

93
2oj-

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

INTERCONEXION DE REDES DE
AREA LOCAL HETEROGENEAS A
TRAVES DE SATELITE

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN COMPUTACION

P R E S E N T A N :

DERITH E. TORRES GUTIERREZ
FRANCISCO MEJIA JIMENEZ
LUIS ALBERTO ZARATE NAJERA
EDUARDO OROPEZA ORTIZ

DIRECTOR: ING. JESUS REYES GARCIA



MEXICO, D. F.
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción

Capítulo I: Sistemas de Telecomunicaciones por Satélite.

Introducción.	I- 1
Breve Historia de los Satélites de Comunicaciones	I- 2
Órbitas de los Satélites	I- 5
Satélites Geostacionarios y Geosíncronos	I- 9
Cobertura de los Satélites Geostacionarios	I-10
Ángulos de Vista (Orientación de las Antenas Terrestres)	I-10
Ángulo de Elevación	I-11
Ángulo de Azimut	I-11
Control de las Estaciones Terrenas	I-12
Rastreo del Satélite	I-17
El Transmisor	I-18
Estructura de los Satélites (Subsistemas que lo forman)	I-18
Subsistema de Antenas	I-20
Subsistema de Comunicaciones	I-20
Subsistema de Energía Eléctrica	I-21
Subsistema de Control Térmico	I-22
Subsistema de Posición y Orientación	I-23
Subsistema de Propulsión	I-24
Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando	I-24
Subsistema Estructural	I-25
Fuera de Servicio por Tránsito Solar y Eclipse	I-26
Retardo de Transmisión	I-28
Cancelación de Eco	I-29
Espaciamiento Orbital	I-30
Bandas de Frecuencia para Telecomunicaciones por Satélite	I-30
Patrones de Radiación de las Antenas del Satélite (huellas)	I-32
Reuso de Frecuencia	I-33
Efectos de Propagación	I-35
Atenuación Atmosférica	I-35
Efectos de Lluvia	I-36
Efectos de la Ionósfera	I-37
Ángulos de Elevación Bajos para las Antenas Terrenas	I-38
Temperatura del Ruido de la Antena y del Sistema	I-38
Interferencia	I-39

Modelo de un Enlace por Satélite	I-39
Consideraciones sobre el Diseño del Enlace	I-40
Cálculos de Enlace	I-41
Enlace de Subida	I-42
Enlace de Bajada	I-44
Implementación del Sistema	I-49

Capítulo II: Técnicas de Acceso Múltiple Empleadas en Satélites.

Introducción.	II-1
Métodos de Asignación	II-1
Fijo Preasignado	II-2
Acceso Múltiple Asignado por Demanda (DAMA)	II-2
Aleatorio	II-2
Técnicas de Acceso	II-3
FDMA Acceso Múltiple por División de Frecuencia	II-3
MCPC Multicanal por Portadora	II-4
SCPC Canal Único por Portadora	II-5
SPADE	II-6
TDMA Acceso Múltiple por División de Tiempo	II-6
MCPC Multicanal por Portadora	II-8
TDMA con Asignación por Demanda	II-8
ALOHA	II-8
SS-TDMA	II-9
CDMA Acceso Múltiple por División de Código	II-10
Mediante Secuencias Seudoaleatorias (Secuencia Directa)	II-10
Mediante Salto de Frecuencias	II-11

Capítulo III: Redes de Computadoras.

Introducción	III-1
Técnicas de Conmutación	III-2
Conmutación de Circuitos	III-2
Conmutación de Mensajes	III-3
Conmutación de Paquetes	III-4
Circuitos Virtuales y Datagramas	III-5
Difusión de Paquetes	III-7

Tipos de Redes	III-7
Redes de Area Local (LAN)	III-7
Redes de Area Metropolitana (MAN)	III-8
Redes de Area Amplia (WAN)	III-10
WAN's Centralizadas	III-10
WAN's Distribuidas	III-10
Redes de Area Global	III-11
Redes de Comunicaciones para Interconectar Redes de Computadoras	
Separadas a Grandes Distancias	III-11
Red Pública de Transmisión de Datos (PDN)	III-11
Redes de Valor Agregado (VAN)	III-13
Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)	III-15
Red de Microondas	III-16
Redes de Satélites	III-17
Topologías de Redes	III-18
Estrella	III-18
Anillo	III-18
Arbol	III-19
Malla	III-19
Bus	III-19
Arquitecturas de Protocolos para Redes de Computadoras	III-21
Arquitecturas de Protocolos en Capas	III-21
Modelo de Referencia OSI	III-22
Capas del Modelo OSI	III-23
Arquitectura de Sistemas de Red (SNA)	III-24
Arquitectura de la Red Digital (DNA)	III-27
Modelo DoD	III-29
XEROX	III-31
Arquitecturas de Protocolos para LAN's (estandar 802 de la IEEE)	III-32
Arquitectura de la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)	III-33
Comparación de estas Arquitecturas con el Modelo de Referencia OSI	III-34
Interfases entre el Equipo de Cómputo y el Equipo de Comunicaciones	III-35
Protocolos de la Capa Física	III-35
EIA RS-232C / RS232 / CCITT V24	III-35
EIA RS-449	III-36
CCITT X21	III-37
Ethernet	III-38
Interfases de la ISDN 1.430 y 1.431	III-40
La Capa Física en SNA y DNA	III-41
La Capa Física en IEEE 802	III-41
Interfase del Equipo de Cómputo	III-42
USART	III-43
DMA (Acceso Directo a Memoria)	III-44

Interfase al Canal de Comunicaciones	III-44
Gestión de Terminales	III-45
Multiplexor	III-46
Controladores	III-47
Control de Acceso al Medio	III-47
Métodos de Acceso Controlado (Centralizado)	III-47
Sondeo (Polling)	III-47
TDMA	III-48
Conmutación de Circuitos (PBX)	III-48
Métodos de Acceso Aleatorio	III-49
ALOHA	III-49
Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión (CSMA-CD)	III-50
Métodos de Acceso Controlado (Distribuido)	III-50
Paso de Testigo Bus y Anillo	III-50
Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Prevención de Colisiones (CSMA-CA)	III-52
SPI (Interfase Serial de Periférico)	III-52
NCRP (Protocolo de Resolución de Contensión Neutral	III-53
Posicional	III-53
Subcapa de Control de Acceso al Medio en el Estándar 802 de la IEEE	III-53
Sincronización y Control de Errores	III-54
Tipos de Sincronización	III-54
Detección de Errores	III-54
Código de Bloques	III-55
Chequeo de Paridad Vertical (VRC)	III-55
Chequeo de Paridad Longitudinal (LRC)	III-57
Chequeo Combinacional	III-57
Códigos cíclicos	III-58
Método Polinomial o de Redundancia Cíclica (CRC)	III-58
Técnicas de Retransmisión ARQ	III-58
Método de Parada y Espera	III-58
Método Continuo	III-59
Protocolos de la Capa de Enlace	III-59
Protocolos de Enlace Físico	III-59
Controles de Enlace de Datos Asíncronos o de Inicio Parada	III-60
Protocolos Orientados a Caracter	III-60
BSC	III-61
Protocolos Orientados al Conteo de Bytes	III-62
Protocolos Orientados al Bit	III-62
Protocolos de Acceso en LAN's (LLC)	III-63
Protocolo LAPD (recomendación 1.441 de ISO para RDSI)	III-64
Protocolos de la Capa de Red	III-65

X.25	III-65
Capa de Red en Conmutación de Circuitos	III-67
Enrutamiento Dinámico para el Tráfico de Conmutación de Circuitos	III-67
Enrutamiento Dinámico no Jerárquico (DNHR)	III-67
Enrutamiento Controlado Dinámicamente (DCR)	III-67
Capa de Red en OSI	III-68
Organización Interna de la Capa de Red (OICR)	III-69
Servicios de la Capa de Red	III-70
Capa de Enrutamiento DNA	III-71
Capa de Control de Trayectoria SNA	III-72
Capa de Red en ISDN	III-72

Capítulo IV: Interconexión de Redes

Introducción.	IV-1
Motivaciones para la Interconexión	IV-1
Requerimientos para la Interconexión de Redes	IV-3
Repetidores, Puentes, Enrutadores y Pasarelas	IV-3
Diferencias comunes entre Redes	IV-6
Esquemas de Domicilio y nombramiento	IV-6
Técnicas de Enrutamiento	IV-6
Cuantificación de la Información	IV-7
Tamaños de los Paquetes	IV-7
Control de Errores	IV-7
Control de Flujo	IV-8
Temporización	IV-8
Interrupciones	IV-8
Reportes de Estado y Contabilidad	IV-9
Control de Acceso a Usuarios	IV-9
Procedimientos de Cláusura	IV-9
Puentes	IV-10
Definición de Puente	IV-10
Puentes de Enrutamiento de Fuente	IV-12
Puentes de Arbol de Expansión	IV-14
Comparación de los Planteamientos de Puentes en IEEE 802.	IV-17
Enrutadores y Pasarelas	IV-18
X.75	IV-19
Protocolo Internet DoD (IP)	IV-21
Protocolo Internet de ISO	IV-28
Campos para Partes Fijas	IV-29

Campos para las Partes de Direcciones	IV-30
Campos para la Parte de Segmentación	IV-31
Pasarela DNA/SNA	IV-31
Problemas en Interconexiones Grandes de Redes	IV-37
Desacuerdos en Domicilios	IV-37
Paquetes Chernobyl y Derretimiento de la Red	IV-37
Sincronización en Picos de Carga	IV-38
Agujeros Negros y Otros Problemas de Enrutamiento	IV-39

Capítulo V: Interconexión de LAN's Heterogéneas a través de Satélite.

Introducción	V- 1
Selección del Medio de Comunicación para la Interconexión de LAN's	V- 1
Selección de los Dispositivos para la Interconexión de LAN's	V- 4
Utilización de Software	V- 6
VSAT - Terminales de Apertura Muy Pequeña	V- 7
Variedades de VSAT	V- 7
Fuentes de Retardo	V-10
Protocolos de Red para los Sistemas VSAT	V-11
Características de VSAT	V-11
Especificaciones de las Redes VSAT en México	V-13
Interconexión de Redes de Area Local Diferentes	V-14
Diseño del Formato de las Tramas en el Enlace por Satélite	V-34
Interconexión de LAN's Utilizando Diversos NOS	V-35
¿Por qué Emplear X.25 como Red de Enlace?	V-46
Comparación de las Técnicas de Acceso al Satélite	V-47
¿Cuál es la Técnica de Acceso al Satélite Óptima?	V-49
Acceso a un Mainframe por Medio de la Red VSAT	V-50
Interconexión de LAN's similares o casi similares	V-52
Tendencias Futuras	V-54
Tendencias de la Población de Redes	V-54
Tecnologías Estratégicas	V-55
Sistemas Operativos de Red	V-55
Protección de la inversión	V-56
Interoperabilidad	V-56
El Futuro de la Conectividad	V-56
ISDN - Red Digital de Servicios Integrados	V-57
Tendencias Futuras de VSAT	V-59

Conclusiones

INTRODUCCION

En el capítulo uno se analiza el satélite como una de las mejores alternativas que ha encontrado el hombre para las comunicaciones; el satélite es utilizado para brindar servicio de telecomunicación internacional, nacional o regional. Existen dos tipos principales de la clasificación de satélites, por su aplicación y por su servicio, pero en este capítulo se dará mayor énfasis a los satélites geostacionarios, dándose una descripción detallada de los procedimientos usados para poner a un satélite de este tipo en órbita. Posteriormente se realiza una descripción de los sistemas principales que conforman un satélite: sistema de antena, sistema de comunicaciones, sistema de energía eléctrica, sistema de control térmico, sistema de posición y orientación, sistema de propulsión, sistema de telemetría y comando y sistema estructural. También se describen algunos aspectos que tienen que ver con la comunicación entre la estación terrena y el satélite (tránsito solar, retardo de transmisión, patrones de radiación de las antenas del satélite, efectos de propagación e interferencia), para terminar con algunas consideraciones sobre el diseño de un enlace por satélite estableciendo los cálculos necesarios para tal propósito y un ejemplo ilustrativo.

En el capítulo dos se describen tanto los métodos de asignación como las técnicas de acceso utilizadas para asignar y utilizar la capacidad del satélite. Los principales métodos de asignación de la capacidad del satélite son: fijo-preasignado, acceso múltiple asignado por demanda y aleatorio. Las técnicas de acceso múltiple que se han desarrollado son las de división por frecuencia, división en el tiempo y por división de código; estas técnicas resuelven satisfactoriamente el manejo de tráfico a través de el satélite.

En el capítulo tres se establece en una forma más general, el objetivo de las redes de computadoras que consiste en compartir recursos, haciendo que todos los programas, datos y equipos estén disponibles para cualquier terminal de la red que así lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario. Las redes de computadoras se clasifican de acuerdo a su propósito y características generales: topología (estrella, anillo, bus, malla, árbol), cobertura (LAN, MAN, WAN, GAN), control de transmisión (centralizado, distribuido, aleatorio), formas de transferencia de la información (conmutación, difusión); así mismo se establecen las diferencias entre el modelo OSI y otros tipos de arquitectura utilizados comercialmente. En este capítulo se trata más a fondo todo lo concerniente a las redes de computadoras, explicando los conceptos básicos en una forma breve y sencilla.

En el capítulo cuatro, se habla sobre los motivos que existen para la interconexión de redes y algunos de los mayores problemas que se presentan. Además se comentan algunas de las más destacadas interconexiones estándares actualmente en uso. Entre estas interconexiones se encuentran dos estándares de puentes (bridges) para la interconexión de LAN's en la capa de enlace de datos, más tres estándares -el X.75 y los estándares IP DoD e ISO, para la interconexión en la capa de red. También se da una breve explicación de la pasarela (gateway) DNA/SNA de Digital Equipment Corporation, el cual es un típico ejemplo de la interconexión de redes en una capa superior, en este caso la capa de transporte. Se concluye con una explicación de algunos de los extraños e impredecibles fenómenos que se pueden observar en la compleja interconexión de redes.

En el quinto capítulo se especifica cuando es necesario interconectar redes LAN, dando las posibles alternativas y haciendo énfasis en la tecnología VSAT, de la cual se da una descripción de sus principales características y servicios que proporciona. Se analizan dos casos en la interconexión de las redes: cuando las redes son similares y cuando son totalmente diferentes, dándose un ejemplo para cada caso. Por último se ofrece un panorama total sobre el futuro de las LAN's empleando la tecnología VSAT.

Por último se presentan las conclusiones a las que se llegaron después de haber participado en la realización de este proyecto.

Al final del trabajo de tesis se anexan las fuentes de consulta empleadas en su elaboración.

CAPITULO I

SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITE

Introducción

En este siglo hemos observado un acelerado desarrollo de la ciencia y de la cultura, lo que ha cambiado el modo de ser, de pensar y de actuar del hombre, es decir, su forma de vivir.

En este proceso de transformación, han tomado parte decisiva las realidades alcanzadas por las comunicaciones, las cuales han abarcado todos los niveles de la actividad humana, que han surgido como el fruto de una idea brillante, y que se han transformado en verdaderos agentes de cambio.

La comunicación es parte fundamental de la vida, en esencia, es una manifestación de que hay vida; desde su forma más simple que es la voz, los ademanes o símbolos gráficos, hasta la más compleja lograda gracias a los avances que se han alcanzado en la comunicación eléctrica. Las ingeniosas formas de comunicación que el hombre ha desarrollado nos permiten en la actualidad transmitir señales eléctricas a distancias enormes (típicamente cualquier distancia en el universo) y con velocidades sumamente altas.

La creciente necesidad de contar con medios que, con mayor capacidad, permitan manejar volúmenes mayores de información, han estimulado la búsqueda de alternativas más eficientes de transmisión. Esta eficiencia involucra también comportamientos más confiables y con cada vez menores limitaciones de distancia.

Una de las alternativas que ha encontrado el hombre, son las comunicaciones vía satélite, que han evolucionado durante los últimos 33 años para convertirse en una sólida industria participando ampliamente a nivel mundial.

Las comunicaciones por satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy interesante en su desarrollo. Los satélites han sido utilizados para brindar servicio de telecomunicaciones internacionales, nacionales o regionales a través de enormes antenas, conectadas a las redes nacionales de comunicaciones.

Los satélites integran una gran familia, en general se pueden clasificar:

POR SU APLICACIÓN:

- Comunicaciones.
- Exploración terrestre.
- Meteorología.
- Exploración espacial.
- Radio-navegación, radio-localización y aeronáutica.
- Militares.

POR SU SERVICIO:

- Servicio fijo (globales, domésticos y regionales).
- Servicio móvil.
- Radiodifusión directa.
- Experimentales.

La parte abocada a los servicios de telecomunicaciones es la más importante en nuestro estudio, en particular los satélites geoestacionarios, ya que son los que más se utilizan en la actualidad.

Breve Historia de los Satélites de Comunicaciones

Los orígenes de la idea de satélites para comunicaciones no están muy claros, pero no hay duda de que la idea de satélite geoestacionario fue propuesta por primera vez en 1945 por Arthur C. Clarke, en un artículo titulado "Estaciones Extraterrestres" de la revista "Wireless World". Proponía usar éstos satélites en cadenas de radio de FM y no para servicio telefónico; por si fuera poco, Clarke también visualizó el uso en el espacio de potencia eléctrica generada por paneles de celdas solares.

Al final de los años 40's y principios de los 50's, se demostraron reflexiones en la Luna para su aplicación en sistemas de comunicaciones. En julio de 1954, los primeros mensajes de voz fueron transmitidos por la marina de los E.U. sobre la trayectoria de la Tierra a la Luna y viceversa. En 1956, se estableció un enlace haciendo uso de la Luna, entre Washington D.C. y Hawaii. Este circuito operó hasta 1962, ofreciendo comunicación segura a larga distancia teniendo como única limitación la disponibilidad de la Luna en los sitios de transmisión y de recepción. La potencia empleada era de 100 kW con antenas de 26 metros de diámetro a una frecuencia de 430 MHz.

En 1958 surge el proyecto SCORE; consistía en satélites del tipo de grabación y retransmisión, con un peso de 150 lbs y a una órbita entre 110 y 920 millas. En 1960 los laboratorios BELL, NASA y JPL, realizaron el experimento ECHO, que consistía de un

globo hecho de plástico (cubierto de aluminio), con un diámetro de 100 pies, a una órbita inclinada de 1,500 km de altitud y visible al ojo humano; con este experimento se establecieron exitosas comunicaciones en los Estados Unidos.

Aunque los satélites pasivos (satélites diseñados para transmitir señales de radiocomunicación utilizando reflectores) tienen gran capacidad para las comunicaciones de acceso múltiple, tienen la desventaja del ineficiente uso de la potencia de transmisión.

El primer satélite repetidor activo (satélite que puede reacondicionar y modificar las señales provenientes de la Tierra para retransmitirlas correctamente) fue el COURIER (1960), que utilizó por primera vez celdas solares como fuente de energía eléctrica, aceptando y almacenando hasta 360,000 palabras de teletipo; operó por 17 días con 3 watts de potencia de salida y trabajando en una órbita entre 600 y 700 millas.

En 1962 es lanzado el TELSTAR, el cual consistía en una esfera de unos 87 cm de diámetro, con un peso de 80 kg, con una potencia de 2.25 watts suministrada por un TWT, con un ancho de banda de radiofrecuencia de 50 MHz en las bandas de 4 y 6 GHz (banda C), en una órbita de 682 a 4,030 millas y con una capacidad de 600 canales telefónicos. Este satélite fue capaz de retransmitir programas de TV a través del Océano Atlántico.

En 1963, la fuerza aérea de los E.U. logró poner en órbita un cinturón orbital (el cual actuaba como un reflector pasivo), llamado WEST FORD, transmitiendo voz en forma digital en una forma inteligible; este cinturón estaba compuesto de pequeños dipolos colocados a 2,300 millas. En ese mismo año se lanzó el primer satélite de comunicaciones en órbita geostacionaria. Este satélite fue puesto en órbita por la NASA y se llamó SYNCOM. También se fundó INTELSAT (Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite) que es un consorcio cuyo propósito es diseñar, desarrollar, construir, establecer y mantener la operación de un sistema de comunicaciones comerciales globales vía satélite. La red de INTELSAT consiste de 13 satélites geostacionarios, colocados sobre los Océanos Atlántico, Índico y Pacífico y en más de 700 estaciones terrenas. INTELSAT es el principal proveedor de servicios transoceánicos de telefonía y televisión; permite transmitir datos a baja y alta velocidad, videoconferencias, correo electrónico y télex. INTELSAT, basado en los éxitos de los proyectos RELAY y SYNCOM, lanzó el EARLY BIRD (INTELSAT I) en abril de 1965, que fue el primer satélite de comunicaciones comerciales en el mundo, con 240 canales de voz y 40 watts de potencia de salida. Posteriormente se logró la cobertura en el Atlántico y el Pacífico con el INTELSAT II, primer satélite comercial de acceso múltiple con capacidad de multidestino, con 240 circuitos de voz y 75 watts de potencia de salida, siguiéndole el INTELSAT III, que contaba con 1,200 circuitos de voz y 120 watts de potencia de salida.

La fase de madurez total en los satélites de comunicaciones arribó con el INTELSAT IV en 1971, que era un satélite de giro con un ensamble de 13 diferentes antenas; contenía dos haces formados por dos antenas parabólicas dirigidas a un punto específico de Europa,

Norte o Sudamérica. Podía conducir hasta 2 canales de color de TV al mismo tiempo, con una potencia de salida de 400 watts.

En 1972, Canadá pone en órbita el primer satélite doméstico en el mundo llamado ANIK, con 5,000 canales de voz y 300 watts de potencia de salida. Estados Unidos lanza su primer satélite doméstico en 1974, el WESTAR, con el que se inicia una nueva era en las comunicaciones de ese país.

El satélite INTELSAT V fue puesto en órbita en 1980 en la región del Océano Atlántico, con una capacidad de casi 25 mil canales.

Al igual que INTELSAT, surgen otras organizaciones, como EUTELSAT (Organización Europea de Telecomunicaciones por Satélites), que es una organización europea de 26 países, cuyo objetivo es operar varios satélites de comunicaciones para satisfacer las necesidades de transmisión internacional de sus miembros dentro de Europa.

Otra organización del mismo tipo es ARABSAT (Organización Árabe de Comunicaciones por Satélite), que es una organización de la Liga de Países Árabes, cuyas funciones primordiales son adquirir los satélites necesarios y las facilidades para su lanzamiento y control, así como operarlos para la prestación de servicios de comunicaciones a sus 22 países participantes. Estas son las principales organizaciones a nivel mundial, sin embargo, existen otras organizaciones importantes a nivel internacional como son ASTRA, PAN AMERICAN SATELLITE, INTERSPUTNIK, PALAPA y PACSTAR.

En 1966, la creciente necesidad de comunicación de nuestro país lo llevó a ser miembro del consorcio INTELSAT. En 1968 entra en la era de los satélites artificiales al transmitir la XIX Olimpiada, mediante el enlace del satélite ATS-3 de INTELSAT; para ello se instaló la estación terrena TULANCINGO I. México ha seguido incrementando su infraestructura en materia de telecomunicaciones, creando 2 estaciones terrenas (TULANCINGO II y TULANCINGO III) que han servido para ampliar considerablemente nuestras comunicaciones internacionales. En 1981, la saturación de la red federal de microondas llevó al gobierno a arrendar capacidad en uno de los satélites de INTELSAT, para satisfacer la creciente demanda de señales de televisión, telefonía, y telegrafía tanto nacional como internacional.

El Gobierno Federal en 1985, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pone en órbita el Sistema de Satélites Morelos, el cual consiste de dos satélites híbridos, el Morelos I (lanzado en junio de 1985) y el Morelos II (lanzado en noviembre del mismo año).

En 1990 se hizo una licitación a nivel internacional para el nuevo sistema de satélites, que incorporará los mayores avances tecnológicos en materia de satélites comerciales; este proyecto se denomina Sistema de Satélites Solidaridad, cuyas principales características son:

- Estabilidad triaxial.
- Peso aproximado de 2,800 kg.
- Potencia del orden de 2,500 Watts.
- Servicio fijo en banda C con 18 transpondedores.
- Servicio fijo en banda Ku con 16 transpondedores.
- Servicio móvil en banda L.
- Vida útil de 12 años.

Orbitas de los Satélites

Los satélites de comunicaciones modernos tienen órbitas muy diferentes de sus predecesores en el ámbito experimental (TELSTAR de AT&T y RELAY de RCA). Estos últimos viajaban rápidamente alrededor de la Tierra a una altura relativamente baja. Los satélites TELSTAR tenían órbitas elípticas muy altas, de 600 a 6,200 millas. El apogeo de la elipse (punto de la órbita que se encuentra más alejado de la Tierra) fue puesto en posición tal, que el satélite estaba dentro de la línea de vista de ciertas estaciones, tanto tiempo como fuera posible. Los satélites lanzados en la primera década de los vuelos espaciales, viajaban alrededor de la Tierra en pocas horas (TELSTAR I, 2 horas con 38 minutos, y TELSTAR II, 3 horas con 45 minutos).

Aquí aparece la desventaja para esos satélites, ya que estaban dentro de la línea de vista de la estación de rastreo por un breve período de tiempo, algunas veces menos de media hora.

Los soviéticos usaron órbitas elípticas (inclinadas alrededor de 60° con respecto al plano ecuatorial) para sus satélites de comunicaciones MOLNIYA; estas órbitas son mayores, tal que los satélites están dentro de la línea de vista por largos períodos de tiempo.

Una órbita a una altura aproximada de 36,000 km es especial, ya que un satélite a esa altura toma exactamente 24 horas para viajar alrededor de la Tierra (el tiempo de rotación de la misma). Si la órbita está sobre el ecuador y el satélite lleva la misma dirección que la Tierra, a esta órbita se le llama órbita geoestacionaria, pero con frecuencia se le llama "Cinturón de Clarke", en honor a Arthur C. Clarke (figura 1.1).

En la actualidad, esta es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra; muchos propietarios de satélites quieren estar ahí por razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones. Se puede decir que existen infinidad de órbitas en las cuales se puede colocar un satélite; las más comunes, además de la geoestacionaria, son:

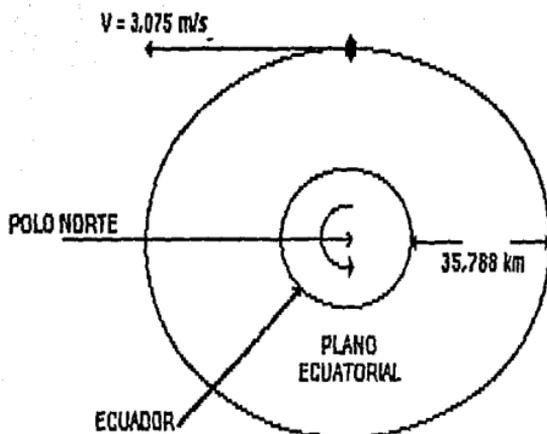


Fig. 1.1 Órbita geostacionaria

- *Órbita de altitud baja.* Se encuentra a una altura entre 100 y 300 millas, con un período de rotación de 1 1/2 horas aproximadamente y un tiempo en línea de vista de 1/4 de hora o menos.

- *Órbita de altitud media.* Se encuentra a una altura típica de 6,000 a 12,000 millas, con un período de rotación de 5 a 12 horas y un tiempo en línea de vista de 2 a 4 horas.

- *Órbita de altitud alta.* Se encuentra a una altura de 22,300 millas, con un período de rotación de 24 horas y un tiempo en línea de vista de un día completo, ya que se encuentra sobre el ecuador.

Una variedad de órbitas son usadas por los satélites comerciales con propósitos especializados, entre las que se encuentran:

- *Órbita geosíncrona.* En esta órbita, el período de revolución del satélite es igual al período de rotación de la Tierra alrededor de su eje.

Una órbita geosíncrona puede ser circular o elíptica y puede estar inclinada a varios ángulos con respecto al plano del ecuador.

Cuando la velocidad del satélite colocado en una órbita es mayor que el período de rotación de la Tierra, se le conoce como órbita PROGRADA. Por el contrario, cuando su velocidad es menor, se le llama órbita RETROGRADA, cuya característica es que el satélite tiende a caer hacia la Tierra por la fuerza de gravedad de esta última.

- *Órbitas polares.* Se encuentran a una altura aproximada de 1,000 km, describiendo una trayectoria por los polos de la Tierra, durante la rotación de la misma.

- *Órbitas elípticas.* Son de altitud media, (órbita MOLNIYA), cuyas ventajas son el poder lanzar satélites desde el mismo territorio que se rastrea, y cubrir las regiones en latitudes altas.

- *Órbita inclinada.* Es similar a la trayectoria de la órbita elíptica, pero con una inclinación respecto a la órbita geostacionaria.

En la figura 1.2 se muestran algunos tipos de órbitas.

Ventajas de la órbita geostacionaria

- El satélite se mantiene casi estacionario con respecto a las antenas de la Tierra.
- No hay interrupciones en la transmisión.
- Debido a la distancia, un satélite geostacionario está en línea de vista en el 42.4% de la superficie de la Tierra, por lo tanto un gran número de estaciones terrenas pueden intercomunicarse.
- Tres satélites son suficientes para una cobertura total de la Tierra.
- Casi no existe el efecto Doppler.

Desventajas de la órbita geostacionaria

- No se cubren las latitudes mayores de 81.25° norte a sur.
- Existe una atenuación considerable y el tiempo de retardo es de 270 ms.
- Es una órbita circular, sobre el plano ecuatorial y el satélite tiene la misma dirección de rotación que la Tierra.

- Las localidades dentro del área de cobertura son siempre las mismas.
- Debido a la gran distancia, la señal es atenuada alrededor de 200 dB, siendo la intensidad de la señal recibida del orden de los picowatts.
- El tiempo de propagación de la señal es también proporcional a la distancia (270 ms promedio), esto es suficiente para tener un efecto significativo en la eficiencia de la transmisión, aunque el impacto en ésta última depende de la naturaleza de la información transmitida y de la aplicación.
- Comparada con las órbitas de altitud baja, los sistemas de lanzamiento deben ser más potentes para alcanzar la órbita geostacionaria.

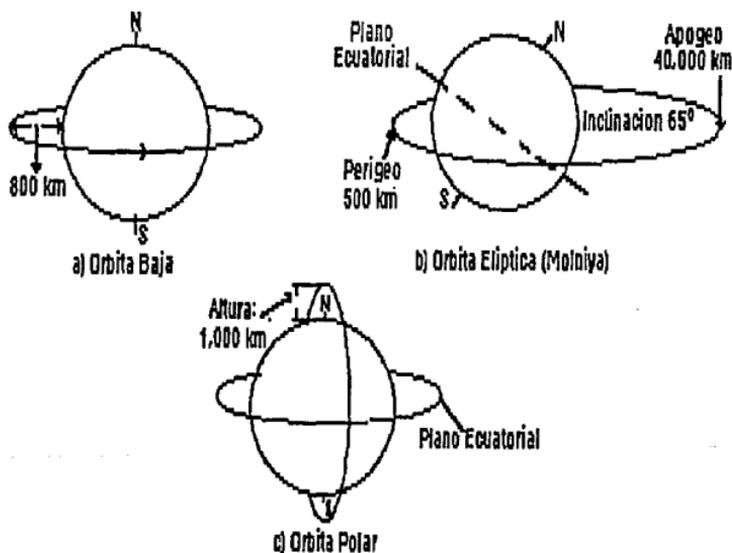


Fig. 1.2 Algunas tipos de órbitas

Satélites Geostacionarios y Geosíncronos

Los satélites geostacionarios giran alrededor de la Tierra sobre el plano ecuatorial, completando una vuelta en 24 horas. Para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, los satélites no se mueven.

Si un satélite sigue una órbita circular sobre el plano ecuatorial terrestre con un radio de 42,162 km, su velocidad angular será la misma que la de la rotación terrestre, de tal manera que de acuerdo con la superficie de la Tierra se mantendrá a una altitud de 35,784 km (refiérase a la figura 1.1). El campo gravitacional del Sol y la Luna, la radiación solar y pequeñas desviaciones del campo gravitacional terrestre, causarán dislocación de la órbita; esta será corregida de tiempo en tiempo por medio de gas frío o pequeños componentes de combustible líquido.

Las estaciones terrestres están libres del problema que se presenta cuando dos satélites no síncronos sólo permiten una línea de enlace por un período limitado de tiempo; otra ventaja es la reducción correspondiente en el mecanismo de rastreo de la señal del satélite. Las pérdidas de enlace y el retardo de la señal son altos, pero permanecen constantes si el estado meteorológico no se considera. El satélite mira hacia la Tierra con un ancho de radiación de 17°. Tres satélites con un espaciamiento angular de 120° ofrecen una capacidad global de comunicación, con excepción de las regiones polares. Es por esta razón que la mayoría de los satélites actuales son geostacionarios con excepción de los satélites MOLNIYA, los cuales se mueven en una órbita altamente inclinada con apogeo arriba del hemisferio norte; son usados principalmente para servir el área extensa y remota del norte de la CEI (anteriormente la URSS) con programas de radio y TV. Ya que estos satélites pasan con cada ciclo orbital a través del cinturón Van Allen, su esperanza de vida es más baja que la de los satélites geostacionarios.

Entre las ventajas de los satélites geostacionarios es que no hay necesidad de cambiar de un satélite a otro, por consiguiente no hay interrupción en la transmisión debido a estos cambios.

Una de las desventajas de los satélites geostacionarios es que requieren de potencias de transmisión altas y receptores muy sensibles, debido a las grandes distancias que deben recorrer las señales y a las pérdidas en la trayectoria. Además se requieren de técnicas y procesos especiales de gran precisión para colocarlos en órbita geostacionaria, y de cohetes de propulsión en los satélites para mantenerlos en sus órbitas respectivas.

Cobertura de los Satélites Geostacionarios

Los satélites geostacionarios miran a la Tierra con un ángulo cónico de 17.3° correspondiendo a un arco de 18,080 km a través del ecuador. Esto es adecuado para la mayoría de los sistemas domésticos y regionales. El área antes mencionada será iluminada por un ancho de señal de 17.3° , conocido como haz global, con el eje cónico a través de la vertical local. Esto asume una elevación mínima de 25° para las estaciones terrenas (es decir el ángulo del eje de la antena con relación a la horizontal local). Si tres satélites se posicionan a 120° , el haz global se superpondrá en la superficie de la Tierra (figura 1.3). La longitud de esta superposición medida como un arco, será de 4,745 km. Una estación terrestre localizada a la mitad de este arco, verá al satélite con un ángulo de elevación de 22° .

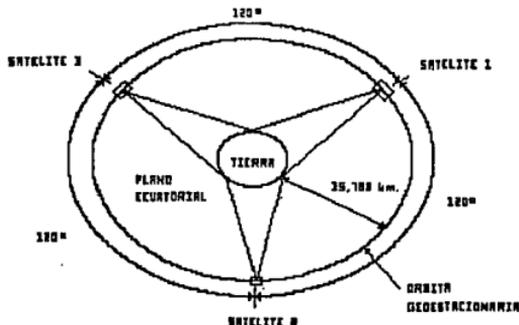


Fig. 1.3 Cobertura del satélite geostacionario

Ángulos de Vista (Orientación de las antenas terrestres)

La orientación de la antena de una estación terrestre hacia un satélite geostacionario se realiza ajustando dos ángulos, en ELEVACION y AZIMUT; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación -en latitud y longitud- y de la ubicación

en longitud del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquél formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite (figura 1.4); por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj -con relación al norte geográfico de la Tierra- para que ese mismo eje de simetría -prolongado imaginariamente- pase por la posición en longitud del satélite (figura 1.5).

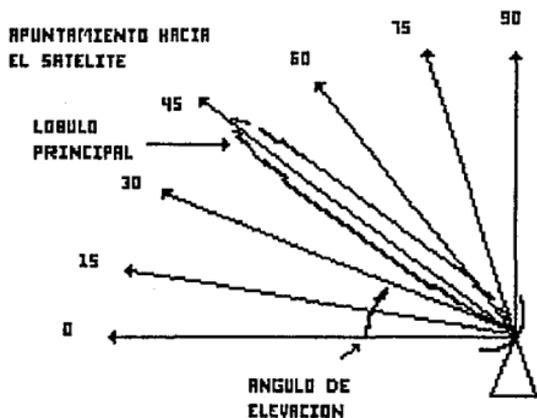


Fig. 1.4 Angulo de Elevación

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar sus ángulos de elevación y azimut; además, aunque se mantenga siempre comunicación con el mismo satélite, también es necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos, debido a que ningún satélite geostacionario es realmente fijo, sino que tiende a salirse poco a poco de su posición orbital. Por otra parte, puede haber casos en los que algunas condiciones ambientales ocasionales -como la lluvia y el viento- y el mismo peso de la antena modifiquen su orientación y sea necesario realizar pequeñas correcciones de los ángulos de elevación y azimut para garantizar una recepción o transmisión óptima de las señales.

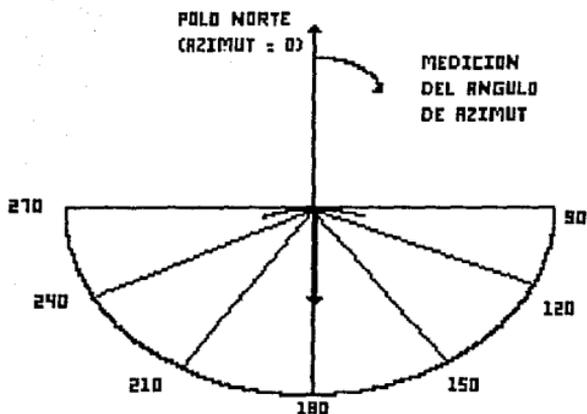


Fig. 1.5 Angulo de Azimut

Control de las Estaciones Terrenas

Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es la antena parabólica. La figura 1.6 muestra el diagrama de bloques generalizado de una estación terrena, pero dependiendo de su aplicación particular, algunas estaciones son mucho más sencillas y carecen de uno o varios de los bloques indicados.

Generalmente, la misma antena se utiliza para transmitir y recibir, por lo que se conecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado diplexor. Si la estación cuenta con un sistema de rastreo, la antena tiene un sistema separado de alimentación que permite realizar el rastreo automático del satélite en combinación con varios mecanismos acoplados a ella.

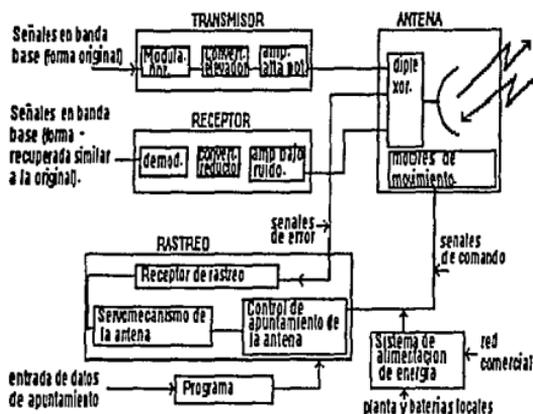


Fig. 1.6 Diagrama de bloques de una estación terrena

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación (figura 1.7). La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se expresa en decibeles en relación con la potencia radiada o recibida por una antena isotrópica (antena ficticia que radia la misma potencia en todas las direcciones alrededor de ella).

Estrictamente, la ganancia de una antena tiene siempre un valor diferente en cada dirección, por convención se asocia a la dirección de máxima radiación, que es el eje del lóbulo principal de su patrón de radiación. Su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo. Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica mayor es su ganancia, su haz o lóbulo principal de radiación es más angosto, y los lóbulos secundarios se reducen; asimismo, si su diámetro se conserva fijo, el mismo efecto anterior se obtiene mientras mayor sea la frecuencia de operación.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco (modo de recepción); asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación (modo de transmisión).

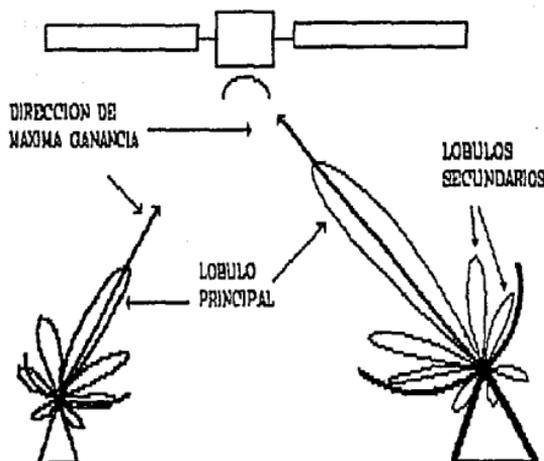


Fig. 1.7 Características de una antena parabólica

El tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Hay varios tipos de alimentación de una antena parabólica, pero los más utilizados son:

- Alimentación frontal.
- Alimentación descentrada.
- CASSEGRAIN.

En una antena con alimentación frontal, el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia está orientada hacia el suelo; esto último presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida (figura 1.8). Asimismo, si la antena está recibiendo del satélite, los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador, y pueden causar una degradación en la calidad de la señal recibida al sumarse fuera de fase con los rayos directos que son reflejados por el plato parabólico. El desborde de la radiación del alimentador se puede reducir si se aumenta el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad.

En una antena parabólica con alimentación descentrada sólo se emplea una sección del plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir, los ejes de la corneta (alimentador) y del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena no coinciden, de allí el nombre de alimentación descentrada (figura 1.9). Sin embargo, la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte, es más costosa que la de alimentación frontal, además de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica.

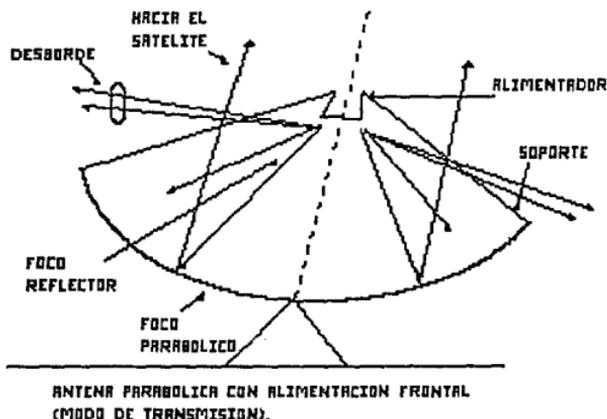
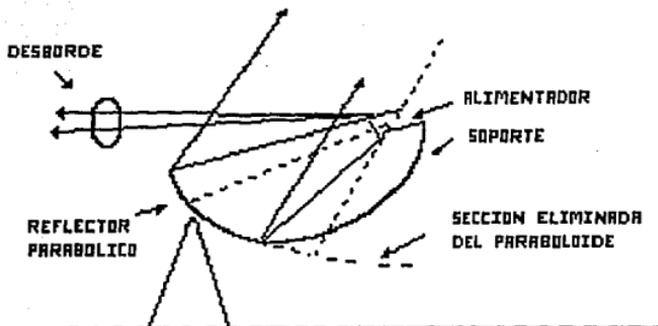


Fig. 1.8 Antena de alimentación frontal

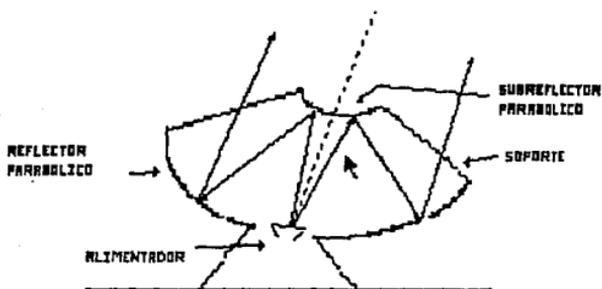
La antena CASEGRAIN es mucho más eficiente que cualquiera de los dos tipos ya descritos y su ganancia es mayor, pero su precio es más alto. Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado "subreflector", y el alimentador ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la Tierra sino por emisiones de la atmósfera (figura 1.10).

Los ejes de la parábola, el alimentador y la hipérbola coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador más alejado de su vértice; de esta forma, la parábola equivalente captura mejor la energía radiada por la corneta y el desbordamiento se reduce significativamente.



ANTENA PARABOLICA CON ALIMENTACION DESCENTRADA (MODO DE TRANSMISION). CON ESTA CONFIGURACION SE ELIMINA EL BLOQUEO DEL ALIMENTADOR, DEL EQUIPO ELECTRICO Y LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

Fig. 1.9 Antena de alimentación descentrada



ANTENA CASSEGRAIN CON ALIMENTADOR FRONTAL (MODO DE TRANSMISION).

Fig. 1.10 Antena de CASSEGRAIN con alimentación frontal

Rastreo del satélite

Dependiendo de cuánto se mueva el satélite en relación con su posición designada y del ancho del haz de la antena terrestre que desee comunicarse con él, se puede requerir o no un sistema de rastreo.

Cuanto más angosto sea el ancho del haz de la antena y ésta este más cerca del ecuador, el apuntamiento se vuelve más importante, especialmente si el satélite está directamente "encima" de la estación. En cambio, si la estación está en una latitud alejada del ecuador, la amplitud de los movimientos del satélite tiene un impacto menor en los ajustes necesarios de la orientación de la antena para rastrearlo. Si el ancho del haz de la antena es mucho más grande que la ventana del satélite (espacio permisible para que el satélite se desplace), entonces no se necesita un sistema de rastreo.

Pero la aplicación de la antena es la que dicta finalmente esta necesidad. Existen fundamentalmente dos sistemas de rastreo: el preprogramado y el automático; en el segundo caso, el seguimiento del satélite se puede hacer por pasos o en forma continua (rastreo monoimpulso).

El rastreo preprogramado consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena para que lo siga. El satélite no se mueve arbitraria o aleatoriamente, sino de acuerdo con la influencia de las fuerzas perturbadoras; por lo tanto, con programas de computadora se pueden predecir sus movimientos y las efemérides de su órbita -excentricidad e inclinación-. Las instrucciones necesarias se almacenan y se le van proporcionando al mecanismo de seguimiento para que realice los ajustes de orientación.

El método de seguimiento automático de rastreo por pasos -también conocido como de "ascenso"- es más económico que el automático de monoimpulso. A intervalos regulares, la antena detecta la intensidad de una señal gafa (radiobaliza) emitida por el satélite; a continuación gira un poco alrededor de sus ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con la anterior; si el nivel de la señal baja, entonces se mueve ahora en la dirección opuesta, y si aumenta en ese sentido, continúa dando pasos hasta detectar el nivel máximo. Todos esos movimientos por pasos, tanto en elevación como en azimut, son controlados por un procesador, así como la estabilidad de la señal gafa y las condiciones de propagación.

