las comunicaciones telefónicas se debe generalmente a un pobre trenzado.

Su uso más común es: conexión de terminales asincrónicas, conexión telefónica, Ethernet sobre par trenzado, Token Ring.

Existen 5 tipos de categorías de cable par trenzado, de acuerdo a su posible uso:

⁶ Un conjunto se dice denso cuando dados dos elementos siempre es posible encontrar un elemento que esté entre ambos en una relación de orden dada. Por ejemplo, un intervalo de Reales es un conjunto denso.

- Categoría 1: para aplicaciones de voz y no apto para datos.
- Categoría 2: para velocidades hasta 4 Mbps.
- Categoría 3: para velocidades hasta 10 Mbps.
- Categoría 4: para velocidades hasta 16 Mbps.
- Categoría 5: para velocidades hasta 100/150 Mbps.

Los cables de tipo par trenzado se clasifican en UTP (par trenzado no blindado) y STP (par trenzado blindado).

El caso más común de conector es el RJ45. La ficha contiene 8 contactos, normalmente asignados a 4 pares trenzados que van dentro de un mismo cable.

Cable coaxial

Es un conductor de cobre, recubierto por una capa aislante, afuera de ésta se encuentra un segundo conductor en forma de malla y recubriendo el conjunto la cubierta plástica exterior.

Tiene buena aislación frente a interferencias y un ancho de banda de centenares de Mhz. Se emplea frecuentemente en comunicaciones con terminales asincrónicas, redes Ethernet e instalaciones de TV por cable.

Un parámetro importante del cable coaxial es su impedancia característica. Los cables coaxiales usados en Ethernet tienen 50 ohmios de impedancia característica y los usados en TV tienen 75 ohmios.

Se utilizan "T" para las uniones y tapones de modo de evitar reflexiones de la señal y así mantener la impedancia constante en cada tramo.

Los conectores BNC son los más usados con cable coaxial.

Fibra óptica

La fibra óptica (en su versión más común) está formada por dos materiales transparentes y homogéneos. El de dentro se denomina núcleo (core) y el exterior cáscara o envoltura (cladding). El índice de refracción de la envoltura es menor que el del núcleo, y esto permite a la luz viajar "rebotando" en las paredes de la fibra.

Las fibras se clasifican en monomodo o multimodo de acuerdo a que permitan o no más de un modo de propagación. Las fibras donde el tamaño del núcleo sólo permite la propagación de un único modo son las llamadas monomodo.

Las ventajas de la fibra óptica son:

- Inmunidad a la interferencia y ruidos.
- Gran capacidad de transmisión.
- Baja atenuación.
- Seguridad de las transmisiones (es muy difícil de "pinchar").

Las fibras requieren conectores especiales, los más usados en las LAN son los tipo ST, y también existen los SC y FC-PC.

Para empalmar dos fibras existen dos técnicas básicas: empalmes de fusión y empalmes mecánicos.

En cuanto a las fuentes de luz, existen dos tipos básicos: LEDs (LED= diodo emisor de luz) y Láser. Estos últimos tienen menos dispersión cromática que los LEDs.

La siguiente tabla ensaya una comparación entre los medios de transmisión mencionados:

Medio	Costo	Facilidad de instalación	Frecuencia	Atenuación	Inmunidad a interferencias electromagnéticas
UTP STP	Muy Bajo Medio	Muy simple Simple a media	1 a 100 Mbps 1 a 155 Mbps	Alta Alta	Baja Media a baja
Coaxial	Bajo a medio	Simple	1 Mbps a 1 Gbps	Media	Media
Fibra óptica	Medio a alto	Difícil	10 Mbps a 2 Gbps	Baja	Alta

Enlaces de radiofrecuencia

Se utilizan ondas de radio. Estas ondas son tienen las siguientes características:

- Fáciles de generar
- Viajan grandes distancias
- Son omnidireccionales
- No es necesario alinear con cuidado emisor y receptor
- Se ven afectadas por motores y otros equipos eléctricos
- Ofrecen un ancho de banda bajo

Los enlaces de radiofrecuencia tienen las siguientes características:

- Se dan en el rango de los 2 a 40 GHz
- Corresponden a longitudes de onda de entre 15 y 0.75 cm.
- A estas frecuencias, las ondas se pueden transmitir con poca dispersión, con el uso de antenas parabólicas.
- Se usa entre puntos separados por distancias no mayores a los 100 Kms.
- Debe haber visibilidad directa entre los puntos. Emisor y receptor deben estar alineados.
- El ancho de banda es del orden de las decenas a los cientos de MHz.
- La lluvia absorbe las ondas.

Enlaces satelitales

Los enlaces satelitales tienen las siguientes características:

- Desde el punto de vista de la banda de frecuencias, son enlaces de microondas.
- La particularidad es que al usar un satélite artificial como repetidor, permite superar las limitaciones de distancia de dichos enlaces.
- Los enlaces pueden ser punto a punto, como los que usa el servicio Datamundi de ANTEL, o pueden ser punto-multipunto, como los que usa el servicio Minisat de ANTEL.

Otros medios de transmisión

Telefonía Celular
Radiomodems
Enlaces UHF
Spread Spectrum
Infrarrojos

Canales telefónicos

La red telefónica se compone de un conjunto de centrales, conectadas entre sí. Cada central está comunicada con los teléfonos a través de pares trenzados. Cada par va de la central a un terminal telefónico individual (es decir, a un teléfono). Los pares se van agrupando en las borneras, cajas de distribución, etc. hasta llegar a la central. Para ello se utilizan cables multipar, que tienen muchos pares agrupados.

El conector RJ11 es el estándar utilizado para la conexión de los teléfonos. El RJ11 tiene cuatro conectores, pero son dos los que conectan al par telefónico. Los otros dos se utilizan por ejemplo para señalización interna en las centralitas.

Las líneas telefónicas son analógicas, y las centrales telefónicas son digitales. Entonces, hay que resolver las conversiones involucradas al respecto. Las distintas centrales telefónicas componen una red y se comunican en forma digital (por eso se dice "Uruguay 100 % digital").

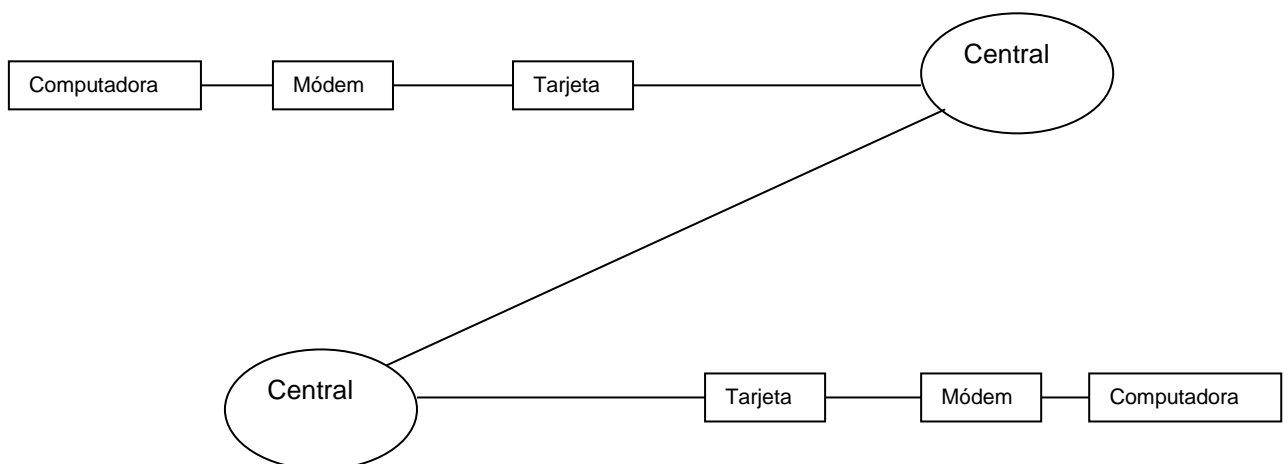
Entre centrales, las comunicaciones asociadas a las llamadas se "switchean", esto es, se establece un camino dedicado a transmitir la conversación.

Al llegar las líneas analógicas a la central, pasan por una tarjeta de abonado, que realiza la conversión de señal analógica a digital y viceversa.