El sistema de rastreo monoimpulso es el más preciso y confiable para las antenas grandes, especialmente si funcionan en la banda Ku. Su forma de operación se origina de la tecnología del radar, pues ahora la búsqueda es por un nivel mínimo de recepción de la señal gafa, y para esto la antena necesita un alimentador especial. Los sistemas de monoimpulso utilizan un acoplador especial de microondas que va insertado en el mismo alimentador de la antena; cuando hay una desviación en la orientación de la antena en

relación con la señal gafa del satélite, el acoplador extrae del alimentador señales de propagación que permiten determinar el error en el apuntamiento y efectuar, en consecuencia, las correcciones que se requieran.

El transmisor

El equipo transmisor consiste básicamente de tres módulos: modulador, convertidor-elevador y amplificador de alta potencia (refiérase a la figura 1.6). Después de que una señal ha sido generada, multiplexada en frecuencia o en tiempo, se acondiciona para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire, hacia el satélite; este acondicionamiento permite que también se le pueda recuperar fielmente en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa con este fin es la modulación de una portadora (señal de alta frecuencia cuyas características se transforman o modulan con los parámetros de la señal de información que se desea transmitir sobre ella) por la señal, y existen varios tipos siendo los más comunes el analógico de modulación en frecuencia o FM y el digital de desplazamiento de fase o PSK. El modulador de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas. Este paso de la señal modulada (contiene la información original y la portadora) a "frecuencia intermedia" es el primero en su ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca la señal modulada en una región más alta del espectro, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera.

Estructura de los Satélites (Subsistemas que lo forman)

Un satélite es un sistema complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, ya que una falla causaría la inutilidad parcial o total del conjunto. Sus subsistemas más importantes se indican en la tabla 1.1, y a continuación se explica brevemente cada uno de ellos.

SUBSISTEMA	FUNCION
1) Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia.
2) Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia.
3) Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje.
4) Control eléctrico	Regular la temperatura del conjunto.
5) Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite.
6) Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación del satélite.
7) Rastreo, telemetría y comando	Intercambiar información con el centro de rastreo en Tierra para conservar el funcionamiento del satélite.
8) Estructura	Alojar todos los equipos y darles rigidez.

Tabla 1.1

1. Subsistema de Antenas

Las antenas son la etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de los subsistemas del satélite.

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, las transmiten de regreso hacia la Tierra, concentradas en un haz de potencia. En algunos casos, las antenas receptoras son distintas de las transmisoras, pero también es posible que una sola reciba y transmita al mismo tiempo, utilizando para ello frecuencias y elementos de alimentación diferentes. Los elementos de alimentación, denominados alimentadores, son generalmente antenas de corneta conectadas a guías de onda que emiten energía hacia un reflector parabólico, o bien la captan proveniente de este último para entregársela a los equipos receptores.

2. Subsistema de Comunicaciones

Este subsistema se encarga de amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado para que puedan ser recibidas a su regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que estén llegando simultáneamente. Estas funciones las realiza mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores.

El diagrama de la figura 1.11 muestra la relación entre las antenas y el equipo de comunicaciones. Para mayor sencillez, en él solamente se ilustra una de las posibles trayectorias o cadenas de los equipos que hay en el subsistema de comunicaciones. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de transpondedor.

Tal como se muestra en la figura 1.11, el primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena es un amplificador de bajo ruido, con poca potencia de salida. Esta primera etapa de amplificación es muy importante, porque cualquier señal recibida por la antena es muy débil después de haber recorrido 36,000 km desde la superficie de la Tierra. Por esta razón, es muy importante que el ruido generado por este primer dispositivo de amplificación común sea lo más bajo posible, y de ninguna manera comparable en magnitud a ninguna de las débiles señales que estén entrando a él.

En las etapas siguientes de amplificación se les seguirá introduciendo un poco más de ruido a las señales, pero su efecto ya no será tan significativo porque ahora tienen un nivel de potencia tal que las hace menos vulnerables.

Cuando las señales han alcanzado un nivel de potencia adecuado, pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia, que no es más que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico. El siguiente paso es separarlas en grupos o bloques utilizando un demultiplexor.

A continuación, cada bloque pasa por una etapa muy fuerte de amplificación, proporcionada por un amplificador de potencia, y después todos los bloques son reunidos en un solo conjunto, a través de un multiplexor, conectado a la antena transmisora del satélite.

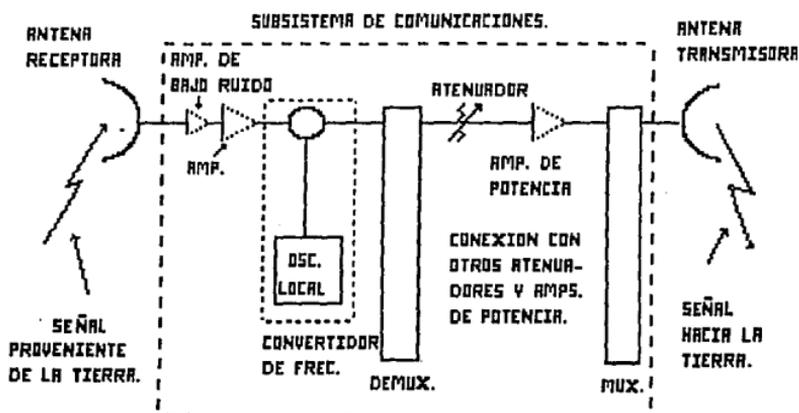


Fig. 1.11 Relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones

3. Subsistema de Energía Eléctrica

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia requerida por el satélite depende de sus características de

operación, y normalmente varía entre los 500 y 2,000 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

La fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares. Una gran desventaja que actualmente tienen las celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo. Además, todas las celdas se ven expuestas durante su vida de operación a diversos tipos de radiación, que año tras año van disminuyendo su eficiencia aún más.

Durante toda su vida de operación, el satélite se ve expuesto a eclipses, y en estos casos necesita obtener su energía eléctrica de alguna otra fuente que no sea el Sol para poder seguir funcionando; esta fuente secundaria o de respaldo la constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se hallan expuestas al Sol. Las baterías que más se utilizan son de níquel-cadmio aunque algunos satélites ya utilizan baterías de níquel-hidrógeno, que poseen importantes ventajas tecnológicas sobre las anteriores y que quizá poco a poco las irán reemplazando.

4. Subsistema de Control Térmico

Las partes del satélite requieren para operar eficientemente intervalos distintos de temperatura por lo que es necesario mantener un balance o equilibrio térmico del conjunto para que dichos intervalos se conserven. Uno de los factores que intervienen en el equilibrio térmico es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del Sol y de la Tierra son otros factores que deben considerarse también.

La transferencia del calor sobrante del satélite al vacío se efectúa por radiación; en su interior también se produce una ligera transferencia de calor entre sus partes, pero por conducción en la estructura.

Sin embargo, el equilibrio térmico se altera drásticamente cuando ocurre un eclipse, y por lo tanto es preciso contar con algún sistema de calefacción que se encienda cuando la temperatura comience a bajar en forma significativa. Para tal efecto se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por los amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. Los caloductos operan bajo el principio de la evaporación y condensación sucesivas de algún fluido en los extremos de un ducto.

5. Subsistema de Posición y Orientación

Es necesario mantener la orientación de la estructura del satélite estable con respecto a la superficie de la Tierra, lo cual se obtiene mediante las técnicas de estabilización por giro o de estabilización triaxial.

Con la técnica de estabilización por giro, una parte del satélite gira sobre su eje -que es paralelo al de rotación de la Tierra- para conservar el equilibrio del conjunto, al mismo tiempo que las antenas permanecen orientadas hacia la Tierra.

Los satélites con estabilización triaxial no giran, y aparentemente permanecen estáticos con sus largos paneles solares extendidos en el vacío y sus antenas apuntando hacia la Tierra.

Independientemente del tipo de estabilización que se use, las fuerzas perturbadoras en el espacio no dejan de provocar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie de la Tierra. Por lo tanto, es preciso poder determinar dónde está el satélite y cuál es la orientación exacta de su cuerpo. Para conocer la posición, se requiere medir la distancia a la que se encuentra y en que dirección o ángulo con relación a algún punto de referencia sobre la Tierra (el centro de control). La medición del ángulo se puede hacer por interferometría, empleando dos estaciones separadas por cierta distancia y comparando las señales piloto recibidas por cada una de ellas.

Por lo que se refiere a la determinación de la orientación del cuerpo del satélite con relación a la superficie terrestre, se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los de Sol y los de Tierra.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos, calcular a continuación las correcciones que deben hacerse para reducir esos errores o diferencias, y finalmente llevarlas a cabo mediante la operación de algún actuador o conjunto de actuadores montados en el satélite. Entre otros tipos de actuadores, se cuenta con los volantes o giroscopios, cuya velocidad de rotación se puede cambiar para producir un par correctivo; asimismo, hay bobinas que generan un momento magnético mediante una corriente eléctrica cuando ésta interactúa con el campo magnético de la Tierra, produciéndose así el par deseado de corrección. Sin embargo, los más comunes, y que proporcionan niveles importantes en la magnitud de los pares necesarios de corrección, son los propulsores, que se describen a continuación.

6. Subsistema de Propulsión

El subsistema de propulsión o de control a reacción opera según el principio de la tercera ley de Newton; mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través de toberas o conductos de escape, se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros son los de mayor uso porque proporcionan niveles de empuje cientos o miles de veces más grandes que los eléctricos. Para efectuar las correcciones de posición y orientación del satélite se requiere aplicar empujes de duración determinada hasta obtener el incremento de velocidad necesario en la dirección deseada. El principio básico mediante el cual operan los propulsores químicos es la generación de gases a muy alta temperatura en el interior de una cámara mediante la reacción química de propelentes, y los gases se aceleran al pasar por una tobera de escape cuya boquilla va disminuyendo poco a poco en su área transversal y después se ensancha.

En cuanto a los propulsores eléctricos se refiere, éstos funcionan según el principio de generar un empuje al acelerar una masa ionizada dentro de un campo electromagnético, pero aún se encuentran en su etapa de pruebas y desarrollo, siendo los más estudiados los de plasma y los de ionización de mercurio y de cesio.

7. Subsistema de Rastreo, Telemetría y Comando

Este subsistema (figura 1.12) permite conocer a control remoto la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para que algún cambio deseable se ejecute. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores instalados en varios cientos de puntos de prueba, que miden cantidades tales como voltajes, corrientes, presiones, posición de interruptores y temperaturas, etc. Las lecturas tomadas por los sensores permiten conocer el estado de operación del satélite, apoyada por la información de rastreo.

El rastreo se efectúa mediante la transmisión de varias señales piloto, denominadas tonos, desde la estación terrena de control hacia el satélite. El satélite recupera los tonos para retransmitirlos hacia la Tierra, en donde son detectados por el centro de control. Las señales recibidas en Tierra se comparan en fase con las transmitidas originalmente, y las diferencias obtenidas permiten calcular la distancia a la que se encuentra el satélite.

Las señales de comando son las que permiten efectuar las correcciones en la operación y funcionamiento del satélite a control remoto. Todas estas señales de comando van codificadas, por cuestiones obvias de seguridad; la mayor parte de los sistemas que operan actualmente utilizan una secuencia en la que el satélite primero retransmite al centro de control los comandos que haya recibido, éstos son verificados en la Tierra y si se comprueba que las órdenes fueron recibidas correctamente entonces el centro de control

transmite una señal de ejecución. Al recibirla, el satélite procede entonces a efectuar los cambios ordenados.

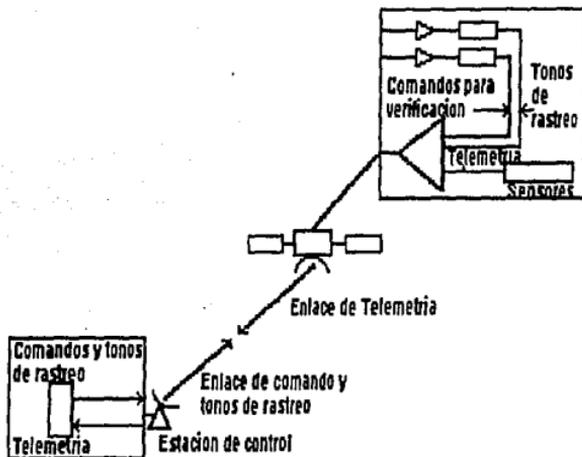


Fig. 1.12 Subsistema de rastreo, telemetría y comando.

8. Subsistema Estructural

La estructura del satélite es la armazón que sostiene a todos los equipos que lo forman y da la rigidez necesaria para soportar las fuerzas y aceleraciones a las que se ve sujeto desde el momento en que abandona la superficie de la Tierra; este importante subsistema debe ser durable, resistente y lo más ligero posible. Para lograrlo se cuenta con una gran diversidad de materiales para fabricar la estructura (aluminio, magnesio, titanio, berilio, acero, y varios plásticos reforzados con fibra de carbón), así como muchos conceptos geométricos derivados de la experiencia obtenida en aeronáutica a través de los años.

Fuera de Servicio por Tránsito Solar y Eclipse

Todas las primaveras y otoños, cuando el Sol pasa por atrás del satélite, la estación terrestre queda fuera servicio por tránsito solar cerca de seis días consecutivos, pues la antena de la estación terrestre recibe fuertes ruidos térmicos provenientes del Sol. Cada día puede quedar fuera por algunos minutos y este fenómeno es completamente predecible. Para evitar que la estación quede fuera de servicio por tránsito solar es necesario poner en operación un satélite de protección el cual no experimenta tránsito solar, siendo necesaria una antena adicional en la estación terrena.

También dos veces al año se presentan eclipses de Sol en la posición del satélite por un período de 46 días. Cada día el eclipse dura cerca de 72 minutos, tiempo en el cual el satélite es desprovisto de energía solar. Durante este lapso de tiempo se utilizan las baterías. El eclipse también causa grandes cambios en la temperatura del satélite, exponiendo sus componentes eléctricos y mecánicos a un esfuerzo térmico.

El plano ecuatorial de la Tierra está inclinado a un ángulo $i_e(t)$ con respecto a la dirección del Sol. Presenta una variación sinusoidal anual dada en grados:

$$i_e(t) = 23.4 \text{ sen} [2(\pi) / T] \dots (1)$$

donde el período anual es $T = 365$ días y la máxima inclinación es $i_e = 23.4^\circ$. Cuando el ángulo de inclinación i_e es cero, entonces los tiempos t_a y t_s son llamados equinoccio de otoño y equinoccio de primavera y se manifiestan el 21 de septiembre y 21 de marzo respectivamente (figura 1.13).

Cuando el ángulo i_e alcanza su máxima inclinación, entonces los tiempos t_w y t_{su} son llamados solsticio de verano y solsticio de invierno, ocurriendo éstos el 21 de diciembre y 21 de junio respectivamente (figura 1.13).

Ahora bien, para encontrar la dirección del eclipse consideremos que el Sol tiene un diámetro finito, el cual ignoramos (el Sol es considerado como infinito en comparación con la Tierra) por lo que consideramos la sombra terrestre como un cilindro de diámetro constante.

El máximo ángulo de la sombra ocurrirá en los equinoccios y estará dado por:

$$\text{Angulo máximo} = 180^\circ - 2\cos^{-1} (R_c/a) = 17.4^\circ$$

Debido a que el período del satélite geoestacionario es de 24 horas, el máximo ángulo de la sombra será equivalente al máximo período de duración del eclipse:

$$T_{\text{máx}} = (17.4/360) * 24 = 1.16 \text{ h.}$$

El primer día del eclipse, antes de un equinoccio, y el último día, después del equinoccio, corresponden a la posición relativa del Sol y los rayos solares tangentes a la Tierra pasan a través de la órbita del satélite. Por lo que el ángulo de inclinación del plano ecuatorial con respecto a la dirección del Sol, para este caso es:

$$i_e = 1/2 \text{ ángulo máximo} = 8.7^\circ$$

Por otra parte, si sustituimos $i_e = 8.7^\circ$ en la ecuación (1), podemos calcular el tiempo desde el primer día del eclipse en equinoccio y el tiempo de equinoccio del último día del eclipse:

$$t = [32s / 2(\pi)] \text{ sen}^{-1} (8.7/23.4) = 22.13 \text{ días}$$

donde el ángulo está dado en radianes.

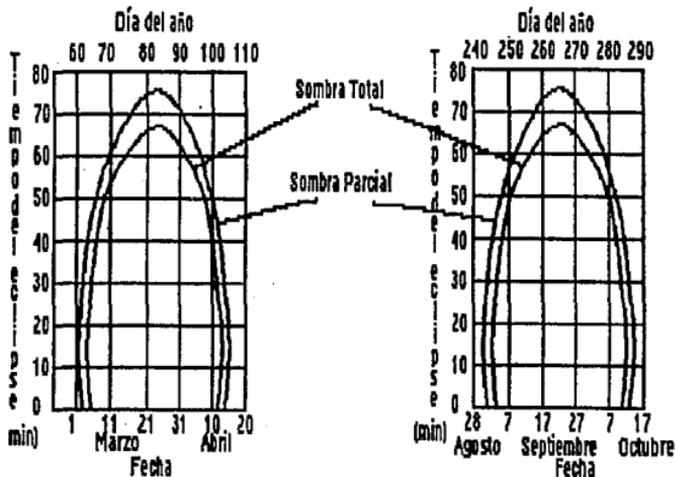


Fig. 1.13 Fechas de los Eclipses

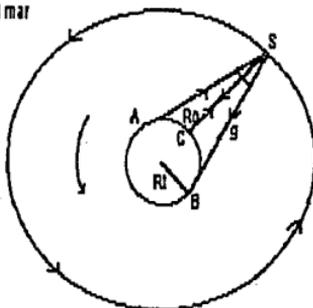
Retardo de Transmisión

Debido a que un satélite geosíncrono es puesto a 35,786 km sobre la superficie de la Tierra, una señal deberá viajar más de dos veces esta distancia para poder comunicar dos estaciones terrenas.

Los satélites emplean las señales de microondas por su comportamiento cuasi-óptico (pueden seguir trayectorias casi rectas), debido a que sus cálculos de propagación son predecibles a frecuencias mayores de 30 MHz, y porque los efectos externos de ruido casi no influyen en estas frecuencias.

Observando la figura 1.14, se puede deducir que el tiempo mínimo que tarda la señal de radio en recorrer la distancia entre una estación terrena y el satélite, es cuando se quiere comunicar el punto C con el punto S, o sea que la distancia es igual a R_0 . Como la señal tiene que bajar de nuevo al mismo punto, el tiempo es el doble. Calculando este tiempo se tiene que:

R_0 = Altura sobre el nivel del mar
 = 35,786 km
 R_t = Radio de la Tierra
 = 6,378 km
 g = ángulo = 17.2°



Tiempo de propagación = $2 \left[\frac{\text{distancia entre estación terrena y satélite}}{\text{velocidad de la luz}} \right]$

$$\text{mínimo} = 2 \left[\frac{R_0}{c} \right] = 236 \text{ mseg.}$$

$$\text{máximo} = 2 \left[\frac{R_0 + R_t}{c} \right] = 278 \text{ mseg}$$

Fig. 1.14 Retardo de Transmisión

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de retardo m\u00ednimo} &= 2 (R_o/C) \\ &= 2 (35,786,000 / 300,000,000) \\ &= 238 \text{ seg} \end{aligned}$$

Observando de nuevo la figura 1.14, se deduce que el tiempo m\u00e1ximo de propagaci\u00f3n se obtiene cuando la se\u00f1al trata de recorrer la distancia que existe entre el punto A y el punto S. Como la se\u00f1al tiene que bajar al mismo punto A, el tiempo es el doble. Calculando este tiempo se tiene que:

$$\text{Tiempo de retardo m\u00e1ximo} = 2 [(R_o + R_t) \cos a] / C$$

$$\text{donde } a = \tan^{-1} (R_t / (R_o + R_t))$$

$$a = \tan^{-1} (6,378 / (35,786 + 6,378)) = 8.6^\circ$$

entonces,

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de retardo m\u00e1ximo} &= 2 [(R_o + R_t) \cos 8.6^\circ] / C \\ &= 2 * [(35,786 + 6,378) * 0.9887] / 300,000 \\ &= 278 \text{ seg} \end{aligned}$$

La variaci\u00f3n en el tiempo de retardo no afecta a las transmisiones anal\u00f3gicas, pero puede afectar las transmisiones digitales. Las terminales digitales receptoras sincronizadas con un reloj local, pueden sufrir p\u00e9rdidas en la recepci\u00f3n de tramas, a menos que cuenten con un medio de almacenamiento suficientemente grande.

Cancelaci\u00f3n de Eco

Otro fen\u00f3meno que se presenta como consecuencia del retardo en la transmisi\u00f3n, es el eco en las conversaciones telef\u00f3nicas. Mientras m\u00e1s grande sea el retardo, m\u00e1s notorio resulta el eco. Actualmente existen t\u00e9cnicas efectivas para cancelar el eco en los circuitos de los sat\u00e9lites. Si bien en un principio resultaba muy costoso un dispositivo para este fin, los avances en la tecnolog\u00eda de circuitos VLSI han hecho posible contar con dispositivos canceladores de eco econ\u00f3micos y eficientes, ampliamente usados en los circuitos de sat\u00e9lites.

Espaciamiento orbital

Para colocar un satélite en el espacio, se requiere una serie de permisos expedidos por algunos organismos que regulan todo lo relacionado con los servicios de comunicaciones. Entre estos organismos se encuentra la CCIR e INTELSAT, las cuales asignan las posiciones orbitales para todas las comunicaciones geostacionarias o las comunicaciones relacionadas con cápsulas espaciales; también regulan el espaciamiento entre satélites, para evitar que satélites que operan a las mismas frecuencias puedan interferir entre sí. El espaciamiento orbital de la generación de satélites que operaban en las bandas C, X y Ku, fue establecido entre 4 y 5° de la órbita geostacionaria (la distancia entre satélites era de 2,800 a 3,500 km). Actualmente en los satélites de comunicaciones se está utilizando la banda de frecuencia Ka, con un espaciamiento orbital de 2° (1,400 km de distancia entre satélite y satélite). El espaciamiento orbital depende del patrón de las antenas (satélite y estaciones terrenas), del ancho de banda de transmisión y de la potencia de transmisión.

Bandas de frecuencia para Telecomunicaciones por Satélite

La capacidad de tráfico de un satélite está limitado por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores. Por lo que respecta al ancho de banda, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha asignado para el servicio fijo por satélite las bandas C, X, Ku y Ka, con frecuencias centrales aproximadas de los enlaces ascendentes y descendentes de 6/4 GHz, 8/7 GHz, 14/11 ó 14/12 GHz y 30/20 GHz respectivamente. Las bandas C y Ku son las que se utilizan comercialmente en la actualidad, y hasta hace poco había sólo 500 MHz de ancho de banda asignados en cada una de ellas, por lo que la mayor parte de los satélites operan con ese ancho de banda; sin embargo, ya se han asignado otras bandas adicionales muy cercanas, y el ancho de banda se ha incrementado a 1,000 MHz. La banda X es empleada por satélites militares y gubernamentales. La banda Ka se encuentra aún en su etapa de experimentación, pero pronto se lanzarán los primeros satélites comerciales que la aprovechen; esta banda tiene un ancho muy atractivo de 3,500 MHz, pero su principal desventaja es que, cuando llueve los niveles de atenuación a esas frecuencias son mucho mayores que en las bandas C y Ku. En la tabla 1.2 se proporciona un resumen de las frecuencias asignadas a cada una de estas bandas para que funcionen los receptores (enlace ascendente) y amplificadores transmisores (enlace descendente) de los satélites.

El ancho de banda de 500 MHz disponible en la banda de 6/4 GHz está dividida en varios canales de suficiente ancho para transmisiones de TV. Es típico un ancho de banda de 36 MHz y una separación entre ellas de 40 MHz. Con frecuencia cada canal se divide

en subcanales. En forma alternativa, cada canal o la banda entera puede portar modulación digital y ser canalizada con multiplexión por división de tiempo.

BANDA (GHz)	ENLACE ASCENDENTE (GHz)	ENLACE DESCENDENTE (GHz)
C: 6/4	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 MHz)
	5.850 - 7.075 (1225 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (1100 MHz)
X: 8/7	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
Ku: 14/11	14.000 - 14.500 (500 MHz)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 MHz)
	12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1,000 MHz)	10.750 - 11.700 (1,000 MHz)
	14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka: 30/20	27.500 - 31.000 (3,500 MHz)	17.700 - 21.200 (3,500 MHz)

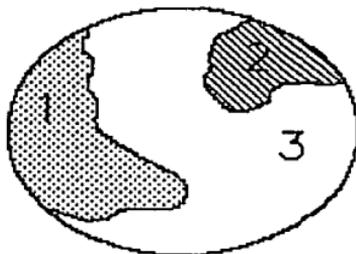
Tabla 12

Patrones de Radiación de las antenas del Satélite (Huellas)

Hay satélites que tienen varias antenas de características distintas, con finalidades diferentes. En la figura 1.15 se observa que la cobertura de una antena, denominada huella de iluminación, esta limitada por un contorno muy irregular. La huella de iluminación es la intersección del haz radiado por la antena con la superficie de la Tierra. La irregularidad de estos contornos está hecha a propósito por los diseñadores de las antenas del satélite, aunque es mucho más sencillo construir una antena cuya huella de iluminación sea un círculo o una elipse; de esta forma no se desperdicia potencia transmitiéndola a puntos geográficos en los que no hay tráfico o estaciones terrenas transmisoras y receptoras, y en cambio se aprovecha mejor concentrándola para que ilumine sólo los lugares geográficos en los que sí hay densidades importantes de población, equipos y gran demanda de servicios de comunicación. Como las huellas de iluminación tienen ciertos contornos, al haz que irradia cada una de las antenas también se le llama haz de contorno, independientemente de la extensión territorial que abarque.

Las principales huellas de iluminación de las antenas son:

- Global,
- Hemisférico,
- De zona, y
- Puntual. (refiérase a la figura 1.15).



COBERTURA TERRESTRE DE LOS HAZES DE ILUMINACION DE LAS ANTENAS: 1) HAZ HEMISFERICO; 2) HAZ DE ZONA Y 3) HAZ PUNTUAL. UN HAZ GLOBAL TIENE LA COBERTURA DE TODA LA VISTA.

Fig. 1.15 Huellas de las antenas

Las antenas con haz de iluminación global, son antenas de corneta y cubren la mayor cantidad posible de la superficie terrestre que puede verse desde la posición del satélite; es decir, pueden recibir desde cualquier estación transmisora que se encuentre dentro de los límites de esa zona y pueden transmitir también hacia cualquier estación receptora que se encuentre dentro del mismo contorno.

Las antenas de huellas de iluminación hemisférica, de zona y puntuales, son antenas parabólicas. Las huellas de iluminación hemisférica cubren la mayor cantidad de la superficie de un continente o hemisferio, mientras que las huellas de iluminación de zona, cubren una región en particular. Las zonas más pequeñas son las cubiertas por las antenas de cobertura puntual, que reciben este nombre precisamente porque concentran su potencia casi en un punto, en relación con las dimensiones del planeta.

Reuso de Frecuencias

El espectro radioeléctrico disponible es finito, y con el fin de aumentar la capacidad de cada satélite se han desarrollado dos métodos para utilizar las frecuencias casi por duplicado: reutilización con aislamiento espacial y con discriminación de polarización.

La reutilización de frecuencias con aislamiento espacial se realiza con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están lo suficientemente separados entre sí, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

La reutilización de frecuencias con discriminación de polarización se basa en el siguiente hecho. Una onda propagándose consiste de dos vectores, el vector de campo eléctrico E y el vector de campo magnético H . En general, cada uno de estos vectores tiene tres componentes, cada uno con respecto a un sistema ortogonal arbitrario de referencia X , Y , Z . En el caso donde los vectores E y H no tienen componentes en la dirección de propagación de la onda, tenemos un plano de onda. Si X es la dirección de propagación de la onda, entonces E y H están localizados en un plano perpendicular a la dirección de propagación X , teniendo componentes sólo en las direcciones Y y Z . En efecto, estos vectores E y H están localizados en el plano YZ , pero, en general, varían con el tiempo (por ejemplo, obedeciendo una ley sinusoidal) y satisfacen la siguiente relación:

$$E_x = H_x = 0$$

Por simplicidad, consideremos sólo el vector de campo eléctrico E en este plano. Si ambos componentes E_y y E_z están presentes y en fase uno con respecto al otro, el vector

E, aún cuando cambia de magnitud con el tiempo, no cambia su dirección. Esta onda se dice que esta polarizada linealmente a través de la dirección constante del vector E. Si E está polarizado linealmente a través del eje horizontal, la onda es llamada polarizada horizontalmente (PH). Si E es polarizada linealmente a lo largo del eje vertical, la onda se llama polarizada verticalmente (PV). Estas dos polarizaciones son ortogonales. Si dos ondas, una polarizada horizontalmente y la otra en forma vertical, fueran de la misma frecuencia sinusoidal y se propagaran simultáneamente, no habría interferencia de una con otra. Esto es obvio ya que ningún componente de la onda horizontal se proyectará en la dirección vertical y viceversa. Por supuesto, si en el proceso una de las ondas pierde polarización, entonces interferirá con la otra onda; por ejemplo, si la onda horizontal es rotada de tal manera que una pequeña componente vertical aparezca, entonces esta interfiere con la onda vertical. A medida que esta componente de interferencia se mantenga débil respecto a la señal principal (menos de 30 dB), la interferencia es despreciable.

Si la componente EY y EZ no están en fase, entonces la dirección del vector resultante varía con el tiempo. En el caso de que el extremo del vector E describa una elipse, la onda se llama polarizada elípticamente. Además, si la punta del vector E rota en sentido horario, obtenemos una polarización elíptica de mano derecha (RH). Para la rotación opuesta, se obtiene una polarización elíptica de mano izquierda (LH). En el caso especial en el que la punta del vector E describe un círculo, obtenemos una polarización circular (CP).

La polarización circular de mano derecha (RHCP) no interfiere con la polarización circular de mano izquierda (LHCP). Estas dos polarizaciones podrían ser aplicadas en un sistema de reuso de frecuencia.

En el caso de polarización elíptica, el eje principal de la elipse determina la orientación de la polarización. El radio del eje mayor al eje menor, en decibelios, es llamado radio de ejes. Si el radio de ejes es cero, se tiene polarización circular; si el radio es infinito, tenemos polarización lineal.

Los cambios de polarización que producen interferencia en los sistemas de reuso de frecuencia, tienen como causa:

- Desajuste de impedancias en los puertos de la antena.
- Corrimientos de fase diferencial introducido por el polarizador.
- Anomalías de guía de onda, tales como dispersión del haz y corrimiento diferencial de la fase.
- Asimetrías del reflector y mala alineación en el subreflector.

- Rotación de Faraday y efectos de multitrayectorias.
- Depolarización por lluvia.

Efectos de Propagación

Las ondas de radio al propagarse a través de la atmósfera baja y la ionósfera encuentran pérdidas dependientes de la frecuencia, cambios de polarización, y efectos de ruido. Estos deben de ser tomados en cuenta en el diseño de sistemas de comunicación por satélite.

Atenuación Atmosférica

El oxígeno y el vapor de agua atenúan las señales de microondas que pasan a través de la atmósfera. El efecto es una función de la frecuencia y la distancia del camino (determinada por el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena). En la banda de 6/4 GHz, es pequeña la atenuación hasta que nos encontramos con ángulos menores a 20°. Esta se incrementa rápidamente arriba de los 10 MHz. En los 19 y 29 MHz están posicionados los primeros picos de absorción.

La atenuación atmosférica puede ser calculada mediante la existencia de ciertos datos y su ecuación estará dada por:

$$L_a(\text{dB}) = \frac{L'a (\text{dB}) + b_p (p - 7.5 \text{ g/m}^3) + C-T (21^\circ - T_o)}{\text{sen } E}$$

donde:

- L'a: atenuación atmosférica para humedad moderada (7.5 g/m³ de vapor de agua) y una temperatura de 21 °C.
- b_p: corrección del coeficiente de densidad de vapor de agua.
- CT: corrección del coeficiente de temperatura.

po: densidad del vapor de agua de la superficie (g/m^3) el factor bp varía de acuerdo con la densidad del vapor de agua de la superficie local y del factor $7.5 g/m^3$.

$$p_o = (h C_s) / [0.461 (T_o + 273)]$$

donde:

h : humedad relativa

Cs : saturación de la presión del vapor de agua correspondiente a la temperatura local T_o ($^{\circ}C$).

$$C_s = 206.43 \exp [0.0354 T_o (^{\circ}F)]$$

Efectos de la Lluvia

La lluvia atenúa la señal de microondas y tiende a cambiarles la polarización. La atenuación es debida a la dispersión y absorción de la radiación de las microondas por el agua en forma de gotas de lluvia. El cambio de polarización, o conversión de polarización lineal a polarización elíptica se debe a la forma no esférica de la gota de lluvia y al hecho de que el plano de polarización y los ejes de simetría de las gotas de lluvia están usualmente inclinadas una de la otra. El eje menor de las gotas de lluvia es, en promedio, cercano a la vertical local, no así el plano de polarización. Por lo tanto las dos componentes de polarización correspondientes a los ejes de simetría ortogonal de la gota, sufren atenuación diferencial y retardos, desarrollándose una componente de polarización cruzada. A este cambio se le llama depolarización.

Ambos efectos de la lluvia son dependientes de la frecuencia: la atenuación se incrementa con la frecuencia, mientras para una atenuación dada, la depolarización se decremente con la frecuencia; también dependen del promedio de lluvia y la distancia del camino efectivo a través de la lluvia. La distancia del camino efectivo es una función de la altura de la lluvia y el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena y tiene un valor máximo para promedios de lluvia muy grandes. El efecto de polarización cruzada es también dependiente de estas variables, pero es función de el ángulo de polarización con respecto a la vertical local, la cual depende de la altitud de la antena del satélite y la posición relativa del satélite y la estación terrena.

En las bandas de 14/12 MHz y 29/19 MHz, la atenuación por lluvia se vuelve un impedimento significativo para lograr un bajo porcentaje anual de fuera de servicio. El efecto de polarización cruzada es importante para sistemas, tales como el COMSTAR, el cual emplea polarización para el reuso de frecuencia. En tal sistema, la discriminación inherente de polarización cruzada (XPD) del sistema de la antena, puede ser degradado significativamente por la polarización cruzada causada por la lluvia. En la banda de 6/4 MHz, la degradación debida al XPD tiende a dominar la degradación debida a la atenuación; estas tienden a ser de igual importancia en la banda de 14/12 GHz y 29/19 GHz, la atenuación se convierte en dominante.

Un decremento en la señal, un incremento en el ruido o una interferencia tan pequeña como de 0.5 dB es en ocasiones significativa para el desempeño del sistema del satélite. Por lo tanto, mientras la atenuación relacionada con frecuencias superiores a 6 GHz es más alta, la atenuación relacionada con frecuencias de alrededor de 4 GHz es también importante (particularmente si es acompañada con un incremento en el ruido).

La lluvia, al ser un medio de disipación a frecuencias de microondas, también radia ruido termal causando un aumento significativo en el ruido de temperatura del sistema.

Efectos de la Ionósfera

La propagación de microondas a través de la ionósfera de la Tierra enfrenta 2 efectos importantes: pérdidas por centelleo y rotación de polarización. Ambos efectos disminuyen con la frecuencia y carece de importancia arriba de 6 GHz. El centelleo ionosférico es un pequeño efecto de intensificación causado por inhomogeneidades en la capa F a altitudes de 200 a 600 km. Este tiende a ocurrir entre medianoche y las 2 a.m., en regiones geográficas en particular y puede introducir hasta 0.5 dB de pérdida a 4 GHz.

La rotación del plano de polarización o rotación Faraday, depende de la densidad de electrones en las capas de la ionósfera, además de la actividad solar, y puede crecer hasta 5 ó 6° a los 4 GHz y ser menor en los 6 GHz. La cantidad varía con el ciclo solar y la hora del día. Es predecible con gran exactitud al menos a corto plazo. La pequeña rotación de Faraday causa una pequeña pérdida debida a la desalineación de los ejes de polarización y una degradación no pequeña en la discriminación de polarización cruzada. Por ejemplo, una rotación en la polarización de 5° produce un XPD de 21.1 dB, lo cual sería significativo en un sistema de reuso de frecuencia. Dos métodos son comúnmente utilizados para minimizar esta degradación: rastreo de polarización dinámica en la antena de la estación terrestre o simplemente, corrimiento en el eje de polarización. En el rastreo de polarización dinámica, el eje de polarización de la antena se mantiene alineado automáticamente con el eje de la señal que se esta recibiendo. En el método de corrimiento preestablecido, el eje de la antena, el cual típicamente debe tener un corrimiento (con respecto al verdadero eje

vertical), para acomodar la localización relativa de la estación terrestre y el satélite, es corrida una cantidad adicional igual a un medio de la rotación de Faraday esperada, por lo tanto se reduce el efecto pico. El eje de polarización de la antena de enlace de subida debe de estar rotado en la dirección opuesta en una cantidad que puede ser escalada de la rotación en el enlace de bajada por la conocida rotación de Faraday dependiente de la frecuencia.

Ángulos de Elevación Bajos

A ángulos de elevación de la antena terrestre menores de 10° , se encuentran otros efectos de producción de pérdidas, tales como el incremento selectivo de las trayectorias múltiples, curvaciones reflectivas e incrementos en el ruido y distorsión de la antena. Debido a estos problemas y al incremento de efectos atmosféricos e ionosféricos a bajas elevaciones, los ángulos de elevación menores de 10° son evitados cuando es posible.

Temperatura del Ruido de la Antena y el Sistema

La temperatura del ruido en un sistema está determinada por el ruido recibido por la antena, las pérdidas en el conector entre la antena y el receptor, y la temperatura del ruido inherente al receptor. En los sistemas de satélites, el ruido de la antena es el más importante y es causado principalmente por la temperatura de la Tierra. Un valor típico para el ruido térmico de la antena es de 2000 K.

En las antenas de las estaciones terrenas, las principales fuentes de ruido son: absorción atmosférica, lluvia y radiación térmica de la Tierra. EL ruido galáctico contribuye muy poco a la temperatura de ruido del sistema (3 °K), siendo mayor la contribución de la atmósfera en un clima despejado (280 °K). Por esto, es evidente que el desempeño de una estación terrena de gran capacidad, se puede beneficiar con el uso de amplificadores de bajo ruido en el rango de 20 a 35 °K, sin importar el costo; sin embargo, estaciones terrenas más pequeñas deben usar amplificadores de bajo ruido con temperatura de ruido en el rango de 50 a 100 °K. En las bandas de alta frecuencia, la cantidad de ruido es mucho más significativa por lo que no resulta práctico usar amplificadores de bajo ruido, con temperaturas de ruido menores a 100 °K.

Un parámetro importante usado con frecuencia en un sistema receptor es la relación de ganancia de la antena con la temperatura total de ruido del sistema:

vertical), para acomodar la localización relativa de la estación terrestre y el satélite, es corrida una cantidad adicional igual a un medio de la rotación de Faraday esperada, por lo tanto se reduce el efecto pico. El eje de polarización de la antena de enlace de subida debe de estar rotado en la dirección opuesta a una cantidad que puede ser escalada de la rotación en el enlace de bajada por la conocida rotación de Faraday dependiente de la frecuencia.

Ángulos de Elevación Bajos

A ángulos de elevación de la antena terrestre menores de 10° , se encuentran otros efectos de producción de pérdidas, tales como el incremento selectivo de las trayectorias múltiples, curvaciones reflectivas e incrementos en el ruido y distorsión de la antena. Debido a estos problemas y al incremento de efectos atmosféricos e ionosféricos a bajas elevaciones, los ángulos de elevación menores de 10° son evitados cuando es posible.

Temperatura del Ruido de la Antena y el Sistema

La temperatura del ruido en un sistema está determinada por el ruido recibido por la antena, las pérdidas en el conector entre la antena y el receptor, y la temperatura del ruido inherente al receptor. En los sistemas de satélites, el ruido de la antena es el más importante y es causado principalmente por la temperatura de la Tierra. Un valor típico para el ruido térmico de la antena es de 2000 K.

En las antenas de las estaciones terrenas, las principales fuentes de ruido son: absorción atmosférica, lluvia y radiación térmica de la Tierra. El ruido galáctico contribuye muy poco a la temperatura de ruido del sistema (3°K), siendo mayor la contribución de la atmósfera en un clima despejado (280°K). Por esto, es evidente que el desempeño de una estación terrena de gran capacidad, se puede beneficiar con el uso de amplificadores de bajo ruido en el rango de 20 a 35°K , sin importar el costo; sin embargo, estaciones terrenas más pequeñas deben usar amplificadores de bajo ruido con temperatura de ruido en el rango de 50 a 100°K . En las bandas de alta frecuencia, la cantidad de ruido es mucho más significativa por lo que no resulta práctico usar amplificadores de bajo ruido, con temperaturas de ruido menores a 100°K .

Un parámetro importante usado con frecuencia en un sistema receptor es la relación de ganancia de la antena con la temperatura total de ruido del sistema:

G/T

donde:

G esta expresado en decibelios respecto a una antena isotrópica, y
T en grados Kelvin, quedando la razón G/T expresada en dB por K [dB/K].

Interferencia

Además de las formas de interferencia comunes en los sistemas de microondas terrestres (co-canal, canal adyacente, polarización cruzada), existen otras formas propias de los sistemas de satélites.

La interferencia en el enlace de subida es debido a los lóbulos laterales de las antenas terrestres transmitiendo a otros satélites. Este tipo de interferencia puede ser minimizada por las reglas de espaciamiento entre satélites y la supresión de los lóbulos laterales de las antenas terrestres.

La radiación proveniente de el enlace de bajada puede causar interferencia entre distintos sistemas de satélites y a los sistemas de microondas terrestres. Este tipo de interferencia es de importancia en la banda C, donde se encuentran muchos sistemas de satélites y una densa red de sistemas terrestres en operación. Para limitar esta interferencia, la FCC en cooperación con la Unión Internacional de Telecomunicaciones, han restringido la Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (PIRE) de un satélite a 12 dBW (dB por 1 watt) en cualquier banda de 4 KHz.

Para lograr lo anterior, la portadora debe ser modulada continuamente con una señal especial de energía dispersa, sumada a la señal de banda base. Esto asegura que la potencia de la portadora se distribuirá uniformemente en la banda utilizada.

Modelo de un enlace por Satélite

Enlace Ascendente. Es la trayectoria de radiofrecuencia de una estación terrena transmisora, desde la salida de su antena hasta la entrada de la antena receptora del satélite.

Enlace Descendente. Es la trayectoria de radiofrecuencia desde la salida de la antena del satélite hasta la entrada de la antena de recepción de la estación terrena receptora.

Enlace de FI. Para las transmisiones multiplexadas por división de frecuencia y moduladas en frecuencia de telefonía y las de FM de video, el enlace de FI se extiende de la salida del modulador de la estación terrena transmisora, hasta la entrada del demodulador de la estación terrena receptora.

Enlace de RF. Es el que se extiende de la salida del convertidor ascendente de la estación terrena transmisora, hasta la entrada del convertidor descendente de la estación terrena receptora.

Consideraciones sobre el Diseño del Enlace

El diseño de un enlace por satélite en frecuencias superiores a 10 GHz viene caracterizado típicamente, desde el punto de vista de la interferencia, por los diferentes comportamientos de la interferencia en el enlace descendente y en el enlace ascendente.

En el caso del enlace descendente, se espera un elevado grado de correlación entre el desvanecimiento de la señal deseada y el desvanecimiento de la interferencia procedente de satélites vecinos que tiene efectos importantes, de modo que $(C/I)_D$ no variará apreciablemente al aumentar la atenuación, con o sin diversidad, cuando se utiliza una PIRE fija. Sin embargo, el control de potencia en el enlace descendente de las señales deseada o interferente hará variar la relación C/I .

En un enlace ascendente, prescindiendo del caso en que se transmite una señal con polarización cruzada, no es posible que haya desvanecimiento simultáneo en el trayecto de la señal y en el trayecto de la interferencia, debido a la separación geográfica de las estaciones terrenas. Así pues, $(C/I)_S$ puede ser casi proporcional a $(C)_S$ en un enlace ascendente sin control adaptativo de potencia. Con control de potencia, las variaciones de $(C/I)_S$ serán considerablemente menores en condiciones de desvanecimiento en el enlace ascendente.

Quando se emplea el aislamiento mediante polarización cruzada para transmisiones con reutilización de frecuencia procedentes de la misma estación terrena, en condiciones de desvanecimiento, es probable que predomine la interferencia co-canal.

Con estos postulados, en la salida de un receptor FM la relación aproximada entre el ruido de interferencia i , el ruido térmico n y C viene dada por:

- a) Para enlace descendente:
 $i = \text{constante}$
 $(n-1/C) \text{ e } (i/n-C)$
- b) Para un enlace ascendente sin control de potencia:
 $i/n = \text{constante}$
 $(i-1/C) \text{ y } (n-1/C)$
- c) Para un enlace descendente con control de potencia total en el enlace ascendente, n e i son casi constantes.

Como i es casi constante para los casos a) y c), es posible que no sea necesario definir un margen de interferencia a corto plazo. Sin embargo, en el caso b), un enlace con un diseño para grandes desvanecimientos a fin de satisfacer su objetivo de calidad a corto plazo tendrá un valor de n muy bajo en las condiciones en que no hay desvanecimiento, de modo que con los márgenes actuales de interferencia es posible que $i \gg n$.

Por otra parte, el objetivo del diseño del enlace es llegar a la entrada del modem en el extremo receptor con una relación C/N adecuada para garantizar un valor pequeño de tasa de error (BER). Es necesario dejar algún margen para poder soportar atenuaciones producidas por la lluvia.

Cálculos de Enlace

La notación empleada en estas ecuaciones es consistente con las recomendaciones de la IEEE. Es conveniente expresar las ecuaciones de enlace en decibeles. Un decibel (dB) es empleado sólo como una medida de un cociente de potencias. Entonces, el término "dB" no es una unidad, sino más bien una función de escala ($10 \log X$).

La información que se desea enviar, viaja sobre una portadora C , la cual se modula. La información puede ser cualquier tipo de señal, y su modulación y ancho de banda pueden variar según cada caso específico.

En el enlace de subida, a la portadora C se le añadirá ruido y habrá un cociente $(C/No)_s$ a la entrada del LNA del satélite.

En el enlace de bajada, a la portadora C se le añadirá ruido y habrá un cociente $(C/No)_B$ a la entrada del LNA de la estación terrena.

Enlace de Subida: $(C/N_0)_s$

Para obtener la ecuación del enlace de subida, nos auxiliaremos de la figura 1.16. La ecuación para el enlace es:

$$[C/N_0]_s = \text{PIRE}(1/L_{\text{EL}})(1/L_{\text{ATM}})(1/L_{\text{ALIM}})(G_{\text{R}}/T)(1/k)$$

donde:

PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente del Transmisor (estación terrena).

L_{EL} = Atenuación a causa de la Propagación en el Espacio Libre (en función de la distancia y la longitud de onda) =

$$L_{\text{EL}} = (4 R / \lambda)^2$$

R = Distancia entre la estación terrena y el satélite.

λ = Longitud de onda.

L_{ATM} = Atenuación por Absorción Atmosférica.

L_{ALIM} = Atenuación debido al alimentador, conexiones, etc. del receptor (satélite).

G_{R}/T = Figura de mérito del receptor (satélite).

k = Constante de Boltzmann = - 228.6 dBW/Hz K.

A continuación explicaremos algunos de estos términos.

La *Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)*, como su nombre lo indica, es la potencia radiada por la antena en un cuerpo isotrópico. Para calcular el PIRE se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{PIRE} = P_{\text{T}}G_{\text{T}}(1/L_{\text{ALIM}})(1/L_{\text{BACK.OFF}})$$

donde:

P_{T} = Potencia del Transmisor.

G_{T} = Ganancia de la antena transmisora.

L_{ALIM} = Atenuación debido al alimentador, conexiones, etc. del transmisor (estación terrena).

$L_{BACK-OFF}$ = Atenuación de la potencia de entrada en relación con la máxima nominal de salida del amplificador del transmisor.

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) expresada en decibeles queda:

$$[PIRE]dB = [P_T]dB + [G_T]dB - [L_{ALIM}]dB - [L_{BACK-OFF}]dB$$

La ganancia de la antena asociada a la dirección de máxima radiación, se calcula por:

$$G = \eta (D/\lambda)^2$$

donde:

D = Diámetro de la antena (m).

λ = Longitud de onda = c/f .

c = Velocidad de la luz = 300,000,000 m/s.

f = Frecuencia (Hz).

η = Eficiencia de la apertura de la antena = 0.6 típico.

La atenuación de la absorción atmosférica, es la atenuación producida por los gases de la atmósfera y la lluvia. No entraremos en más detalles debido a que anteriormente ya fue explicada esta atenuación. Además de esta atenuación, existen las atenuaciones por desacoplamiento de polarización y por desalineación o mal apuntamiento de las antenas.

Debido a la muy débil señal recibida, ya sea del satélite o de la estación terrena, es importante que la antena receptora y los componentes electrónicos introduzcan poco ruido como sea posible. Para anular las atenuaciones y el ruido en las líneas conectadas a la antena receptora y a los componentes electrónicos, la antena usualmente tiene el preamplificador construido dentro de ella. La eficiencia de la combinación es usualmente citado como la razón de la ganancia entre la temperatura de ruido y es llamado la figura de mérito:

$$G/T$$

donde:

G = Ganancia de la antena y del preamplificador.

T = Temperatura de ruido del sistema receptor.

La figura de mérito indica la capacidad relativa del subsistema de recepción de recibir una señal.

La temperatura de ruido de un sistema que genera ruido es la temperatura a la que un elemento pasivo de referencia (por ejemplo, una resistencia) debería estar para generar la misma cantidad de ruido que la del sistema de ruido. La razón de la señal a ruido en el enlace de subida expresada en decibeles queda:

$$[(C/No)_s]_{dB} = [PIRE]_{dBW} - 20 \log(4 R/ \lambda) - [L_{ATM}]_{dB} - [L_{ALIM}]_{dB} + [G_{Rr}/T]_{dBK^{-1}} - [k]_{dBW}$$

donde la L_{ALIM} , la G_{Rr} y la T son del satélite.

Enlace de Bajada: (C/No)_B

Observando de nuevo la figura 1.16, la ecuación del enlace de bajada es:

$$[(C/No)_B] = PIRE(1/L_{EL})(1/L_{ATM})(1/L_{ALIM})(G_{Rr}/T)(1/k)$$

donde:

PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente del Transmisor (satélite).

LEL = Atenuación a causa de la Propagación en el Espacio Libre (en función de la distancia y la longitud de onda) =

$$L_{EL} = (4 R/ \lambda)^2$$

R = Distancia entre el satélite y la estación terrena.

λ = Longitud de onda.

L_{ATM} = Atenuación por Absorción Atmosférica.

L_{ALIM} = Atenuación debido al alimentador, conexiones, etc. del receptor (estación terrena).

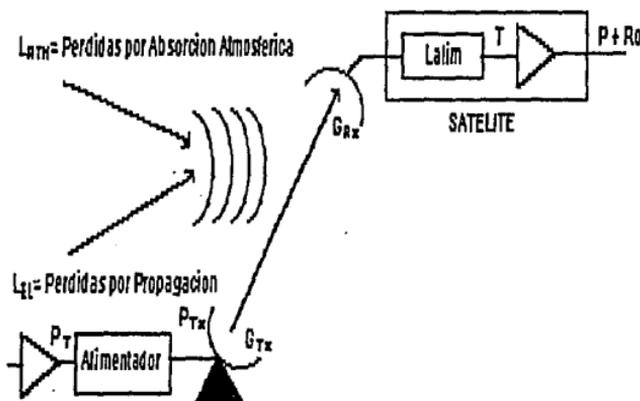
G_{Rr}/T = Figura de mérito del receptor (estación terrena).

k = Constante de Boltzmann = - 228.6 dBW/Hz K.

Todos estos términos ya fueron explicados, por lo que únicamente resta ejemplificar el uso de las ecuaciones de enlace. La razón de la señal a ruido en el enlace de bajada expresada en decibelios queda:

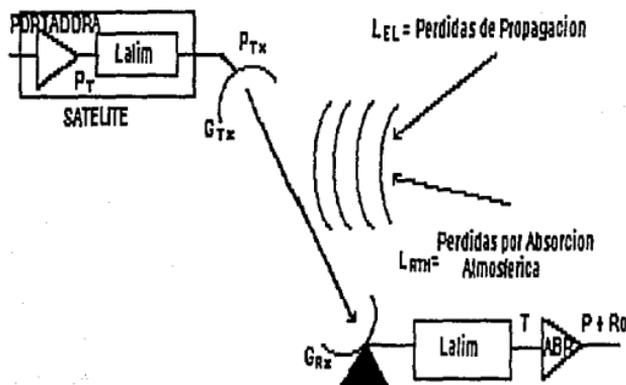
$$[(C/N_0)_B]_{dB} = [PIRE]_{dBW} - 20 \log(4 R / \lambda) - [L_{ATM}]_{dB} - [L_{ALIM}]_{dB} + [G_{Rx}/T]_{dBK^{-1}} - [k]_{dBW}$$

donde la L_{ALIM} , la G_{Rx} y la T son de la estación terrena.



$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_S = PIRE \left(\frac{1}{L_{PI}}\right) \left(\frac{1}{L_{ATM}}\right) \left(\frac{G_{Rx}}{T}\right) \left(\frac{1}{L_{ALIM}}\right) \left(\frac{1}{K}\right)$$

a) Enlace de Subida



$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_B = PIRE \left(\frac{1}{L_{EL}}\right) \left(\frac{1}{L_{atm}}\right) \left(\frac{G_{Rx}}{T}\right) \left(\frac{1}{L_{alim}}\right) \left(\frac{1}{K}\right)$$

b) Enlace de Bajada

Fig. 1.16 Ecuaciones de Enlace

EJEMPLO:

DATOS

ENLACE DE SUBIDA

- * Potencia de Salida del Transmisor de la Estación Terrena (en saturación) 2,000 W = 33 dBW
- * Atenuación de BACK-OFF en la Estación Terrena 3 dB
- * Atenuación en el Alimentador 4 dB
- * Ganancia de la Antena Transmisora de la Estación Terrena (15 metros de diámetro, frecuencia de 6 GHz) ?
- * Atenuación Atmosférica 0.6 dB
- * Atenuación de Espacio Libre (frecuencia de 6 GHz, a una distancia de 36,000 km) ?
- * Figura de Mérito del Receptor del Satélite -5.3 dBK⁻¹

ENLACE DE BAJADA

- Potencia de Salida del Transmisor del Satélite (en saturación) 10 W = 10 dBW
- Atenuación de BACK-OFF en el Satélite 0.1 dB
- Atenuación en el Alimentador 0.5 dB
- Ganancia de la Antena Transmisora del Satélite (3 metros de diámetro, frecuencia de 4 GHz) ?
- Atenuación Atmosférica 0.4 dB
- Atenuación de Espacio Libre (frecuencia de 4 GHz, a una distancia de 36,000 km) ?
- Ganancia de la Antena Transmisora de la Estación Terrena (15 metros de diámetro, frecuencia de 4 GHz) ?
- Figura de Mérito del Receptor de la Estación Terrena 37.7 dBK⁻¹

CALCULOS

ENLACE DE SUBIDA

$$\lambda = (3 \cdot 10^8) / (6 \cdot 10^9) = 0.05 \text{ mts}$$

$$G_T = \eta \cdot (\pi D / \lambda)^2 = 0.6 \cdot (\pi \cdot 15 / 0.05)^2 = 532958.63$$
$$= 57.26 \text{ dB}$$

$$L_{EL} = (4\pi R / \lambda)^2 = (4 \cdot \pi \cdot 36 \cdot 10^3 / 0.05)^2 = 81.8624 \cdot 10^{18}$$
$$= 199.13 \text{ dB}$$

$$[(C/No)_s]_{dB} = [P_T]_{dBW} + [G_T]_{dB} - [L_{ALIM}]_{dB} - [L_{BACK-OFF}]_{dB} - [L_{ATM}]_{dB} - [L_{EL}]_{dB} + [G/T]_{dBK^{-1}} - [k]_{dBW}$$
$$= 33 + 57.26 - 4 - 3 - 199.13 - 0.6 - 5.3 + 228.6$$
$$= 106.83 \text{ dB Hz}$$

ENLACE DE BAJADA

$$\lambda = (3 \cdot 10^8) / (4 \cdot 10^9) = 0.075 \text{ mts}$$

$$G_T = \eta \cdot (D / \lambda)^2 = 0.6 \cdot (3 / 0.075)^2 = 9474.82 \\ = 39.76 \text{ dB}$$

$$G_R = \eta \cdot (D / \lambda)^2 = 0.6 \cdot (15 / 0.075)^2 = 256870.5 \\ = 53.74 \text{ dB}$$

$$L_{EL} = (4 R / \lambda)^2 = (4 \cdot 36 \cdot 10^6 / 0.075)^2 = 3.63 \cdot 10^{19} \\ = 195.6 \text{ dB}$$

$$[(C/No)_B]_{dB} = [P_T]_{dBW} + [G_T]_{dB} - [L_{ALIM}]_{dB} - [L_{BACK-OFF}]_{dB} - \\ [L_{ATM}]_{dB} - [L_{EL}]_{dB} + [G/T]_{dBK^{-1}} - [k]_{dBW} \\ = 10 + 39.76 - 0.5 - 0.1 - 195.6 - 0.4 + 37.7 + 228.6 \\ = 119.46 \text{ dB Hz}$$

RESULTADOS

ENLACE DE SUBIDA

- Potencia de Salida del Transmisor de la Estación Terrena (en saturación) 2,000 W = 33 dBW
- Atenuación de BACK-OFF en la Estación Terrena 3 dB
- Atenuación en el Alimentador 4 dB
- Ganancia de la Antena Transmisora de la Estación Terrena (15 metros de diámetro, frecuencia de 6 GHz) 57.26 dB
- Atenuación Atmosférica 0.6 dB
- Atenuación de Espacio Libre (frecuencia de 6 GHz, a una distancia de 36,000 km) 199.13 dB
- Figura de Mérito del Receptor del Satélite -5.3 dBK⁻¹

ENLACE DE BAJADA

* Potencia de Salida del Transmisor del Satélite (en saturación)	. . . . .	. 10 W = 10 dBW
* Atenuación de BACK-OFF en el Satélite	. . . . .	. 0.1 dB
* Atenuación en el Alimentador	. . . . .	. 0.5 dB
* Ganancia de la Antena Transmisora del Satélite (3 metros de diámetro, frecuencia de 4 GHz)	. . . . .	. 39.76 dB
* Atenuación Atmosférica	. . . . .	. 0.4 dB
* Atenuación de Espacio Libre (frecuencia de 4 GHz, a una distancia de 36,000 km)	. . . . .	. 195.6 dB
* Ganancia de la Antena Transmisora de la Estación Terrena (15 metros de diámetro, frecuencia de 4 GHz)	. . . . .	. 53.74 dB
* Figura de Mérito del Receptor de la Estación Terrena	. . . . .	. 37.7 dBK ⁻¹

Implementación del Sistema

Los sistemas de satélite domésticos de 6/4 MHz de uso normal son muy semejantes en su configuración. Típicamente la banda disponible de 500 MHz es subdividida en un número de canales de transmisión/recepción, cada uno conteniendo 40 MHz de ancho de banda. Por lo tanto, se obtienen 12 canales o 24 con reuso de polarización de frecuencia. Los satélites COMSTAR, por ejemplo, emplean reuso de frecuencia de polarización lineal. Los 12 canales de transmisión/recepción que usan polarización horizontal son interlazados con los 12 que usan polarización vertical de tal manera que el centro de la banda de una polarización cae en el extremo de la banda del otro. La interferencia por polarización cruzada es por lo tanto reducida por la rotación del espectro de modulación. El ángulo de modulación típicamente es usado para negociar la pérdida de potencia para el ancho de banda debido a que la potencia disponible en el satélite es limitada. De cualquier manera, también permite la operación del amplificador de alta potencia del satélite cerca de la saturación, debido a que la señal modulada en ángulo es relativamente insensible a las no-linealidades de amplitud.

Los satélites comúnmente utilizan una antena de frecuencia dual común para la comunicación hacia arriba y hacia abajo. La señal recibida de ancho de banda completo de comunicación hacia arriba, contiene todos los canales de transmisión/recepción (para una polarización dada), es amplificada por un amplificador de bajo ruido de banda amplia y entonces convertido otra vez a la frecuencia de comunicación hacia abajo. En este punto, la señal es separada en sus canales de transmisión/recepción en los que esta constituido, cada uno de los cuales es amplificado y entonces recombinado en una señal de banda amplia

la cual es aplicada a la alimentación de la comunicación hacia abajo de la antena. Por lo tanto, el repetidor del satélite es, en una aproximación inicial, un transmisor/receptor lineal.

Debido a restricciones de peso los filtros de separación y combinado de los canales en el satélite, son usualmente imperfectos, dando lugar a la distorsión de extremo de la banda llamada multitrayectoria. Las señales se mezclan a través de canales adyacentes de transmisión/recepción y son combinados en amplitud y fase arbitrarias, incrementando o reduciendo la transmisión en los límites de la banda. Los efectos varían con la ganancia individual del canal (la cual es ajustable remotamente) y, dependiendo de como la antena este alimentada, con la dirección de transmisión hacia abajo. Esto puede limitar la utilización completa del ancho de banda de el canal. La modulación de frecuencia analógica tiene un espectro relativamente limitado y es manejado adecuadamente. La modulación digital puede encontrar restricciones de capacidad.

Las estaciones terrestres pueden ser clasificadas de acuerdo a el tamaño de sus antenas, el cual está directamente relacionado con su aplicación. Debido a que el costo de la antena crece exponencialmente con el tamaño, los diámetros mayores de cerca de 30 metros son raramente económicos.

CAPITULO II

TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE EMPLEADAS EN SATÉLITES

Introducción

Para acceder y utilizar la capacidad de un satélite se deben considerar dos aspectos: los sistemas de acceso múltiple que permiten a zonas dispersas geográficamente acceder y compartir la capacidad del satélite y los métodos por medio de los cuales esta capacidad es asignada a usuarios individuales, en terminos tanto del tamaño de la capacidad del satélite como del tiempo en el cual esta disponible. Primero se examinarán los métodos de asignación y después los principales esquemas de acceso múltiple.

Métodos de Asignación

Los métodos de asignación determinan la forma en que la capacidad del transpondedor es asignada a los usuarios en términos de la cantidad de tráfico, la duración del tiempo en que una estación terrena ocupa el transpondedor y si la asignación es programada o varía dinámicamente, de acuerdo a la demanda. Los principales métodos son:

- Fijo pre-asignado;
- Acceso Múltiple Asignado por Demanda (DAMA);
- Aleatorio.

El método empleado depende de las características de los servicios ofrecidos por el satélite, y como estos son presentados y empaquetados. Aunque uno u otro de estos métodos pueden ser empleados en combinación con los Sistemas de Acceso Múltiple, no todas las permutaciones son posibles.

Fijo Pre-asignado

Con este método, cantidades fijas de la capacidad del transpondedor son asignadas a un usuario, ya sea en un período de tiempo continuo -digamos 24 horas un día por un período prolongado- o en tiempos programados. Los sistemas pre-asignados en general se adaptan mejor para cargas de tráfico relativamente constantes. Los sistemas de asignación continua o fija están asociados particularmente con cargas de alto tráfico en rutas fijas.

Acceso Múltiple Asignado por Demanda (DAMA)

La técnica de Acceso Múltiple Asignado por Demanda (DAMA) permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia del transpondedor y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer comunicación; en el momento en que alguna deja de transmitir, esta ranura se libera y queda disponible para cualquier otra de las estaciones del sistema que la solicite temporalmente. Cuando tiempo después la estación terrena que liberó una ranura quiera transmitir más información, podría darse el caso de que la ranura de frecuencia que usó previamente dentro del amplificador este ocupada en ese instante por la señal de otra estación; pero puede haber otras ranuras vacías en ese momento y de ser éste el caso, la estación terrena en cuestión podría utilizar cualquiera de ellas, es decir, la frecuencia de la portadora transmitida por cada estación terrena cambia en el tiempo, moviéndose de lugar en el espectro radioeléctrico del amplificador y, por supuesto, la estación debe estar debidamente equipada para hacerlo.

Desde luego que el empleo de cualquier ranura vacía no se puede hacer en forma arbitraria, sino a través de una estación central que coordina el banco de frecuencias disponibles. Cada vez que una estación terrena desee iniciar una transmisión, debe solicitarle antes al banco de frecuencias que le asigne una de ellas para su portadora; este mismo banco de frecuencias se comunica con el punto de destino para informarle que se le va a transmitir y en que frecuencia debe sintonizarse para que reciba la señal; solamente hasta que la estación transmisora y la receptora hayan recibido la asignación de sus frecuencias de operación, se puede iniciar el enlace.

Aleatorio

En este modo de acceso, en lugar de que la capacidad del transpondedor sea compartida entre las estaciones terrestres de una manera estrictamente ordenada, las estaciones compiten una con otra por el acceso del transpondedor. Se les permite mandar solamente una pequeña ráfaga de información a un tiempo, pero lo hacen de forma

alcatoria e inevitablemente las ráfagas de información de diferentes estaciones chocarán y se dañarán unas a otras. Sin embargo, cada estación puede detectar cuando sucede esto y planear la retransmisión.

Técnicas de Acceso

Las técnicas de acceso son aquellas que permiten al satélite recibir y transmitir un gran número de portadoras de radiofrecuencia para proporcionar interconexión entre muchas estaciones terrenas utilizando el mismo satélite, basándose en un acceso múltiple.

La problemática que representa el acceso múltiple, ha sido resuelta tradicionalmente teniendo como objetivo principal la capacidad de tráfico del satélite, en términos del número de canales bajo un conjunto de restricciones dadas en lo que se refiere a potencia, ancho de banda, razón de error, etc.

Bajo las consideraciones antes descritas, se desarrollaron las técnicas de acceso por División de Frecuencia (FDMA) y por División de Tiempo (TDMA); ambas técnicas resuelven satisfactoriamente el caso cuando el tráfico es uniforme y a una tasa cercana a la capacidad máxima del canal; posteriormente se desarrollaron técnicas adecuadas al tratamiento de canales con tráfico de ráfaga.

FDMA - Acceso Múltiple por División de Frecuencia

La técnica de acceso múltiple de las comunicaciones por satélites más usada y simple es el Acceso Múltiple por División de Frecuencia, en la cual el transpondedor del satélite se encuentra dividido en secciones o ranuras de frecuencia y cada estación terrena puede transmitir por una o más de estas secciones. A cada ranura le es asignada una banda de frecuencia, con una pequeña banda de guarda para evitar que se interfieran o mezclen señales que estén empleando ranuras adyacentes. El transpondedor del satélite recibe todas las señales en su ancho de banda, las amplifica y luego las retransmite hacia la Tierra. Las estaciones terrenas (estaciones receptoras) seleccionan las bandas de frecuencia (o la banda) que contienen los mensajes que le son dirigidos. Un sistema de Acceso Múltiple por División de Frecuencia se muestra en la figura 2.1. En este tipo de sistema, las señales pueden emplear tanto modulación digital como analógica. Una desventaja de esta técnica es que no se aprovecha al máximo la capacidad del canal, debido a que no se puede transmitir información en los intervalos de frecuencias que sirven como bandas de guarda.

Actualmente existen dos formas de FDMA en operación: Multicanal por portadora y Canal único por portadora.

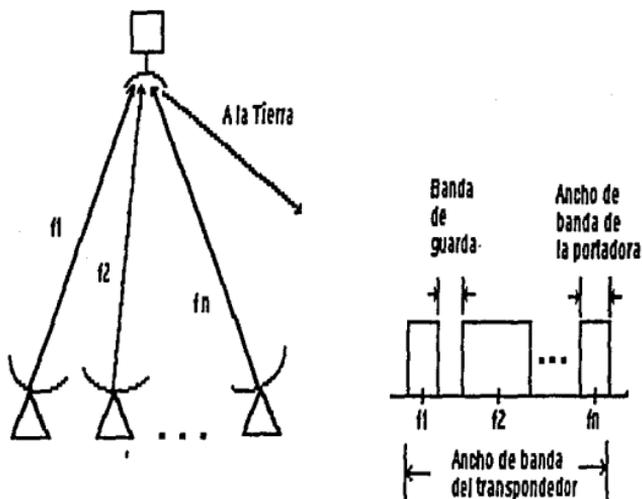


Fig. 2.1 Concepto de un sistema FDMA

MCPC - MultiChannel Per Carrier (Multicanal por Portadora)

Una señal de multicanal consiste de un grupo de señales de banda lateral única con portadora suprimida (SSB/SC), las cuales son multiplexadas por división de frecuencia antes o en la estación terrena. Después, la señal multicanal modula en frecuencia una portadora para transmitirse hacia el satélite. Usualmente a esta técnica se le llama FDM/FM/FDMA, pero algunos autores lo llaman MCPC en contradicción con SCPC.

En otras palabras, una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada y la ranura de frecuencias necesaria para ubicarla, dependiendo del número de canales que contenga, es angosta o muy ancha.

SCPC - Single Channel Per Carrier (Canal Único Por Portadora)

Estos sistemas son derivados de los sistemas FDM/FM/FDMA; en los sistemas SCPC, el ancho de banda del transpondedor está subdividido de tal forma que cada subdivisión tiene su propia frecuencia portadora y su ancho de banda es ocupado por un solo canal de banda base; de aquí el término de canal único por portadora.

La figura 2.2 muestra la estructura de la trayectoria de transmisión para un sistema SCPC. Aunque los sistemas SCPC analógicos sufren de limitaciones de potencia debido al uso de portadoras múltiples, permiten a un mayor número de estaciones terrenas acceder y compartir la capacidad en unidades pequeñas y más económicas que las proporcionadas en los sistemas de portadora/multicanal.

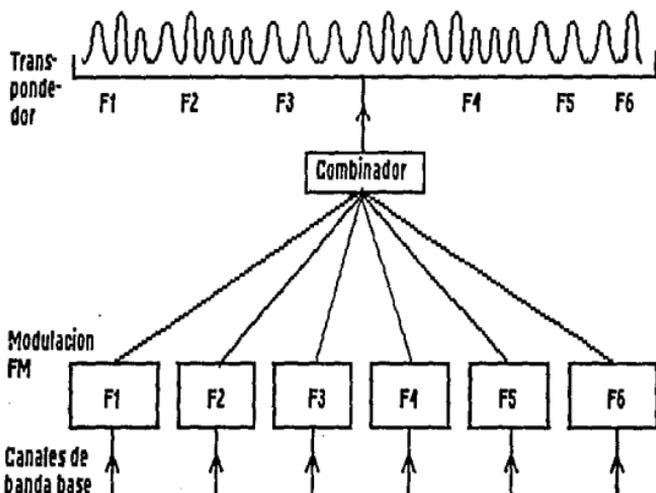


Fig. 2.2 Ruta de transmisión de SCPC/FM/FDMA

Aún cuando la asignación es por demanda es fácil comprender que también puede haber sistemas domésticos o internacionales con asignación fija. Asimismo, e independientemente si se tiene asignación fija o por demanda, un canal SCPC puede contener un canal telefónico analógico o digital, así como también un canal de datos de baja

velocidad transmitido con modulación digital. La eficiencia de operación del sistema SCPC se puede incrementar considerablemente como se verá enseguida con el sistema SPADE. En forma general, SCPC con asignación por demanda se utiliza para comunicar puntos con tráfico ocasional, como zonas rurales o de poco intercambio entre si.

SPADE

Existen muchos sistemas funcionando con SCPC; el más conocido y uno de los primeros es el denominado SPADE, utilizado por INTELSAT, que quiere decir: canal único por portadora con acceso por demanda de equipo (Single-channel Per carrier Access-on-Demand Equipment), aunque también las iniciales provienen de sCPC/pSK/FDMa/dA eEQUIPMENT. El notable mejoramiento en el desempeño de SPADE se debe a dos factores: el uso de transmisión digital y activación por voz; incluye la capacidad de realizar asignación por demanda (DAMA). La asignación por demanda (DA) es usada para establecer conexiones entre dos estaciones, seleccionando dos de sus 800 circuitos half-duplex.

SPADE, también proporciona servicio telefónico a los países que tienen poco tráfico entre sí. Este sistema no es más que un DAMA internacional con algunas adaptaciones; consiste en un transpondedor de 36 MHz ranurado en 800 secciones capaces de conducir simultáneamente 400 conversaciones telefónicas (400 ranuras se emplean para los canales de ida y 400 para los canales de regreso), cada una de las ranuras tiene su frecuencia portadora y puede ser utilizada temporal e indistintamente por cualquiera de los países que integran el sistema, sincronizándose con el banco central de frecuencias mediante un canal digital de solicitudes.

Con los sistemas FDMA puede ser necesario operar a una potencia reducida para minimizar la interferencia entre portadoras adyacentes, evitando de esta forma que una señal fuerte se mezcle con una débil. El sistema SPADE emplea la técnica de la activación por voz para conservar la potencia de la siguiente forma: cuando hay un canal de voz por portadora, ésta puede desactivarse cuando no hay nadie hablando y ser activada de nuevo cuando comienza la conversación.

TDMA - Acceso Múltiple por División de Tiempo

TDMA es una técnica totalmente digital mediante la cual varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de él. A diferencia de FDMA, en esta nueva técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura de frecuencia, con cierto ancho de banda fijo, y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignado un tiempo dado para transmitir lo que guste dentro de la ranura y

cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno (ver figura 2.3).

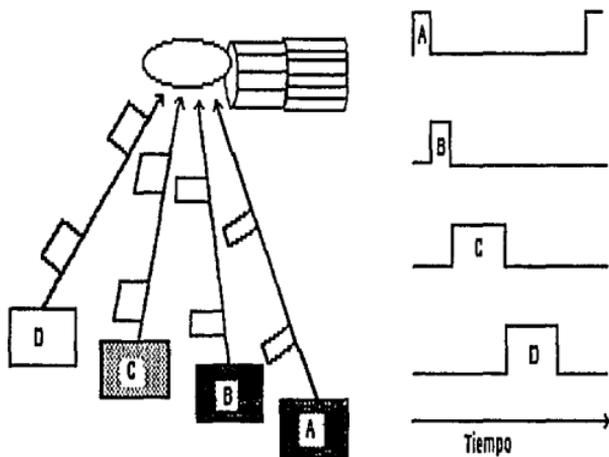


Fig. 2.3 Acceso Múltiple por División de Tiempo

El tiempo asignado a cada estación no es necesariamente igual en todos los casos, puesto que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, por lo tanto, la ranura del tiempo que se les asigna debe ser más larga que la de las estaciones chicas. Estos tiempos asignados pueden ser fijos, por estación, o bien pueden variar con el tiempo cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico. En estas condiciones, es preciso reorganizar la distribución de los tiempos, dándole ranuras de tiempo más largas a estaciones con exceso de tráfico y ranuras más cortas a las de poco tráfico.

En cualquiera de los casos anteriores la duración usual de un marco o ciclo es de unos cuantos milisegundos y se requiere contar con un mecanismo confiable de sincronización, para que no haya traslapes entre las transmisiones de las diversas estaciones. Además, como las estaciones transmiten en forma de ráfaga a intervalos con duración de una pequeña fracción de milisegundos, deben de contar con módulos de almacenamiento de información digital, que funcionan como memorias de amortiguamiento y que vayan liberando la información por paquetes en cada ráfaga.

MCPC - Multicanal por Portadora

En un sistema de multicanal por portadora, primero se multiplexan en el tiempo varios canales digitales (TDM), después el resultado modula digitalmente una portadora por desplazamiento de fase cuaternario (QPSK), y por último ésta accesa al transpondedor (TDMA).

TDMA con asignación por demanda

En los sistemas TDMA la reasignación de la capacidad se efectúa variando la duración de los intervalos de tiempo asignados a las estaciones terrenas. Una estación terrena envía una petición de reasignación de capacidad a la estación de control vía el canal de petición. La estación de control realiza la reasignación de capacidad, y notifica este cambio en la ráfaga supervisora de la trama. Este procedimiento se realiza entre tramas maestras sucesivas.

Para fines prácticos, un número de redes distintas pueden compartir el mismo servicio TDMA y con el fin de satisfacer adecuadamente la asignación de capacidad, de acuerdo a las necesidades de cada red, a cada una le puede ser asignada una capacidad de reserva. Dentro del contexto individual de una red esto puede verse como el equivalente a una transferencia de capacidad a través de la red de acuerdo a la demanda fluctuante de las diferentes estaciones terrenas.

ALOHA

Los principales esquemas de contención o de acceso aleatorio, están basados en el concepto ALOHA, del cual existen tres variaciones: ALOHA puro, ALOHA ranurado y ALOHA de reserva. La idea básica de ALOHA puede aplicarse a cualquier sistema en el que se tengan usuarios no coordinados que compitan por el uso de un sólo canal.

En el protocolo de ALOHA puro, se deja que los usuarios transmitan información siempre que la tengan. En el caso de haber colisiones, las tramas involucradas sufrirán obstrucción; sin embargo, debido a la propiedad de retroalimentación de la difusión, el que envía la información siempre podrá averiguar si su trama se destruyó. De suceder esto, el emisor esperará un tiempo aleatorio antes de transmitirla de nuevo. El tiempo de espera debe de ser aleatorio, de otra manera las tramas sufrirán colisiones una y otra vez de manera continua.

Las ventajas de este protocolo son:

- a) Utilización eficiente del ancho de banda del transpondedor del satélite
- b) Flexibilidad para aumentar o disminuir el número de nodos en la red
- c) No requiere sincronización del acceso al transpondedor.

Las desventajas son:

- a) No existe privacidad del usuario
- b) La colisión de paquetes puede retrasar aleatoriamente la transmisión de un mensaje.

El protocolo de ALOHA ranurado es casi idéntico al ALOHA puro con la característica adicional de que el canal está ranurado en tiempo para reducir la interferencia entre canales. Los usuarios deben sincronizar las transmisiones de sus paquetes dentro de ranuras de tiempo del canal, de longitud fija, cada uno de las cuales tiene la duración de un paquete.

En el protocolo ALOHA de reserva se agrupan un número determinado de ranuras consecutivas, donde cada estación es propietaria de una de ellas. Si llegara a existir un número mayor de ranuras que de estaciones, las ranuras extra no se asignarán a ninguna estación. Una ranura vacía es una señal hacia todas las demás de que su propietaria no tiene tráfico. Durante el siguiente grupo la ranura se pone a disposición de cualquiera que la desee. Si el propietario desea retirar su ranura transmite una trama, forzando de esta manera una colisión en caso de que haya tráfico. Después de la colisión todos, menos el propietario, deberán desistir de usar dicha ranura.

SS-TDMA

El Acceso Múltiple por División de Tiempo con Conmutación en el Satélite es una técnica moderna con la que se están construyendo los satélites mediante varias antenas de haz pincel, diseñadas para cubrir diferentes zonas geográficas con muy alta intensidad de potencia; cada haz está asociado con ciertos receptores y transmisores y es posible conmutar parte de la información -o toda- de un haz, dentro del satélite, mediante una matriz de microondas. Este sistema es digital, los satélites INTELSAT VI e Italsat entre otros utilizan esta técnica moderna (SS/TDMA), la cual incrementa significativamente la eficiencia de un sistema puesto que se logra la cobertura total de un gran territorio dividido en zonas con haces de potencia totalmente concentrada, en vez de hacerlo con un sólo haz común de baja densidad de potencia por unidad de área.

CDMA - Acceso Múltiple por División de Código

Además de las técnicas de acceso múltiple FDMA y TDMA, que son las de mayor uso en satélites comerciales de comunicaciones, existe una tercera alternativa en la que el transpondedor completo es ocupado por varias estaciones que transmiten a la misma frecuencia y al mismo tiempo. Esta técnica, conocida como Acceso Múltiple por División de Código (CDMA), o bien Acceso Múltiple con Espectro Extendido (SSMA), resulta particularmente útil en las transmisiones confidenciales o altamente sensibles a las interferencias; al igual que TDMA, es totalmente digital, y presenta la ventaja de que las antenas terrenas transmisoras y receptoras pueden ser muy pequeñas, sin importar que sus ganancias sean bajas y sus haces de radiación muy amplios. Por otra parte presenta el inconveniente de que ocupa mucho ancho de banda (un transpondedor completo), pues cada bit de información como los que transmiten en modalidad TDMA se transforma en un nuevo tren de bits muy largo, de acuerdo con un código determinado previamente.

Cada estación transmisora utiliza una secuencia diferente de bits para codificar cada uno de los bits de información; de las estaciones terrenas receptoras, sólo la destinataria de cierta información conoce el código con el que se transmitió y es capaz de reconstruir el mensaje original aunque llegue superpuesto con todos los demás mensajes que se transmitieron simultáneamente.

Las técnicas CDMA más empleadas son:

Mediante secuencias pseudoaleatorias (Secuencia Directa DS)

Un sistema de espectro extendido (SSMA) de secuencia directa se muestra en la figura 2.4. Para generar la señal de espectro extendido, primero se combina la señal de información y la secuencia de extensión antes de modular en fase a la portadora.

El generador de código de pseudoruido (PN) genera una secuencia binaria pseudoaleatoria que es combinada con la secuencia de información. La secuencia resultante modula una portadora. Si bien es posible emplear varios esquemas de modulación frecuentemente se emplea PSK en los sistemas de espectro extendido para comunicaciones por satélite. La expansión del ancho de banda esta completamente bajo el control de la secuencia PN.

Una réplica exacta de la secuencia PN debe ser generada y mantenida en sincronía en el receptor para que la extensión del espectro pueda ser removida adecuadamente.

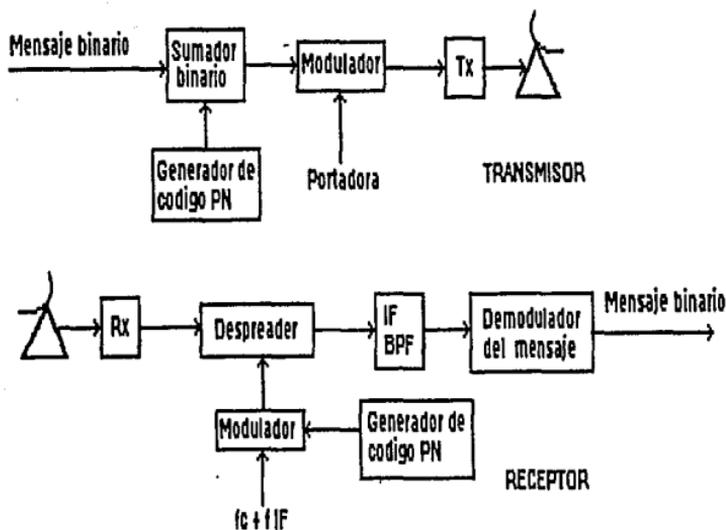


Fig. 2.4 CDMA mediante secuencias pseudoaleatorias

Mediante salto de frecuencias

Basicamente, un sistema de espectro extendido mediante salto de frecuencia (FH) funciona de forma parecida a un sistema de secuencia directa (DS). La principal diferencia es la forma en que se genera el espectro a transmitir. Como se muestra en la figura 2.5, el código FH-PN primero pasa por una transformación de código a frecuencia. Un sistema FH produce un efecto de extensión mediante un salto pseudoaleatorio de la frecuencia de la portadora final dentro de un amplio rango de frecuencias preestablecidas. El patrón y la tasa de salto son determinadas por el código PN y la velocidad del código respectivamente. La tasa del salto de frecuencia es igualada de alguna manera a la velocidad del mensaje para que exista una detección coherente de cada bit del mensaje. En el receptor, cuando el sintetizador de frecuencia local es conmutado con una replica en sincronía del código PN transmitido, el salto de frecuencia en la señal recibida será removido dejando la señal modulada original.

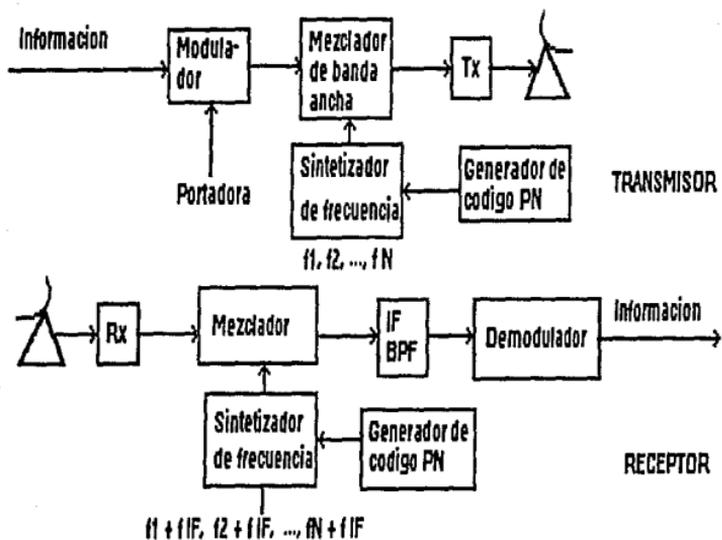


Fig. 2.5 CDMA mediante salto de frecuencia

CAPITULO III

REDES DE COMPUTADORAS

Introducción

A medida que crece nuestra necesidad para recopilar, procesar y distribuir información la demanda de más sofisticados procesamientos de información crece todavía con más rapidez.

Son muchas las organizaciones que ya cuentan con un número considerable de computadoras y con frecuencia alejadas unas de otras. Inicialmente cada una de estas computadoras puede haber estado trabajando en forma aislada de las demás pero, en algún momento, la administración puede decidir interconectarlas para tener la capacidad de extraer y correlacionar toda la información. Puesto en una forma más general, el objetivo de las redes de computadoras consiste en compartir recursos, haciendo que todos los programas, datos y equipos estén disponibles para cualquier terminal de la red que así lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario.

En general, una red de computadoras es la interconexión de procesadores independientes con el propósito de compartir recursos. Las redes de computadoras se pueden clasificar de acuerdo a su:

- Topología: Estrella,
Anillo,
Bus,
Malla,
Arbol.
- Cobertura: LAN,
MAN,
WAN,
GAN.
- Control de transmisión: Centralizado,
Distribuido,
Aleatorio.

- Formas de transferencia de la información: Conmutación, Difusión.

En este capítulo se tratará más a fondo todo lo concerniente a las redes de computadoras, explicando los conceptos básicos en una forma breve y sencilla.

Técnicas de Conmutación

Estas técnicas permiten establecer una conexión entre dos equipos terminales para transferir información entre ambos en forma confiable. En la actualidad existen cuatro formas básicas de lograr este objetivo: conmutación de circuitos, conmutación de mensajes, conmutación de paquetes y, circuitos virtuales y datagramas.

Conmutación de Circuitos

La ISO define a la conmutación de circuitos como el procedimiento que enlaza a voluntad dos o más equipos terminales de datos (ETD) y que permite la utilización exclusiva de un circuito de datos durante la comunicación (ver figura 3.1).

A través de un sistema de este tipo, los equipos terminales de datos pueden establecer comunicaciones ya sea de tipo asíncrono o síncrono.

La línea telefónica es un canal muy empleado para conectar computadoras y terminales. Emplea la tecnología de conmutación de circuitos para comunicar distintos equipos terminales. Estas son sus principales características:

- Una vez establecida una llamada, los usuarios disponen de un enlace directo a través de los distintos segmentos de la red. Este camino equivale a un par de hilos que unen dichos usuarios.
- Debido a la ausencia de medios de almacenamiento, un conmutador puede quedar bloqueado.
- El conmutador de circuitos proporciona pocas funciones de valor agregado. Para conseguir estas funciones de valor agregado es necesario añadir a los conmutadores algún tipo de software o microcódigo adicional.

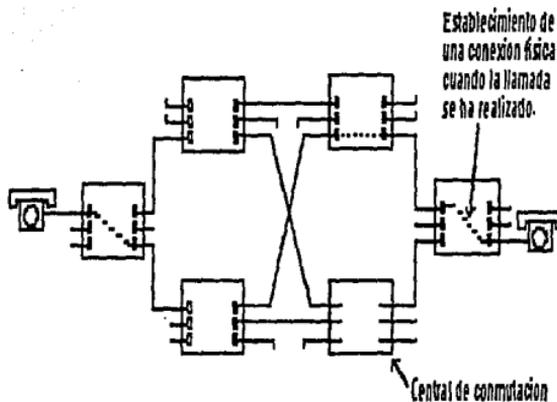


Fig. 3.1 Conmutación de Circuitos

Conmutación de Mensajes

En los años 60's y 70's, el método más empleado de conmutación era la conmutación de mensajes. A diferencia de la conmutación de circuitos, la conmutación de mensajes es una tecnología que permite grabar la información para atenderla después, gracias a la capacidad de almacenamiento (por lo general en forma de discos) que posee el conmutador. La conmutación de mensajes suele operar siguiendo una relación maestro-esclavo. Normalmente el conmutador gestiona el tráfico que entra y sale de él (ver figura 3.2).

Aunque la conmutación de mensajes ha prestado grandes servicios a la industria, adolece de tres defectos. En primer lugar, al tratarse de una estructura maestro-esclavo, si el conmutador falla toda la red deja de funcionar ya que todo el tráfico entra y sale por él. Otro aspecto es que la mayoría de los conmutadores de mensajes son el epicentro del sistema. Todo el tráfico debe de pasar por ellos, por lo que puede ser fuente de embotellamientos. El tercer problema es que la conmutación de mensajes no aprovecha la línea tanto como otras técnicas.

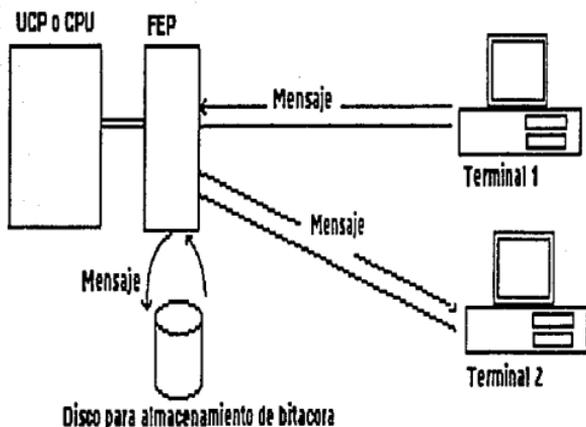


Fig. 3.2 Conmutación de Mensajes

En conclusión la conmutación de mensajes es un método cuyo conmutador suele ser una computadora, la cual examina la dirección que aparece en la cabeza del mensaje y conmuta (encamina) el paquete hacia el ETD que ha de recibirlo. Puesto que los datos suelen ser almacenados el tráfico no puede considerarse interactivo o en tiempo real, sin embargo pueden darse prioridades a las distintas clases de tráfico. Normalmente el conmutador efectúa los sondeos y selecciones necesarias para gestionar el tráfico que entra y sale de él.

Conmutación de Paquetes

En vista de los problemas que planteaba la conmutación de mensajes se buscó una nueva estructura de conmutación: la conmutación de paquetes. Esta técnica distribuye el riesgo a más de un conmutador, reduce la vulnerabilidad entre fallos de la red y permite una mejor utilización del canal.

La conmutación de paquetes es la transmisión de datos por medio de paquetes direccionados, por lo que un canal de transmisión es ocupado únicamente durante la

duración de la transmisión del paquete; por lo tanto el canal esta disponible para el uso de paquetes que están siendo transmitidos por diversos dispositivos terminales.

La existencia de varios conmutadores permite distribuir la carga de la red en varios puntos, lo cual permite establecer estructuras alternativas de enrutamiento, evitando los nodos ocupados o averiados (ver figura 3.3). Permite multiplexar sesiones de usuario en un mismo puerto de la computadora (en lugar de ocupar un puerto cada usuario, este lo comparte con otros usuarios).

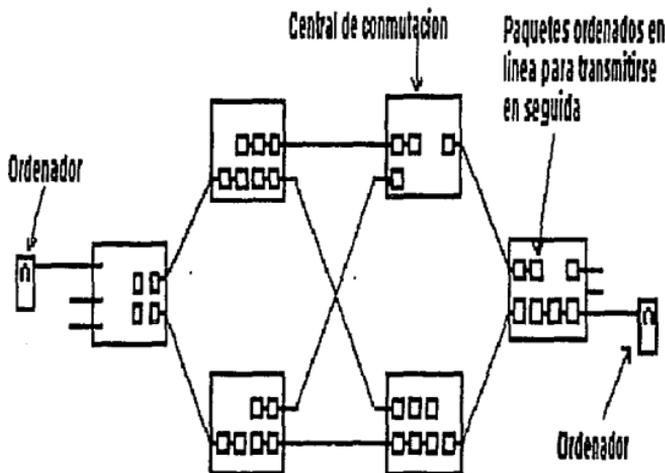


Fig. 3.3 Conmutación de Paquetes

Circuitos Virtuales y Datagramas

Un circuito virtual es una vía de flujo controlado, transparente y bidireccional entre un par de puertos físicos o lógicos. Realmente es un circuito físico compartido por muchas terminales. Existen dos tipos de circuitos virtuales: conmutados y permanentes.