La computadora maneja niveles discretos de señal, 0 o 1, y por lo tanto la comunicación con ella debe ser digital. Como la línea es analógica, de este lado también se debe realizar conversión, y es el módem quien la realiza.

Un módem es un modulador-demodulador, lo que implica convertir de digital a analógico y viceversa. Un módem permite entonces transmitir datos por circuitos analógicos. El módem acepta como entrada una corriente de bits y produce una portadora modulada como salida o viceversa. El módem se coloca entre la computadora y la línea telefónica.

El siguiente esquema resume la situación descripta:



Las uniones entre cables, que en muchos casos tienen diferente sección de cobre impacta en la atenuación de las señales.

Para interconectar centrales de ciudades distintas se utilizan enlaces de microondas, fibra óptica o enlaces satelitales, dependiendo de las distancias y la accesibilidad. En el Uruguay el grado de digitalización de estos enlaces es –como se dijo antes- muy alto.

Para interconectar telefónicamente los países se utilizan básicamente enlaces satelitales y, cada vez más, los enlaces de fibra óptica, por ejemplo el cable Unisur.

El ancho de banda de un canal telefónico está determinado por el ancho de banda de los canales de transmisión de los enlaces de microondas y satelitales. Este ancho de banda está fijado entre 3.6 y 4 KHz.

La capacidad esté determinada, entonces, por el ancho de banda de los equipos de transmisión y la relación señal/ruido, en la que influye el trenzado (inducción del ruido) y la distancia y calidad del cobre utilizado (atenuación de la señal).

Transmisión serial o paralela

La transmisión serial implica la transmisión de un bit por vez. Un ejemplo es el protocolo RS232 o el RS232C.

La transmisión paralela implica la transmisión de más de un bit por vez. Un ejemplo es el protocolo Centronics.

La transmisión en paralelo es preferida para cortas distancias donde se precisan altas velocidades de transferencia. Por ejemplo el bus de una computadora, conexión de discos, comunicación con la impresora.

Los enlaces físicos preferidos actualmente para la implementación de redes de computadoras son todos seriales.

Sincronización

Para la correcta interpretación de los bits, el emisor y el receptor deben estar sincronizados. Es decir, se acuerda el comienzo y duración de los bits.

La sincronización depende de los relojes en las computadoras que intervienen en la comunicación. Una diferencia de velocidades entre ambos relojes de una millonésima del período, hará que cada 500.000 bits pueda ocurrir una lectura errónea.

Hay dos mecanismos diferentes de sincronización:

- Transmisión asincrónica:
 - Emisor y receptor tienen su propio reloj de la misma velocidad.
 - En la ausencia de transmisión el canal está en reposo.
 - Con el comienzo del primer bit transmitido el canal sale de reposo y eso es interpretado por el receptor para sincronizar su reloj.
 - Se transmiten por vez pocos bits, de forma que las diferencias entre ambos relojes no lleguen a ocasionar desviaciones durante la transmisión.
- Transmisión sincrónica:
 - Se transmite además la información de reloj.
 - Puede transmitirse en forma independiente (por ejemplo RS232 sincrónico).

- Puede enviarse información de reloj embebida en la señal (por ejemplo Manchester).
- Pueden incluirse preámbulos con sólo datos de reloj, para mejorar la sincronización del receptor.

Algunos tipos de codificación para los bits:

Sea M el nivel eléctrico de señal. Además, en todos los casos se considera un largo fijo t para cada bit.

Codificación binaria: el 0 se codifica como un pulso de valor 0 y largo t . El 1 se codifica como un pulso de valor M y largo t .

Codificación Manchester: El 0 se codifica como un pulso de valor 0 durante $t/2$ y M durante t . El 1 se codifica como un pulso de valor M durante $t/2$ y de valor 0 durante $t/2$.

Hay otras codificaciones como la codificación Manchester diferencial.

Multiplexión

La multiplexión se usa para compartir el canal entre varias transmisiones.

Las técnicas más usadas son:

- Multiplexión por división de frecuencias (FDM): Se asigna a cada transmisión un rango de frecuencias.
- Multiplexión por división de tiempo (TDM): Se asigna a cada transmisión una ranura de tiempo.
- Multiplexión estadística por división de tiempo (STDM): Se asigna a cada transmisión una ranura de tiempo variable que se calcula de acuerdo al uso que ella está haciendo del canal.