Un circuito virtual conmutado asocia temporal y lógicamente dos terminales y sólo ocupa un camino físico en el preciso momento de viaje de los datos.

Un circuito virtual permanente es una asociación fija entre dos ETD's la cual es equivalente lógico en una línea privada dedicada punto a punto.

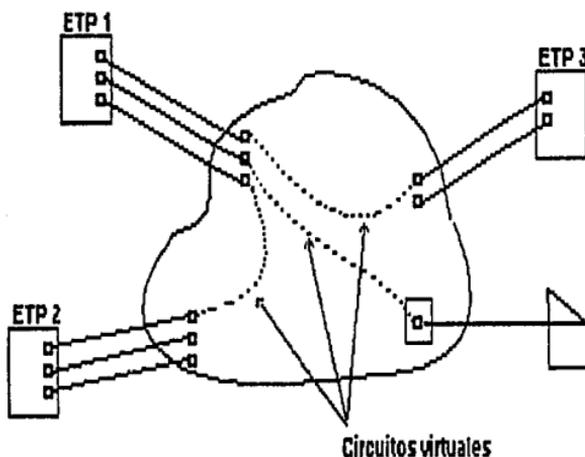


Fig. 3.4 Circuitos Virtuales

El datagrama es un bloque de datos que contiene suficiente información de control en su interior, como para no necesitar el apoyo de otro tipo de mensajes, para efectos de lograr una transmisión confiable hacia el destino previsto; su filosofía es eliminar la sobrecarga que suponen los paquetes de establecimiento y liberación de la sesión. Tiene utilidad en determinadas aplicaciones como son sesiones muy cortas o transacciones muy breves.

Difusión de Paquetes

Los paquetes también pueden ser difundidos sobre un medio de comunicación. Este método es comúnmente empleado en redes de área local. En una red de difusión de paquetes todas las estaciones comparten un medio de transmisión común y no requieren un dispositivo de conmutación entre ellas.

Así, un mensaje transmitido por cualquier estación, es recibido por todas las otras estaciones, simplemente chequeando cada paquete que le llega para determinar si le fue direccionado a él, e ignorarlo en caso contrario. Esta técnica elimina los retardos que son inherentes en el sistema, los cuales encaminan los paquetes de nodo a nodo.

Debido a que todas las estaciones comparten un medio de transmisión común en una red de difusión, sólo una estación es capaz de transmitir exitosamente en cualquier instante, por lo tanto se requiere de un control de acceso al medio. Este control puede ser tanto centralizado en un nodo o distribuido a través de varias o en todas las estaciones. En el caso de un esquema centralizado un control designado específicamente tiene la autoridad para permitir a una estación acceder a la red. Si una estación desea transmitir, primero requerirá y luego recibirá el permiso del controlador para realizarlo. En un esquema de control distribuido, todas las estaciones colectivamente comparten la responsabilidad del control de acceso al medio.

Tipos de Redes

El diseño, instalación y operación de redes de computadoras es vital para el funcionamiento de las organizaciones modernas. A lo largo de la década pasada se establecieron diversas y complejas redes que conectaban mainframes, minicomputadoras, computadoras personales, terminales y otros dispositivos, tales como controladores de comunicaciones. A continuación se describen los principales tipos de redes según su cobertura.

Redes de Area Local (LAN)

Una Red de Area Local es un sistema formado por dispositivos de procesamiento de información interconectados por un medio común de comunicaciones y limitado por la cobertura definida por el usuario.

Una red LAN debe estar estructurada en niveles, de forma que un cambio en un nivel solo afecte al nivel cambiado. Debe dar el servicio de enviar a una o más direcciones de destino, unidades de datos a nivel enlace. Las comunicaciones se realizan entre procesos que tienen el mismo nivel estructural.

Características:

- Transparencia de datos. Los niveles superiores deberán poder utilizar libremente cualquier combinación de bits o caracteres.
- Posibilidad de comunicación directa entre dos nodos de la red local sin necesidad de almacenamiento ni retransmisión a través de un tercer nodo de la red, excepto en los casos que es necesario por razones de conversión de codificación.
- Permite la adición y supresión de nodos de la red de forma fácil.
- Cuando los nodos comparten recursos físicos de la red, estos serán dispuestos de forma justa.

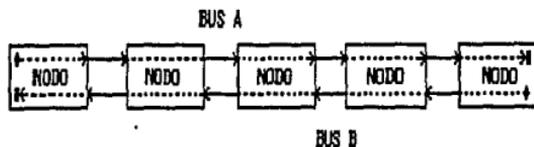
Ventajas:

- Compartir recursos y aplicaciones con otros usuarios,
- Compatibilidad de equipos de varias tecnologías y marcas.
- Procesamiento distribuido (unidades redundantes).
- Probabilidad baja de error.
- Sus áreas de aplicación son datos, voz y gráficos.

Redes de Area Metropolitana (MAN)

El concepto de Red de Area Metropolitana (MAN) ha sido una evolución de LAN. Se trata de una red integrada de comunicaciones de alta velocidad capaz de proporcionar múltiples servicios, incluyendo datos, voz y video, cubriendo una extensa área geográfica. Esta basada en un medio compartido de subredes el cual consiste de buses duales unidireccionales y nodos atados a lo largo de ellos (figura 3.5).

Principio
del bus A



Principio
del bus B

↔= Inicio del flujo de datos.

⇐= Fin del flujo de datos.

Fig. 3.5 Arquitectura de Bus Dual

La subred opera a velocidades de banda ancha y puede cubrir un área de hasta 50 km de diámetro. El propósito inicial de los servicios de MAN es la interconexión de LAN's con el mismo desempeño de estas; esto se logra por la capacidad de MAN para la conmutación de paquetes por medio de una conexión virtual.

Características:

- Facilidad al usuario para manejar su propia red virtual, esto es, el usuario puede disponer de la información del manejo de red para sus necesidades.
- Seguridad dual. Se trata de un esquema mejorado de seguridad basado en el uso de dos llaves, una proporcionada por el operador de red y otra proporcionada por el usuario.
- Control de enrutamiento. Le permite al usuario seleccionar el enrutamiento.
- Reporte de error. Permite al usuario reportar cualquier evento que afecte su servicio.

Ventajas:

- Económica, por el hecho de compartir servicios de conmutación y transmisión.
- Impedimentos a las redes privadas sobre los derechos públicos.
- Interconectividad universal.

Redes de Area Amplia (WAN)

Las WAN's normalmente cubren áreas geográficas más grandes que las LAN's. Un factor importante en el diseño y desempeño de estas, es el empleo de los enlaces de comunicaciones de una compañía telefónica o de otras comunicaciones de portadora común. Esto restringe las facilidades de comunicación, y las velocidades de transmisión. Las velocidades de transmisión típicas son de 56 kbps o menos (a menudo 9.6 kbps o 4.8 kbps). La calidad de la transmisión tiende a ser más pobre que la existente con las LAN's y los retardos de transmisión son mayores.

Las WAN's son de dos tipos:

WAN's Centralizadas:

Consisten de una computadora principal que sirve remotamente a terminales distribuidas "no inteligentes", desde el punto de vista de transmisión. El administrador de la red organiza los canales de comunicaciones, enlazando las terminales y la computadora central usando una topología de estrella. Ya que estas redes consisten de una computadora maestra y una gran cantidad de terminales "no inteligentes", los protocolos de comunicación son casi unidireccionales: la computadora principal muestrea las terminales "no inteligentes" para averiguar si tienen algo que transmitir, y entonces controla la transmisión de datos de tal manera que no existan colisiones.

WAN's Distribuidas:

A medida que las computadoras inteligentes proliferaron en las organizaciones, los usuarios se dieron cuenta que necesitaban una red más sofisticada. Una de las primeras WAN's distribuidas fue ARPANET, desarrollada por el departamento de defensa de EUA.

Redes de Area Global (GAN)

Como las redes departamentales se están interconectando, a menudo las redes resultantes conectan ciudades, estados o hasta países. La Red de Area Global o GAN surge de conectar redes remotas locales.

Una GAN se compone de redes conectadas que idealmente proveen conectividad para todas las comunicaciones de una compañía. Todas las computadoras se conectan directamente a la GAN, incluyendo PC's, estaciones de trabajo UNIX, procesadores medianos y mainframes. Asimismo, una GAN soporta simultáneamente múltiples estándares de comunicación. Todos los diferentes tipos de red en una empresa se integran totalmente y se manejan por administradores locales, los cuales a su vez, se reportan a un administrador central de redes.

Esta arquitectura de red avanzada unifica la infraestructura para conectar LAN's. Las conexiones se vuelven muy independientes del protocolo; soportan tráfico múltiple de protocolos vía puentes avanzados y tecnología de enrutadores. La creación de subredes se enfatiza mucho menos. En su lugar, las redes homogéneas se expanden hasta sus límites. La administración centralizada de la red cubre todas las comunicaciones de datos. El control de acceso y la administración de recursos de red se vuelven universales a través de todas las redes.

Redes de Comunicaciones para Interconectar Redes de Computadoras separadas a grandes distancias

Las redes de computadoras permiten a un grupo de usuarios comunicarse unos con otros y compartir datos y periféricos, pero también algunos grupos de usuarios tienen la necesidad de comunicar y compartir información fuera de su propia área, es decir, con otros grupos de usuarios, otras empresas o con fuentes generales de información pública. Para solucionar esta necesidad se han establecido con el tiempo diferentes soluciones entre las cuales se encuentran las siguientes:

Red Pública de Transmisión de Datos (PDN)

Las compañías privadas y algunos gobiernos han comenzado a ofrecer servicios de redes a cualquier organización que desee subscribirse a ellas. La subred es propiedad de la compañía operadora de redes y proporciona un servicio de comunicación para los clientes

y terminales. A este tipo de sistema se le llama red pública, y es análoga, o frecuentemente forma parte, del sistema telefónico público.

Aunque las redes públicas son en general muy diferentes en cuanto a su estructura interna, todas utilizan el modelo OSI y las normas CCITT o los protocolos OSI para todas las capas. Además, muchas redes privadas utilizan los protocolos OSI, o bien, planean hacerlo próximamente.

El CCITT ha emitido algunas recomendaciones para las tres capas inferiores, las cuales han sido adoptadas universalmente por todas las redes públicas. Estas capas se han conocido siempre como X.25 (que indica el número de recomendación del CCITT).

El protocolo de la capa física, denominado X.21, especifica la interfase física, eléctrica y de procedimiento entre el host y la red. Son muy pocas las redes públicas que toman en cuenta esta norma, principalmente por la necesidad de señales de tipo digital, en vez de analógico. Como una medida interina, se ha definido una interfase analógica parecida a la ya conocida norma RS-232.

La norma de la capa de enlace tiene algunas variantes. Todas se diseñaron para tratar los errores de transmisión de una línea telefónica entre el equipo del usuario (host o terminal), y la red pública (IMP).

El protocolo de la capa de red se ocupa del direccionamiento, control de flujo, confirmación de entrega, interrupciones y temas relacionados.

Dado que hay una gran cantidad de terminales que todavía no usan el protocolo X.25, se ha definido otro conjunto de normas que describen la forma en que una terminal simple puede comunicarse con una red pública X.25. En efecto, el usuario u operador de la red instala una "caja negra" a la cual se conectan las terminales. A esta se le conoce como PAD (Packet Assembler Disassembler - Ensamblador Desensamblador de Paquetes), cuya función se describe en una recomendación del CCITT que se conoce como X.3. Entre la terminal y el PAD se ha definido un protocolo normalizado, denominado X.28; existe otro protocolo entre el PAD y la red llamado X.29. Estas tres recomendaciones se conocen como triple X.

La situación es menos uniforme por encima de la capa de red. La ISO ha desarrollado normas para un servicio orientado a conexión para la capa de transporte (ISO 8072), y un protocolo orientado a conexión para la misma capa (ISO 8073). La mayoría de las redes públicas no dudarán en adoptarlos en un futuro inmediato. La ISO también adoptó normas para el servicio y protocolo orientados a conexión correspondientes a sesión (ISO 8326 e ISO 8327), así como el servicio y protocolo de la capa de presentación (ISO 8822 e ISO 8823). La mayoría de las redes públicas también adoptarán éstos posteriormente, aunque su necesidad no es tan crítica como la de un servicio uniforme de

transporte, debido a que varias aplicaciones no necesitan en realidad de los servicios de las capas de presentación o sesión.

La capa de aplicación no sólo contiene uno, sino una colección completa de protocolos para diferentes aplicaciones. El protocolo FTAM (File Transfer, Access, and Management - Transferencia, Acceso y Administración de Archivos) ofrece una solución para la transferencia, acceso y administración general de archivos remotos, de una manera uniforme. El protocolo MOTIS (Message-Oriented Text Interchange Systems - Sistemas de Intercambio de Texto Orientado a Mensaje) se utiliza para el correo electrónico, el cual es muy parecido a las recomendaciones establecidas en la serie X.400 del CCITT. El protocolo VTP (Virtual Terminal Protocol - Protocolo de Terminal Virtual) brinda una solución independiente de la terminal para los programas que acceden terminales a distancia (por ejemplo, para editores orientados a pantalla). El protocolo JTM (Job Transfer and Manipulation - Transferencia y Gestión de Trabajos) se utiliza para enviar trabajos a mainframes remotos para su procesamiento en lote. Puede usarse para mover programas y archivos de datos.

En la tabla 2.1 se muestran los números de algunas normas internacionales importantes. El estilo de éstas cambia entre las capas 3 y 4, debido a que las inferiores se hicieron en la CCITT, y las superiores en la ISO. En particular, el CCITT jamás se preocupó por distinguir entre el servicio y el protocolo, aspectos que la ISO sí consideró y realizó meticulosamente. Muchas normas, incluyendo la mayor parte de las relacionadas con sistemas sin conexión, no se encuentran en esta lista.

Redes de Valor Agregado (VAN)

El elemento principal del proceso de telecomunicaciones es un sistema de líneas telefónicas, satélites, y computadoras diseñadas especialmente para transportar datos. Es esta red compleja lo que hace posible la realización de telecomunicaciones interestatales e internacionales.

Estos sistemas son llamados redes de valor agregado o VAN's. Las VAN's son redes de comunicaciones que permiten a muchos usuarios compartir las mismas líneas telefónicas de larga distancia. El cargo de la VAN es simplemente incluido en el recibo de la mayoría de los servicios en línea que se usen. Como un resultado de este sofisticado sistema de telecomunicaciones de larga distancia, los costos son muy bajos y los servicios como servidores de cómputo e información financiera son accesibles a toda la población.

Las redes de valor agregado, como GTE y Tymnet, son compañías privadas que arriendan equipo y canales de líneas telefónicas tales como AT&T y las revenden con servicios agregados y ampliados, diseñados para uso de comunicación de datos.

CAPA	NORMA	DESCRIPCIÓN
1-7	ISO 7498	Servicio de referencia básica OSI, de la ISO.
7	ISO 8571	Servicio de acceso, administración y transferencia de archivos.
	ISO 8572	Protocolo de acceso, administración y transferencia de archivos.
7	ISO 8831	Servicio de transferencia y gestión de trabajos.
	ISO 8832	Protocolos de transferencia y gestión de trabajos.
7	ISO 9040	Servicio de terminal virtual.
	ISO 9041	Protocolo de terminal virtual.
7	CCITT X.400	Gestión de mensajes (correo electrónico).
6	ISO 8822	Servicio de presentación orientado a conexión.
	ISO 8823	Protocolo de presentación orientado a conexión.
5	ISO 8326	Servicio de sesión orientado a conexión.
	ISO 8327	Protocolo de sesión orientado a conexión.
4	ISO 8072	Servicio de transporte orientado a conexión.
	ISO 8073	Protocolo de transporte orientado a conexión.
3	CCITT X.25	Protocolo X.25 de la capa 3
2	ISO 8802	Redes de área local.
	CCITT X.25	Capa de enlace HDLC/LAPB.
1	CCITT X.21	Interfase digital de la capa física.

TABLA 2.1

Las VAN's pueden añadir sistemas especiales de chequeo de errores para asegurar que los datos lleguen a su destino en la misma condición que fueron enviados. Pueden también duplicar mensajes y enrutarlos a muchas localidades diferentes, acoplar protocolos de comunicación de tal manera que diferentes tipos de computadoras puedan interconectarse, y supervisar los canales de comunicación para detectar y corregir errores inmediatamente.

Las VAN's comúnmente transmiten datos usando una técnica conocida como conmutación de paquetes. Con esta técnica, primero se fragmenta los datos en pequeños segmentos, cada uno con un identificador al final para ser enviado a su destino asignado, frecuentemente por rutas diferentes.

Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)

Durante más de un siglo, el sistema telefónico ha representado la infraestructura fundamental para la comunicación internacional. Este sistema, que se diseñó para transmisiones analógicas de voz, ha demostrado que es inadecuado para resolver las necesidades de las comunicaciones modernas, como por ejemplo, la transmisión de datos, facsimil y video. La demanda por parte de los usuarios, de éstos y otros servicios, ha propiciado que se establezca un compromiso internacional para sustituir una parte considerable del sistema telefónico, por un sistema digital muy avanzado, durante la última parte del siglo XX. A este nuevo sistema se le conoce como Red Digital de Servicios Integrados (ISDN), y su principal objetivo consiste en la integración de los servicios de voz, con los servicios que no utilizan la voz.

Aunque el servicio principal seguirá siendo la voz, éste puede enriquecerse con algunos otros. Una característica de la ISDN es la de considerar teléfonos con botones múltiples para establecer instantáneamente llamadas a teléfonos localizados arbitrariamente en cualquier parte del mundo. Otra característica es la de exhibir en un tablero luminoso el número telefónico, nombre y dirección de la persona que llama, mientras suena el teléfono. Una versión más sofisticada de esta característica, permite conectar el teléfono a una computadora para que se muestre en una pantalla, mientras suena el timbre, el registro de una base de datos de la persona que llama.

Otros servicios avanzados de voz son aquellos que consideran la transferencia de llamadas y la reexpedición de las mismas a cualquier número en el mundo entero, así como llamadas colectivas (que incluyen más de dos personas) a nivel mundial. Los servicios de transmisión de datos de la ISDN permitirán a los usuarios conectar su terminal o computadora a cualquier otra del mundo. Este tipo de conexiones, en la actualidad, son prácticamente imposibles a nivel internacional debido a la incompatibilidad de los sistemas telefónicos nacionales.

Otra característica importante de la transmisión de datos es la referente a los grupos privados de usuarios, en donde sus miembros sólo pueden llamar a otros miembros del mismo grupo, y ninguna llamada, fuera del grupo será aceptada (excepto de forma cuidadosamente controlada).

El vidcotex es un servicio que se prevé llegará a tener un uso muy extendido con la ISDN, pues viene a ser un acceso interactivo a bases de datos remotas para una persona con una terminal. Otro tipo de servicio que puede ofrecerse mediante la ISDN, y que se espera resulte muy popular, es el teletex, que esencialmente es una forma de correo electrónico para uso doméstico y de negocios. Se podrá utilizar además, el facsímil (con frecuencia llamado fax), mediante el cual se registra y digitaliza una imagen electrónicamente.

Algunos de estos servicios propuestos por la ISDN, ya se encuentran funcionando en una primera fase, pero necesitan la cooperación de diferentes redes que están mal integradas. El objetivo de la ISDN consiste en integrar todos los servicios descritos anteriormente y volverlos tan prácticos como es el teléfono en la actualidad.

Red de Microondas

Aunque muchos de los sistemas de comunicación de datos utilizan cables de cobre o fibras ópticas para realizar la transmisión, algunos simplemente emplean el aire como un medio para hacerlo. La transmisión de datos por rayos infrarrojos, láser, microondas o radio, no necesitan de ningún medio físico.

El hecho de poner un transmisor y receptor de rayos infrarrojos o láser en el techo de cada edificio resulta muy económico y fácil de llevar a cabo. Este tipo de diseño nos conduce a una jerarquía de redes, en donde la red dorsal, que vendría a ser la red de láser o infrarrojo, está localizada entre los edificios. La comunicación mediante láser o infrarrojo es por completo digital, altamente directiva y, en consecuencia, casi inmune a cualquier problema de derivación o interferencia. Por otra parte, la lluvia y la neblina pueden ocasionar interferencia en las comunicaciones, dependiendo de la longitud de onda elegida.

El cable coaxial se ha utilizado para comunicaciones de larga distancia; como una alternativa se emplea la transmisión por radio de microondas. Las antenas parabólicas se pueden montar sobre torres para enviar un haz de señales a otra antena que se encuentre a decenas de kilómetros de distancia.

La ventaja de las microondas es que la construcción de dos torres resulta más económica que abrir una zanja, sobre la cual se puede depositar el cable o la fibra óptica. Hay que considerar que a los repetidores colocados a lo largo de la trayectoria, se les tendrá que dar mantenimiento en forma periódica y, puede ocurrir que los cables se rompan por

diferentes causas. Ninguno de estos problemas existe con las microondas. Por otra parte, las señales de una antena pueden dividirse y propagarse, siguiendo trayectorias ligeramente diferentes, hacia la antena receptora. Cuando estas señales que se encuentran desfasadas se recombinan, puede haber interferencia entre ellas, de tal manera que se reduce la intensidad de la señal. La propagación de las microondas también se ve afectada por las tormentas y otros fenómenos atmosféricos.

Redes de Satélites.

La comunicación mediante satélite tiene algunas propiedades que son completamente diferentes de las que presentan los enlaces terrestres punto a punto. En primer lugar, aun cuando las señales que van o vienen del satélite viajan a la velocidad de la luz (300,000 km/secg), éstas introducen un retardo substancial, al recorrer la distancia total como consecuencia del tiempo que tarda la información en ir y venir.

Además del retardo de propagación, los satélites también tienen la propiedad de que el costo de la transmisión de un mensaje es independiente de la distancia recorrida.

Otra diferencia potencial entre los enlaces de satélites y los enlaces terrestres es el ancho de banda disponible. La máxima velocidad disponible en las líneas telefónicas en uso normal es de 56 Kbps, aunque existen líneas a 1.544 Mbps que son empleadas en lugares donde el alto costo es aceptable. La transmisión por satélite evita el sistema telefónico y potencialmente ofrece tasas de datos 1,000 veces mayores.

Otra propiedad de la transmisión por satélite es su difusión. Todas las estaciones bajo el haz descendente pueden recibir la transmisión, incluyendo las "estaciones piratas". Las implicaciones para la privacidad son obvias. Se requiere de alguna forma de encriptamiento para guardar los datos en secreto.

Con los satélites, es práctico para un usuario levantar una antena en el techo de su edificio y evitar completamente el sistema telefónico. Para los países del Tercer Mundo con terrenos hostiles y una pequeña infraestructura existente, los satélites son una atractiva idea.

Por esta razón, es posible que la comunicación por satélite se incremente en popularidad hasta que todos los alambres de cobre del sistema telefónico hallan sido reemplazados por fibra óptica (tal vez a la mitad del siglo XXI), excepto en aquellas aplicaciones que requieran difusión, tales como la transmisión de televisión.

Topologías de Redes

Una topología es la interconexión de dos o más elementos. Normalmente, las redes se apoyan en cinco topologías principales en su configuración:

1. Estrella

El diseño estrella es relativamente simple para una red de computador. Consta de una unidad central de procesamiento (CPU) que controla el flujo de información a través de la red hasta todos los nodos (ver figura 3.6). Igualmente, si el controlador (CPU) se detiene, la red deja de funcionar.

Las redes estrellas fueron las primeras redes en desarrollarse debido a su estructura relativamente simple. La desventaja principal radica en las limitaciones en cuanto a su rendimiento y su confiabilidad. Asimismo, la red puede crecer sólo hasta alcanzar la capacidad del controlador central. Además, las redes estrellas pueden representar una importante topología para las comunicaciones vía satélite.

2. Anillo

La topología de anillo, se organiza con base en los datos que pasan de un elemento de la red al siguiente, por medio de repetidores conectados entre sí secuencialmente por medio de pares de cables u otro medio físico de transmisión (ver figura 3.7). Las señales pueden ir en una sola dirección. Este tipo de red, relativamente simple, tiene una desventaja fundamental: si un nodo o elemento de la red se detiene, toda la red podría dejar de funcionar. Sin embargo, se han hecho investigaciones para mejorar la confiabilidad de estas redes y algunas implementaciones solucionan este problema.

Otro problema propio de esta configuración radica en que a medida que se pasan los mensajes, se puede disminuir notablemente la velocidad de la red.

El mensaje que entra en una topología de anillo debe contener un grupo de "bits" indicando la dirección donde se debe entregar el mensaje en el anillo. La ventaja de esta topología es que se requiere un mínimo de inteligencia, siendo el costo menor.

Una característica de esta topología es el tener el control distribuido. En el anillo cada elemento es de igual jerarquía que los demás, en los que respecta a sus facultades de comunicaciones. Eso proporciona más flexibilidad y confiabilidad.

3. Arbol

Es una extensión de la arquitectura en estrella por interconexión de varias (ver figura 3.8). Permite establecer una jerarquía clasificando a las estaciones en grupos y niveles según el nodo al que están conectadas y su distancia jerárquica al nodo central.

Reduce la longitud de los medios de comunicación incrementando el número de nodos; se adapta a redes con grandes distancias geográficas y predominancia de tráfico local, características más propias de una red pública de datos que de una red privada local.

4. Malla

Cada estación está conectada con todas (red completa) o varias (red incompleta) estaciones formando una estructura que puede ser regular (simétrica) o irregular (ver figura 3.9). El costo puede ser elevado pero se gana en confiabilidad frente a fallas y en posibilidades de reconfiguración. No se adapta a grandes dispersiones geográficas pero permite tráficos elevados con retardos bajos. La dificultad de diseño reside en minimizar el número de conexiones y desarrollar potentes algoritmos de enrutamiento y distribución de flujos.

Suele ser más común en redes de computadoras, unidos a estructuras en estrella o árbol, que en redes locales.

5. Bus

El principio de la topología bus, es la ausencia de un computador central. Cada nodo o enlace en la red está conectado a un medio único y pasivo de comunicaciones, por ejemplo, un cable coaxial. Si bien, cada nodo actúa como si fuera parte de la topología, un nodo no depende del siguiente para que el flujo de información continúe. La red bus permite que los mensajes sean transmitidos a todos los nodos, simultáneamente a través del bus. Cuando un nodo reconoce que un mensaje va dirigido a él, lo saca del canal. Como consecuencia de esta independencia, aumenta notablemente la confiabilidad propia de la red. Pero, a diferencia de la topología de anillo de simple configuración y que requiere un mínimo de inteligencia, el bus requiere que cada nodo pueda transmitir, recibir, y resolver problemas (ver figura 3.10).

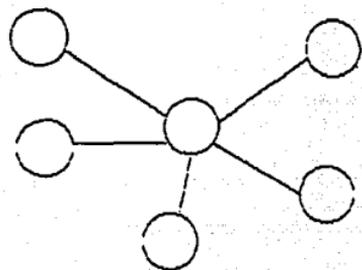


Fig. 3.6 Estrella

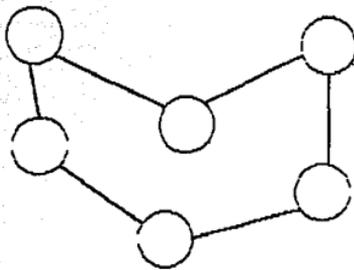


Fig. 3.7 Anillo

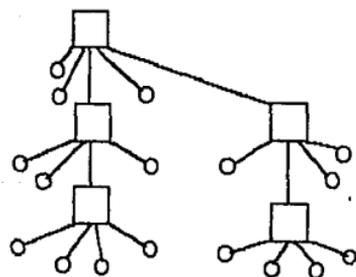


Fig. 3.8 Arbol

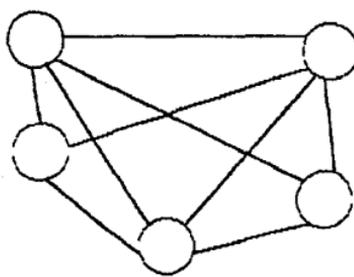


Fig. 3.9 Malla

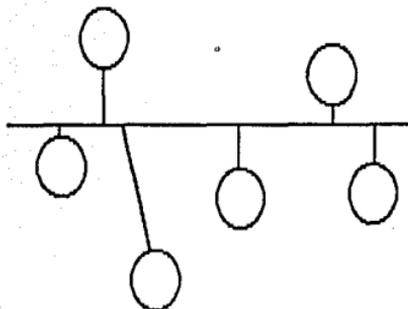


Fig. 3.10 Bus

Arquitecturas de Protocolos para Redes de Computadoras

Una arquitectura de red puede ser definida en términos de los servicios proporcionados por cada una de las capas y por las interfaces entre capas; los protocolos definen los servicios ofrecidos a través de una interface de capa y las reglas que deben de seguirse en el desempeño de un proceso como parte de un servicio.

Arquitecturas de Protocolos en Capas

Todas las arquitecturas de red de telecomunicaciones actualmente están empezando a desarrollar arquitecturas de protocolos en capas para acompañar sus funciones. En cada caso, existe una distinción entre las funciones de las capas inferiores las cuales son diseñadas para proporcionar una conexión entre los usuarios, ocultando los detalles de las facilidades de comunicaciones y, las capas superiores las cuales se aseguran que el intercambio de datos sea en forma correcta y comprensible.

Se emplea el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) desarrollado por la Organización Internacional para Estándares (ISO), para describir las arquitecturas de protocolos en capas.

La idea básica de la arquitectura en capas es dividirla en pequeñas piezas. Cada capa agrega otros servicios, además de los dados por las capas inferiores, de tal manera que la capa superior esta proporcionando un conjunto completo de servicios para manejar las comunicaciones. Un principio básico es asegurar la independencia de las capas, definiendo los servicios proporcionados por su capa de nivel superior. Esto permite hacer cambios en una capa sin afectar a las otras.

Modelo de Referencia OSI

El modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos es útil para comunicar una gran variabilidad de sistemas de cómputo, aún cuando no todas sus funciones se encuentran definidas todavía.

El conjunto de estándares OSI es un marco para definir los procesos de comunicaciones entre sistemas, ofreciendo una alternativa de unidad en el campo de las comunicaciones, permitiendo a cualquiera construir un sistema que se comunice con otro diferente. El modelo de referencia OSI simplemente describe las funciones involucradas en la comunicación entre dos computadoras o sistemas, y los términos usados para definir estas funciones.

Este incluye un modelo de referencia de siete capas que definen las funciones involucradas en la comunicación. Sólo los protocolos pueden ser realmente implementados.

Estas funciones consisten de software que cubre las diferencias que existen en las aplicaciones y en el cual comienza la comunicación, y el medio físico sobre el cual la comunicación viaja; frecuentemente este software ya se encuentra en circuitos de propósito especial que se incluye en las computadoras u otros equipos de comunicaciones.

El medio físico es simplemente el canal en el cual viaja el mensaje. Esto incluye no solamente los cables en un sistema telefónico, sino también las estaciones de recepción y transmisión para las comunicaciones vía satélite y microondas, así como también redes de área local.

En cada capa del modelo de referencia se han definido funciones específicas. Los estándares internacionales definen los servicios y los protocolos para implementarlos (ver la figura 3.11).

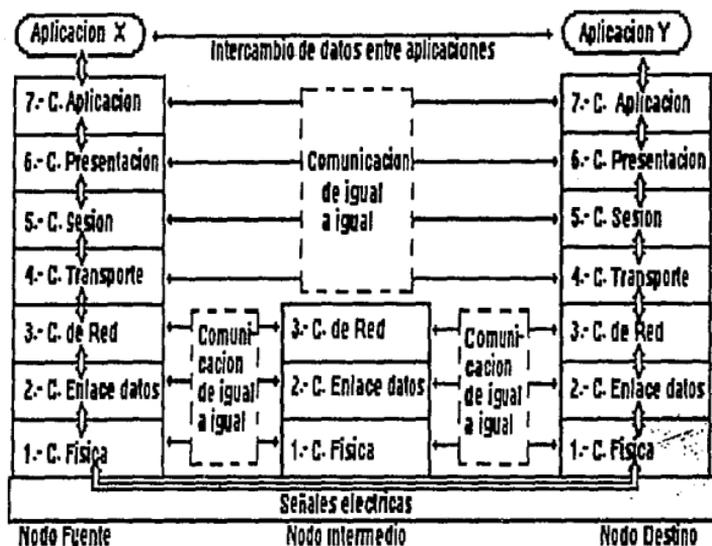


Fig. 3.11 Modelo de referencia OSI

Capas del modelo OSI

La capa 1 del modelo de referencia es llamada la capa física. Incluye funciones para activar, mantener y desactivar la conexión física. Define tanto las características de funcionamiento como del proceso de la interfase al circuito físico; las especificaciones eléctricas y mecánicas son consideradas como parte del medio en si mismo.

La capa 2 o capa de enlace de datos, cubre el control de sincronización y error de la información transmitida a través del enlace físico. Esto se puede llamar un chequeo de errores punto a punto. Transfiere datos de una manera confiable a través de un enlace simple. Agrega banderas para distinguir el inicio y fin de los mensajes. Distingue los datos de las banderas proporcionando transparencia.

La capa 3 es la capa de red. Sus funciones incluyen establecer rutas para que los paquetes viajen (establece circuitos virtuales). Proporciona servicio de datagramas. Direcciona los paquetes a través del equipo de la red. Divide los mensajes en paquetes y los reensambla. Controla la congestión de la red. Reconoce las prioridades de los mensajes y los envía en el orden apropiado. Maneja la interconectividad (tanto orientado a conexión como sin conexión).

La capa 4 o de transporte, incluye funciones tales como establecer conexiones de transporte confiables de extremo a extremo. Multiplexa las direcciones de extremo a usuario dentro de la red. Proporciona detección y recuperación de errores de extremo a extremo. Maneja el control de flujo. Observa la calidad del servicio. Desensambla y reensambla los mensajes de la capa de sesión.

Las funciones de la capa 5 o de sesión, son manejar y sincronizar conversaciones entre dos aplicaciones. La capa tiene dos estilos principales de diálogo: Half-Duplex y Full-Duplex. Establece conexiones y terminaciones. Transfiere datos. Invoca cláusuras simples y abruptas.

La capa 6, capa de presentación, asegura que la información es mandada en una forma que el sistema de recepción puede entender y usar. El formato y sintaxis de los mensajes puede ser determinado por las partes involucradas en la comunicación. El significado de los mensajes es conservado.

La capa más alta del modelo de referencia, es la capa 7 o de aplicación. Para soportar las aplicaciones distribuidas sus funciones manipulan la información. Esto da manejo de recursos para transferir archivos, archivos virtuales y emulación virtual de terminales, procesos distribuidos y otras funciones. Es la capa que contendrá la mayor funcionalidad, y también aquella en la que mayor cantidad de trabajo es realizado.

Visto como un sistema, las capas del modelo de referencia se pueden dividir en dos grupos, las tres primeras capas -Física, Enlace de datos y Red- cubren los componentes que utiliza la red para transmitir el mensaje. Las tres últimas capas reflejan las características de los sistemas finales de comunicación. Sus funciones toman lugar sin importar el medio físico usado. Solamente las dos partes involucradas en la comunicación invocan las funciones de las capas de sesión, presentación y aplicación. La capa de transporte actúa como enlace entre el sistema final y la red.

Arquitectura de Sistemas de Red (SNA)

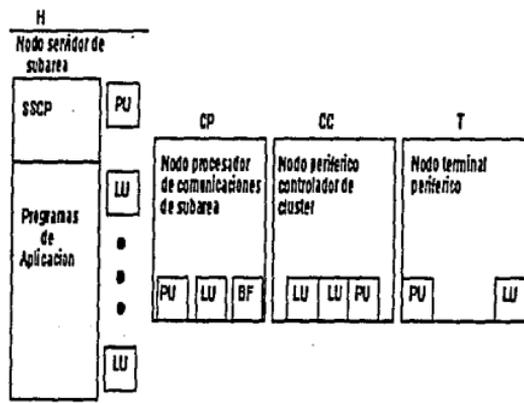
IBM desarrolló esta arquitectura debido a los problemas que se tenían para comunicar redes que utilizaban diferentes productos de software, lo cual le provocaba

problemas para controlar el crecimiento y evolución de su base de clientes. Las metas de SNA fueron:

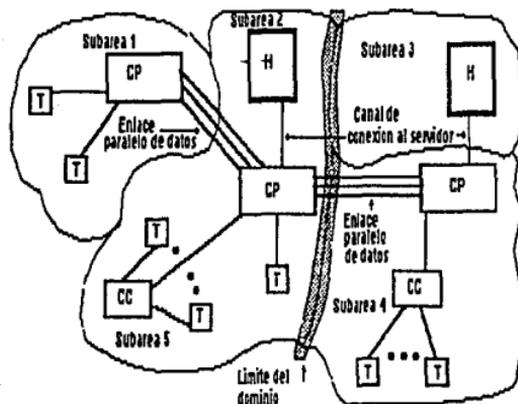
- Brindar métodos consistentes de acceso a la red.
- Permitir a una terminal acceder a más de una aplicación en una computadora.
- Mejorar la eficiencia de los protocolos de comunicación.
- Permitir diferentes tipos de terminales en un enlace multipunto.

La figura 3.12 muestra una configuración típica. La parte (a) muestra cuatro distintos tipos de nodos y la parte (b) muestra una forma en que estos nodos pueden conectarse.

Los nodos incluyen dos tipos de nodos periféricos y dos tipos de nodos de subárea. Los nodos periféricos son nodos terminales (simples terminales o controladores de pistas) y controladores de pistas inteligentes. Los nodos de subárea tiene una gran variedad de capacidades que incluyen procesadores de comunicaciones y huéspedes.



a) Tipos de nodos



b) Configuración típica

Fig. 3.12 Arquitectura de Sistemas de Red (SNA)

SNA también tiene una arquitectura por capas:

- Capa de control física: Tiene la misma definición que la capa física en el modelo OSI.
- Capa de control de enlace de datos: Misma definición que en el modelo OSI.
- Capa de control de ruta: Crea canales lógicos entre puntos finales o NAU's. Su principal función es el enrutamiento y control de flujo. La comunicación en SNA es a través de circuitos virtuales.
- Capa de control de transmisión: Es responsable de establecer, mantener y terminar las sesiones en SNA, secuencia de los mensajes de datos y del control de flujo de nivel de sesión.
- Capa de control de flujo de datos: Brinda servicios relacionados a las sesiones y de interés para procesos y terminales usuarios. Esto incluye determinación del modo transmisión/recepción, cambio de transmisiones para facilitar recuperación de errores, agrupar los mensajes relacionados y especificar opciones de respuesta.

- **Capa de servicios de presentación:** Mantiene la presentación o formato de los datos. Incluye traducciones entre los formatos, compresión de datos, formateo, y traducción de caracteres de control entre diferentes tipos de terminales.
- **Capa de servicios de transacciones:** Brinda administración de los servicios de la red usados directamente por los usuarios. Incluyendo servicios de configuración que permiten a los operadores arrancar o reconfigurar las redes, también brinda una interfase para usuario que permite el control de las transmisiones y la administración de los servicios.

El control de flujo de datos no es tan estricto como en el modelo OSI. La capa de control de flujo de datos trabaja casi en paralelo con la capa de control de transmisión. Las dos capas más altas (transacción de servicios y presentación de servicios) son consideradas como una sola capa conocida como capa de administración de servicios.

Arquitectura de la Red Digital (DNA)

La arquitectura de DNA es simétrica y de igual a igual, con cualquiera de dos procesos libres capaces de comunicarse entre sí, una vez satisfechos los requerimientos de seguridad. Se distinguen dos tipos de nodos: nodos finales y nodos de ruta. Los primeros están enlazados a la red y no calculan rutas. Los segundos soportan múltiples enlaces y paso de tráfico, por lo que deben de calcular rutas.

Redes muy grandes pueden ser divididas por áreas, conectadas por enlaces principales. Las rutas pueden pasar a través de dos niveles: el nivel 1 abarca el tráfico dentro de un área, y el nivel 2 abarca el tráfico entre áreas. Los nodos enlazados tanto a áreas como a enlaces principales sirven ha ambos tipos de rutas.

La arquitectura jerárquica de DNA se muestra en la figura 3.13. Las capas son las siguientes:

- 1) **Capa física.** Igual que en el modelo OSI. Puede usarse una gran variedad de capas físicas estándares.
- 2) **Capa de enlace de datos.** Igual que en OSI. Utiliza tres protocolos: DDCMP, Ethernet y X.25.
- 3) **Capa de enrutamiento.** Provee un servicio de envío de mensajes a lo ancho de la red, por medio de datagramas.

programa de control de la red (NCO) que brinda una interfase entre el usuario y las funciones de administración de la red.

En la figura 3.14 se muestra un flujo de información típico. Se asume que no es necesario el uso de las funciones de la capa de aplicación de la red. Dado que la capa de control de sesión es transparente después de iniciada una sesión, esta no afecta el esquema del flujo de información. Solamente las capas de fin de comunicación, enrutamiento y enlace de datos añaden encabezados y la capa de enlace de datos añade "colas".

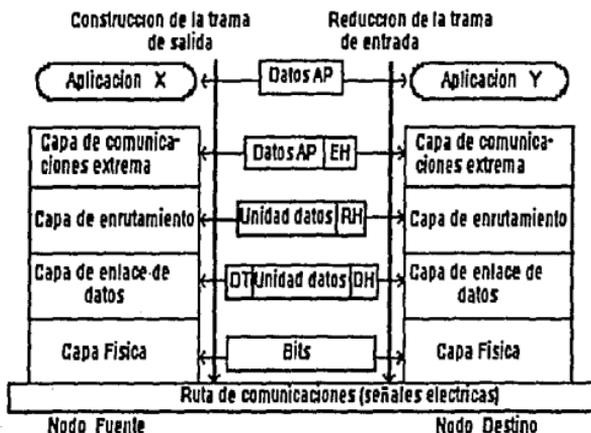


Fig. 3.14 Flujo de Información de DNA

Modelo DoD

Este modelo fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los E.U. como una extensión al proyecto ARPANET. Sus principales diferencias con el modelo OSI son:

- Jerarquía contra Capas.
- La importancia de entrelazamiento de red.

- La utilidad de servicios libres de conexiones.
- La aproximación a las funciones de manejo.

La arquitectura del modelo de Referencia DoD se muestra en la figura 3.15. Utiliza una gran variedad de computadores huésped heterogéneos, los cuales están conectados a través de una subred vía procesadores de comunicaciones llamados IMP's (procesadores de interfaces de mensajes). Las conexiones directas de terminales son posibles a través de TIP's o IMP's terminales. La intercomunicación entre redes se logra a través de pasarelas.

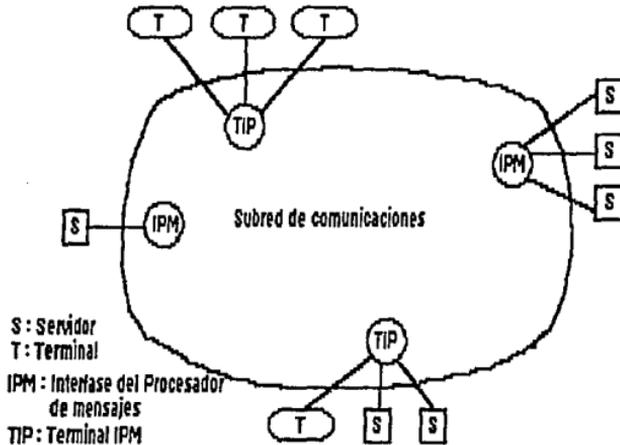


Fig. 3.15 Modelo de Referencia DoD

El concepto fundamental del DoD es la Comunicación entre Procesos. Su arquitectura contiene cuatro capas:

- 1) Acceso a la red.
- 2) Internet.
- 3) Huésped-huésped.
- 4) Proceso/aplicación.

La forma en que fluye la información a través de estas capas se muestra en la figura 3.16.

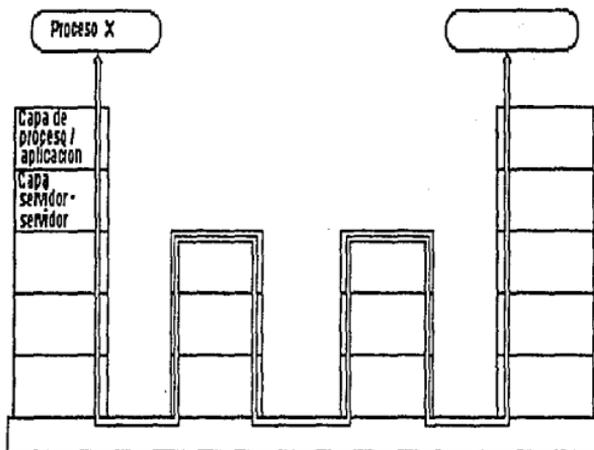


Fig. 3.16 Flujo de Información de DoD

XEROX

Una popular implementación de red es la arquitectura de los Sistemas de Red de Xerox (XNS). El conjunto de protocolos adoptados por Xerox se muestra en la figura 3.17. Los protocolos de nivel superior se ajustan funcionalmente al modelo OSI, difiriendo sólo en detalles como la codificación de bits y el campo de presentación. Como se ve en la figura, no existe capa de sesión en el XNS. Aquí el Protocolo de Transporte de Internet (ITP) se comunica directamente con el protocolo Courier en la capa de presentación. El protocolo Courier es un procedimiento de llamada remota, el cual permite a los usuarios de la red solicitar una petición a cualquier otra computadora, de la misma manera que una subrutina es llamada. Cuando tal petición es expedida, el software encuentra la computadora apropiada, accésandola, y regresando el programa al punto donde la llamada fue iniciada.

En la capa de transporte, el protocolo de secuencias de paquetes (el cual es una subsección del Protocolo de Transporte de Internet) es el equivalente funcional del protocolo clase-4 de ISO. Difiere en el formato y sintaxis de sus campos pero no en sus significados; además usa el esquema de direccionamiento de Xerox.

El Protocolo de Datagramas de Internet ofrece funciones de 3 niveles. Proporciona un servicio de comunicación interredes que direcciona paquetes, los enruta y los entrega de un enlace de datos a otro. Los dos niveles inferiores y parte del nivel 3 usan los protocolos de Ethernet.

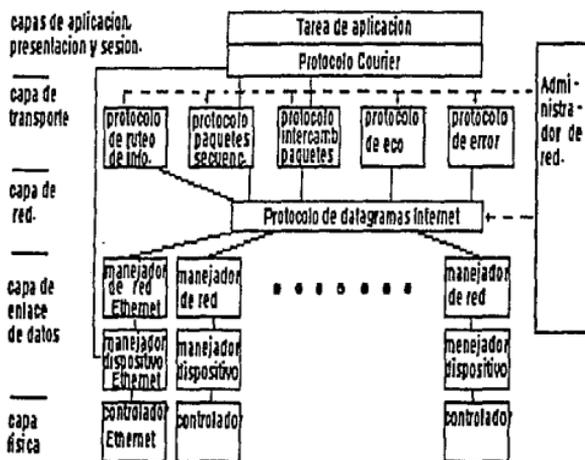


Fig. 3.17 Conjunto de Protocolos Adoptados por Xerox

Arquitecturas de Protocolos de Redes de Area Local (estándar 802 de la IEEE)

Los estándares para LAN son llamados IEEE 802 y están siendo desarrollados todavía. Son similares a los de OSI. La segunda capa (enlace de datos) esta dividida en dos subcapas. La figura 3.18 muestra las capas del modelo IEEE 802.

El enrutamiento es innecesario en una sola LAN, dado que las tramas alcanzan todos los posibles destinos. Las altas tasas de transmisión minimizan la necesidad de una capa de control de flujo en la red. Así los protocolos de IEEE 802 brindan un servicio de transmisión de datos completo que puede ser accesado directamente por las aplicaciones.

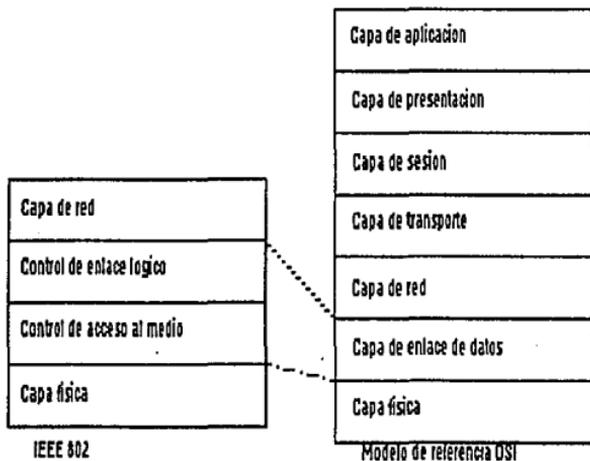


Fig. 3.18 Comparación de la Arquitectura IEEE 802 y el modelo OSI

Arquitectura de la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)

El objetivo de ISDN es brindar soporte al usuario a través de las siete capas del modelo OSI, es decir, adopta el modelo OSI pero con nuevas definiciones para las capas.

Los servicios ISDN están clasificados en dos categorías: servicios de mensajería, que brindan soporte para las tres capas más bajas y teleservicios (teléfono, teletex, vidcotex) basados en las cuatro capas más altas.

ISDN difiere de las demás arquitecturas vistas en que las tecnologías de conmutación de paquetes y circuitos reciben el mismo énfasis.

Comparación de estas Arquitecturas con el modelo de referencia de OSI

En la figura 3.19 se establece un cuadro comparativo entre las arquitecturas vistas, pero debe de tenerse cuidado al interpretarlo pues las diferencias entre las arquitecturas son tantas que es imposible dar una completa comparación de esta manera.

Se ha incluido una capa física para todas, a pesar de que no fuese mencionada anteriormente. Una subcapa titulada "usuario" se añade en la parte superior de SNA, pues de otra manera estaría menos completa que las otras arquitecturas.

Hay significativas diferencias en la orientación general de las arquitecturas, en la flexibilidad para interrelacionarse con otras capas, en aproximaciones al control de la red, y así por el estilo.

OSI & ISDN	DoD	DNA	SNA	IEEE 802
Aplicación		Usuario	Usuario y servicios de transacción	Aplicación del usuario
Presentación	Procesos / Aplicaciones	Aplicación de Red	Presentación de Servicios	*
Sesión		Control de Sesión	Control de flujo de datos	*
Transporte	Host-Host	Fin de comunicación	Control de transmisión	*
Red	Internet	Enrutamiento	Control de trayectoria	*
Enlace de datos	Acceso a red CSNP CSNP	Enlace de datos	Enlace de datos	Control de enlace lógico Control de acceso al medio
Física	Física	Física	Control de la capa física	Física

Fig. 3.19 Comparación de Arquitecturas

* Largamente indefinidos; protocolos OSI seleccionados usados en MAP y TOP.

Interfases entre el Equipo de Cómputo y el Equipo de Comunicaciones

Una interfase se define como la frontera entre un equipo de comunicación y el equipo de procesamiento de datos, siendo un elemento muy importante dentro de una red de telecomunicaciones.

Protocolos de la Capa Física

Estos protocolos resuelven la incompatibilidad entre diferentes equipos, les corresponde la conexión de los dispositivos de comunicaciones así como la transmisión de bits entre los dispositivos. La interconexión, normalmente se realiza entre los adaptadores de comunicaciones conocidos como DCF y el equipo de cómputo o terminales DTE.

El protocolo de la capa física describe cuatro características:

- Las características mecánicas: Definición del tamaño y tipo de conector, la asignación de los pines o patas, etc; características que hacen posible físicamente la interconexión del equipo.
- Las características eléctricas: Se encargan de que los niveles eléctricos sean compatibles y de la determinación de la velocidad de transmisión.
- Especificaciones funcionales: Asignan el significado de los circuitos (de datos, control, sincronización o relojes y tierras).
- Las especificaciones de procedimientos: Indican la secuencia de los mensajes de control y datos, los cuales son empleados para establecer, desactivar o utilizar el nivel de conexión físico.

EIA RS-232C / RS-232D / CCITT V.24

La norma RS-232 corresponde a la capa física y establece aspectos mecánicos, eléctricos y funcionales a una interfase de la capa física. Las normas RS-232-C y RS-232-D son versiones revisada de la original (RS-232). La CCITT en su recomendación V.24 ha incluido una versión internacional del RS-232-C, que sólo difiere en algunos circuitos.

Mecánicamente consta de 25 clavijas de dimensiones bien especificadas. En las especificaciones eléctricas se considera un voltaje más negativo que -3 volts como un "1" lógico, y un voltaje mayor a +4 volts como un "0" lógico; es posible tener velocidades de

transmisión de hasta 20 Kbps, y una longitud máxima del cable de 15 metros. La especificación funcional indica los circuitos que están conectados a cada una de las 25 clavijas, así como el significado de las mismas (figura 3.20). Por último, existen también las especificaciones de procedimientos, es decir, el establecimiento de la secuencia legal de eventos durante la transmisión.

Por lo general esta norma se usa para conectar una terminal con un modem. Cuando se utiliza para conectar dos terminales, es necesario un dispositivo llamado modem nulo, que conecta las líneas de ambas máquinas en forma adecuada.

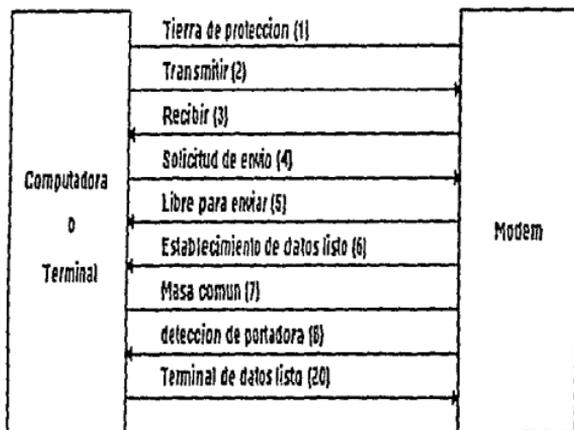


Fig. 3.20 Circuitos principales de RS-232-C

EIA RS-449

La norma RS-449, versión mejorada de la RS-232-C prácticamente incluye tres normas en una. Los procedimientos, mecanismos y funcionabilidad de la interfase están considerados en la RS-449, en tanto que la interfase eléctrica está establecida en dos normas diferentes. La primera de éstas, la RS-423-A, es similar a la RS-232-C, en sentido de que todos los circuitos comparten una tierra común (ver figura 3.21). A ésta técnica se le

denomina transmisión asimétrica. La segunda norma eléctrica, la RS-422-A, contrariamente a la primera, utiliza una transmisión balanceada, en la que cada circuito principal necesita dos hilos, sin tener una tierra común. Como resultado la RS-422-A, puede utilizarse en velocidades de hasta 2 Mbps, en cables de 60 mts, e incluso, a velocidades más grandes, sobre cables de longitudes menores.

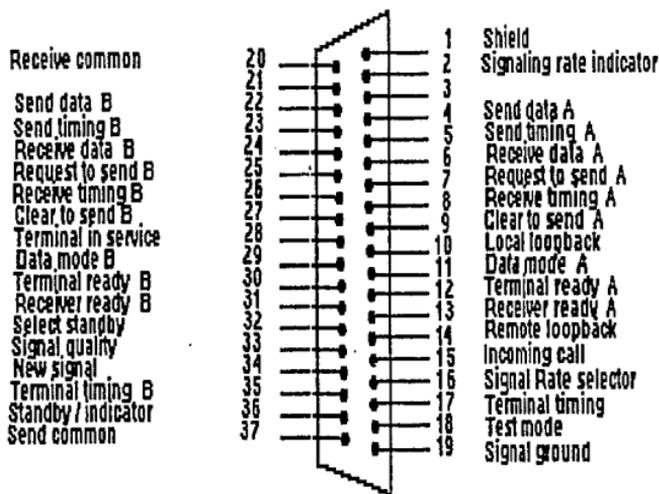


Fig. 3.21 Conector EIA 449

CCITT X.21

El CCITT recomendó una interfase de señalización digital llamada X.21. Esta recomendación especifica la manera en que el DTE, establece y libera las llamadas mediante el intercambio de señales con el DCE. X.21 define un conector de 15 clavijas con 6 circuitos de intercambio. En la figura 3.22 se dan los nombres y funciones de las ocho líneas definidas para el X.21

Si se llevan a cabo simultáneamente llamadas de entrada y de salida (Colisión de Llamada), la señal que entra se cancela y la que sale se lleva a cabo. El CCITT llegó a esta decisión porque, en ese momento, puede ser demasiado tarde para algunos DTE reubicar los recursos que ya se asignaron a la señal que sale.

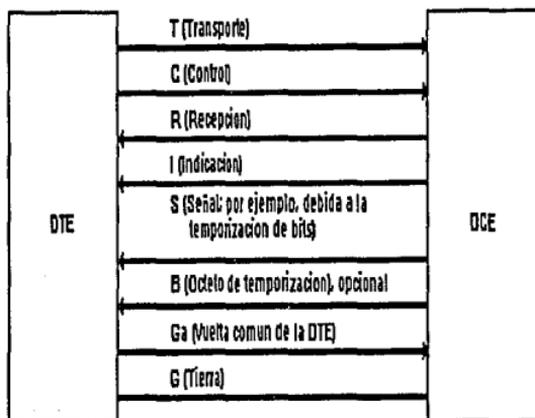


Fig. 3.22 Conector X.21

Ethernet

La norma 802.3 tiene una historia interesante. Su inicio verdadero se debió al sistema ALOHA. A esta primera versión, se le incluyó la detección de portadora, y la compañía Xerox construyó un sistema CSMA/CD de 2.94 Mbps, para conectar hasta 100 estaciones personales de trabajo en un cable de 1 km de longitud. Este sistema se le llamó Ethernet, en honor del éter luminífero, a través del cual se pensó alguna vez que se propagaban las ondas electromagnéticas.

La Ethernet desarrollada por Xerox tuvo tanto éxito que las compañías Xerox, DEC e Intel propusieron una norma para Ethernet de 10 Mbps; la cual constituyó la base para la 802.3. La norma que se publicó como la 802.3 difiere de la especificación correspondiente a la Ethernet en el sentido de que despliega una familia completa de sistemas CSMA/CD, operando a velocidades que van desde 1 a 10 Mbps, en varios medios

físicos. Mucha gente (incorrectamente) utiliza el nombre de "Ethernet", en un sentido genérico, para referirse a todos los protocolos CSMA/CD, aún cuando éste sólo se refiere a un producto específico que desarrolla el 802.3.

Hay dos tipos de cable coaxial que se utilizan comúnmente conocidos como "Ethernet grueso" y "Ethernet delgado". El Ethernet grueso se parece a un manguera para jardín, con marcas que se encuentran cada 2.5 mts, con objeto de indicar los lugares en donde van los conectores. El Ethernet delgado es más pequeño y más flexible, y utiliza conectores tipo BNC común y corrientes para formar uniones en T, en lugar de usar los otros conectores. Este, también es mucho más económico, pero sólo puede utilizarse para distancias cortas. Los dos tipos de cables son compatibles y pueden conectarse de diferentes formas.

En la figura 3.23 se muestra la configuración usual de Ethernet, en ella puede identificarse un transceptor que se encuentra sujeto al cable en forma segura, de tal manera que su conector haga contacto con el núcleo interior. El transmisor-receptor contiene la electrónica necesaria para poder manejar la detección por portadora y de colisión: Cuando se detecta una colisión, el transmisor-receptor también coloca una señal especial de invalidación en el cable, para asegurar que todos los demás transmisores-receptores tengan conocimiento de que ha ocurrido una colisión.

La longitud máxima permitida para un cable 802.3 es de 500 mts. Para hacer que la red se extienda sobre una distancia mayor, es necesario utilizar múltiples cables, conectados mediante repetidores. Un repetidor es un dispositivo de la capa física; el cual se encarga de recibir, amplificar y transmitir señales en ambas direcciones. Un sistema puede estar constituido por varios segmentos de cable y varios repetidores, pero no es posible que más de dos transmisores-receptores se encuentren separados por una distancia mayor de 2.5 km, ni tampoco es posible que exista una trayectoria entre dos transmisores-receptores, que atravesase más de cuatro repetidores.

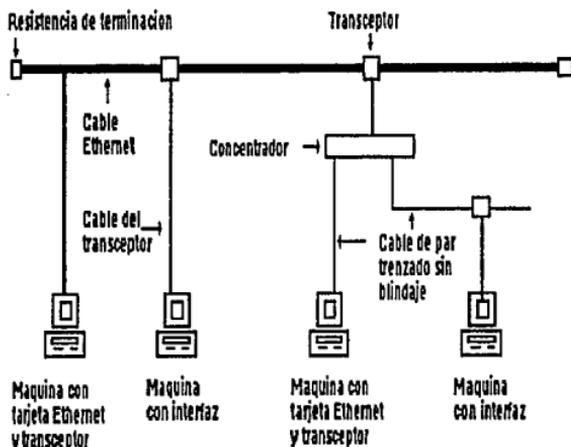


Fig. 3.23 Ethernet

Interfases de la ISDN 1.430 y 1.431

Las características de cada interfase son:

a) La Interfase 1.430

En esta interfase es importante considerar dos aspectos: los accesos básicos y la introducción a la velocidad primaria.

Dentro de los accesos básicos se proveen dos canales de acceso a 64 kbps para la transmisión de los datos de control y datos de usuario a bajas velocidades. La velocidad primaria de la interfase 1.430 provee un acceso, ya sea a 1,544 o 2,048 Kbps. Esta interfase utiliza un conector pequeño de 8 pines, donde una única pieza es capaz de transferir la potencia a través de la interfase. El alambrado puede ser punto a punto (un DCE conectado a un DTE) o bien puede ser configurado en estrella o multipunto (un DCE puede ser reemplazado por varios DTE's).

Ambos DTE's y DCE's pueden ser diseñados para utilizarse en las redes ISDN. Los DTE's que no son compatibles con ISDN también pueden ser empleados, siempre y cuando tengan el adaptador apropiado. Existen dos tipos de DCE's: uno provee las funciones de la capa física y otro que provee algunas funciones de las capas de red y enlace de datos.

b) Interfase 1.431

Opera a dos velocidades: 1,544 Mbps o 2,048 Mbps. Es decir, una adaptación de la velocidad a 1,544 Mbps con 24 canales y sistema portadora T-1 o bien, de la velocidad a 2,048 Mbps de 30 canales y sistema de portadora estandarizado por la CCITT.

La principal limitación de estas interfaces es que no hay un equipo que las soporte, ya que los disponibles en el mercado necesitan de adaptadores, y aún estos no están disponibles. El equipo de ISDN podría ser relativamente caro hasta que el mercado se incremente y justifique la producción en volumen.

La interfase 1.430 puede ser usada solamente en canales con transmisión digital de extremo a extremo, los cuales no son tan comunes. La 1.431 fue desarrollada bajo las restricciones impuestas por una gran cantidad de equipos instalados, por lo que los estándares existentes tan solo requieren de modificaciones mínimas.

La capa física en SNA y DNA

La capa física -como siempre- se encarga de establecer las características físicas de la interconexión entre dos nodos adyacentes y usa un protocolo propio para transportar las señales del origen al destino.

Establece todo lo referente al conector: tamaño, forma, asignación de clavijas. También especifica el voltaje y los niveles de corriente, la potencia de la señal, etc.

La capa física en IEEE 802

La capa física de la IEEE 802.3 contiene varios componentes. Un componente vinculado al equipo de computo genera las señales eléctricas, las cuales son representadas por un bit de flujo transmitido sobre la LAN e interpretado como una señal de entrada desde la misma, este es conectado al cable principal de la LAN, por un cable multialambre, similar al empleado para interconectar dispositivos con RS-232-C o interfaces similares.

Las funciones especiales provistas por la capa física de la IEEE 802.3 incluyen el reconocimiento de la presencia o ausencia de colisiones, además nos provee de las señales transmitidas a la subcapa MAC de la capa de enlace de datos.

La circuitería convierte las señales entre los formatos de cables multilámbricos y el cable principal de la LAN. Los componentes adicionales interconectan el equipo con el cable de la red local.

La capa física de la interfase IEEE 802.4 y 802.5 son similares, pero con un cable coaxial más corto entre la LAN y el equipo de cómputo. Utilizan símbolos especiales (bits con un decodificación que se sale de los formatos normales) para localizar tramas.

Interfase del Equipo de Cómputo

La información en un equipo de cómputo, de el lado de la interfase de la capa física, se encuentra en forma de cadena de pulsos seriales que son transmitidos o recibidos en la línea de datos y los voltajes o secuencias de voltajes en la línea de control y posiblemente pulsos de reloj (para interfases de comunicación asíncrona). Pero los datos en un equipo de cómputo son transferidos en forma paralela, y sus formatos de voltaje representan la información, de donde puede verse que la interfase de la capa física no es la apropiada. Una interfase en el equipo de cómputo es necesaria para resolver discrepancias, esta interfase es llamada puerto computador y se implementa con una mini o microcomputadora.

Funciones que realiza la interfase:

- 1.- Conversión, entre el equipo de cómputo y la interfase de la capa física, de los niveles de voltaje empleados para representar los datos.
- 2.- Conversión paralelo serie de los datos, prepara al equipo de cómputo para la transmisión sobre un canal de comunicaciones.
- 3.- Conversión serie paralelo para que el equipo reciba los datos, lo prepara para almacenar y procesar la información recibida.
- 4.- Interpreta los bits o caracteres recibidos y sincroniza las tramas.
- 5.- Genera la revisión adecuada para la detección de errores de dígitos.
- 6.- Paso apropiado de la información de control por la interfase.

USART

Debido a la gran variedad de equipos de computo existentes no se pueden dar detalles de la interfase, pero las partes principales ya se encuentran estandarizadas, y se conoce como USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter). Los convertidores de nivel convierten los voltajes desde los usados por la capa física a los usados por el equipo de computo (figura 3.24).

La USART puede operar de cualquier forma, receptor/transmisor, síncrono o asíncrono dependiendo de los bits contenidos en los registros de modos.

Los bits en estos registros determinan el numero de bits por carácter, la paridad y detalles de los caracteres de sincronía. Además, para el modo asíncrono, los registros determinan la velocidad de los relojes del transmisor y el receptor.

El registro de estado contiene el RDA (Receiver Data Available) y el TBMT (Transmitter Buffer Empty) mas algunos bits que indican el error en la paridad, error en las tramas y error de sobrecorrida y algunos para el control del modem.

Ya que la USART es programable, los comandos son mas simples, debido a que se examinan los bits de estado y se ejecutan las funciones del receptor y transmisor.

Durante la recepción de datos asíncronos, la USART utiliza señales de reloj; el reloj no externo es disponible para cuando se opera el modo asíncrono. El voltaje de la línea de recepción de datos es examinado cada ciclo de reloj hasta que se vea la transición de un 1 en un 0. Esto es una transición desde la condición de una línea desocupada a un voltaje para que se presente el bit de inicio.

En la USART la transmisión asíncrona de los datos esta hecha de la misma manera que la transmisión síncrona, excepto porque utiliza un reloj interno, en lugar de un reloj externo.

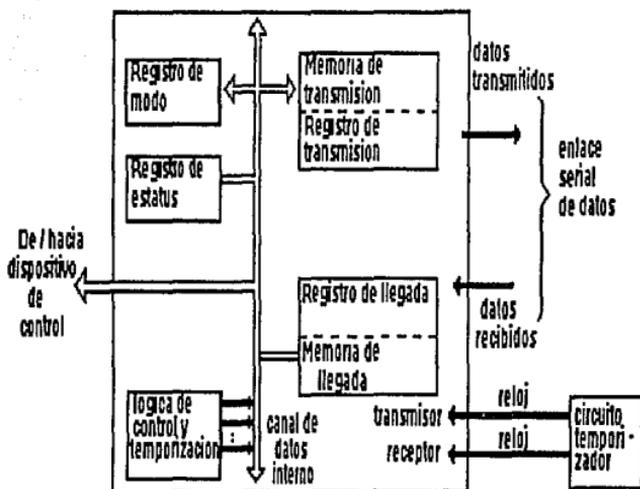


Fig. 3.24 USART

DMA (Direct Memory Access)

La interfase descrita anteriormente es de las más usadas, pero tiene sus limitaciones. Puede usar ciclos excesivos del CPU respondiendo a las interrupciones del procesador.

El servicio de rutinas de interrupción para las interfaces típicas de comunicaciones toma de 25 a 220 microsegundos. Las interfaces sofisticadas emplean el acceso directo a memoria (DMA) para leer o escribir datos sin interrupción al CPU excepto cuando se inicializa o concluye la transferencia de un bloque o cuando se dan condiciones especiales.

Interfase al canal de comunicaciones

La interfase está entre el DCE (Modem para canales analógicos, o adaptador para canales digitales) y el canal de comunicaciones.

El DCE (modem, para canales analógicos, o adaptador para canales digitales) manda las señales hacia esta interfase en forma de transmisión sobre el canal de comunicaciones y comienzan a llegar las señales listas para la transmisión desde el DCE al DTE. También puede implementarse un protocolo para DCE-DCE.

Para la transmisión analógica, las señales entre DCE's son moduladas en forma de ondas, utilizando el tipo de modulación que emplean los modems. Para la transmisión digital, las señales entre DCE's son pulsos con una forma apropiada, determinada por la decodificación empleada por los canales.

Un protocolo entre modems maneja funciones tales como sincronización de los osciladores de los transpondedores, inicialización de los igualadores, estabilización de la ganancia de los amplificadores y funciones similares. Para los canales con gran retardo de propagación (los que se localizan a distancias mayores de 2,500 km) es deseable un supresor de eco. Una secuencia disciplinada, con patrones predeterminados de señales transmitidas entre modems, así como un mezclador en el transmisor y un desmezclador en el receptor son utilizados para completar las funciones.

El mezclador altera el bit de flujo transmitido de manera que llegue a ser aleatorio, pero la transmisión es reversible debido al mezclador. Las limitaciones de un bit de flujo, tales como secuencias grandes de unos y ceros, podrían causar serios problemas en la circuitería de recepción, especialmente cuando es utilizada una igualación automática.

Para los canales digitales, las funciones desarrolladas por el DCE en su interfase son simples. Estas consisten principalmente en convertir los flujos de pulsos digitales, utilizados entre un DCE y el DTE, a los empleados entre DCE's, sobre el canal digital y mantener los contadores apropiados para los flujos de pulsos.

Gestión de Terminales

Para muchas aplicaciones el costo de las líneas de comunicación es superior al costo del equipo conectado a ellas. Como un esfuerzo por reducirlo se diseñaron redes que ofrecieran la posibilidad de conectar terminales múltiples que pudiesen compartir una sola línea de comunicaciones. El modelo conceptual es el que se muestra en la figura 3.25, en el cual se puede observar que un controlador de terminal acepta entradas provenientes de una multitud determinada, concentrando las salidas en una sola línea y llevando a cabo también la operación inversa. Todas las terminales que se muestran en la figura 3.25a están conectadas en la misma línea multipunto, en tanto que la figura 3.25b, cada una de las terminales tiene su propia línea punto a punto conectada al controlador.

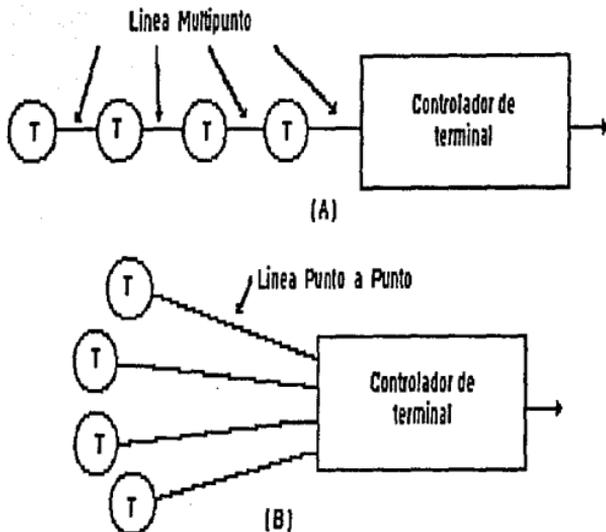


Fig. 3.25 Gestión de Terminales

Multiplexor

También llamado multicanalizador de comunicaciones, es un dispositivo que permite la concentración de líneas que operan a distinta velocidad y con diferente protocolos, para economizar componentes de comunicaciones, tales como:

- Puertos del procesador central.
- Modems.
- Adaptadores.
- Líneas telefónicas y/o otro tipo de línea.
- Tiempo del CPU.

Controladores

También llamados procesadores nodales. Realizan las siguientes funciones: conversión de protocolos, conversión de códigos, elaboración de formatos de mensajes, recolección de datos como respaldo, compactación de datos, control de errores, diagnósticos. Además son programables por el usuario, pueden usarse los medios de almacenamiento para capturar datos, consultas, actualizaciones, etc. Ante caídas de central, se tiene mayor independencia de procesamiento; pueden realizar almacenamiento, envío y conmutación de mensajes. También maneja lo que se conoce como suavización de tráfico.

Quando las velocidades en un extremo superan las del otro, los datos pueden ser demorados temporalmente, guardándolos en buffers. Pueden encargarse de la deshabilitación y habilitación de terminales, llevar bitácora de mensajes, contadores de errores para obtener estadísticas y encargarse de los reintentos de las transmisiones ante situaciones de excepción.

La función principal es controlar un grupo de terminales de aplicación específica, implementando algunos conceptos del procesamiento distribuido de datos.

Control de Acceso al Medio

El control de acceso al medio opera debajo del nivel de la subcapa de enlace lógico y controla el acceso al medio físico de transmisión.

Métodos de Acceso Controlado (centralizado)

En estos métodos un controlador central es el encargado de controlar el acceso al medio físico de transmisión.

Sondeo (Polling)

Esta técnica obliga a cada una de las terminales a permanecer en silencio hasta que el controlador les indique la señal de adelante. Los detalles de esta técnica difieren para el controlador punto a punto (en forma de estrella) y para el controlador multipunto.

En el caso de multipunto se tienen dos métodos de sondeo comunes. El primero llamado sondeo de pasada de lista, consiste en tener un controlador encargado de enviar simplemente un mensaje a cada uno de las terminales por turno, preguntando si la terminal tiene alguna información que transmitir. Estos mensajes de sondeo contienen una dirección de lugar o dirección de estación, identificando el terminal que se esta direccionando. El otro método de sondeo, conocido como sondeo de conexiones consiste en que el controlador interroga al terminal que se encuentra más alejado de él. El terminal direccionado a su vez cambia el sentido de la línea; si este tiene información para enviar, la envía al controlador, y si no tiene, envía un mensaje de sondeo dirigido a su vecino más próximo en la misma línea. Si este terminal tampoco tiene que transmitir, entonces envía también un mensaje de sondeo a su vecino. El sondeo se propaga de terminal a terminal, hasta que encuentra a alguien que si quiere enviar información, o bien, hasta que el sondeo regresa al controlador.

TDMA

Es uno de los protocolos mas simples de las LAN's. Bajo un sistema TDMA, a cada estación se le da una ranura de tiempo en el canal. Las ranuras están divididas en forma igual o desigual entre las estaciones y cada usuario tiene el uso completo del canal durante la ranura de tiempo. Si una estación no tiene nada que transmitir, el canal permanece inactivo durante el periodo asignado a la estación.

Comutación de Circuitos (PBX)

La PBX (Central privada) tiene la estructura general mostrada en la figura 3.26. El corazón de la PBX es un circuito conmutador en el que se insertan los módulos. Cada modulo en tarjeta sirve de interfase con alguna clase de dispositivo.

La unidad de control es un ordenador de propósito general. Cuando se descuelga un teléfono o se activa un terminal, llega una interrupción al modulo de control, procedente de la línea del modulo apropiado, posteriormente se reciben los dígitos de los números de llamado y se establece la conmutación para crear un circuito entre el dispositivo que llama y el llamado. La unidad de servicio provee los tonos de marcar, las señales de ocupado y algunos otros servicios que son necesarios para la unidad de control.

Comúnmente se utilizan dos tipos de conmutadores; uno de ellos es el conmutador matricial con n líneas de entrada y n líneas de salida, en donde una línea de entrada y una línea de salida se pueden conectar mediante un conmutador de naturaleza semiconductor.

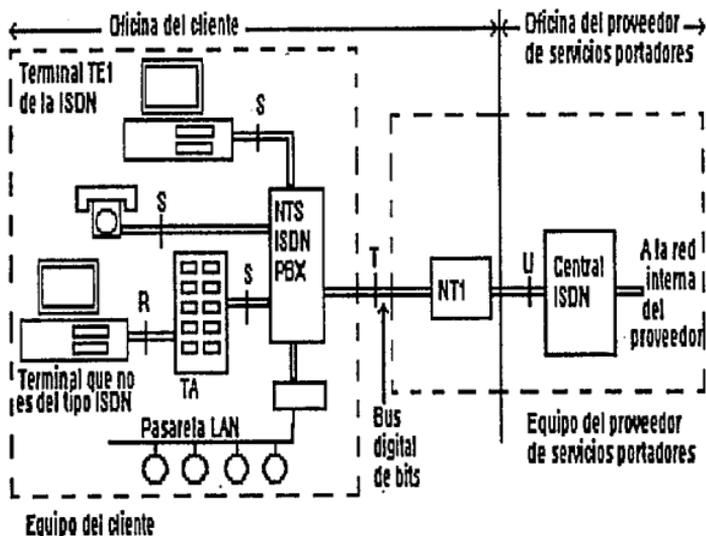


Fig. 3.26 PBX

Otro tipo de conmutador es el conmutador por división de tiempo, cuya parte medular es el intercambiador de ranura de tiempo, que acepta y produce tramas, en la entrada y salida respectivamente, en las que las ranuras se han ordenado.

Métodos de Acceso Aleatorio

En este caso, la responsabilidad del control de acceso al medio físico se reparte aleatoriamente entre todos los nodos de la red.

ALOHA

La idea principal de un sistema ALOHA es muy simple: dejar que los usuarios transmitan información siempre que la tengan. Habrá colisiones y por lo tanto, las tramas

colisionadas sufrirán obstrucción. Sin embargo, debido a la retroalimentación de la difusión, el que envía la información siempre podrá averiguar si su trama se destruyó, al escuchar la salida del canal. Con el uso de una LAN, la retroalimentación es inmediata; con un satélite, hay un retardo de 270 ms antes de que usuario que envía pueda conocer si la transmisión tuvo éxito. Si la trama se destruyó, el emisor esperará un tiempo aleatorio antes de transmitirla de nuevo. El tiempo de espera debe ser aleatorio, de otra manera las tramas sufrirán colisiones una y otra vez de manera continua. Los sistemas en los que múltiples usuarios comparten un canal común se conocen como sistemas de contienda. Las tramas en un sistema ALOHA tienen la misma longitud, porque el rendimiento resulta máximo.

Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión (CSMA-CD)

Aquellos protocolos en los que las estaciones escuchan a una portadora, es decir, una transmisión, y actúan en consecuencia, se les llama protocolos de detección de portadora. Consiste en abortar inmediatamente la transmisión en el preciso momento en que las estaciones detectan una colisión. En otras palabras, si dos estaciones detectan el canal desocupado y, en ese momento, empiezan a transmitir información en forma simultánea, las dos detectarán la colisión casi instantáneamente. Los protocolos por lo tanto se encargarán de detener el proceso de transmisión en lugar de tratar de terminar de transmitir sus tramas, dado que la mutilación de información en las mismas hacen que estas sean irre recuperables. La rapidez con la que se efectúa la terminación de las tramas que se encuentran dañadas, permite ahorrar tiempo y ancho de banda.

Métodos de Acceso Controlado (distribuido)

Existen tres estándares definidos por la IEEE conocidos como Proyecto 802: CSMA/CD, Token bus y Token ring. A continuación se describen por separado.

Paso de Testigo (Token Passing) bus y anillo

El paso de testigo en bus, consiste en un cable lineal o en forma de árbol en el cual se conectan las estaciones, organizadas lógicamente en un anillo, en el que cada estación conoce la dirección de la ubicada a su izquierda y derecha. Cuando el anillo lógico se inicia, la estación que tiene el número mayor es la que puede enviar la primera trama. Después de que esta lo hizo, pasa la autorización a su vecino inmediato, mediante una trama de control especial llamada testigo, para que este a su vez pueda transmitir información. El testigo se propaga alrededor del anillo lógico, de tal forma que su poseedor esta autorizado para transmitir tramas, por lo tanto no hay posibilidad de colisiones (ver figura 3.27).

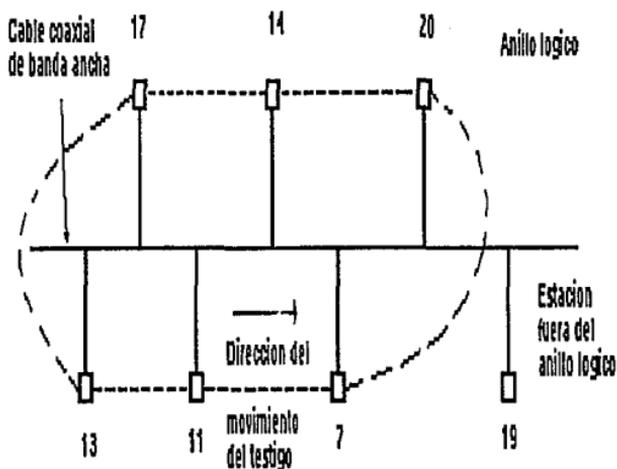


Fig. 3.27 Token Bus

En un paso de testigo en anillo se tiene un patrón de bits especial, al cual se le conoce como testigo, que circula alrededor del anillo siempre que las estaciones se encuentren inactivas. Cuando una estación quiere transmitir una trama, es necesario capturar el testigo y quitarlo del anillo, antes de efectuar la transmisión. Debido a que sólo hay un testigo, una sola estación puede transmitir en un instante dado, resolviéndose el problema del acceso al canal (ver figura 3.28).

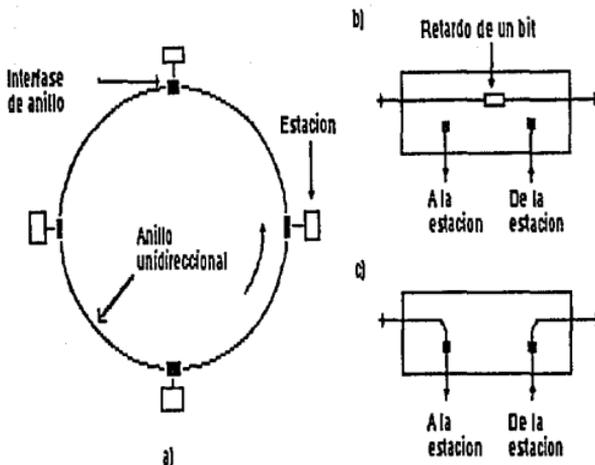


Fig. 3.28 Token Ring

Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Prevención de Colisiones (CSMA-CA)

Es importante considerar la posibilidad de evitar las colisiones de mensajes, en lugar de detectarlas (Avoidance/Detection). Existen tres métodos posibles:

SPI (Serial Peripheral Interface)

Este método consiste en establecer una competencia para transmitir entre las estaciones conectadas, usando para ello las direcciones de cada una. Se determinan las direcciones de cada estación en forma de un número binario y la competencia consiste en comparar dichas direcciones bit por bit serialmente, con la convención de que el 1 triunfa sobre el 0. Cuando la que transmitió termina, las restantes reinician la competencia nuevamente empezando con el primer bit de la dirección. El método determina una tendencia a favorecer a aquellas estaciones cuyas direcciones tengan más 1's en los bits de mayor orden.

NCRP (Neutral Contention Resolution Protocol)

En esta variante las direcciones se utilizan cíclicamente, de esta manera la prioridad implícita tiende a disminuir su influencia. Como ventajas tiene el ahorro de tiempo y esfuerzo en detectar y resolver colisiones. A cambio esta la competencia de bits y un sacrificio en el rendimiento del sistema.

Pasional

Otra forma de evitar colisiones, se logra prestando atención a la ubicación posicional de las estaciones en el enlace. En este caso se utilizan dos cables coaxiales de banda ancha independiente para transportar la señal a la izquierda y a la derecha. Si una estación desea transmitir datos, primero escucha en ambos cables. Si detecta una señal en alguno de los cables difiere la transmisión hasta que ambos estén libres. Cuando lo están, la estación comienza a transmitir sus paquetes. Cada paquete es precedido por una portadora libre de datos con una duración ligeramente superior al doble del máximo tiempo de propagación del medio. Si durante la demora de resolución de colisiones una estación detecta una transmisión desde su derecha es libre de continuar transmitiendo. Si viene de la izquierda la estación debe detenerse sin intentar transmitir ningún dato.

Subcapa de Control de Acceso al Medio en el Estándar 802 de la IEEE

El subnivel de control de acceso al medio (MAC) es el responsable de ejercer la política que en virtud del estado de la red permite o no acceder al medio, de esta manera, el subnivel MAC facilita al subnivel de control de enlace lógico un medio de comunicación aparentemente propio. El subnivel MAC es dependiente de la topología del medio puesto que esta influye en la política de acceso, facilitando al subnivel de control de enlace lógico y superiores un servicio independiente totalmente del medio, tanto en topología como en tecnología.

El subnivel MAC participa además en el formateado del mensaje de dos maneras:

- Inserta los delimitadores de inicio y fin del mensaje.
- Añade campos orientados al control del acceso (CA).

Sincronización y control de errores

La sincronización se utiliza para llevar una sesión de regreso a un estado conocido en caso de que exista algún error o desacuerdo, por lo que es necesario tener la seguridad de que toda la información es entregada al receptor y, además en el orden apropiado.

Tipos de sincronización

Los tipos de sincronización más importantes en las telecomunicaciones de redes son:

- Sincronización de formas de onda, dependiente del enlace de comunicaciones.
- La capa física es responsable de la sincronización por bit.
- La sincronización por byte es normalmente provista por la capa de enlace de datos.
- La sincronización por mensaje o trama, así como la sincronización por contenido son responsabilidad de la capa de enlace de datos.

Otra función de los protocolos de control de enlace de datos es la sincronización de acceso a los medios de comunicación. Esto es especialmente importante para enlaces de datos, tales como enlaces multipunto o broadcast o LAN's, donde existen mas de dos puntos finales en el enlace de comunicación. Sin embargo, aun los enlaces punto a punto requieren controlar cual punto final puede transmitir y cual debe de recibir en un determinado instante.

Detección de errores

Existen cuatro fuentes principales de errores de transmisión:

- 1.- Ruido y distorsiones: algunos tipos de ruido son resultado inevitable del movimiento aleatorio de electrones; otros tipos resultan de fenómenos naturales o fenómenos humanos, como motores o sistemas de ignición eléctrica.
- 2.- Interferencia intersimbólica: esta resulta de la influencia que pueden tener los pulsos vecinos a aquel que se esta muestreando. Técnicas de equalización dinámica, las cuales ajustan las características para acoplarse a los canales,

pueden eliminar en gran parte la interferencia intersimbólica, pero son muy complejos y caros.

- 3.- Interferencia cruzada: se da de algunos circuitos de comunicación a otros a través de inducción electromagnética, lo cual puede ser un serio problema, especialmente si las amplitudes de la señal son grandes.
- 4.- Ecos: debido a la reflexión de la energía electromagnética, desde circuitos terminados inapropiadamente.

Es imposible eliminar todos los errores. Sus porcentajes son altamente variables para diferentes enlaces de datos; la fracción de bits erróneos esta en el rango de 10^{-3} a 10^{-7} .

A continuación se describirán algunas técnicas de detección de errores:

Códigos de Bloques

La mayoría de las técnicas de detección de errores en las secuencias de bits transmitidas, hacen uso del agregado de bits de control.

Chequeo de Paridad Vertical (VRC)

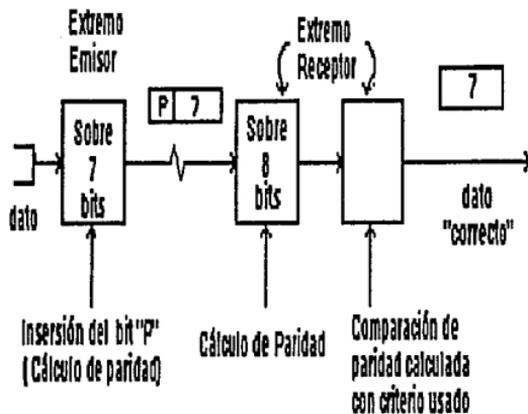
Este es un método simple, aplicable a nivel de byte. Su uso está directamente relacionado con el código ASCII. El método de codificación de números ASCII utiliza los valores binarios obtenidos con siete bits para representar los datos. El máximo valor binario representable es 127 en decimal, por lo tanto se tienen 128 posibilidades distintas. Si definimos un carácter igual a un byte, podemos disponer de un bit para control (ver figura 3.29).

Definiremos la paridad de un carácter de dos formas :

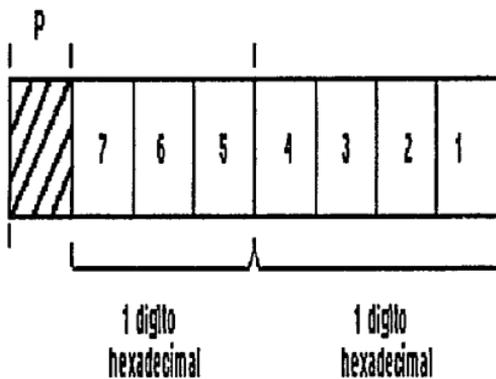
- Paridad par, cuando el número total de bits en 1 es par.
- Paridad impar, cuando el número total de bits en 1 es impar.

En el momento de la transmisión, el extremo emisor calcula el bit de paridad y lo adosa a los datos. El receptor recalcula la paridad y la compara con el criterio utilizado.

Es evidente que el método no asegura que no hayan ocurrido errores. Basta que cambien su valor dos bits de datos simultáneamente para que la paridad sea correcta, pero el dato no.



a)



b)

Fig. 3.29 Chequeo de paridad vertical (VRC)

Códigos Cíclicos

Se encuentran representados por:

Método polinomial o de redundancia cíclica (CRC)

Trabaja a nivel de mensaje agregando varios caracteres de control al final, siendo lo más común dos o cuatro bytes de control. Se divide la secuencia de bits a enviar, por un número binario predeterminado. El resto de la división se adiciona al mensaje como secuencia de control.

Por una regla aritmética simple, si el divisor es un número de 16 bits podemos tener la certeza que el resto siempre podrá almacenarse en dos bytes, de donde, agregando dos caracteres a nuestro mensaje tendremos el método implementado. El extremo receptor realiza el mismo cálculo que el emisor y compara el resultado obtenido con la secuencia de control recibida. Si no coinciden significa que hubo un error.

Técnicas de Retransmisión ARQ

Todas las formas de repetición ARQ usan el fenómeno de envío del mensaje o grupo de mensajes para intentar subsanar el problema. Las desventajas de este método son, entre otras, la pérdida de tiempo, sobrecarga de las líneas y determinación del criterio de selección del número de retransmisiones.

a) Método de parada y espera

Consiste en:

- 1.- Transmitir un mensaje.
- 2.- Detenerse.
- 3.- Esperar una respuesta (reconocimiento positivo o negativo)
- 4.- Accionar según la respuesta:
 - Retransmitir (negativo).
 - Continuar con el siguiente mensaje (positivo).

Existen caracteres de control en el código ASCII destinados para tales efectos. El número de retransmisiones normalmente es un parámetro programable en los adaptadores de comunicaciones o en el software central. En síntesis, por cada mensaje que se envíe, se recibe una respuesta que explica como llegó el mensaje y se actúa en consecuencia.

b) Método continuo

Existen tres variantes de este método:

- *Variante retroceda dos.*

Se envía una respuesta de reconocimiento por cada dos mensajes retransmitidos. Es decir, mientras se está enviando por una vía, se está reconociendo por la otra el mensaje anterior con el consiguiente ahorro de tiempo.

- *Variante retroceda n.*

Es el método utilizado en los protocolos orientados al bit. Se establece un módulo que indica cada cuantos mensajes transmitidos se va a enviar una respuesta de reconocimiento positivo. En caso de un error en los datos recibidos, se pide que se retransmita la secuencia a partir del mensaje "x" retrocediendo "n" mensajes, donde $n = m - x$, con $m =$ módulo.

- *Repetición selectiva.*

Esta es otra forma de corrección por retransmisión en la cual en lugar de solicitar la repetición parcial o total de una secuencia de mensajes, se pide la retransmisión de uno en particular, seleccionándolo por su número correlativo, dentro de la secuencia recibida.

Protocolos de la capa de enlace

La transferencia de datos a través del enlace de comunicaciones debe fluir de una manera controlada y ordenada. El encargado de realizar estas funciones es el DLC (Data Link Control), que consiste en una combinación de hardware y software. Los protocolos usados por el DLC se dividen principalmente en síncronos (orientados a carácter, orientados a bloques y orientados a bit) y asíncronos (Inicio-Parada).

Protocolos de enlace básicos

A estos protocolos se les conoce como protocolos de enlace de datos de Inicio-Parada y son los protocolos más comunes para enlace de baja velocidad (1,200 bps) con terminales simples. A tasas mayores, la transmisión síncrona es la estándar.

Controles de enlace de datos asíncronos o de Inicio-parada

En este tipo de control se ponen bits de temporización alrededor de cada carácter en el flujo de datos del usuario. EL bit de inicio precede a los datos y es usado para notificar al receptor que los datos están en camino (detección del bit de inicio). La señal de inicio activa los mecanismos en el receptor para muestrear, contar y recibir los bits de datos.