Ejemplos de protocolos de capa física

- RJ45: Especifica el conector para conectar computadoras a un hub vía UTP.
- RS232: establece las reglas para comunicación serial (un bit por vez) entre computadoras o entre una computadora y un módem. El protocolo abarca la definición de asignación de señales en los conectores, niveles de voltaje para 0 o 1, etc.
- Las especificaciones de capa 1 en las normas 802.3 (Ethernet) y 802.5.

Ejercicios

- 4.1) Elegir una red y analizar los protocolos de nivel físico que existen en ella.
- 4.2) Construir una lista de protocolos de nivel físico y el problema que resuelve cada uno.

Capítulo 5: Capa de enlace

La capa de enlace utiliza el servicio provisto por la capa física: transmitir bits entre dos puntos adyacentes de la red.

La función de la capa de enlace es transmitir tramas entre dos puntos adyacentes de la red.

Una trama es un conjunto ordenado de bits. Las tramas pueden ser de largo fijo o de largo variable. En este segundo caso las tramas se delimitan por configuraciones especiales de bits.

La capa de enlace se divide en dos subcapas:

- Subcapa de acceso al medio (MAC):
 - Encapsula el acceso al medio.
 - Existe siempre que el hayan conexiones basadas en canales.
- Subcapa de control del enlace lógico (LLC):
 - Intenta detectar y/o corregir errores en las tramas.
 - Se provee una interfaz orientada o no a conexión para la capa 3.
 - Se asegura que las tramas lleguen en la secuencia correcta.
 - También se implementa control de flujo.

Los problemas a resolver entonces en la capa 2 son:

- Arbitraje del canal si lo hubiera
- Proporcionar la interfaz del servicio
- Definir la manera que los bits se agrupan en tramas
- Proporcionar comunicación confiable y eficiente entre dos máquinas adyacentes
- Manejar errores en la transmisión
- Control de flujo
- Direccionamiento

Normalmente la capa 2 aparece implementada en los circuitos de las propias tarjetas de red (que también contienen la capa 1 en ese caso).

La norma ISO 8802-2 (IEEE 802.2) es un ejemplo de un conjunto de protocolos para subcapa LLC en capa de enlace.

La norma ISO 8802-3 (IEEE 802.3) es un ejemplo de un conjunto de protocolos para subcapa MAP en capa de enlace.

Construcción de las tramas

Con el fin de detectar y/o corregir errores, en esta capa se divide el flujo de bits en tramas (a veces llamadas marcos, frames).

Cada trama contiene información propiamente dicha e información redundante. La redundancia es necesaria para detectar y/o corregir errores.

Al enviar información, se genera la información redundante correspondiente (redundancia) y se colocan la información y la redundancia en una trama. Se envía la trama. El receptor extrae de ella la información y la redundancia. Recalcula la redundancia a partir de la información y de esa forma puede detectar la presencia de errores en el flujo de bits.

Hay varias formas de delimitar tramas de largo variable:

- Conteo de caracteres: se incluye en el cabezal de la trama un campo que indica la cantidad de caracteres de la misma. El receptor utiliza este campo para saber el final de la trama.
- Caracteres de inicio y fin, con relleno de caracteres: Se asignan caracteres especiales de principio y fin. Un problema es si los mismos deben aparecer dentro de la información.
- Caracteres de inicio y fin, con relleno de bits: Igual que el anterior pero reservando configuraciones especiales de bits.
- Violación de codificación de la capa física: Por medio de la notificación de error en capa 1 se detecta el comienzo y fin de trama.

Control de errores

El primer problema que aparece es el de asegurar que todas las tramas sean entregadas a la capa de red de la máquina destino en el orden apropiado.

Para solucionarlo, se proporciona al receptor retroalimentación sobre lo que está ocurriendo del otro lado de la línea. Para esto, cada vez que el receptor recibe una trama avisa si llegó bien o no.

Surge entonces el problema es detectar errores en las tramas recibidas. Esto se tratará más adelante en este capítulo.

Continuando con el protocolo basado en confirmaciones, si se perdiera una trama completa el protocolo se detendría, por lo que hay que usar temporizadores (timeouts) que permitan habilitar reenvíos.