Los bits son puestos en un área de almacenamiento temporal, tal como un registro o un buffer, y son posteriormente transferidos dentro de la memoria de la computadora o terminal para su posterior procesamiento.

Los bits de paro notifican al receptor que todos los bits del carácter han llegado. Después de los bits de paro, la señal regresa a un estado de desocupado, garantizando de esta forma que el próximo carácter comenzara con una transición de 1 a 0. Aún si todos los bits del carácter son 0's, el bit de paro regresa el enlace a un nivel alto o de desocupado.

Este método es llamado transmisión asíncrona debido a la ausencia de sincronización continua entre el transmisor y el receptor. El proceso permite a un carácter de datos ser transmitido en cualquier tiempo sin importar cualquier señal de temporización previa; la señal de temporización es una parte de la señal de datos.

Limitaciones del Protocolo de Inicio-Parada:

Los protocolos de Inicio-Parada son rudimentarios; son usados para funciones limitadas de terminales o dispositivos, y proveen poco mas que la sincronización del carácter y control rudimentario de errores. La activación de transmisor y/o receptor, segmentación de datos en paquetes para la transmisión, control de flujo, recuperación en condiciones anormales, y funciones de manejo de enlace no son incluidas o son relegadas a otras capas. La sincronización de mensajes mas largos que los caracteres no son tratadas por tales protocolos.

Protocolos orientados a carácter

Los controles de enlace de datos síncronos orientados a carácter fueron desarrollados en los 60's y son ampliamente usados actualmente. La familia de control síncrono binario (bisync) son sistemas orientados a carácter. Estos protocolos se basan en un código específico (ASCII, EBCDIC) para interpretar los campos de control; de esta forma dependen del código.

Si se emplean diferentes códigos en un enlace, se requiere de algún tipo de conversión de código antes de comunicar una máquina con otra. También es posible que un código reconocido como control pueda ser creado por el proceso de aplicación del usuario, lo cual puede resultar en un error. Obviamente los códigos de control deben ser excluidos del campo de texto del usuario.

Más que ir en detalle acerca de los protocolos orientados a carácter, presentaremos un ejemplo: el protocolo de comunicaciones síncronas binario IBM, también conocido como BSC o Bisync. Este fue el protocolo estándar DLC para sistemas síncronos de comunicaciones.

BSC

En un principio fue diseñado para usar código EBCDIC pero luego se le adicionó código ASCII. La opción de transparencia permite la independencia del código. Es una modalidad de la transmisión orientada a carácter, en donde cada bloque enviado debe comenzar con dos bytes de sincronización (a veces más de dos).

Por lo general los mensajes van encerrados entre uno o más caracteres de relleno, para efectos de proveer a los adaptadores en los extremos de la línea, del tiempo necesario para reaccionar a los caracteres de sincronización y estabilizar la línea.

Cuando se desean enviar datos que no respetan uno de los códigos admitidos, debe usarse la opción de transparencia de código, la cual implica el uso de un carácter de control adicional.

Cuando se envía una configuración de bits, dentro del texto, que coincide con un código de control, se inserta dicho código de control después del dato.

En BSC, el encabezado contiene información provista por el usuario y no es solamente un campo de control del enlace de datos. Comandos de control de línea para sondeo, direccionamiento, etc, se proveen en un mensaje de control separados (a diferencia de los protocolos orientados a bit) en lugar de estar contenidos en el encabezado. El control de la línea está mezclado con el control del dispositivo y con los comandos de control de extremo a extremo.

En BSC, cada mensaje debe ser reconocido individualmente, ya sea positiva o negativamente. Esta forma de control de seguridad tiene el grave inconveniente de introducir grandes demoras debidas a la propagación, cuando se usan satélites.

Protocolos orientados al conteo de bytes

En los 70's, los protocolos orientados al conteo (también llamados protocolos de bloque) fueron desarrollados para solucionar el problema de la dependencia de código. Estos sistemas exhiben la gran ventaja, sobre los protocolos orientados a carácter, de manejar en una forma más efectiva la transparencia de los datos: simplemente insertan un campo de conteo en la estación transmisora. Este campo especifica la longitud del campo de datos. Como una consecuencia, el receptor no necesita examinar el contenido del campo del usuario, necesitando únicamente contar la cantidad de bytes recibidos como se especifica en el campo de conteo. Los protocolos orientados al conteo son realmente una combinación de los protocolos orientados a carácter y los protocolos orientados a bit.

Protocolos orientados al bit

Los protocolos más ampliamente usados en la actualidad son los orientados a bit. Tales protocolos transmiten cadenas de bits sin importar la división de estas en caracteres. Son capaces de transmitir cadenas de longitudes que no sean múltiplos enteros de la longitud de un carácter.

El protocolo original orientado a bit fue el SDLC de IBM; HDLC y ADCCP fueron desarrollados como resultado de que IBM donara su protocolo a la CCITT. Esencialmente todos los protocolos orientados a bit son muy compatibles excepto por variaciones en algunas opciones. A partir de ahora, usaremos el término HDLC, pero la descripción se aplica a cualquiera de los protocolos de este grupo.

Todos los paquetes son intercambiados, en cualquier dirección entre una estación primaria y una secundaria. Los paquetes del primario al secundario son llamados comandos y los del secundario al primario son llamados respuestas. Solo un primario puede estar activo en un enlace en un tiempo dado aunque varios secundarios pueden estar activos.

En el protocolo original las únicas configuraciones permitidas eran las configuraciones punto a punto y las configuraciones multipunto desbalanceadas.

- Modos de Operación del HDLC

Están definidos tres modos de operación, con opciones cada uno: el modo de respuesta normal y el modo de respuesta asíncrono están definidos para configuraciones desbalanceadas con un primario y uno o más secundarios, mientras que el modo balanceado asíncrono es definido para configuraciones balanceadas punto a punto con dos estaciones combinadas.

Modo de respuesta normal (NRM): es el modo mejor adaptado para uso en enlaces multidestino con un primario y varios secundarios; bajo NRM, un secundario solo puede transmitir después de recibir una estafeta direccionada a ella por el primario.

Modo de respuesta asíncrono (ARM): es definido para sistemas con un primario y uno o más secundarios; si más de un secundario está presente, todos menos uno deben estar desconectados en cualquier tiempo dado. Los ordenes de establecimiento de este modo aseguran esto. Con un primario y un secundario activo, cualquier estación activa puede iniciar transmisión a cualquier tiempo sin esperar por una estafeta. Esto guía a un modo de transmisión de camino libre, el cual puede ser más eficiente que NRM y reduce los tiempos de respuesta.

Modo Asíncrono Balanceado (ABM): es el modo de operación entre dos estaciones combinadas sobre enlaces punto a punto; cualquier extremo puede iniciar transmisión sin esperar por una estafeta.

Protocolo de acceso en redes de área local (LLC)

El Control de Enlace Lógico (LLC) es la subcapa superior de la capa de enlace de datos 802. Es común en todas las variantes de MAC, para dar una interfase uniforme a la capa de red, independientemente de la subcapa MAC. Por encima de la capa de enlace, no es relevante, dado que el protocolo utilizado en la parte alta de la capa de enlace y de la interfase entre la capa de enlace y la de red, son los mismos para todos los tipos de LAN's.

La subcapa LLC puede brindar a la capa de red un servicio sin conexión o un servicio orientado a conexión. También, da un servicio de sin conexión con reconocimientos. Cuando se utiliza un servicio sin conexión, la subcapa LLC acepta paquetes procedentes de la capa de red y hace lo que puede para transmitirlos a su destino. Aquí no hay reconocimientos disponibles y por consiguiente no existe garantía de la entrega. Con el servicio orientado a conexión primero se deberá establecer la conexión entre la fuente y el destino. Mediante el uso de este tipo de servicio los paquetes de la capa de red pueden transmitirse ordenadamente garantizando la entrega. La conexión deberá ser liberada cuando ya no sea necesario.

Los servicios LLC se ponen a disposición de la capa de red por medio de los cuatro tipos usuales de primitivas de servicio: solicitud, indicación, respuesta y confirmación. La capa de red utiliza la primitiva de solicitud para establecer y liberar las conexiones y para transmitir paquetes. Estas primitivas ocasionan que la capa de enlace transmita tramas de la fuente al destino y provoca que se lleven a cabo acciones en él. Estas acciones se le señalan a la capa de red de la máquina destinataria por medio de las primitivas de indicación. Las primitivas respuesta y confirmación tienen sus funciones acostumbradas.

La estructura de la trama LLC se ha diseñado para que sea parecida a la del HDLC. Los campos dirección DSAP y dirección SSAP identifican los puntos de acceso al servicio sobre la interface entre la capa de red y la de enlace. La interfase, contiene varios agujeros. Cuando se establece una conexión, la capa de red selecciona un agujero (SSAP) y canaliza la solicitud de servicio a través de él. En el otro extremo la información emerge a través de otro agujero (DSAP). Una pareja SSAP-DSAP identifica una conexión o transferencia sin conexión. Sin la información de esta pareja, la capa de enlace no sabría quien envió una trama y que hacer con ella.

En este protocolo el campo de control el campo de control permite tramas de transferencia de información, supervisoras y de control sin numerar. Las tramas LLC orientadas a conexión tiene un campo de control de dos octetos para permitir el uso de números de secuencia de 7 bits, solamente soporta al modo balanceado asíncrono, es decir, es decir a la comunicación entre iguales y no a los ordenadores con sondeo de terminales.

Además cuenta con tramas que se utilizan para comunicar información entre los componentes LLC y para solicitar al otro lado que generen una respuesta para probar la trayectoria de la transmisión.

Protocolo LAPD (recomendación 1.441 de ISO) para Red Digital de Servicios Integrados

La ISDN proporciona un protocolo para el enlace de datos que permite a los dispositivos comunicarse uno con otro a través del canal D. Este protocolo es llamado LAPD, un subconjunto de HDLC y LAPB. Este protocolo opera en la capa de enlace de datos de la arquitectura OSI, es independiente del promedio de transmisión de bits y necesita un canal transparente full-duplex de bits.

El protocolo tiene un formato de trama similar al de HDLC; proporcionan tramas para supervisión, transferencia de información y control sin numerar. El octeto de control que permite distinguir entre los formatos de información, supervisión o control no numerado es idéntico al usado por HDLC.

LAPD proporciona dos octetos para el campo de dirección, necesarios para varias sesiones de multiplexado sobre el canal D. El campo de dirección contiene los bits del campo de dirección extendida, un bit de comando/respuesta, un identificador de punto de acceso al servicio y un identificador de terminal final. Los dos últimos campos son conocidos como identificador del control de enlace de datos.

El propósito del campo de dirección extendida es proporcionar más bits para una dirección. El bit de comando respuesta identifica si la trama es un comando o una

respuesta. El identificador de punto de acceso al servicio indica la entidad donde los servicios de la capa de enlace de datos son proporcionados a la capa superior. El identificador de terminal final indica cuando se trata de una o varias terminales.

Protocolos de la capa de red

La responsabilidad de estos protocolos es la de direccionar y enrutar mensajes entre los nodos de una red, ya sea que se trate de una sola red o de varias redes interconectadas entre sí.

X.25

Es un conjunto de normas internacionales para protocolos de acceso a redes para las capas 1, 2 y 3 propuesto por la CCITT. Al protocolo de la capa 3 se le conoce como X.25 PLP (Protocolo de la Capa de Paquete) para distinguirlo de las dos capas inferiores. X.25 define la interfase entre un DTE y el equipo del operador conocido como DCE.

La capa 1 del X.25 se relaciona con la interfase eléctrica, mecánica y con la interfase funcional entre el DTE y el DCE, haciendo referencia a la norma X.21 la cual define a las interfases digital y analógica.

La tarea de la capa 2 consiste en asegurar una comunicación confiable entre DTE y DCE. Los protocolos que se utilizan son los LAP (procedimiento de enlace) y LAPB (procedimiento de enlace B).

La capa 3 trata conexiones entre un par de DTE's, a través de una llamada virtual y de circuitos virtuales permanentes.

Cuando el X.25 se desee utilizar en el modelo OSI para el servicio de redes orientadas a conexión, las primitivas de servicio del modelo OSI deberán relacionarse con los diferentes elementos presentes en X.25. Las respuestas son análogas a las solicitudes. En la tabla 2.2 se muestra la relación entre primitivas y acciones X.25.

Primitivas de servicio de red	Acción en X.25
N-CONNECT.request N-CONNECT.indication N-CONNECT.response N-CONNECT.confirmation	Envía una SOLICITUD DE LLAMADA Llega una SOLICITUD DE LLAMADA Envía una LLAMADA ACEPTADA Llega una LLAMADA ACEPTADA
N-DISCONNECT.request N-DISCONNECT.indication	Envía SOLICITUD DE CANCELACION Llega SOLICITUD DE CANCELACION
N-DATA.request N-DATA.indication	Envía un paquete de datos Llega un paquete de datos
N-DATA-ACKNOWLEDGE.request N-DATA-ACKNOWLEDGE.indication	No hay paquete No hay paquete
N-EXPEDITED-DATA.request N-EXPEDITED-DATA.indication	Envía una INTERRUPCION Llega una INTERRUPCION
N-RESET.request N-RESET.indication N-RESET.response N-RESET.confirmation	Envía SOLICITUD DE REINICIO Llega SOLICITUD DE REINICIO Ninguna Ninguna

TABLA 2.2

Capa de Red en Conmutación de Circuitos

La conmutación de circuitos provee una conexión directa entre dos componentes. La conmutación de circuitos se presenta en una combinación de una o tres arquitecturas: concentración (mas líneas de entrada que de salida), expansión (mas líneas de salida que de entrada), y conexión (igual numero de líneas de salida y entrada).

La conmutación de circuitos da un solo camino para las sesiones entre componentes de comunicación de datos. Muy poco o ningún cuidado del tráfico de datos es provisto en el arreglo de conmutación de circuitos. Consecuentemente, la red telefónica es comúnmente usada como el fundamento básico para la red de comunicaciones de datos, y facilidades adicionales son añadidas por la portadora de valor agregado, red del vendedor, o organización de usuarios.

Enrutamiento Dinámico para el Tráfico de Conmutación de Circuitos

Muchos sistemas de conmutación de circuitos son no dinámicos; es decir el orden de la conmutación no puede cambiarse para explotar las variaciones en el trafico. La AT&T y Northern Telecom han desarrollado métodos de enrutamiento dinámico, los cuales permiten escoger rutas basándose en el trafico de una topología determinada; esto da como resultado disminución en las señales de ocupado y conexiones mas rápidas para el usuario final.

Enrutamiento Dinámico no Jerárquico (DNHR)

Se basa en el uso de diferentes zonas de tiempo de la red. El día se divide en determinados periodos de tiempo con una ruta predeterminada para cada periodo. Cuando una llamada es colocada dentro de la red se intenta una ruta determinada, si la conexión falla, se intentan otras rutas dependiendo del tiempo. Una señal de falla es enviada al nodo que origina la llamada si no se logra establecer la conexión.

Enrutamiento Controlado Dinámicamente (DCR)

Se usa un controlador centralizado para manejar las decisiones de enrutamiento de los intercambios de información. Cada 10 segundos los nodos participantes mandan información de estado al procesador de la red. Esta información esta basada en la carga de intercambio y la habilidad de establecer otras rutas posibles.

El procedimiento para atender una llamada es similar al usado en DNHR. Primero se intenta una ruta y si esta falla se intentan las rutas restantes basándose en el estado del

intercambio y su capacidad de establecer otras rutas posibles. La tabla 2.3 muestra una comparación entre DNHR y DCR.

DNHR	DCR
Tiempo de enrutamiento no real	Tiempo de enrutamiento cercano al real
No existe dependencia en el control centralizado	Dependencia del proceso centralizado
"Crankback" permite la retroalimentación de llamadas incompletas	Control de mensajes que no pasa sin previo intercambio (otros métodos son usados)
Arreglos "estáticos" menos flexibles	Arreglos de tiempo cercano al real más flexibles
Procesamiento de bajo sobrecosto en las tablas de actualización	Procesamiento de más sobrecosto en las tablas de actualización

TABLA 2.3 Comparación de DNHR y DCR

Capa de Red en OSI

Además del X.25, pocos protocolos para la capa de red en OSI han sido definidos. No ha habido un intento para definir los estándares de las funciones principales de la capa de red tales como el enrutamiento y el control de flujo, debido a que se consideran que son dependientes de la implementación. En su lugar, los estándares OSI en este nivel se han concentrado en definir las funciones y servicios proporcionados a la capa de transporte y sus interfases con las capas de transporte y enlace de datos.

Tres estándares ISO han sido publicadas. Un estándar describe la organización interna de la capa de red; otro define los servicios de la capa de red, definiendo los servicios proporcionados por la capa de red (incluyendo intercambios de primitivas invocados por los servicios; el último, define el direccionamiento de la capa de red que ha sido adoptado. Describiremos los dos primeros.

Organización Interna de la Capa de Red (OICR)

El estándar OICR (OSI 8648) describe la organización de la capa de red en tres subcapas como se muestra en la figura 3.31. Como se indicó anteriormente, ninguna de las tres subcapas especifica algoritmos para el enrutamiento y el control de flujo. Esta subdivisión de la capa de red en tres subcapas, ocasiona que algunas personas creen que el modelo de referencia OSI tiene actualmente nueve capas en lugar de siete.

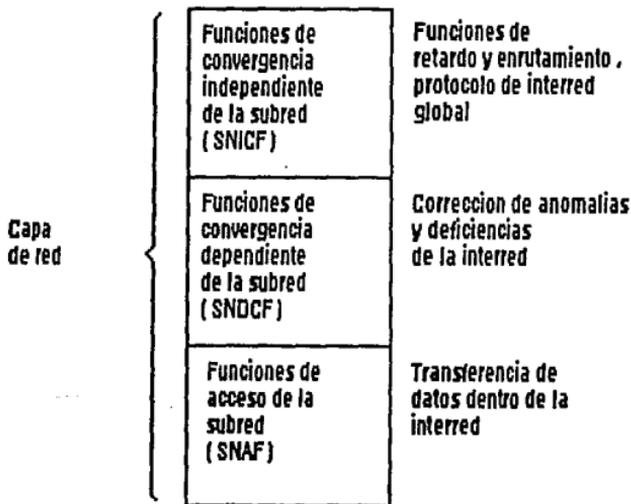


Fig. 3.31 Organización interna de la Capa de Red de OSI

Las funciones en la subcapa SNICF no requiere de adaptación en las redes específicas. Las funciones principales son el enrutamiento y retransmisión interred más otras funciones que implementan un protocolo interred.

La subcapa SNDCF ha sido incluida para permitir situaciones donde algunas redes no proporcionan todas las características asumidas por la subcapa SNICF.

La subcapa SNAF es definida para especificar que entidades de la capa de red hacen uso de las funciones de una red, por ejemplo, la operación de un protocolo describiendo una interfase en una red.

Servicios de la Capa de Red

La definición de los Servicios de la Capa de Red (ISO 8348) describe las operaciones orientadas a conexión, con un apéndice especificando las operaciones sin conexión.

El modo orientado a conexión incluye el establecimiento de la misma, la transferencia de datos y la liberación de la conexión. Una conexión esta definida por lo siguiente:

- Una trayectoria establecida entre sistemas finales y una red o redes.
- La determinación de los valores de los parámetros y de las opciones por negociación.
- La identificación de la conexión (por ejemplo, el número del circuito virtual).
- El contexto dentro del cual unidades sucesivas de datos son lógicamente relacionadas, secuenciadas y controladas.

Ninguna relación de este tipo entre los sistemas finales es establecida para la operación sin conexión. Todo lo que se necesita es una asociación entre las entidades de comunicación, el cual determina las características de los datos que serán transmitidos, además del acuerdo entre cada entidad y el proveedor del servicio.

Un total de seis servicios están asociadas con los servicios orientados a conexión (uno con el establecimiento de la conexión, otro con la liberación de la conexión, y cuatro con la transferencia de datos), mientras que sólo uno es definido para el servicio sin conexión. Cada servicio es invocado por el uso de una o más primitivas (requerimiento, indicación, respuesta y confirmación).

Capa de enrutamiento DNA

Se utiliza una estrategia de enrutamiento distribuido; también se usa un servicio de datagramas: los paquetes son enviados y la capa de enrutamiento no da garantía sobre la pérdida de paquetes, duplicación o envío fuera de orden. Se seleccionan rutas basándose en la topología de la red, y si bien se adapta a fallas de los nodos, no lo hace para cambios en las condiciones de tráfico. Sin embargo se determina la mejor ruta para un paquete si existe más de una ruta a su nodo destino. Las principales funciones de enrutamiento en DNA son las siguientes:

- Rutas para paquetes:** determina la ruta para los paquetes en caso de existir más de una.
- Cambio en la topología:** se utilizan rutas alternativas, si falla un nodo o circuito; los módulos de enrutamiento se cambian para reflejar la situación actual.
- Avanzado de paquetes:** avanza paquetes a la capa de fin de comunicación en el nodo destino o el siguiente nodo si el paquete no está destinado para un nodo local.
- Nodos visitados:** limita el número de nodos que un paquete puede visitar.
- Manejo de Buffer:** maneja los buffers de los nodos.
- Regreso de paquetes:** regresa los paquetes a la capa de fin de comunicación si los paquetes están destinados a nodos inaccesibles.
- Monitoreo de enlace :** monitorea errores detectados en los datos por la capa de enlace.
- Estadísticas:** recolectar datos de eventos para la capa de manejo de red.
- Verificación de nodos:** si es indicado por la capa de manejo de red se intercambian las claves de acceso con el nodo adyacente.

Capa de control de trayectoria SNA

SNA usa un directorio estático y parcial para manejar el enrutamiento de los datos entre unidades lógicas conectadas remotamente. SNA tiene dos tipos de nodos: los nodos de subárea que consisten de una computadora mainframe que pueden tomar decisiones de enrutamiento, y los nodos periféricos que son terminales y no pueden tomar decisiones de enrutamiento.

Cuando un usuario desea utilizar la red SNA se le define una clase de servicio (COS) que se puede asignar cada vez que se establece una sesión o puede predefinirse como parte de su clave de acceso y permanecer el mismo para cada sesión.

La clase de servicio define una lista de rutas preferentes llamadas rutas virtuales, las cuales son una ruta lógica entre dos puntos. Para permitir flexibilidad y prevenir cuellos de botella, muchas redes SNA establecen más de una ruta explícita entre subáreas. Cuando la ruta explícita es escogida permanece durante toda la sesión. Sin embargo una ruta diferente puede ser seleccionada si ocurren problemas durante la sesión entre las unidades lógicas.

Capa de red en ISDN

Las especificaciones para la capa de red en ISDN (recomendaciones I.450 e I.451 de la CCITT) incluye conexiones de conmutación de circuitos, conexiones de conmutación de paquetes, y conexiones usuario a usuario. También se especifican los procedimientos para establecer, manejar, y terminar una conexión en la red.

El protocolo de la capa de red de ISDN usa mensajes para comunicarse. El formato de estos mensajes consiste de los siguientes campos:

Discriminador de protocolo: Distingue entre mensajes de control de llamadas usuario-red y otros, tales como otros protocolos de la capa 3.

Referencia de llamada: Identifica la llamada ISDN a la interfase usuario-red.

Tipo de mensaje: Identifica la función del mensaje.

Opcionalmente, otros parámetros incluyen la especificación de el canal ISDN, direcciones origen y-destino, una dirección para redireccionar la llamada, etc.

CAPITULO IV

INTERCONEXIÓN DE REDES

Introducción

Cientos de redes de telecomunicaciones son usadas alrededor del mundo y su ritmo de crecimiento está incrementándose. El rango de operación de estas redes van desde LAN's que sirven a edificios individuales o ciudades universitarias hasta redes que cubren el globo terráqueo; desde redes dedicadas a aplicaciones especializadas hasta redes usadas principalmente para acceder funciones a lugares remotos. Muchas redes se especializan en la distribución de recursos de cómputo. Las técnicas de interconexión permiten a los usuarios de diferentes redes trabajar unos con otros. El nivel de interconexión de redes es impresionante de manera que al menos una aplicación pueda ser realizada a través de la interconexión.

En este capítulo, se hablará sobre los motivos que existen para la interconexión de redes y algunos de los problemas que se presentan. Se comentan algunas de las más destacadas interconexiones actualmente en uso. Entre estas interconexiones se encuentran dos estándares de puentes para la interconexión de LAN's en la capa de enlace de datos, más tres estándares -el X.75, IP DoD e ISO- para la interconexión en la capa de red. También damos una breve explicación de la pasarela DNA/SNA de Digital Equipment Corporation, el cual es un típico ejemplo de la interconexión de redes en una capa superior, en este caso la capa de transporte. Concluyendo con una explicación de algunos de los impredecibles fenómenos que se pueden observar en la interconexión de redes.

Motivaciones para la Interconexión

Existe una amplia variedad de situaciones en las cuales puede ser ventajoso al usuario tener acceso a otra red. El correo electrónico es un ejemplo obvio. Los bancos han encontrado una ventaja al vincular sus redes; un cliente puede usar un cajero automático de

otro banco, posiblemente en otra parte del país, obteniendo un adelanto de dinero. La interconexión de los sistemas de reservación automática (líneas aéreas, hoteles o motels, renta de carros, boletos de teatro, etcétera) y de los sistemas de verificación de las tarjetas de crédito, permiten realizar un completo itinerario al estar reservando y haciendo el chequeo de crédito en una sola operación. Las corporaciones pueden tener LAN's en varias localidades, además de una o más redes de área amplia (WAN's) entre estas localidades; la ventaja de interconectarlas es que una terminal o estación de trabajo puede acceder varias redes. Esto puede aumentar la velocidad de un proceso, relacionando sus etapas, tales como la del diseño original, el chequeo del diseño, la estimación del costo, el pronóstico del mercado, la manufacturización, y el mantenimiento. Diferentes redes pueden ser usadas para realizar cada una de estas etapas.

La interconexión ha sido motivada por el hecho de que el valor para un usuario de diversas redes está fuertemente correlacionado con el número de usuarios que puedan ser alcanzados. Esto ha sido motivo suficiente para la interconexión de redes, incluyendo las redes X.25.

Entre los organismos que quieren realizar la interconexión de redes se encuentran los organismos militares debido a que una amplia variedad de redes son usadas para aplicaciones militares. Entre estas se incluyen redes para obtener y coordinar la información de los sensores (tales como radares), redes para comunicarse entre los batallones, los vehículos y los centros de comando, redes que cubren pequeñas áreas geográficas o centros de operaciones, etc. Varias versiones de cada tipo de red pueden estar en operación usando diferentes bandas de frecuencia, medios de transmisión, protocolos y tecnologías, etcétera. También es deseable interconectar redes que operan en las diferentes zonas militares y las redes que operan para las fuerzas armadas de otras naciones aliadas.

El éxito de las LAN's ha llevado a insistir en la interconexión de las mismas. Esto ha resultado en cambios en las filosofías de interconexión, con algunas exitosas técnicas suponiendo la interconexión en otras capas que son equivalentes a la capa de red OSI, la capa donde el modelo OSI dice que la interconexión debe ocurrir.

Otro incentivo para la interconexión proviene de la comunidad científica. Muchos problemas de la interconexión son extremadamente difíciles y han despertado el interés científico. Algunas de las primeras redes que se interconectaron fueron redes principalmente usadas por organismos científicos.

Requerimientos para la Interconexión de Redes

Algunos requerimientos mínimos para la interconexión de redes son los siguientes:

- Proporcionar facilidades de comunicación entre redes. Debe proporcionar una trayectoria de comunicación, además de los equivalentes de la capa física y de la capa de enlace de datos del modelo OSI.
- Proporcionar enrutamiento entre los usuarios de diferentes redes.
- Proporcionar un administrador de servicios para tener el control del uso de varias redes y sus facilidades, manteniendo la información del estado de cada red.

Cada servicio proporcionado no deberá requerir modificaciones en la arquitectura de cualquier red interconectada; la mayor parte de la complejidad de la interconexión se origina de estos requerimientos. Redes diferentes son a menudo no compatibles, de modo que proporcionar acceso completo a otras redes, que no pueden ser alteradas, es bastante difícil.

El acceso limitado, tal como el suministro de correo electrónico, es menos complejo, pero incluso esto no es simple. La mayoría de las aplicaciones de la interconexión proporcionan acceso a aplicaciones selectas, pero la finalidad de la interconexión es proporcionar acceso a todas las facilidades de cada red por usuarios de otras redes.

Repetidores, Puentes, Enrutadores y Pasarelas

El modelo de referencia OSI llama retransmisor a un dispositivo que interconecta dos sistemas no conectados directamente uno con el otro. Si el retransmisor comparte un protocolo común de capa n con otros sistemas, pero no participa en un protocolo de capa $n + 1$, este es un retransmisor de capa n . La terminología actual es la siguiente:

- *Repeater (Repetidor):* **Retransmisor en la capa física.**
- *Bridge (Puente):* **Retransmisor en la capa de enlace de datos.**
- *Router (Enrutador):* **Retransmisor en la capa de red.**
- *Gateway (Pasarela):* **Retransmisor en cualquier capa superior a la capa de red.**

Desafortunadamente esta terminología está lejos de ser uniforme. El término pasarela es a menudo empleado para cualquier retransmisor operando ya sea en la capa de enlace de datos, en la capa de red, o en cualquier otra capa superior. Esta terminología es usada en documentos para describir los dispositivos que operan en la capa de red o en una capa inferior.

La figura 4.1 ilustra varios tipos de retransmisores. Las redes A y B son homogéneas, de manera que pueden ser consideradas como dos partes de una misma red. Las uniones del repetidor envían señales en ambas direcciones amplificando y regenerando las señales que pasan por ellas. Estos repetidores son a menudo usados para extender el rango de las redes. Las señales no son alteradas, por lo que los repetidores no tienen efecto en los protocolos. No se tratarán más los repetidores debido a que no afectan a los protocolos.

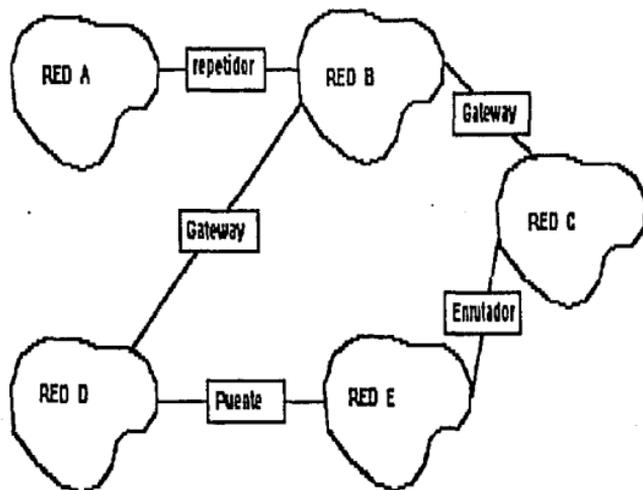


Fig. 4.1 Interconexión de Redes

Las redes D y E son casi homogéneas, por lo que requieren ser interconectadas por un puente, operando en la capa de enlace de datos. Las redes C y E son aún menos homogéneas, por lo que se interconectan con un enrutador operando en la capa de red. Las

otras interconexiones son por medio de pasarelas, operando en capas superiores, siendo aún menos homogéneas las redes. Las pasarelas pueden ser separadas en dos mitades, llamadas medias pasarelas. Las medias pasarelas de dos redes se ilustran en la figura 4.2. Un diagrama casi idéntico puede ser dibujado para medios puentes o medios enrutadores.

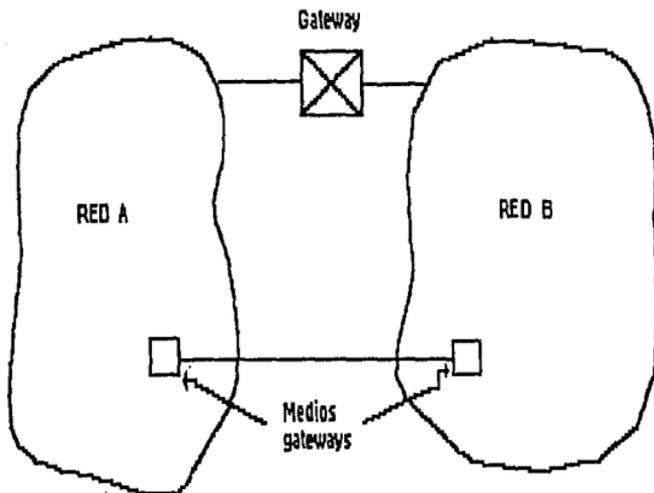


Fig. 4.2 Cambio de una pasarela por dos medias pasarelas

Cuando se usan medios retransmisores cada mitad opera normalmente entre el protocolo usado en su red y un conjunto de protocolos intermedios. Existen ventajas significativas para estandarizar los protocolos intermedios. Sin una representación común intermedia el diseño de retransmisores entre n diferentes redes requerirá de un cambio de código distinto entre cada red y cada una de las $n - 1$ redes restantes, o sea, $n(n - 1)$ cambios de código. Sin embargo, con un protocolo intermedio común $2n$ cambios de código son suficientes: una de cada red hacia el protocolo común y otra del protocolo común hacia cada red. Los retransmisores pueden ser fabricados como medios retransmisores que encajan uno con el otro en varias combinaciones debido al protocolo común. La diferencia en el número de cambios de códigos es significativo cuando n es grande. Por ejemplo, para $n = 10$, $n(n-1) = 90$ y $2n = 20$, mientras que para $n = 100$, $n(n-1) = 9,900$ y $2n = 200$.

Diferencias comunes entre redes

Una amplia variedad de diferencias entre las redes, necesitan ser resueltas por los retransmisores interconectados. Algunas de las diferencias se muestran a continuación.

Esquemas de domicilio y nombramiento

- Estos esquemas varían ampliamente. Algunas redes usan esquemas de domicilio y nombramiento jerárquico, con nombres en forma de SISTEMA.ENTIDAD, extendiéndose tal vez a RED.SISTEMA.ENTIDAD para la interconexión de redes; otros usan estructuras de nombres uniformes sin ningún subcampo.
- Los nombres y direcciones son asignados permanentemente en algunas redes, pero en otras redes son asignados dinámicamente durante el tiempo que las entidades están activas.
- Algunas redes usan nombres de área local abreviadas mientras otras no. Los nombres de difusión pueden ser usados en algunas, pero no en todas las redes.
- Las discrepancias deberán ser arregladas. Un esquema de domicilio global y un servicio de directorio son a menudo proporcionados.

Técnicas de enrutamiento

- También estas técnicas varían ampliamente. Las diferencias son entre las redes de datagramas, con variación de enrutamiento de acuerdo al congestionamiento y otras condiciones, y las redes de circuitos virtuales, con enrutamiento fijo durante sus sesiones.
- Las pasarelas u otros dispositivos de interconexión deberán coordinar el enrutamiento de datos entre las estaciones de diferentes redes.

Cuantificación de la información

- También existe inconsistencia en la cuantificación. Las unidades de información de diferentes redes no están únicamente en bits, sino que pueden estar por paquete, por mensaje, por bloque, etcétera.
- Estas unidades de información son comúnmente usadas en esquemas de numeración para control de redes.
- Incluso las unidades básicas para esquemas de numeración no son consistentes; algunas veces números sucesivos representan cantidad de bytes, de paquetes o de mensajes.
- Estas inconsistencias hacen compleja la retransmisión de los números de un protocolo a otro.

Tamaños de los paquetes

- Una amplia variedad de tamaños máximos son empleados.
- Esto puede requerir segmentación de paquetes si llegan paquetes de tamaño mayor que lo permitido en la red, para que puedan pasar por él, además de una operación de reensamble en la red destino o bien en el siguiente retransmisor.

Control de errores

- Diferentes redes proporcionan desde ningún control de errores hasta controles muy confiables de extremo a extremo (dentro de la red).
- Debido a que las redes no pueden ser alteradas, los protocolos de interconexión pueden necesitar agregar su propio control de error (o pasar esto a capas más altas) si el control de errores de la red individual es inadecuado.

Control de flujo

- Los controles de flujo de algunas redes se basan principalmente en el desecho de paquetes; otros usan esquemas de ventana u otras proposiciones.
- Las dificultades se presentan cuando las técnicas se fundamentan en la inconsistencia de la cuantificación, posiblemente bytes en una red y paquetes o mensajes en otra.
- Las proposiciones deberán ser coordinadas para permitir el control de flujo a través de los límites entre redes.

Temporización

- Muchos protocolos de comunicación usan relojes protectores contra deadlocks u otras condiciones de error, con acciones específicas de recuperación cuando los mensajes esperados no llegan dentro de los períodos de espera predefinidos.
- Los valores para los períodos de espera dependen de las características propias de la red tales como el retardo de tránsito, el tiempo de respuesta, etcétera.
- La determinación de los valores apropiados cuando las redes están en cascada es difícil debido a que los retardos pueden ser impredecibles.

Interrupciones

- Mensajes cortos, o interrupciones, son algunas veces necesarios para señalar condiciones excepcionales. Pueden necesitar ser entregados antes de enviar datos o para quitar la obstrucción debido al control de flujo o al control de errores.
- No todos los protocolos de las redes proporcionan interrupciones y los mecanismos de interrupción ofrecidos por las redes no son necesariamente compatibles.
- Las técnicas para la transportación efectiva de interrupciones a través de las redes que no las proporcionan, pueden ser necesarias.

Reportes de estado y contabilidad

- Diferentes redes reportan su estado y eficiencia de diferentes maneras. Sin embargo, deben de proporcionar tal información a personas autorizadas.
- Discrepancias similares existen en las técnicas para la contabilidad o la facturización de la información.
- Son necesarias técnicas para la contabilidad de los usuarios de los servicios de la interconexión de la red.

Control de acceso a usuarios

- El control de acceso a usuarios determina ciertas cosas, como la de quien tiene el turno para transmitir.
- Las técnicas incluyen sondeo y selección, y varias técnicas de reservación y disputa.
- Algunas técnicas dependen de delimitadores especiales o banderas en el flujo de datos, pero los datos pueden no ser examinados por otras redes.
- La interconexión de redes requiere control de acceso a través de los límites de la red.

Procedimientos de clausura

- Algunas redes se esmeran por asegurar esas clausuras de conexiones, en cualquiera de los diversos niveles, tratando de evitar la pérdida de datos transmitidos por un extremo sin que los haya recibido o reconocido por el otro extremo.
- Otras redes usan clausuras abruptas sin la preocupación acerca de la pérdida de datos (asumiendo que los procesos de comunicación se asegurarán que todos los datos han sido recibidos antes de intentar la clausura de las conexiones).
- Eso causa serios problemas para los procesos que dependen de una clausura confiable.

La compatibilidad de los protocolos no significa que sean idénticos; estas discrepancias pueden ser de un tipo que pueden ser manejadas fácilmente. El uso del código ASCII en un extremo y del código EBCDIC en el otro extremo, puede ser manejado a través de tablas de traducción. Otras discrepancias menores pueden ser manejadas fácilmente, pero las discrepancias se hacen notar rápidamente en casos donde estas pueden parecer a primera vista menores.

Puentes

La situación más sencilla en la interconexión de redes y una de las más comunes, es la interconexión de redes homogéneas por medio de un puente. Uno de los más comunes, interconecta LAN's de un tipo específico.

Definición de puente

El principal atributo de los puentes es su transparencia. Operan en la capa de enlace de datos (usualmente en la subcapa de control de acceso al medio (MAC) para las LAN's) y no interfieren con ninguna de las capas superiores del protocolo.

La definición de un puente no es uniforme. Un puente entre las redes A y B es definido como un dispositivo que realiza lo siguiente:

- Lee todas las tramas de A y acepta las direccionadas hacia B.
- Retransmite las tramas aceptadas hacia B, usando el protocolo de acceso al medio para B.
- Realiza las funciones equivalentes para el tráfico de B hacia A.

Debido a que los encabezados de los MAC difieren para diferentes tipos de red, los encabezados deben ser modificados por los puentes.

Algunos ejemplos de puentes para LAN se dan en la figura 4.3. La parte (a) muestra dos medios puentes entre LAN's 802 de la IEEE separadas por un enlace HDLC. El puente encapsula la trama MAC de la LAN (el cual consiste de los datos del usuario, el encabezado LLC, el encabezado MAC, y las colas) en una trama HDLC, agregándole su propio encabezado de enlace de datos y sus colas.

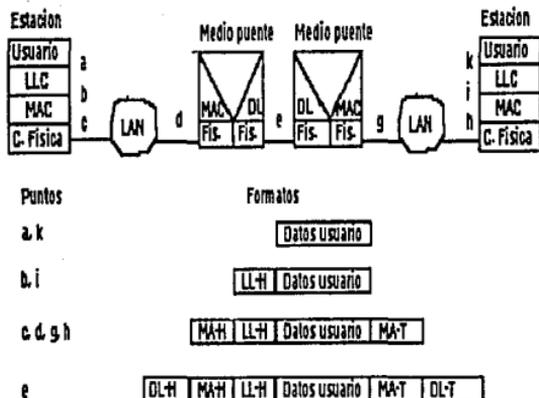


Fig. 4.3 a) Puentes entre LAN's separados por enlace punto a punto

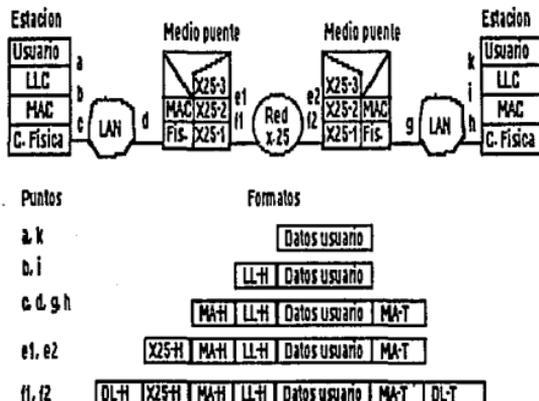


Fig. 4.3 b) Puentes entre LAN's separados por red X.25

Una configuración más compleja, usando dos medios puentes separados por un enlace X.25, se presenta en (b). El circuito punto-a-punto de (a) es reemplazado por un circuito virtual X.25, usando las tres capas del protocolo X.25. El encabezado X.25 es agregado por la capa de paquete X.25, con la capa de enlace de datos X.25 agregando el mismo tipo de encabezado y cola como la capa de enlace de datos en (a).

Tanto en (a) como en (b), el enlace puede ser de mucho menor capacidad que la LAN, así que el flujo a través del enlace deberá estar limitado por algún tipo de control de flujo. Desafortunadamente, pocas posibilidades existen para el control de flujo en el nivel de capa de enlace de datos. El tipo más popular de control de flujo supone una caída de paquetes cuando los buffers están llenos, pero esto puede ser contraproducente debido a las retransmisiones generadas. Otras técnicas incluyen límites de entrada al buffer, paquetes obstruidos, y reservación de buffers. Cada enlace puede también agregar retardos, pero esto puede causar problemas en algunas aplicaciones.

La arquitectura token ring de IBM incluye la especificación de una arquitectura de puente, que es la base para una arquitectura de puente de enrutamiento de fuente. Se hablará de esta arquitectura a continuación, y posteriormente presentaremos la arquitectura propuesta por el comité 802.1 de la IEEE.

Puentes de Enrutamiento de Fuente

Un puente de interconexión de dos anillos, usando puentes token ring se ilustra en la figura 4.4. También es posible expandir la capacidad del anillo usando un elemento principal de anillo de alta velocidad, el cual interconecta los anillos locales por medio de puentes. Esto se muestra en la figura 4.5. El puente opera como en la descripción citada anteriormente, pero esta vez como una simple entidad, no como dos medios puentes.

El puente lee todas las tramas de cada anillo, dejando todas las tramas sin perturbar, sólo aceptando aquellas destinadas para otro anillo. Luego retransmite las tramas aceptadas hacia el anillo apropiado.

El enrutamiento de fuente es usado por las tramas de la interconexión. Un campo opcional de enrutamiento de información (RI) en el encabezado de la trama se presenta sólo cuando las tramas están destinadas hacia otra red. Este campo se presenta inmediatamente después de los dos campos de direcciones en el formato de trama 802.5 de la IEEE.

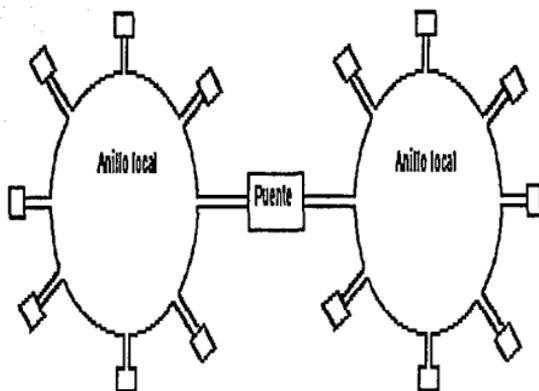


Fig. 4.4 Interconexión de Tokens Rings por un puente

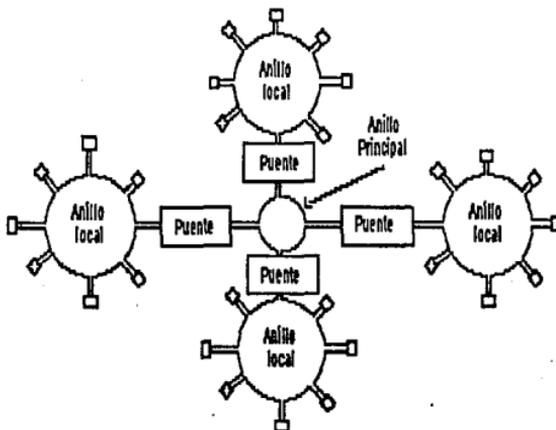


Fig. 4.5 Token Rings vía un anillo principal y puentes

El campo RI, si se presenta, contiene una lista ordenada de puentes, que deberá recorrer en orden la trama para alcanzar el anillo destino. El formato de las tramas MAC resultantes se muestran en la figura 4.6.