También, si se pierde un mensaje o un acuse de recibo, se podría recibir un mensaje varias veces. La solución para esto es asignar un número de secuencia a las tramas.

Este tipo de controles aparece también en los protocolos de capa 4, aunque a más alto nivel (con paquetes y no con tramas).

Detección y corrección de errores

Como resultado de los procesos físicos que ocasionan el ruido, los errores tienden a presentarse en ráfagas más que en forma aislada.

Para detectar y/o corregir errores es necesario agregar redundancia a los datos a transmitir. Es claro que corregir errores es mucho más ambicioso que detectarlos, lo que implica la necesidad de mayor redundancia en caso de desear corregir.

Sea una trama de m bits de información y r bits de redundancia. El largo de la trama es $n = m + r$. A una secuencia de n bits se la denomina palabra del código.

Por ejemplo si $m=3$ y $r=1$, entonces $r=4$. Un ejemplo de palabra de ese código sería 0101.

Se denomina distancia de Hamming (o distancia) a la cantidad de diferencias (bit a bit) entre dos tramas.

Por ejemplo, las palabras 0011 y 0101 difieren en el segundo y tercer bit, lo que hace que $d(0011,0101)=2$.

La distancia de Hamming cumple las propiedades matemáticas de una función distancia.

La distancia de un código se define como la distancia mínima entre dos palabras, para todo par de palabras del mismo.

Para detectar d errores se necesita un código de distancia $d + 1$.

Para corregir d errores se necesita un código de distancia $2d+1$.

Por ejemplo con un código de distancia 5 podemos detectar errores en cuatro bits y corregir errores en 2 bits.

Ejercicios

5.1) ¿ Cuántos bits de redundancia se necesitan para detectar 1 error en 4 bits de información?

5.2) ¿ Cuántos bits de redundancia se necesitan para detectar 2 errores en 4 bits de información ?

5.3) ¿ Cuántos bits de redundancia se necesitan para corregir 1 error en 4 bits de información ?

5.4) ¿ Cuántos bits de redundancia se necesitan para corregir 2 errores en 4 bits de información ?

Para detectar y corregir errores se debe –ya se dijo- agregar redundancia.

Si se transmiten por ejemplo m bits, se toma un subconjunto entre los 2^m posibles y se aceptan esos códigos como válidos, siendo el resto inválidos.

Si se recibe un código inválido, se reconoce un error en la transmisión. Para que un error no sea detectado, un código válido debe haberse cambiado por otro válido.

Hay varias formas de generar redundancias, entre las que se destacan la paridad par e impar, los códigos 2 de 5, los códigos de Hamming y los CRC (códigos de redundancia cíclica).

Ejemplo

A continuación se analiza en detalle la paridad par para 3 bits de información.

El bit de redundancia, llamado también bit de paridad, se calcula de modo tal que el total de unos en la trama sea par.

$m=3$, $r=1$, $n=4$

Por ejemplo, para enviar la información: 001 se envía la trama 0011 de modo de quedar con una cantidad par de unos.

El receptor recibe 0011 y separa información 001 y redundancia 1. Recalcula la redundancia a partir de la información y entonces concluye que es correcta la trama (o al menos no logra detectar errores en ella).

Si por el contrario, el receptor recibe 0111, separa la información 011 y la redundancia 1. Recalcula el bit de redundancia, le da 0 y rechaza la trama por ser incorrecta.

Sin embargo, si la trama 0011 sufre dos alteraciones en sus bits y llega 0000, la trama (incorrecta) es aceptada como válida.

El conjunto de posibles tramas de 4 bits es:

0000
0001
0010
0011
0100
0101
0110
0111
1000
1001
1010
1011
1100
1101
1110
1111

De ellas, sólo corresponden a tramas correctas la mitad:

0000 Correcta
0001
0010
0011 Correcta
0100
0101 Correcta
0110 Correcta
0111
1000
1001 Correcta
1010 Correcta
1011
1100 Correcta
1101
1110
1111 Correcta

Del universo de 16 palabras, 8 son correctas y 8 son incorrectas.

La distancia del código es 2, y por esa razón se detectan errores individuales y no es posible la corrección de errores.

Ejercicio

5.5) Repetir el estudio anterior para un código de paridad par con 4 bits de información.