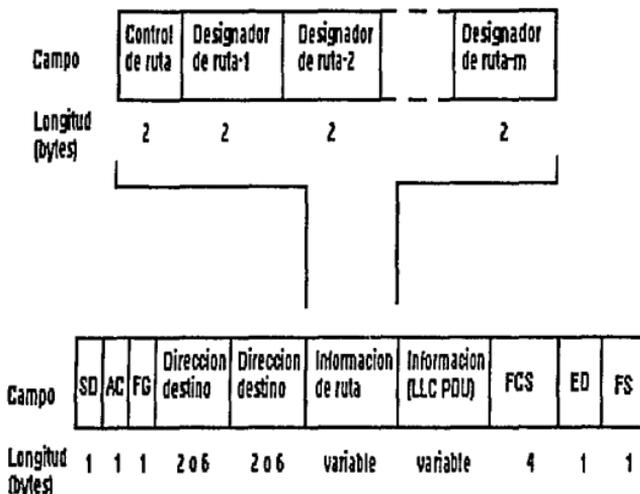


Fig. 4.6 Formato de trama MAC en Token Ring con campo de información de ruta

La técnica del enrutamiento de fuente está mejor adaptado en casos donde la fuente normalmente conoce una ruta satisfactoria hacia el destino, pudiendo suministrar el contenido del campo RI. Si se desconoce una ruta satisfactoria se inicia una búsqueda explorando todas las posibles rutas entre la fuente y el destino, proporcionando a la fuente una lista de posibles rutas; la fuente posteriormente escoge la deseada, basada en cualquier criterio de selección y es puesta en uso.

Puentes de Arbol de Expansión

La alternativa de la arquitectura 802.5 de la IEEE es una arquitectura de puente de árbol de expansión, desarrollado por el comité 802.1 de la IEEE. Estos puentes son completamente transparentes en las estaciones finales, las cuales operan de la misma

manera, independientemente de si la red que están usando contiene puentes o no. Los puentes de árbol de expansión realizan tres funciones básicas:

- Avance de las tramas.
- Aprendizaje de direcciones de estaciones.
- Resolución de posibles ciclos en la topología a través de la participación en el algoritmo de generación del árbol de expansión.

La figura 4.7 muestra un puente de árbol de expansión. Cada puente recibe y transmite las tramas de las LAN's interconectadas. Además mantiene una base de datos de avances, conteniendo la información usada para avanzar o desechar las tramas de la manera anteriormente discutida.

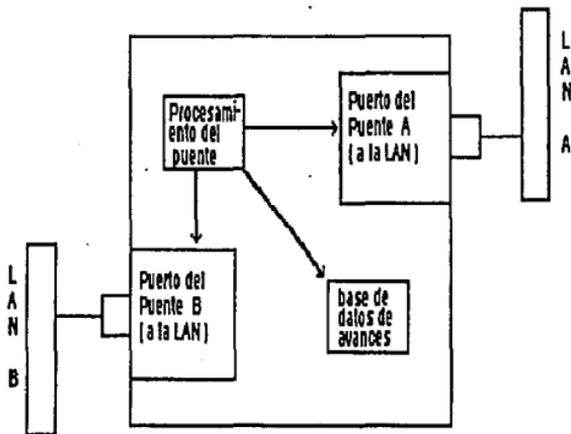


Fig. 4.7 Puente de árbol de expansión

La base de datos de avances contiene los accesos para todos los destinos actualmente conocidos para el puente. Un acceso contiene la dirección de la estación y el número del puerto por la cual la trama deberá avanzar para alcanzar el destino. Si este es el puerto en la cual la trama fue recibida, no se requiere de ningún avance debido a que la trama está ya en la LAN correcta, y la trama es desechada. Si no, la trama deberá avanzar por el puerto indicado.

Cuando una trama es recibida en el puerto de un puente, la dirección destino en el encabezado es comparada en la base de datos de avances. Si la dirección es encontrada, la trama avanza o es desechada como se indicó anteriormente. Si la dirección no se encuentra, la trama es "inundada" para transmitirla por todos los puertos en el estado de avance (determinado por el algoritmo del árbol de expansión) excepto por el cual fue recibido. Las tramas para el grupo de direcciones son inundadas en cada puente, al menos que la base de datos de avances contenga un acceso especial, restringiendo la inundación para este grupo de direcciones en ciertas áreas de la LAN interconectada por el puente.

El proceso de aprendizaje del puente esta basada en los recuerdos de los puertos por los cuales fueron recibidas las tramas. La dirección de la fuente de cualquier trama recibida sin error es comparada contra la base de datos de avances. Si la dirección de la fuente no se encuentra se agrega sólo con el número del puerto en el cual fue recibida. Si la dirección de la fuente se encuentra en la base de datos pero asociado con un diferente puerto del puente, el identificador del puerto para esta entrada se cambia. Si la dirección de la fuente está asociada con el puerto en la cual la trama fue recibida, la entrada se deja sin tocar salvo el campo de temporización. En los tres casos, un temporizador para la entrada es puesto para indicar que ésta es una entrada "reciente".

Los datos son removidos de la base de datos cuando el tiempo asociado con la entrada indica que la información esta "obsoleta", usando un período de tiempo predefinido determinado por el administrador de la red. Cuando el algoritmo del árbol de expansión detecta un cambio de topología, el período de tiempo predefinido se decrementa para asegurar que los puentes rápidamente desecharán la información obsoleta.

El algoritmo de generación del árbol de expansión asegura que sólo una cantidad finita de tráfico inundado sea generada por los mensajes inundados confirmados en un árbol de expansión. Muchos planteamientos son posibles para encontrar los árboles de expansión, pero un algoritmo específico ha sido adoptado por la Comisión de Selección de Estándares de Puentes MAC 802.1 de la IEEE.

Los requerimientos para que el algoritmo opere correctamente son los siguientes:

- Cada puente deberá tener un único identificador de puente. En el estándar, este identificador es un campo prioritario más un segundo campo para asegurar singularidad.
- Deberá existir por cada LAN, una única dirección de grupo que siempre será reconocida por todos los puentes de una LAN particular.
- Cada puerto de un puente deberá ser únicamente identificado dentro del puente por un "identificador de puerto".

Comparación de los planteamientos de puentes en IEEE 802

El punto más relevante en favor de la suposición del árbol de expansión parece ser su transparencia. Ninguna modificación en el equipo existente o instalado es necesario, si LAN's compatibles son interconectadas por el puente de árbol de expansión. Mientras que en el enrutamiento de fuente, una gran parte del equipo instalado necesita ser modificado completamente.

La ventaja más significativa de los puentes de enrutamiento de fuente parece ser su alta velocidad. Los principales candidatos para la interconexión de redes token ring de elemento principal de alta velocidad, incluyen redes (tales como FDDI) operando sobre enlaces de fibra óptica a 100 Mbps o aún a velocidades superiores; debido a que los enlaces de fibra óptica actualmente operan a velocidades de gigabits por segundo, el futuro de las LAN's operando a tales velocidades es posible. Simplemente leyendo la ruta de un encabezado y realizar el enrutamiento de los paquetes según esta información, es más rápido que consultar una base de datos de avances. La búsqueda de tablas a alta velocidad es posible -por ejemplo, un escudriño de una tabla de estación 8192 de 6 bytes se realiza en 4 microsegundos-, esto es inevitablemente menor que la exploración de un flujo de bits por un patrón fijo.

Las ventajas adicionales reclamadas por el enrutamiento de fuente, incluyen la flexibilidad y controlabilidad de rutas. Los servidores tienen control sobre las trayectorias de comunicaciones, permitiendo la división de cargas entre las rutas, etcétera. Sin embargo, su flexibilidad extra es muy dudosa. Muchas LAN's tienen bastante exceso de capacidad y operan a velocidades bastante altas, esto repercute en el enrutamiento subóptimo y el uso de trayectorias paralelas es mínimo.

El enrutamiento de fuente ha sido criticado debido a que se requiere de tiempos excesivos para aprender las rutas desconocidas, pero están basados en geometrías muy poco realistas. El proceso de aprendizaje puede requerir cantidades substanciales de tiempo con geometrías más realistas, y puede repercutir en la eficiencia si este proceso sucede a menudo; pero bajo condiciones normales de operación, donde la gran mayoría de las rutas necesarias son ya conocidas, la repercusión en la eficiencia es mínima. Así, el enrutamiento de fuente es lo que mejor conviene en casos donde la mayoría de las rutas son ya conocidas.

El éxito de ambas proposiciones en la interconexión de LAN's distintas es incierto. Los protocolos para la LAN 802 de la IEEE, difieren mucho en la capa MAC. Por ejemplo, el token bus estándar y el token ring estándar incluyen el uso de prioridades en la capa MAC, mientras que el CSMA/CD estándar no. Sólo el token bus estándar permite la distinción en la capa MAC de las tramas que requieren una respuesta y de aquellas que no la requieren. Existe también implementaciones incompatibles, incluyendo dos velocidades para token ring, dos velocidades y cuatro especificaciones diferentes de capas físicas para CSMA/CD, y tres velocidades y ocho esquemas de modulación para token bus.

Los puentes de enrutamiento de fuente son considerados por algunas personas como enrutadores, los cuales operan en la capa de red en lugar de la capa de enlace de datos. Para este punto de vista, el campo extra RI agregado en las tramas, es un encabezado de la capa de red y el procedimiento de aprendizaje de rutas es un protocolo de la capa de red. Esto es razonable, pero existe una dificultad de tipo político para suponer esto. La comunidad, ha dividido la responsabilidad de los estándares OSI relacionados con LAN's, entre la IEEE y la ANSI, en las fronteras entre la capa de enlace de datos y la capa de red.

La única cosa que puede ser predecible con certeza, es que ambos tipos de puentes pronto serán ampliamente implementados, ya que los defensores de cada tipo de puente están desarrollando sus productos.

Enrutadores y Pasarelas

La alternativa más común para la interconexión de LAN's es el uso de los enrutadores, los cuales operan en el equivalente de la capa de red de OSI. La principal suposición para la interconexión de otros tipos de redes, tales como las redes de área amplia, supone también la interconexión en la capa de red, de esta manera su retransmisor encaja en la definición de enrutador. Sin embargo, el término "pasarela" es empleado para describir técnicas mayores de interconexión. Debido a que los términos "enrutador" y "pasarela" son usados indistintamente, se hablará sobre ambos. Se cubrirán importantes técnicas, especialmente aquellas ejemplificadas como estándares, y se explicarán las proposiciones que permiten el compartimiento de facilidades de una red por los usuarios de otra. Sin embargo, esto no significa que la mayoría de las implementaciones han sido establecidas para manejar completamente el compartimiento de recursos. El acceso remoto y el compartimiento de un pequeño número de recursos es más común.

Se hablará sobre tres estándares para interconexión: el X.75, el protocolo Internet DoD, y el protocolo Internet ISO. Cada retransmisor proporciona el equivalente de una interfase de la capa de red, y por lo tanto se adecua a la definición de enrutador; sin embargo el término "pasarela" es empleado. Después se comentará de una pasarela verdadera, la pasarela DNA/SNA ofrecida por Digital Equipment Corporation para interconectar estos dos tipos de redes.

Si cada red tiene la misma interfase de acceso de red, un retransmisor simple puede ser empleado, proporcionando ya sea una interfase de datagramas o una interfase de circuitos virtuales, dependiendo de cual sea proporcionado por la red individual. El ejemplo de esta suposición es el X.75, el cual proporciona la interconexión de redes X.25. La concatenación de circuitos virtuales está establecido entre la fuente y el destino (guardando

la influencia del X.25 en los circuitos virtuales). La "pasarela" se adecua a nuestra definición de enrutador, debido a que opera en la capa de red. Son llamados algunas veces retransmisores de nivel DCE, debido a que DCE's especiales son a menudo usados para implementarlos.

Retransmisores más complejos son implementados con computadoras de propósito especial. Los principales estándares son el Protocolo Internet (IP) de DoD y su similar IP de ISO. Ambos protocolos IP proporcionan servicio de datagramas, para que los protocolos de nivel superior aumenten los servicios como se desea; si se desea, el servicio aumentado puede proporcionar el equivalente del servicio de circuito virtual. Sólo pequeñas decisiones acerca de los servicios proporcionados por las redes, son necesarias para proporcionar el servicio de datagrama. Esta es la razón principal para escoger el servicio de datagrama en los protocolos IP.

X.75

El X.75 ha sido desarrollado para proporcionar la interconexión de redes basadas en el X.25. La interconexión X.75 de redes de paquetes de datos X.25 es común; muchas redes públicas X.25 están enlazadas por medio del X.75. La figura 4.8 ilustra redes X.25 interconectadas por medio del X.75. La figura muestra cuatro redes X.25 en una configuración de anillo; sin embargo, la geometría es arbitraria. Sólo dos pares DTE-DCE han sido ilustrados por simplicidad, pero miles de pares podrían ser usadas por las cuatro redes. El retransmisor X.75 está implementado con medias pasarelas (medios enrutadores), siendo cada mitad un tipo especial de DCE, llamado intercambiador de señales de terminal (STE - signaling terminal exchange). Cada interfase de usuario usado entre redes, es una interfase X.25 con protocolo X.75. Los protocolos dentro de cada red no están especificados en los estándares, por eso una amplia variedad de implementaciones que preservan las interfases X.25 y X.75 pueden ser empleadas.

La función básica del X.75 es la interconexión de redes X.25 por medio de circuitos virtuales DTE-DTE entre usuarios. Cada circuito virtual DTE-DTE de interconexión está unido por un segmento de fuente DTE-DCE, por un segmento de intrared DCE-STE en la mitad de la primera pasarela, por un segmento STE-STE de interconexión en la otra mitad de esa primer pasarela, tales segmentos adicionales de intrared e interconexión STE-STE son necesarios para alcanzar la red destino, y finalmente por segmentos de intrared STE-DCE y DCE-DTE para alcanzar el destino. Los siete segmentos estarán unidos, por cualquiera de las dos rutas, para interconectar las dos DTE's ilustradas. Cada segmento es un circuito virtual separado, con su propio control de flujo y su manejador de errores.

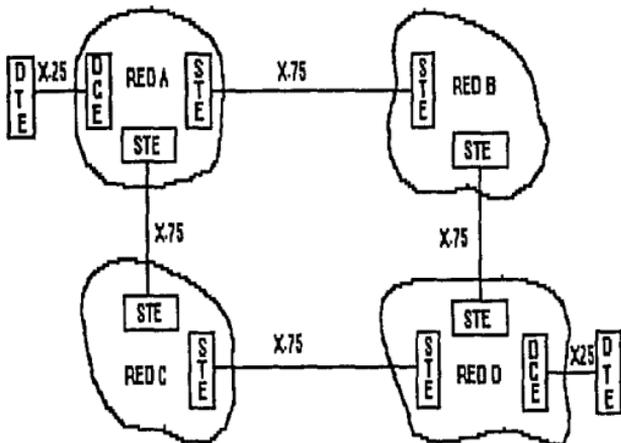


Fig. 4.8 Interconexión de redes X.25 vía X.75

El STE usa el formato de los paquete X.25, modificando el número del canal lógico para obtener así un diálogo STE a STE. También agrega un campo de utilidad en el encabezado del control de paquetes X.25, especificando la calidad del servicio y parámetros similares para los segmentos STE a STE. Además de esto, los STE's no realizan el encapsulamiento u otras modificaciones del encabezado X.25. Los formatos de los paquetes X.75 se muestran en la figura 4.9.

Los niveles del X.25 y de los paquetes X.75 también soportan un procedimiento de multicenlace (MLP - multilink procedure), el cual es proporcionado para el uso de múltiples enlaces entre STE's. Esto es análogo a usar grupos de transmisiones multicenlace en SNA. El MLP establece reglas para los enlaces de transmisión, además de reordenamiento de entregas de y hacia los enlaces, haciendo canales múltiples entre STE's aparecer como un canal de mayor capacidad que cualquier canal individual.

El X.75 no ofrece circuitos virtuales permanentes, por lo que es necesario llamar al establecimiento y cierre del mismo. El paquete de control estándar X.25 (con los campos agregados mencionados anteriormente) es usado para el establecimiento y para el cierre. En lugar de ser enviados directamente del origen al DCE destino como en X.25, los

paquetes recorren la intrared del origen DCE al primer STE de la trayectoria, del STE al STE tantas veces como sea necesario para alcanzar la red destino, y finalmente hacia el DCE destino, ocurre el establecimiento o el cierre de circuitos virtuales de cada segmento de la ruta. La fase de transferencia de datos es idéntico que en el X.25, excepto por el flujo de los paquetes a través de los circuitos virtuales en cascada. El X.75 es invisible para los usuarios del X.25 durante el intercambio de datos.

Byte

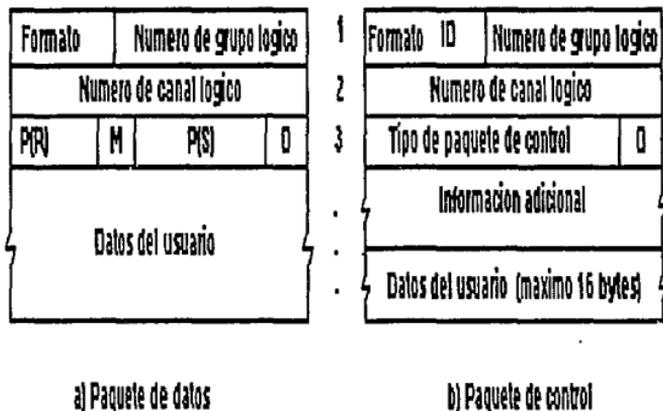


Fig. 4.9 Formato de paquetes de X.75

Protocolo Internet DoD (IP)

La interconexión de redes más simple, en términos del número de redes interconectadas, es la Internet DARPA. Debido a la diversidad de las redes en la Internet, se hacen mínimas suposiciones sobre las capacidades de cualquier red. La principal suposición es que cada red es capaz de aceptar un paquete y entregarlo, con una alta posibilidad, en el destino especificado. No se asume la entrega garantizada de paquetes por una red.

Las pasarelas se agregan a las redes como servidores, con un Protocolo Internet (IP) proporcionando un servicio de datagramas entre los servidores. Con las suposiciones mínimas sobre los servicios de la red y de la definición de datagrama, la entrega no es garantizada. El Protocolo de Control de Transmisión (TCP - Transmission Control Protocol) DoD, proporciona una entrega garantizada, un reordenamiento, un control de flujo, un control de error, etcétera. El TCP es el protocolo principal de transporte en la arquitectura DoD.

Las ventajas de la propuesta de datagramas en IP son las siguientes:

- Flexibilidad. El IP de DoD puede tratar con una variedad de redes, ofreciendo algunos servicios orientados a conexión y algunos sólo a servicios sin conexión.
- Fuerza. Debido a que los datagramas son enrutados independientemente a través de la red, con trayectorias no predefinidas, pueden ser enrutadas alrededor de áreas afectadas si una red o una pasarela se indisponen. También, la red puede reaccionar rápidamente al congestionamiento, tomando decisiones para datagramas individuales.
- Soporte para aplicaciones sin conexiones. Algunas aplicaciones necesitan el enrutamiento Internet, pero para lo cual un protocolo orientado a conexión introducirá un sobrecosto excesivo. El TCP, en la parte alta del IP de DoD, proporciona tales servicios como la distribución confiable y el control de flujo para las aplicaciones que las necesiten.

También se emplean protocolos adicionales. El protocolo pasarela-pasarela (GGP Gateway-Gateway Protocol) opera entre las pasarelas, intercambiando la accesibilidad y el enrutamiento de la información. Ayuda construyendo las tablas de enrutamiento, las cuales proporciona, para cada red destino, a la próxima pasarela a la cual los datagramas deberán ser enviados. Estos protocolos son invisibles a los servidores y a los usuarios. Un Protocolo Internet para Control de Mensajes (ICMP - Internet Control Message Protocol) permite a los servidores interactuar con las pasarelas, y los servidores y las pasarelas interactúan con el monitoreo internet y los centros de control.

La figura 4.10 muestra la operación del IP de DoD en una situación donde la información pasa a través de dos LAN's y una red de área amplia. La información IP recibida en el servidor A (los datos más los encabezados agregados por las capas superiores), es encapsulada con un encabezado IP conteniendo la información para la operación de la interconexión. El LLC y el MAC de la LAN 1 agregan encabezados, con el MAC agregando también una cola. Este se pasa en la forma de un datagrama a través de la LAN 1 a la pasarela 1, el cual quita los encabezados y colas del MAC y del LLC, y analiza el datagrama para determinar si contiene información de control para la pasarela o datos para

un servidor posterior. Se decide enrutar la trama a través de la red de área amplia hacia la pasarela 2, agregando un paquete X.25, y encabezados y colas de enlace de datos, y envía el datagrama por la red. El datagrama eventualmente alcanza la pasarela 2, el cual quita los encabezados y colas agregados por la pasarela 1, y decide agregar el encabezado y cola LLC y MAC para la LAN 2, enviando el datagrama a su destino en el servidor B.

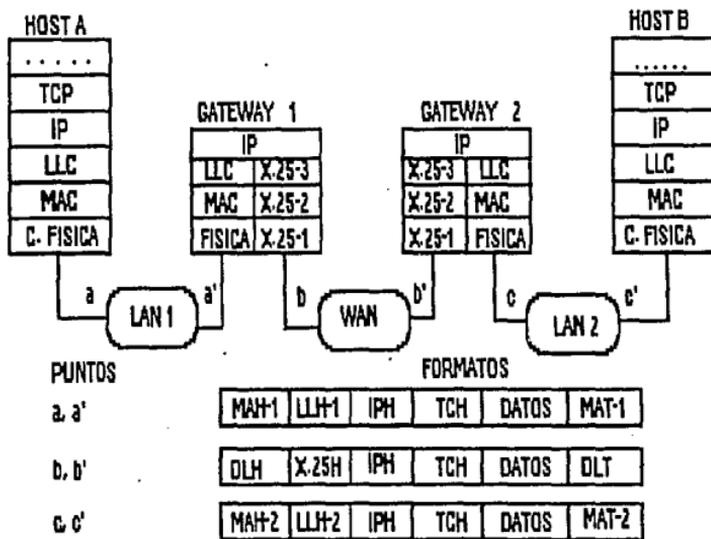


Fig. 4.10 Operación del protocolo DoD IP

Esta propuesta del encapsulamiento de datagramas en encabezados IP y enviarlos en sus rutas, anula la traducción de protocolos en el proceso del envío de datos a través de los límites de las redes. Los datos alcanzaran, con una alta probabilidad, sus destinos si el encabezado IP contiene la información apropiada.

Dos primitivas son definidas en la interfase usuario-IP. El Envío es usado para requerir la transmisión de una unidad de datos, y la Entrega es usado para notificar a un usuario de la llegada de una unidad de datos. Una variedad de parámetros son codificados en el encabezado IP de DoD, el cual tiene el formato mostrado en la figura 4.11 y los siguientes campos:

- **Versión (4 bits):** Tiene el número de la versión, permitiendo al protocolo evolucionar.
- **Longitud del Encabezado Internet, IHL (4 bits):** Longitud del encabezado en palabras de 32 bits (4 bytes). El mínimo es cinco, por lo que el encabezado será al menos de $5 \times 4 = 20$ bytes.
- **El tipo de servicio (8 bits):** Especificación de los parámetros tales como la precedencia, la confiabilidad deseada, el retardo y todos sus valores.
- **Longitud total (16 bits):** La longitud total de la unidad de datos (datagrama o fragmento), incluyendo su encabezado, en bytes. El tamaño máximo es de 65,535.
- **Identificación (16 bits):** El número de secuencia el cual, con la dirección de la fuente y del destino, y del protocolo del usuario, se identifica únicamente un datagrama.
- **Banderas (3 bits):** Un bit, es usado para la fragmentación y el ensamble. Otro, si se establece, prohíbe la fragmentación. El tercer bit no se emplea.
- **Compensación de la fragmentación (13 bits):** Indica donde pertenece un fragmento en el datagrama. Se mide en unidades de 64 bits u 8 bytes, considerando únicamente los datos. Los demás fragmentos, menos el último, deberán contener un campo de datos de longitud que será un múltiplo de 8 bytes.
- **Tiempo de vida (8 bits):** Se mide en saltos entre pasarelas y se decrementa en cada pasarela. Asegura que los datagramas o fragmentos no entren en un ciclo indefinidamente.
- **Protocolo (8 bits):** Indica el protocolo de nivel superior que recibirá el campo de datos en el destino.
- **Checksum de encabezado (16 bits):** Únicamente es el checksum para el encabezado. Es verificado y recalculado para cada pasarela, debido a que unos campos pueden cambiar.
- **Dirección fuente (32 bits):** Permite una asignación variable de bits para especificar la red y servidor dentro de la red. Un número de red es asignado por el administrador de la interconexión, y el número del servidor por la red. La traducción de direcciones, tales como las direcciones de 48 bits de la LAN 802 de la IEEE, causan serios problemas, pero aún así existen algoritmos.

- Dirección destino (32 bits): Es el mismo tipo de codificación empleado en la dirección fuente, usando el formato apropiado para el destino.
- Opciones (variable): Codifica las opciones requeridas por el transmisor, incluyendo el nivel de seguridad, el enrutamiento de la fuente, el registro de enrutamiento, la identificación del flujo (para permitir el manejo especial de algunos tipos de tráfico), y el timestamp (requerido para agregar el timestamp cuando los datagramas pasan por las pasarelas).
- Acolchonado (variable): Se asegura que los encabezados terminen en el límite de los 32 bits.
- Datos (variable): La longitud del campo de datos deberá ser un múltiplo de ocho bits. Su longitud, más la longitud del encabezado, deberán ser indicados en el campo de longitud total.

Bit no.

	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
	Version				IHL				Tipo de servicio							
	Longitud total															
	Identificación															
	Banderas				Fragmento de corrimiento											
	Tiempo de vida								Protocolo							
	Checksum del encabezado															
	Dirección fuente															
	Dirección destino															
	Opciones												Acolchonamiento			

Fig. 4.11 Formato del encabezado DoD IP

Un ejemplo ilustrará la fragmentación y los campos del encabezado. Asumase que un datagrama con 636 bytes de datos llega a una red con una restricción de longitud máxima de 256 bytes (incluyendo encabezados). También asumase que la longitud del encabezado IP es el mínimo posible de 20 bytes. Considerense dos suposiciones para la fragmentación.

En la primera suposición, cada fragmento, excepto el último, son de la máxima longitud posible. Con los encabezados IP de 20 bytes, se permiten datos de 236 bytes por fragmento, pero la cantidad en todos, excepto para el último fragmento, debe ser divisible por ocho, por lo tanto se ajusta hacia abajo en $29 \times 8 = 232$, por lo que los fragmentos con datos quedan de 232, 232 y 172 bytes. La longitud del encabezado es cuatro veces el valor IHL (Longitud del Encabezado Internet); la longitud total es la longitud del campo de datos más la longitud del encabezado, y la compensación del fragmento es el número de datos (provenientes del datagrama fragmentado) en bytes en fragmentos, que precede al que está bajo consideración. Así los valores para los campos pertinentes del encabezado IP son los siguientes:

Primer fragmento:

IHL = 5
Longitud total = 252
Compensación del fragmento = 0
Más = 1

Segundo fragmento:

IHL = 5
Longitud total = 252
Compensación del fragmento = 29
Más = 1

Tercer fragmento:

IHL = 5
Longitud total = 192
Compensación del fragmento = 58
Más = 0

Para la segunda suposición, todos los fragmentos son casi iguales en longitud tanto como sea posible. El número promedio de bytes de datos por fragmento es $636/3 = 212$. Este no es un múltiplo de 8, así que la longitud de los dos primeros deberán ser modificados. Las longitudes iguales más cercanas son encontradas incrementando una longitud y decrementando la otra, dando $27 \times 8 = 216$, $26 \times 8 = 208$ y 212 bytes. Esto da lo siguiente:

Primer fragmento:

IHL = 5
Longitud total = 236
Compensación del fragmento = 0
Más = 1

Segundo fragmento:

IHL = 5
Longitud total = 228
Compensación del fragmento = 27
Más = 1

Tercer fragmento:

IHL = 5
Longitud total = 232
Compensación del fragmento = 53
Más = 0

El Protocolo Internet para Control de Mensajes (ICMP) es un compañero requerido en IP. Su función es proporcionar realimentación sobre los problemas en el ambiente de comunicación, de las pasarelas a los servidores. También permite a los servidores y a las pasarelas interactuar con el monitoreo Internet y con los centros de control. Aunque básicamente está en el mismo nivel que IP, ICMP usa al IP para transferir sus mensajes; construye un mensaje ICMP y lo pasa a IP, el cual lo encapsula con un encabezado IP y lo transmite a la pasarela o al servidor destino. Nueve tipos de mensajes ICMP han sido definidos; estos son los siguientes:

- Destino no alcanzable: Existen varias posibilidades: la pasarela puede no saber como alcanzar la red destino; el servidor destino puede no ser alcanzable dentro de la red; o el protocolo del usuario deseado o el servicio de punto de acceso en el destino, puede no estar disponible. Si el enrutamiento de fuente es usado, la ruta especificada puede no estar disponible; si la no fragmentación ha sido puesta, puede ser imposible alcanzar el destino sin la fragmentación. El mensaje regresado incluye encabezado IP completo, y los primeros 64 bits del datagrama original.
- Tiempo excedido: El valor del tiempo de vida del datagrama ha expirado. Son regresados el encabezado original más 64 bits.
- Problemas de parámetros: Un error sintáctico o semántico en el encabezado IP ha sido detectado. Son regresados el encabezado original más 64 bits, y un campo en el mensaje señala el byte donde el error fue detectado.

- Fuente apagada: Esto proporciona una forma rudimentaria de control de flujo. Cada uno de las pasarelas o de los servidores, puede usar este mensaje para requerir que una fuente reduzca la tasa en la cual se está enviando el tráfico. Se regresa el encabezado original más 64 bits del datagrama, accionando el reclamo.
- Redireccionamiento: Este mensaje se regresa si una pasarela determina que una ruta corta hacia el destino puede ser usada, si el datagrama ha sido enviado por una pasarela diferente. Aconseja a la fuente enviar el futuro tráfico por la otra pasarela. Son regresados el encabezado original más 64 bits del datagrama, pero la pasarela avanza el datagrama hacia su destino.
- Eco: Este mensaje da la instrucción al receptor de regresar el mismo mensaje hacia la fuente, para proporcionar un mecanismo que verifique que la comunicación entre la fuente y el destino es posible.
- Contestación del eco: Respuesta de un mensaje del eco.
- Timestamp: Esto, junto con el próximo mensaje, proporciona un mecanismo para muestrear las características del retardo de la Internet. El transmisor incluye un mensaje identificador, más la hora en el que el mensaje se envió (originando el timestamp).
- Contestación del timestamp: Es la respuesta al mensaje timestamp. El receptor añade y regresa el timestamp de recepción y el timestamp de transmisión del mensaje original.

Protocolo Internet de ISO

El Protocolo Internet de ISO, el protocolo de interconexión de redes desarrollado por ISO, se basa en el IP estándar de DoD y es similar a este. Las dos primitivas para la interconexión de redes son usadas en la interfase IP con la próxima capa del protocolo superior (normalmente la capa de transporte de ISO). El formato del encabezado se muestra en la figura 4.12. El encabezado se divide en cuatro partes, con las dos primeras partes siempre presentes, a menos que la fuente y el destino estén conectados en la misma red; si la fuente y el destino están conectados en la misma red, sólo el campo identificador del protocolo de ocho bits es usado y el protocolo IP se anula.

Una parte opcional puede ser también incluida en el encabezado. Cada opción se codifica en tres campos: el Código del Parámetro, la Longitud del Parámetro, y el Valor del

- **Versión (8 bits):** Se incluye para permitir la evolución del protocolo. Especifica la versión que está siendo usada.
- **PDU de toda la vida (8 bits):** Especificación por toda la vida de la Unidad de Datos como un múltiplo de 500 milisegundos. Es determinado y puesto por la estación fuente., posteriormente se decrementa por cada pasarela que la unidad de datos visita por cada 500 milisegundos, de retardo estimado para ese salto (tiempo de transmisión de la pasarela más el tiempo de procesamiento).
- **Banderas (3 bits):** La bandera SP (Segmentation Permitted) es uno, si la segmentación es permitida y cero en otro caso; es asignada por el creador del datagrama y no puede ser cambiada. La bandera MS es uno en todos los segmentos, excepto en el último, de un datagrama. La bandera ER (Error Report) indica si la estación fuente desea un reporte de error en caso de que una unidad de datos IP sea rechazada.
- **Tipo (5 bits):** Comúnmente indica si es una PDU de Datos (con datos del usuario) o una PDU de error (conteniendo un reporte de error).
- **Longitud del Segmento (16 bits):** Longitud total de la unidad de datos, incluyendo el encabezado, en bytes.
- **Checksum (16 bits):** Es el checksum calculado en el encabezado. Debido a que los campos del encabezado pueden cambiar en cada pasarela, se verifica y recalcula en cada una.

Campos para las partes de direcciones (siempre presentes)

- **Dirección Destino (variable):** Dirección del destino.
- **Dirección Fuente (variable):** Dirección de la fuente.
- **Longitud de la Dirección (8 bits):** Antecesor de cada dirección.

Campos para la parte de segmentación (solo presente si la bandera SP en la parte fija es puesta a uno)

- **Identificador de la Unidad de Datos (16 bits):** Identifica únicamente al Protocolo de la Unidad de Datos. Este requiere la estación IP de la entidad para asignar los valores del PDU destino, el cual es único durante el tiempo máximo en la cual una PDU puede permanecer en la Internet.
- **Compensación del segmento (16 bits):** Indica donde pertenece este segmento en el PDU. Se mide en unidades de 8 bytes, considerando únicamente los datos; todos los demás segmentos, excepto el último, pueden contener un campo de datos que será un múltiplo de la longitud de 8 bytes.
- **Longitud Total (16 bits):** Longitud total del PDU original en bytes, incluyendo un encabezado y los datos.

La operación del IP es como sigue. Un servidor que origina un mensaje Internet pasa una N-UNIDAD_DE_DATOS requerida a través de la interfase usuario-IP, con los datos y parámetros para un encabezado IP. El IP construye su encabezado, y pasa los datos y el encabezado a las capas inferiores de la red original, la cual los encapsula en encabezados y colas, y transmite la trama hacia la primer pasarela. Esta pasarela quita los encabezados y los remolques de las capas inferiores, y examina el encabezado IP, haciendo las modificaciones apropiadas en el encabezado (esto es, decrementando el campo del tiempo-de-vida), segmenta el datagrama si es necesario; agrega los encabezados de las capas inferiores, y los envía hacia el destino. Esta continúa hasta que el datagrama alcanza el destino, el cual quita el encabezado y las colas, y acepta los datos o realiza las acciones indicadas. Para garantizar la entrega, se requiere de un control extra de errores, de un control de flujo, o bien, requerimientos similares, manejados por la capa de transporte.

Pasarela DNA/SNA

La Pasarela DNA/SNA, desarrollado por Digital Equipment Corporation para la interconexión de redes DNA y SNA, permite a los usuarios de una red DNA acceder y usar una red SNA. El desarrollo fue complejo debido a las diferencias entre las dos arquitecturas. A pesar de las similitudes superficiales, sus implementaciones incluyen diferencias radicales:

- En el equivalente de la capa de red de ISO, el DNA proporciona servicio sin conexión con enrutamiento adaptativo mientras que el SNA proporciona servicio orientado a conexión con enrutamiento quasi-fijo.

- En la capa de transporte de ISO, el DNA usa un simétrico, un saludo de tres-vías para conexión, mientras que el SNA usa una negociación asimétrica de tres-partes.
- En la capa de sesión, el DNA proporciona un proceso-atado y funciones de control de acceso, mientras que el SNA proporciona servicios de fase-datos tales como cadenas, brazos, y múltiples esquemas de reconocimiento.
- En la capa de aplicación, las aplicaciones diferentes están incluidas en las arquitecturas.
- Un servicio central de aplicación DNA es la transferencia y acceso de archivos, el cual el SNA no soporta.
- A la inversa, un servicio de aplicación ampliamente usado por SNA es la entrada de un trabajo remoto, la cual el DNA no soporta.

La figura 4.13 muestra la pasarela. Esta es una pasarela verdadera, la cual opera en el equivalente de la capa de transporte de ISO. Una suposición de encapsulamiento de una-vía es empleada. Las sesiones SNA son mapeadas hacia enlaces lógicos DNA, con todas las sesiones de datos SNA (incluyendo los mensajes de establecimiento de conexión) conservándose sobre la fase de datos del enlace lógico DNA. Los protocolos de las capas superiores SNA son emulados en el sistema DNA el cual contiene la pasarela SNA, o en el sistema DNA del usuario; de esta manera los usuarios del DNA pueden ejecutar las aplicaciones del SNA.

Dos módulos implementan el servicio de pasarela SNA: un módulo de acceso SNA en cualquier sistema DNA, proporcionando el acceso al SNA, y el módulo pasarela SNA en el sistema DNA que contiene la pasarela. Los dos módulos se comunican por medio de un Protocolo de Acceso a la Pasarela (GAP - Gateway Access Protocol) SNA, el cual opera sobre un enlace DNA, interconectando los dos sistemas DNA. El GAP es un protocolo de capa de aplicación de red DNA que usa funciones proporcionadas por el control de sesión del DNA y sus capas inferiores, incluyendo el control de flujo, de error, y la segmentación de mensajes y su reensamble.

Dos modelos para la distribución de las funciones de las pasarelas, entre los usuarios del sistema DNA y el sistema DNA que contiene la pasarela, han sido implementados. En el modelo de acceso a la pasarela, las capas superiores están contenidas en un proceso que se ejecuta en el sistema del usuario, mientras que en el modelo servidor todas las funciones principales de la pasarela son ejecutadas en el nodo de la pasarela.

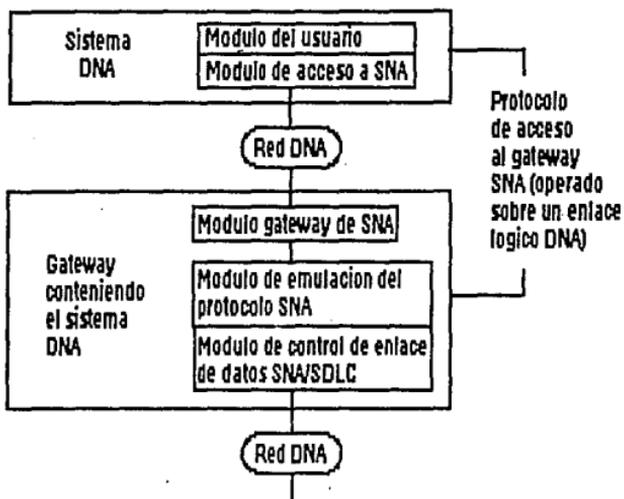


Fig. 4.13 Estructura de la pasarela de DNA/SNA

Las capas de la arquitectura se ilustran en la figura 4.14. Para el modelo de acceso a la pasarela, las dos capas superiores se ejecutan en el sistema del usuario, y las tres capas inferiores en el nodo de la pasarela; mientras que para el modelo servidor todas las cinco capas son ejecutadas en el nodo de la pasarela. Las descripciones de las capas (las cuales no precisamente siguen a las capas del SNA) son dadas a continuación:

- **Capa funcional:** Esta es la capa superior e implementa las funciones del usuario. La traducción desde los protocolos de presentación de SNA a los formatos y medio de presentación de DNA se realizan en esta capa. La capa también puede contener programas suministrados por los clientes o por DEC, así como entidades que son parte de los productos DNA/SNA. Dos de tales productos se indican en la figura 4.14, el flujo de datos IBM 3270 y el acceso DISOSS.

- Capa de enlace de datos: Esta implementa los protocolos de enlace de datos, tales como el SDLC o el DDCMP, y corresponde exactamente a la capa de enlace de datos en ambas arquitecturas.
- Capa física: Esta capa corresponde exactamente a la capa física en ambas arquitecturas. Puede soportar una variedad de tipos de dispositivos e interfaces estándares, y puede ser implementado en varias mezclas de hardware y software.

Un ejemplo de los intercambios de mensajes, establecido en una sesión SNA y su transferencia de datos, ilustrara la pasarela. Los intercambios típicos de un mensaje se ilustran en la figura 4.15. Las flechas de dos sentidos indican secuencias de mensajes para establecer, y desconectar el enlace lógico del DNA.

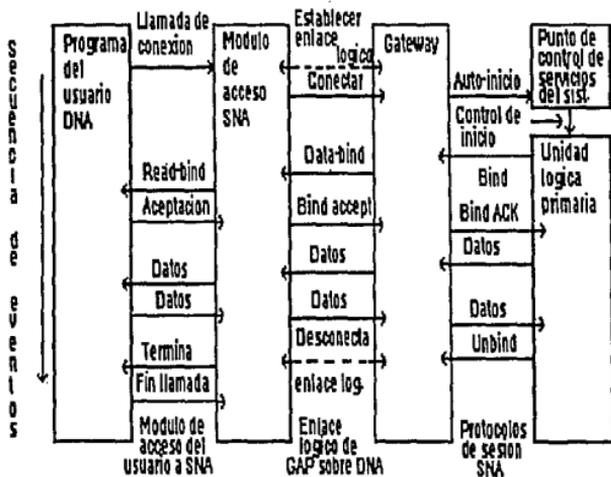


Fig. 4.15 Flujo de Mensajes en una Pasarela DNA/SNA

El primer paso en el establecimiento de una sesión lo realiza el programa del usuario DNA emitiendo una llamada de conexión, con parámetros tales como el nombre del nodo de la pasarela, la dirección de la unidad lógica secundaria (SLU) que será usada (es el puerto DNA del usuario dentro de la red SNA), el nombre de la unidad lógica primaria

(PLU) (es el puerto de la red usada por la aplicación de IBM accesada), y una variedad de diversos parámetros SNA. El módulo de acceso SNA asigna los recursos internos, y establece un enlace lógico DNA hacia el módulo de la pasarela SNA, en el nodo de la pasarela especificada; este nodo pasarela SNA en su momento asigna los recursos para la sesión.

Después de estos preliminares, empieza una secuencia de mensajes para establecer la sesión. El módulo de acceso SNA transmite un mensaje de conexión GAP al módulo de la pasarela SNA. El módulo de la pasarela asigna la dirección del SLU requerido (puerto DNA) y transmite un mensaje SNA de auto-inicio en el punto de control de los servicios del sistema (SSCP - System Services Control Point) de la red SNA. El SSCP informa sobre la PLU seleccionada (puerto SNA) por medio de un mensaje de control de inicio SNA.

Eventualmente el PLU transmite un mensaje de Lazo SNA a la pasarela. Este contiene la información para que se establezca la sesión, y es llevada al módulo de acceso SNA como un mensaje de datos enlazados GAP; esto último hacia el programa del usuario en respuesta a la llamada de lectura de enlace. El programa del usuario acepta la sesión, emitiendo un mensaje de aceptación, el cual causa que el módulo de acceso SNA envíe un mensaje de lazo-aceptado al módulo de la pasarela. El módulo de la pasarela reconoce el lazo, y los LU's están en sesión.

Después del establecimiento de la sesión, el programa del usuario del DNA puede intercambiar mensajes de datos con el programa de aplicación de IBM. Las funciones de las llamadas-de-transmisión y las llamadas-de-recepción del módulo de acceso SNA, se usan para intercambiar datos. Durante la transferencia de datos, el módulo de la pasarela SNA actúa como un conmutador de mensajes, pasando datos de y hacia el módulo de acceso del SNA.

En algún punto, el PLU termina la sesión enviando un mensaje de no-lazo a la pasarela. El módulo de la pasarela SNA posteriormente desconecta el enlace lógico del DNA con el módulo de acceso SNA, suministrando un razón codificada en un mensaje de desconexión. El programa del usuario lee la razón codificada y manda una llamada-de-clausura, que causa que el módulo de acceso SNA desasigne sus recursos.

El planteamiento no requiere de un software específico DNA, o que componentes de hardware sean introducidos en el ambiente SNA. Las aplicaciones orientadas a SNA en nodos DNA, pueden ser escritos como si estos usaran directamente los servicios de la capa de control de transmisión del SNA; de esta manera, una gran variedad de aplicaciones SNA son implementados exitosamente. Cada nuevo protocolo de aplicación del SNA, requiere una implementación completa de los nodos DNA del usuario, antes que puedan ser ejecutados en el ambiente de DNA.

Problemas en Interconexiones Grandes de Redes

La experiencia con interconexiones grandes de redes, especialmente con aquellas con estándares mínimos para los miembros de la red, como la Internet DARPA, ha mostrado que pueden ocurrir interacciones inesperadas en varios niveles, algunas causando serios problemas. Algunas de las más significativas, son resultado de los errores en las implementaciones. Tales errores son inevitables en la interconexión de redes tan largas y diversas como la Internet DARPA, la cual inevitablemente interconecta algunas redes usando software para red que no ha sido completamente aprobado. Explicaciones satisfactorias de algunos fenómenos observados no están disponibles. Una explicación de estos fenómenos hará notar que precauciones son necesarias en el diseño de tales redes.

Desacuerdos en Domicilios

La clase más consistente de problemas en las redes basadas en el IP de DoD, son causados por el desacuerdo de domicilios. Después de un cambio en el estándar para la formación de domicilios en la Internet DARPA hace unos años, y la subdivisión de redes en "subredes" para usarlos en subdivisiones organizacionales, existen normalmente seis posibles formas de domicilios en una red. Si los sistemas no están de acuerdo acerca de cual forma de domicilio es, un sistema puede enviar una forma de domicilio que otro sistema no puede reconocer. En lugar de aceptar el paquete direccionado, como cada sistema debe hacerlo, el sistema puede tratar de avanzar. Desafortunadamente, este proceso de tratar de encontrar el destino, a menudo supone la generación de otro domicilio. Esto genera una barrera de domicilios secundarios, que puede causar que la red se sature por unos segundos cada 30 segundos. A esto se le conoce como una tempestad de domicilios. Cada sistema en una red se supone que procesa un paquete, así el poder de procesamiento es agotado en su ancho de banda de transmisión durante la mayoría de las tempestades de domicilios. Una red de estado amplio en los Estados Unidos, reporto que tenía mucho tráfico de domicilios y que algunas microcomputadoras implementando TCP/IP no podían ser usadas; esto se debía a que toda la potencia del CPU era tomada para el procesamiento de domicilios.

Paquetes Chernobyl y Derretimiento de la red

En algunas situaciones, los sistemas han tratado de retornar mensajes de error tales como "destino no alcanzable" en lugar de tratar de avanzar el paquete erróneamente. Esto es usualmente mejor que tratar de avanzar tales paquetes, pero ha habido situaciones en las cuales esto causa mucho más daño que de lo que se podía esperar. Un error en algunas implementaciones tempranas de IP causaron que tales mensajes de error, fueran enviados

a la dirección del destino original, en lugar de regresar a la dirección de la fuente original. Esto algunas veces resulta en que un nuevo domicilio era enviado a la dirección destino del paquete original. Si dos o más servidores tenían este problema en la misma red, el resultado era una interminable secuencia de mensajes de error, saturando todas las máquinas de la red. Esto ha sido llamado derretimiento de la red, con paquetes inicializando derretimiento, llamados paquetes Chernobyl. Las redes interconectadas con puentes, son especialmente susceptibles de las tempestades de domicilios, de los derretimientos, etcétera. Esto se debe a que los puentes son menos capaces de filtrar los mensajes innecesarios, comparados con los enrutadores u otras pasarelas de alto nivel. Los puentes normalmente pasan todos los paquetes. Sin embargo, el enrutamiento es una función básica de los retransmisores de nivel superior, así que tales retransmisores pueden ser selectivos en los paquetes que son enviados por otras redes.

Sincronización en Picos de Carga

Los problemas de sobrecarga en una variedad de redes también son causados por los efectos de la sincronización que causan que un número de sistemas produzcan picos de carga en ciertos tiempos. Un caso podría ser cuando todas las computadoras de una red, ejecutaran un proceso para resincronizar sus relojes a la mitad de la noche, cada noche. Esto supone una actividad de la red, especialmente debido a que muchas computadoras de la red no tienen disco. Así a la mitad de la noche, cada una de esas computadoras tiene que leer el archivo de comandos y cargar todos los programas y archivos de datos necesarios para su ejecución; todas estas operaciones toman lugar sobre cada una de las computadoras de la red. La red afectada tendría una adecuada capacidad para un uso normal, pero serían encontrados algunos retardos excesivos de unos pocos minutos, cerca de la media noche de cada noche. Existe un fenómeno conjetural llamado auto-sincronización, el cual puede causar que los procesos se sincronicen con otro. Generalmente, los procesos, que deberán ocurrir en intervalos fijos, no programan sus próximas ejecuciones usando un reloj absoluto. En su lugar, después de cada activación, programan su reactivamiento a un intervalo fijo de tiempo posterior. El sistema operativo, no puede reactivar un proceso tan pronto como se pone elegible para ejecutarlo, y el programa usualmente realiza algún cálculo entre el tiempo en el que se reactiva, y el tiempo en que se programa el próximo reactivamiento. La auto-sincronización está ocurriendo, si existe un mecanismo de retroalimentación que cuida el ajuste de los retardos, guardando que los procesos se ejecuten en diferentes sistemas en sincronización. Tales mecanismos parecen que han sido observados, pero la adecuada explicación teórica no está disponible.

Los procesos de enrutamiento son especialmente vulnerables al introducir una actividad de sincronización, debido a que las actualizaciones del enrutamiento se inician cuando una ruta cambia (típicamente porque un enlace ha disminuido). Para los algoritmos comunes, en el orden de 10 actualizaciones por pasarela se requieren antes de converger en

nuevas rutas, con actualizaciones a menudo distribuidas por difusión. Esto puede saturar los procesos de entrada de otros sistemas de la red.

Agujeros Negros y Otros Problemas de Enrutamiento

Una variedad de problemas adicionales se deben a las dificultades del enrutamiento. Estos problemas incluyen las rutas que no pueden alcanzar sus destinos (conocido como agujeros negros), desperdicio excesivo de ancho de banda debido al enrutamiento, oscilaciones ininterrumpidas, y sobrecargas locales y regionales.

Los agujeros negros pueden ser resultado de diversos fenómenos. Durante el restablecimiento de un enlace fracasado, rutas circulares pueden originarse. Una vez que el paquete entra en tal ruta, circula hasta que el ciclo es corregido o hasta que el tiempo de vida se excede. De otra manera, el enlace puede fallar debido a que los paquetes pueden pasar únicamente en una dirección, sin que detecten ningún problema. Los algoritmos de enrutamiento que no están diseñados para detectar este fenómeno son propensos a enviar mensajes al olvido. Algunos algoritmos de enrutamiento dinámico requieren fracciones significativas de los recursos de la red. Es fácil encontrar ejemplos donde el ancho de banda requerido para enrutar mensajes es $O(n^2)$, con n representando el número de entidades enrutables (nodos de la red o subredes). Además del consumo del ancho de banda, puede ser caro cuando el tráfico fluye a través de redes de pago por paquete. Algunas redes están peligrosamente cerca de un punto donde los enlaces más lentos están siempre saturados por el enrutamiento de tráfico.

Las oscilaciones ininterrumpidas pueden ocurrir debido a la retroalimentación inestable de decisiones de enrutamiento dentro de las medidas de utilización que influyen en las decisiones de enrutamiento. Cuando los enlaces se acercan a la capacidad de ancho de banda, los retardos acumulados llegan a ser significativos y altamente variables. Si una red está empleando un algoritmo de enrutamiento basado en retardos medidos, se puede introducir inestabilidad por un enlace simple acercándose a esta capacidad. Cuando varios enlaces en una región están cerca de esta capacidad, la variabilidad en el retardo puede incrementarse enormemente. Una vez que los enlaces tienen su capacidad excedida, los mensajes tendrán que ser desechados, guiando a variaciones de retardos y confiabilidad con el número de enlaces congestionados a través de una ruta. Bajo estas circunstancias, el comportamiento del servidor puede conspirar con las características de sobrecarga de la red para prolongar la saturación. A medida que servidores más distantes llegan a ser difíciles de acceder, una secuencia de peticiones se desarrollará. Cuando los servidores tratan de proveer los servicios requeridos, sólo mantienen la red en su estado congestionado. Esto puede ser imposible de recuperar, excepto cuando se toman medidas de "derrame de carga".

CAPITULO V

INTERCONEXIÓN DE LAN's HETEROGÉNEAS A TRAVÉS DE SATÉLITE

Introducción

La conectividad entre LAN's no es fácil, debido a que no solamente se tiene que decidir sobre los dispositivos que se emplearán para controlar el flujo de datos entre LAN's, sino que también se debe considerar el medio de transporte. Encontrar, seleccionar, comprar, e instalar los enlaces de comunicación entre segmentos de LAN's es un desafío.

Se dispone de muchas opciones, cada una con sus propias capacidades, complicaciones y costos. Los medios para interconectar redes comprenden desde líneas telefónicas, enlaces satelitales, radio de microondas, enlaces por fibras ópticas, hasta sistemas con cable coaxial. También se incluyen las redes públicas, actualmente de gran popularidad en Europa y cuyo uso se va incrementando.

Sin embargo, a medida que las aplicaciones de los usuarios se han diversificado, se ha incrementando la necesidad de acceso múltiple, el manejo de amplios rangos de tráfico dinámico, la complejidad de las redes, así como la integridad y seguridad de los datos.

Este capítulo se enfoca a la posibilidad de realizar una interconexión flexible entre LAN's (tanto heterogéneas como homogéneas) vía satélite, para compartir la información y los recursos de las diferentes redes. A este tipo de interconexión se le conoce como WAN por satélite (SWAN), y ésta basada en la tecnología VSAT.

Selección del Medio de Comunicación para la Interconexión de LAN's

Antes de realizar la interconexión de LAN's, es necesario saber si realmente se requiere conectar dos o más LAN's. Pocas organizaciones realizan sus actividades en un sólo lugar; tal es el caso de tiendas comerciales, fábricas de manufactura, servicios bancarios,

turismo, escuelas, universidades, etc., que expanden sus servicios a zonas geográficas dispersas. Las organizaciones que basan sus servicios en el manejo de información por medio de una red de computadoras, usualmente crean nuevas redes cuando se establecen en una nueva localidad. Pronto se encuentran con la necesidad de interconectar éstas redes para mantener la integridad de la organización.

Ahora bien, si el intercambio de información entre las sucursales de una organización es esporádico o no se cuenta con los recursos económicos para enlazar las redes, resulta más económico contratar los servicios de una red ya establecida.

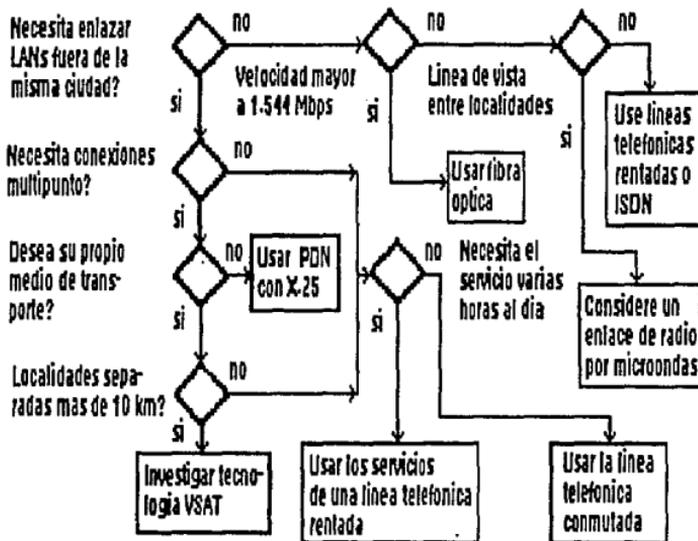


Figura 5.1 Cuadro de decisión sobre el medio de transmisión

El primer punto a considerar para la interconexión de redes es el medio de comunicación. Una posible opción es el enlace telefónico vía modem, pero cuando la carga de datos es alta y la distancia es grande, el costo de ésta clase de servicio es elevado y la eficiencia baja. Es por esto que surgen servicios especiales para satisfacer las necesidades particulares de cada usuario.

El diagrama que se muestra en la figura 5.1 está diseñado para ayudar a decidir la mejor alternativa del medio de comunicación, de acuerdo a las necesidades de cada usuario. Se puede apreciar que para conectar LAN's se puede elegir un sistema propio de radio de microondas de banda amplia, si éstas están dentro de la línea de vista una de la otra, es decir, si la curvatura de la Tierra o la orografía de la zona no impide la comunicación directa entre las dos redes. Mientras que el costo inicial del equipo físico puede ser elevado, se puede obtener la velocidad de una conexión T1/E1 (1.544 o 2.048 Mbps) sin un gran gasto adicional periódico.

Si se van a conectar LAN's dentro de una zona metropolitana, no existe una línea de vista entre ellas y su velocidad no es mayor de 1.544 Mbps, una línea rentada de la compañía telefónica será lo apropiado; también es recomendable contemplar la opción de ISDN. Una conexión local de fibra óptica (FDDI) es una buena solución cuando se tienen las mismas características, pero se cuenta con una velocidad mayor de 1.544 Mbps.

Si la conexión a realizar es entre LAN's fuera de la misma zona metropolitana, no se requiere de conexiones multipunto, y el enlace dura varias horas al día, una solución adecuada es rentar una línea dedicada de servicio (línea privada); en caso contrario, si el enlace dura pocas horas, la solución óptima es utilizar la línea telefónica. Ahora bien, si se requiere de conexiones multipunto y se desea tener un sistema propio de transporte, lo conveniente es utilizar una PDN con X.25.

Para organizaciones que tengan varias redes con grandes distancias (500 km) unas de otras, y requieran conexión multipunto además de contar con su propio servicio de transporte, la tecnología VSAT es la solución óptima.

La tecnología VSAT se caracteriza por la transmisión de datos y voz de baja densidad a través de grandes distancias, ofreciendo muchos beneficios y ventajas sobre las redes terrestres convencionales: costos bajos de operación, facilidad de instalación y mantenimiento, soporte para multiservicios, flexibilidad para enlazar localidades donde el costo de líneas rentadas es exorbitante, facilidad de crecimiento de la red (en cuanto a nodos), habilidad de proveer anchos de banda de comunicaciones punto a multipunto en un rango de velocidad de 9.6 kbps a 1.544 Mbps (portadora T1/E1) a un costo substancialmente bajo para adaptar las características de rendimiento de la red a las necesidades del tipo de tráfico de datos presente en la red.

Adicionalmente a la figura 5.1, se pueden tomar en cuenta las condiciones socioeconómicas, geográficas, los frecuentes fenómenos naturales que azotan a un país (temblores, terremotos, huracanes, etc.), y la infraestructura de comunicaciones con que se cuenta, para recomendar el uso de las comunicaciones por satélite. Cuando nos referimos a las condiciones socioeconómicas, hablamos de las grandes distancias (mayores a 500 km) que existen entre los principales centros de desarrollo económico e industrial. La condición geográfica que presenta un país es de carácter variado (selvático, desértico, montañoso, etc.),

impidiendo el establecimiento de un sistema de comunicaciones terrestres confiable. Debido a estas condiciones geográficas, existen zonas rurales que son inaccesibles a los medios de comunicación terrestres o no cuentan con un sistema de comunicaciones continuo. La República Mexicana presenta todas estas condiciones. Además, los sistemas de comunicaciones por satélite tienen la ventaja de ser más confiables, adaptarse a los requerimientos del usuario y presentar costos que se amortiguan a largo plazo. Debido a todo esto, y con fundamento en el Plan Nacional de Desarrollo, que señala como indispensable modernizar y elevar la eficiencia de las comunicaciones, el gobierno mexicano ha establecido un sistema doméstico de satélites (inicialmente el Sistema Morelos y posteriormente el Sistema Solidaridad) para satisfacer las necesidades requeridas por la nación.

Selección de los Dispositivos para la Interconexión de LAN's

La tecnología ha producido una gran variedad de herramientas (hardware y software) para lograr la integración de las redes. Estas incluyen repetidores, puentes, enrutadores y pasarelas. A continuación se dará una pequeña evaluación de las opciones disponibles para conectar LAN's, de tal manera que se pueda hacer la elección correcta para su enlace.

El diagrama de la figura 5.2 establece una guía para la selección de los dispositivos para la interconexión de redes, de acuerdo a las características de estas últimas.

Si el usuario necesita conexiones interactivas de tiempo completo, se recomienda el uso de un enrutador en el caso de no contar con la misma capa MAC, o bien, de contar con la misma capa MAC en ambos extremos y requerir enrutar las direcciones de la red. Por otra parte, se recomienda el empleo de un puente si ambas redes tienen la misma capa MAC y no es necesario enrutar las direcciones de la red.

Para redes que no requieren conexiones interactivas de tiempo completo, se tienen cuatro alternativas para interconectar las redes:

- El Sistema de Transferencia de Información de Área Amplia (WAITS), cuando únicamente existe un intercambio automático de archivos.
- Las Pasarelas, cuando no se presenta el intercambio automático de archivos en forma exclusiva, y además, sólo se intercambian archivos, mensajes y correo con todas las localidades integradas a la red.

- El Software BBS es una buena alternativa cuando se desea transferir archivos, correo, y mensajes, y no todas las localidades están integradas a la red.
- Los Servidores de Acceso, si no se presenta el intercambio automático de archivos, y no sólo se requiere el intercambio de archivos, correo y mensajes sino además usar aplicaciones y recursos de la red desde sitios remotos.

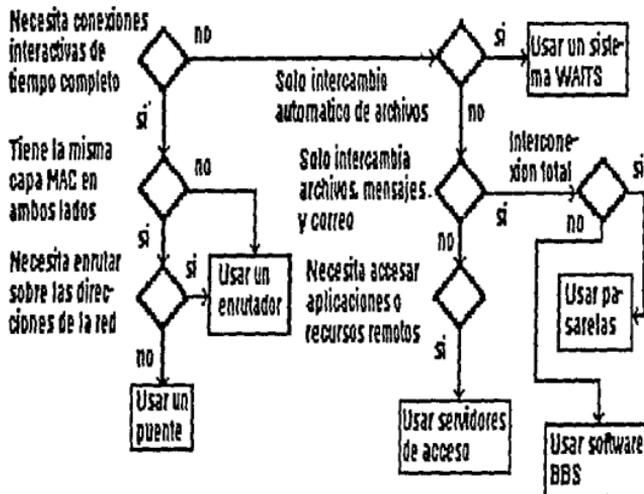


Figura 5.2 Cuadro de decisión sobre dispositivos

Los diferentes tipos de LAN's encaminan a la selección de tres categorías de operación de puentes:

De Paso Directo:

Cuando un puente entre dos redes, cuyas funciones de enlace de datos y direccionamiento son idénticos, puede pasar las tramas sin ningún cambio.

De Traducción:

Cuando un puente entre un par de redes, cuyas funciones de enlace de datos y direccionamiento son similares (pero no idénticos), puede traducir los protocolos de enlace de datos de tal manera que las estaciones se puedan comunicar entre éstas redes.

De Encapsulación:

Se utiliza para dos redes, cuyas funciones de enlace de datos y direccionamiento son muy diferentes, haciendo la traducción imposible; se encapsula la trama transmitida por la red A, en el formato de enlace de datos de la red B para que la trama pueda viajar por la red B. Por encapsulación se entiende que la trama completa de la red A es puesta dentro del campo de datos de la trama de la red B.

Es evidente que el paso directo es la opción correcta cuando se conectan dos LAN's idénticas. Cuando se conectan dos LAN's que usan diferentes formatos de enlace de datos, la traducción es la siguiente mejor opción porque permite a las estaciones en las dos LAN's comunicarse una con otra. Sin embargo, la traducción no siempre es posible en términos de costo. Algunos de los puntos que pueden hacer difícil la traducción son parámetros específicos de las LAN's, diferente orden de bit y byte, y diferentes estructuras de direccionamiento. Si la traducción no es factible, entonces puede emplearse la encapsulación.

Utilización de Software

Son bibliotecas de funciones para sintetizar las conversiones entre las diferentes interfaces de transporte; se clasifican de acuerdo a su tipo de abstracción o modelo básico de comunicaciones. Cada una de éstas interfaces es convertida de o hacia formas canónicas para su tipo de abstracción. Proveen suficientes convertidores de abstracción entre todas las formas canónicas. La conversión se realiza combinando algún número de conversiones elementales, las cuales se ejecutan en serie. También proporcionan remedios para otras fuentes de heterogeneidad tales como las diferencias en el nombramiento de los extremos del enlace o la administración del buffer; se adaptan a los diferentes transportes disponibles en tiempo de ejecución.

VSAT - Terminales de Apertura Muy Pequeña

El avance en la tecnología de transmisión por satélite ha llevado al desarrollo de estaciones terrenas de bajo costo y compactas llamadas terminales de apertura muy pequeña (VSAT). Los componentes asociados con una estación terrena VSAT son la antena, la cual es típicamente un reflector parabólico disponible en diámetros de 0.3 a 2.4 metros, y una unidad de radio frecuencia (RF) que suministra de 1 a 5 Watts de potencia, lo cual es todo lo que se requiere para soportar la comunicación arriba de 1.544 Mbps sobre la banda C o la banda Ku, las dos bandas más empleadas en las transmisiones con VSAT. Las VSAT se usan en una configuración de red estrella para proporcionar información directa a los usuarios. La estación terrena VSAT es enlazada vía satélite a la estación terrena maestra (hub) donde se realizan las funciones de enrutamiento y administración.

La combinación de una antena grande de la estación maestra y muchas antenas de apertura muy pequeña, proporcionan enlaces de transmisión eficientes, llevando a redes de alto rendimiento económico. Una red VSAT puede ser empleada como un canal de comunicación simplex para la difusión de audio, video o datos, o como un canal de comunicación full-duplex para llevar datos o voz en forma interactiva entre la estación maestra y las VSAT.

Los beneficios de las redes VSAT incluyen la cobertura de una amplia área geográfica, costos de operación más bajos que el de las estaciones terrestres, facilidad de instalación y mantenimiento en áreas remotas y un alto rendimiento independiente de la distancia. Una de las ventajas más significativas de éstas redes es la habilidad de enlazar muchas terminales situadas en localidades remotas bajo una sola red y de adaptar las características de desempeño de la red a las necesidades del tipo de tráfico de datos presente en la red.

Variedades de VSAT

Como se muestra en la tabla 5.1, existen diversas categorías de VSAT:

- VSAT - espectro extendido y no extendido,
- USAT - espectro extendido,
- TSAT - terminales de apertura pequeña T1,
- TVSAT - video, audio, y datos.

	VSAT	VSAT (ss)	USAT	TSAT	TVSAT
Banda de frec.	Ku	C	Ku	Ku/C	Ku/C
Diámetro de la antena	1.2 - 1.8	0.6 - 1.2	0.3 - 0.5	1.2 - 3.5	1.8 - 2.4
Velocidad de entrada (kbps)	56 - 512	9.6 - 32	56	56 - 1544	
Velocidad de salida (kbps)	16 - 128	1.2 - 9.6	2.4	56 - 1544	
Acceso múltiple de salida	ALOHA S-ALOHA R-ALOHA DA-TDMA.	CDMA	CDMA	PA	
Acceso múltiple de entrada	TDM	CDMA	CDMA	PA	PA
Técnicas de modulación	BPSK y QPSK	DS	FH y DS	QPSK	FM
Trabajos en conjunción	Con o Sin estación maestra	Con estación maestra	Con estación maestra	Sin estación maestra	Con estación maestra
Protocolos de soporte	SDLC, X.25, Asinc., BSC	SDLC, X.25	Propia		
Operación de la red	Compartido / Dedicado	Compartido / Dedicado	Compartido / Dedicado	Dedicado	Compartido / Dedicado

Tabla 5.1 Tipos de VSAT .

La variedad de espectro no extendido opera en la banda Ku empleando una técnica de modulación conocida como modulación por conmutación de fase (PSK) y emplea protocolos de acceso de banda ancha. La técnica de espectro extendido es empleado por las VSAT operando en la banda C.

Los sistemas VSAT se pueden clasificar en tres grupos:

- Sistemas unidireccionales

Los datos, y en algunos casos el video, son difundidos desde una estación transmisora a muchas terminales sólo receptoras, que no permiten protocolos interactivos. La combinación de éste sistema con redes terrestres, permite el control de flujo y de errores.

- Sistemas de datos interactivos

Comúnmente emplean una topología de estrella, en donde todos los intercambios de información tienen lugar entre las estaciones remotas y la estación maestra. Estos sistemas proporcionan transparencia a las aplicaciones de los usuarios, y conjuntos de interfaces avanzadas para conectar el equipo del usuario al sistema VSAT. En general, se puede decir que estos sistemas respetan el modelo OSI, tal como se muestra en la figura 5.3.

Los protocolos internos son propietarios y todos deben de proporcionar un conjunto de funciones similares:

- Procedimiento de acceso múltiple eficiente, que funcione tanto para los datos interactivos como la transferencia de archivos.
- Es necesario una identificación explícita de enlace, dado que el canal físico puede ser compartido por varios enlaces y deben de proporcionar procedimientos de control de flujo y error parecidos a los de X.25.
- Debe de cuidarse la carga del sistema, ya que puede afectar la eficiencia del mismo cuando ocurren colisiones.

- Sistemas de negocios orientados a circuitos

Proporcionan un cierto número de circuitos para la interconexión directa de diversos usuarios de acuerdo a la demanda. Desde el punto de vista del flujo de datos, el sistema es una malla, pero desde el punto de vista de control, el sistema puede ser visto como una estrella; estos sistemas pueden ser usados para interconectar varias PABX de una organización.



Figura 5.3 Estructura OSI de un sistema VSAT

Fuentes de Retardo

La transmisión entre el satélite y las estaciones terrenas toma algunos cientos de milisegundos, además del tiempo causado por los retardos de las siguientes fuentes:

- Establecimiento del circuito: se refiere al tiempo necesario para asignar una frecuencia del transpondedor al VSAT para poder transmitir y recibir.
- Conversión de protocolos: es el tiempo necesario para convertir los protocolos del DTE a los protocolos de enlace del satélite.
- Sondeo: es el tiempo gastado en esperar un turno para transmitir cuando están disponibles los datos.

- **Retransmisión:** es el tiempo que toma en detectar mensajes con errores y retransmitirlos correctamente.
- **Transmisión en serie:** es el tiempo necesario para transmitir un bit en una red síncrona.
- **Cola de espera:** ocurre como consecuencia de la capacidad de almacenamiento en algunas versiones de VSAT.

Protocolos de Red para los Sistemas VSAT

Son los que definen los procesos para el intercambio de información entre los VSAT y la estación maestra. La información puede ser dividida en dos partes: información para monitorear y controlar la red, e información de los usuarios. Las características de los protocolos están regidas por la naturaleza de la red, sus capacidades y las necesidades de servicio de los usuarios. Los servicios de comunicación se clasifican en dos categorías: servicios de circuito y servicios de paquete (servicios de datagrama y servicios orientados a conexión).

Los protocolos de acceso múltiple utilizados en los sistemas VSAT para compartir los canales del satélite entre varios usuarios son los siguientes:

- Acceso Múltiple por División de Código (CDMA),
- TDMA con reservación de paquetes,
- TDMA con asignación fija, y
- TDMA con acceso alatorio.

Características de VSAT

Las VSAT cuentan con las siguientes características:

- Servicios de datos de alta calidad y bajo costo.
- Velocidades desde 100 bps a 9.6 kbps o mayores.
- Servicios de datos semiduplex o duplex.

- Flexibilidad para los cambios y el crecimiento.
- Fácil instalación y puesta en operación.
- Facilidad en el mantenimiento del equipo.
- Estaciones remotas que usan antenas de 1.2 mts o 1.8 mts (para regiones con alto porcentaje de lluvia se emplean antenas de 2.4 mts).

Proporcionan los siguientes servicios generales:

- Comunicaciones punto a multipunto,
- Correo electrónico,
- Facsímil de alta velocidad,
- Reservaciones de líneas aéreas y hoteles,
- Servicios a bancos,

y los siguientes servicios especiales:

- Únicamente recepción de TV (TVRO) o datos,
- Recepción y transmisión de datos, voz y TVRO.

Los diseñadores de redes VSAT están tratando de mejorar la tecnología y la productividad de estos servicios para explotar el potencial total que proporciona ésta tecnología. Además de las aplicaciones mencionadas anteriormente se han desarrollado nuevas aplicaciones como las redes vía satélite de área amplia (SWAN).

Una red SWAN puede ser vista como una red de área amplia de alta velocidad capaz de interconectar redes LAN, proporcionando facilidad de acceso para ancho de banda variable. Esta es una red con una arquitectura muy flexible, realizada combinando las características únicas de los satélites en general y de la tecnología VSAT en particular. Algunas terminales VSAT de alta velocidad tienen la característica de asignar ancho de banda dinámicamente a usuarios dependiendo del tipo de tráfico. Además, el usuario puede tener la flexibilidad de escoger la topología de su red. La solución a interconexiones específicas, es lograda seleccionando la tecnología apropiada para tener los requisitos de velocidad, topología, etc. Una posible arquitectura de una red SWAN se muestra en la figura 5.4. En muchos casos las conexiones de estación remota a otra en una red de estrella pueden ser establecidas a través de la estación maestra (hub station).

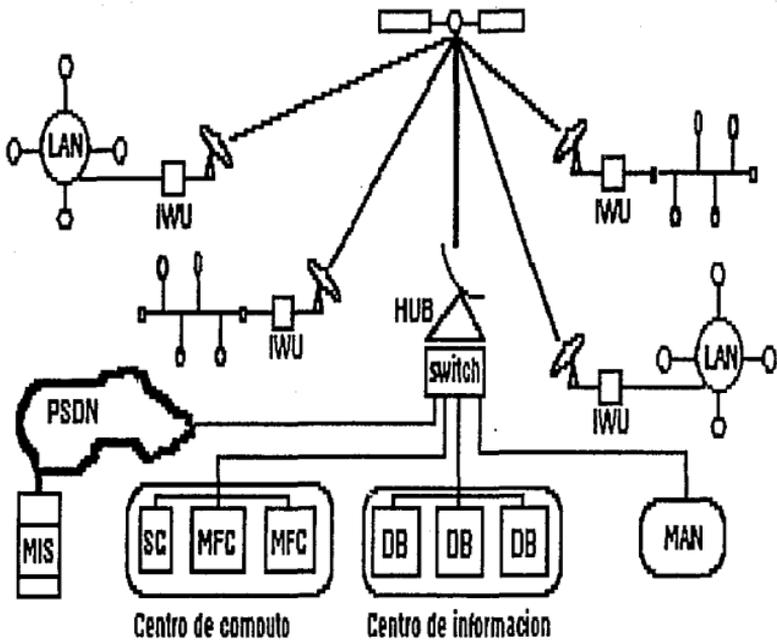


Figura 5.4 Arquitectura de una red SWAN

Especificaciones de las redes VSAT en México

En nuestro país existe una red VSAT diseñada como una red pública de transmisión de datos, bajo la modalidad de tiempo compartido, manejando la señales de datos mediante la técnica de conmutación de paquetes. El sistema consiste básicamente en la estación terrena maestra de Telecomm y un conmutador de paquetes de datos, que junto con las estaciones remotas de los diversos usuarios, ubicadas en cualquier lugar del país, configura una red tipo estrella.

Esta red funciona a través del Sistema de Satélites Morelos, con la antena maestra funcionando como coordinadora que enlaza las antenas remotas de los usuarios, y permite la comunicación entre ellos. La red requiere de:

- Una antena remota de acuerdo a las especificaciones del sistema de Telecomm.
- Un radiomodem de protocolo X.25.
- Cualquier computadora capaz de soportar los volúmenes de datos que se demanden.

Dentro del rango de mayor capacidad, el sistema está en condiciones de operar a velocidades de 64 kbps y con 4 puertos, cada uno con velocidades de hasta 19.2 kbps. En caso de utilizar un protocolo diferente al X.25 se cobrará un cargo adicional.

Interconexión de Redes de Area Local Diferentes

El programa de estandarización OSI fue concebido para proveer una solución unificada de interconexión e interoperabilidad entre los sistemas y redes desarrollados por diferentes proveedores. Este programa fue establecido por las organizaciones internacionales de diferentes agencias del mundo, por lo que se considera como un estándar internacional. Es apoyado por las empresas fabricantes europeas, el CCITT, IBM, DEC, etc. El modelo OSI ha tenido tanto éxito, que el gobierno de los Estados Unidos ha planeado cambiar de TCP/IP (el cual no es un estándar internacional) a OSI. De cualquier manera, el problema de interoperabilidad global no ha sido aún resuelto.

En las redes de computadoras, la heterogeneidad aparece en tres niveles básicos:

- El hardware y el software que forman los sistemas reales a ser interconectados.
- El medio físico y protocolos básicos de las subredes a las cuales los diferentes sistemas reales son conectados.
- Los protocolos de nivel superior usados para la comunicación a través de los sistemas reales.

Los estándares OSI proveen una solución para resolver y ocultar la heterogeneidad en las dos primeras capas; pero todavía ésta heterogeneidad no ha sido resuelta. En las

capas superiores, OSI no resuelve la heterogeneidad; se supone que los sistemas reales soportan los mismos servicios y protocolos. En particular, la interoperabilidad entre redes y sistemas empleando diferentes protocolos no-OSI en la capa de red y superiores, está más allá del alcance de OSI; éste problema aún necesita ser resuelto.

La heterogeneidad de los sistemas reales y subredes a ser interconectados se refleja en los estándares OSI en varias formas: en la manera en que los estándares OSI están especificados, en las funciones y mecanismos incluidos en los estándares OSI, y en los múltiples modos, clases y opciones en las capas individuales.

- Los sistemas reales pueden consistir tanto de hardware como de sistemas operativos muy diferentes. Debido a esto, los estándares OSI han sido especificados de tal manera que no limitan sus implementaciones en los sistemas reales.
- OSI debe definir medios para resolver las diferentes representaciones locales de tipos de datos y recursos (archivos). Tales medios son provistos en la capa de presentación de OSI y en elementos específicos de la capa de aplicación. Más aún, es necesario tener medios para enfrentarse con velocidades distintas en los sistemas abiertos de comunicación reales, y con las diferentes características de las subredes en el ambiente OSI global. Las funciones y mecanismos correspondientes son proporcionados por la subcapa DLC (Data Link Control), y las capas de red y transporte.
- Los estándares OSI deben ser capaces de soportar una gran variedad de aplicaciones con requerimientos funcionales y de desempeño muy diferentes. La amplia variedad de opciones en la capa de sesión y un gran número de estándares en la capa de aplicación, satisfacen a los requerimientos funcionales distintos; las capas inferiores deben asegurar el desempeño requerido.

Cada uno de estos aspectos tiene consecuencias importantes para los implementadores de OSI; en algunos casos, selecciones de diseño inapropiadas pueden repercutir en la interoperabilidad de diferentes implementaciones.

La heterogeneidad de los sistemas reales y redes ha causado no sólo la inclusión de mecanismos apropiados dentro de los estándares OSI, sino también el surgimiento de diferentes tipos de servicios y protocolos para una sola capa. Los ejemplos más conocidos de éste problema son sin duda las capas de red y transporte. En el estándar de la capa de transporte se han definido cinco clases diferentes de protocolos para adaptar redes con diferentes grados de confiabilidad; la capa de red puede proporcionar tanto servicio sin-conexión (CLNS) como servicio orientado a conexión (CONS).

Para lograr la interoperabilidad, todos los sistemas abiertos reales deben soportar por lo menos un subconjunto común de servicios y protocolos. Este requerimiento dio origen a diferentes grupos de usuarios y fabricantes, los cuales negociaron acuerdos mutuos dentro del ámbito definido por los estándares OSI; estos acuerdos son llamados "estándares funcionales". Pero aún estos acuerdos permiten divergencias.

La existencia de dominios de red soportando diferentes servicios y protocolos de comunicación (no-OSI) agrega otra dimensión al problema de la heterogeneidad. No puede esperarse que OSI reemplace todas las arquitecturas de comunicación existentes. Por lo tanto es necesario encontrar una solución para conectar dominios OSI y no-OSI, de tal manera que aplicaciones distribuidas puedan ser definidas sin tener que preocuparse por el protocolo de comunicación local.

El servicio de transporte de OSI puede ser proporcionado por varias combinaciones diferentes de una de las cinco clases de protocolos de transporte especificados por el estándar y uno de los dos modos de servicio de la capa de red (CONS o CLNS). La versión 1984 del protocolo de nivel de paquetes X.25 (PLP X.25) proporciona el CONS de OSI. El CLNS de OSI es proporcionado por un protocolo de red sin conexión (CLNP).

Actualmente existen dos combinaciones incompatibles de estándares de las capas de red y transporte:

- 1) Protocolo de transporte clase 4 sobre servicio de red en modo no-conexión (TP4/CLNS).
- 2) Protocolo de transporte clases 0 o 2 sobre servicio de red en modo conexión (TP0-2/CONS).

Veamos ahora como diferentes LAN's pueden ser interconectadas por medio de una red X.25, en una forma que permita la interoperabilidad global de las LAN's. El CLNP de una LAN (que provee un CLNS) espera un servicio sin conexión desde la otra LAN. En las LAN's, tal servicio es proporcionado por la combinación del MAC particular, además del servicio y el protocolo de tipo 1 del LLC. El CLNP de la LAN puede ser extendido sobre una red X.25 proporcionando a la unidad de interconexión (IWU), que conecta la LAN a la red X.25, con una SNDCF (Subnetwork Dependent Convergence Function) apropiada (figura 5.5). Para proporcionar el servicio requerido sin conexión al CLNP, ésta función debe manejar el circuito virtual X.25 en una forma transparente.

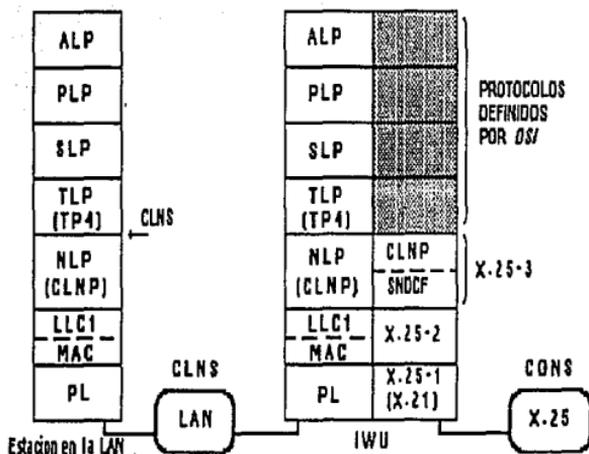


Figura 5.5 Interconexión de una LAN y un ambiente OSI

Se considera a las LAN's como dominios privados (no OSI). Cuando los dominios privados emplean protocolos diferentes en sus diversas capas, el IWU debe ser una pasarela. La pasarela se discutirá con mayor detalle posteriormente.

El propósito del servicio de transporte OSI es proporcionar transporte confiable para la transferencia de datos entre sistemas extremos. Tiene que trabajar eficientemente en los diferentes ambientes de red. También debe proporcionar un nivel óptimo de servicio en situaciones donde el transmisor y el receptor operan a diferentes velocidades, lo cual puede ser un resultado de las diferentes capacidades de procesamiento. La operación confiable y eficiente bajo diferentes condiciones son llevadas a cabo con la ayuda de mecanismos de control de errores y de flujo en las capas de enlace de datos, de red, y de transporte. Debido a que las redes no orientadas a conexión no garantizan la entrega confiable de datos y no pueden controlar el flujo de datos de extremo a extremo, el mecanismo necesario debe ser puesto en el protocolo de transporte, como es el caso para TP4.

La disponibilidad del TP4 junto con una IWU que convierta CLNS a CONS asegurará una verdadera interoperabilidad a nivel de la capa de transporte. Sin embargo, la operación de TP4 sobre redes complejas sin conexión presenta algunas dificultades referentes a la transferencia eficiente de datos por conexiones individuales.

Cuando una red X.25 es empleada para interconectar múltiples LAN's que proporcionan servicios no orientados a conexión, el TP4 debe de ser empleado para asegurar un servicio de transporte confiable. Pero aún cuando todos los sistemas utilicen las mismas funciones estándar de red y de transporte, los problemas de interoperabilidad pueden presentarse debido a selecciones de implementación incompatibles hechas en los diferentes sistemas.

Las cuestiones principales que tienen que ser resueltas en la implementación del servicio de red no orientado a conexión, es la elección del formato de dirección de la red y del esquema de enrutamiento. Además, es necesario idear una administración adecuada de los circuitos virtuales X.25.

El papel de la interconexión de el servicio X.25 puede ser transparente o reflejado en el esquema de direccionamiento; en el primer caso los circuitos virtuales X.25 entre dominios remotos son considerados como privados. La selección del formato de dirección no depende de ninguna autoridad pública. Sin embargo, los IWU's conectados a una red X.25 deben mapear las direcciones remotas (o la parte que identifica al dominio) a la dirección apropiada (número de suscriptor). En el segundo caso, la alternativa es explotar las redes X.25 como un servicio de red global, interconectando un número arbitrario de suscriptores, donde cada suscriptor puede ser tanto una red privada o un sistema final.

Si una red consiste de solamente unas cuantas subredes, un esquema de direccionamiento jerárquico global puede ser suficiente para proporcionar una tabla de enrutamiento de subred estática en cada sistema. Para cada subred X para la cual un sistema no tenga una dirección directa, la tabla de enrutamiento local indica la dirección de conexión a la subred del IWU en una de las subredes conectadas directamente sobre la cual puede alcanzarse a la subred X. Un paquete de red destinado a un dominio remoto eventualmente alcanzará al IWU que conecta al dominio local con la red X.25, el cual se encargará de enrutar ese paquete al punto de conexión del dominio destino.

El SNDCF necesario para soportar CLNP sobre subredes X.25, realiza esencialmente la administración de los circuitos virtuales X.25. Cada vez que un paquete es enviado por la subred X.25, puede ser empleada una conexión existente hacia el destino requerido o debe ser establecida una nueva conexión. Después de la transmisión de un paquete, la conexión empleada no es liberada inmediatamente, por lo que se mantiene disponible para posible tráfico subsecuente. Sin embargo, ésta no debe ser mantenida indefinidamente. Por lo tanto, un contador de tiempo es asociado con cada conexión. El contador de tiempo es reestablecido en cada transmisión de paquetes. Cuando expira, se asume que la conexión no es larga, y por lo tanto puede ser liberada.

Ahora bien, para poder diseñar la pasarela, la cual se encarga de interconectar dominios no OSI por medio de un dominio OSI, hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

Existen dos importantes categorías de dominios no OSI:

- 1) En redes de área local, protocolos no estándares "de poco peso" son a menudo empleados para minimizar los retardos en el interproceso de comunicación entre las estaciones de un sistema distribuido.
- 2) Existen diversas arquitecturas estables proporcionando funcionalidad comparable con la ofrecida por OSI. La interoperabilidad con tales arquitecturas es deseable, pero no existen disposiciones en OSI para soportarlo.

Las funciones proporcionadas en las dos primeras capas del modelo OSI han sido estandarizadas, y la mayoría de las redes LAN utilizan uno de los tres estándares para LAN de IEEE. Estas dos capas se encuentran contenidas en la tarjeta de comunicaciones; las más comerciales se muestran en la tabla 5.2. Arriba de la capa de enlace de datos, se ha desarrollado cierta compatibilidad de funciones. Sin embargo, no se ha alcanzado el mismo nivel de estandarización que en las capas física y de enlace de datos.

Los productos LAN pueden ser, y han sido, implementados usando productos que proporcionan funciones solamente en las dos primeras capas. Sin embargo, para alcanzar los beneficios completos de enlazar varias LAN's debe de contarse con funciones adicionales a las proporcionadas por las tarjetas de comunicaciones. Estas funciones, relacionadas con las capas de red y superiores, son proporcionadas por lo que se conoce como Sistema Operativo de Red.

El Sistema Operativo de Red (NOS) normalmente se implementa como software que se ejecuta en los dispositivos conectados a la red. Algunos cuentan con múltiples versiones que soportan diferentes arquitecturas; por ejemplo, una versión puede soportar Ethernet y otra Token-Ring. En la figura 5.6 se presentan las arquitecturas de algunos sistemas operativos de red.

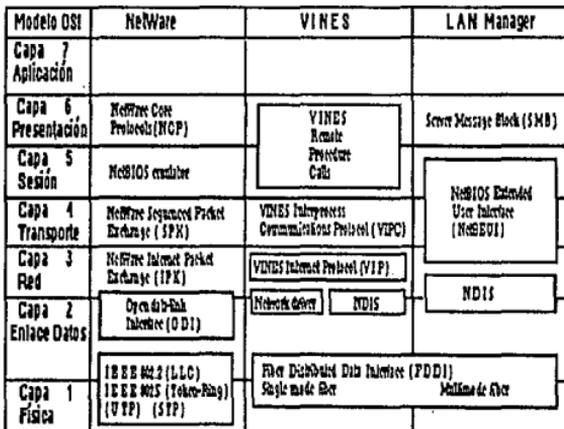
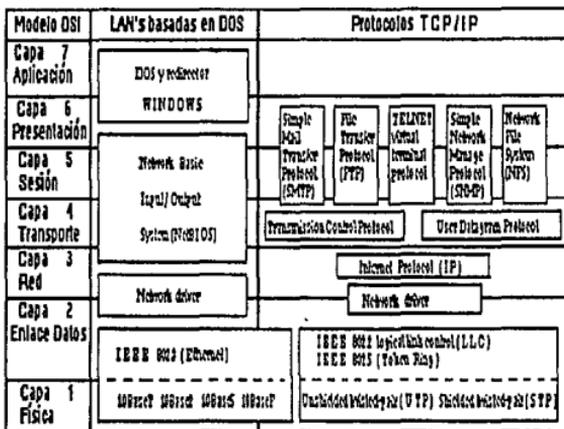


Figura 5.6 Arquitecturas de algunos NOS

Caract	Prov.	Protocolo	Topología	Velocidad	Soporte de carga	Tipo de cable	Softw.
G-Net	Gateway Communications	CSMA /CD	Bus	1.43 Mbps	Para redes de poco tráfico, 10 usuarios máximo	Coaxial	Netware de Novell 86 y 286
Pro-net	Proteon I.N.C.	Token-Passing	Anillo modificado	10 Mbps	Para redes de más de 20 usuarios y grandes distancias	Par trenzado	Netware de Novell 86 y quizá 286
Arcnet	Standar microsistem	Token-Passing	Anillo modificado	2.5 Mbps	Para redes con 40 usuarios máximo	Coaxial	Netware de Novell 86 y 286
Micro-net	Micron	Token-Passing y Polco	Bus, token bus y anillo modificado	2.5 Mbps	Para redes de hasta 128 usuarios máximo y fuertes cargas de trabajo	Coaxial	PC-Network, IBM, MS-NET y Netware de Novell
Onmi-net	Corvus	CSMA /CD	Bus	1 Mbps	Para redes de hasta 640 usuarios máximo y fuertes cargas de trabajo	Par trenzado	Netware de Novell 86 y 286 y Constellation

XNET	Digital Data	CSMA /CD	Bus	2.5 Mbps	Para redes de 255 usuarios máximo y poco tráfico	Coaxial	PC-Network e IBM
CDM	Control Data	CSMA /CD y Polco	Bus y estrella	2.5 Mbps	Para redes de 224 usuarios máximo y poco tráfico	Coaxial	PC-Network, IBM, Clerk y Netware de Novell
PM	Mexcl	Polco	Estrella	0.8 Mbps	Para redes de hasta 16 usuarios máximo y carga regular de trabajo	Coaxial	Netware de Novell 86 y 286
NAU	AT&T	CSMA /CD	Estrella	1 Mbps	Para redes de hasta 110 usuarios máximo y fuertes cargas de trabajo	Par trenzado	Netware de Novell 86 y 286 y Starlan AT&T
Ether-net		Token-Passing	Anillo modificado	10 Mbps	Para redes con más de 20 usuarios y tráfico regular	Par trenzado	Netware de Novell 86 y 286

Tabla 5.2 Tarjetas de interfase de red

Se requiere conectar una LAN a un ambiente OSI, empleando su propio protocolo de comunicación interproceso (IPC) no OSI. Una LAN puede ser vista desde un ambiente OSI como un sistema extremo. Por supuesto, las estaciones LAN deberán incluir soporte

adicional para los protocolos necesarios de las capas superiores OSI (sesión, presentación, y aplicación). En una pasarela real, el servicio de transporte de la LAN es mapeada hacia el servicio de transporte extremo (OSI) y viceversa.

La facilidad IPC del sistema distribuido es empleada por las estaciones LAN para importar las primitivas de servicio OSI a través de una pasarela. Esta pasarela implementa todos los protocolos necesarios para soportar el nivel de servicio seleccionado y exportarlos hacia la LAN por medio de la facilidad IPC. Un ejemplo de su empleo en la capa de transporte es el servidor TCP desarrollado por el kernel del sistema distribuido V.

Retomemos la segunda categoría de dominios no OSI: aquellos que emplean arquitecturas de comunicaciones no OSI. De primera instancia, la conexión de tal dominio no OSI a un OSI puede parecer similar al caso de un sistema extremo distribuido: el dominio OSI podrá tratar otros dominios como sistemas extremos distribuidos cuyos protocolos internos no le son de interés. Sin embargo, observando más de cerca a las LAN's basadas en sistemas distribuidos empleando protocolos especiales IPC, vemos que la comunicación desde una estación LAN con un sistema abierto unido a una red externa es diferente del punto de vista de las comunicaciones entre las estaciones en la misma LAN: el segundo no requiere esencialmente mecanismos más allá de las facilidades básicas de IPC, mientras que el primero demanda que cada estación LAN soporte las primitivas de servicio necesarias o posiblemente también los protocolos fundamentales de OSI. En contraste, cuando conectamos un dominio OSI a un dominio no OSI soportando una arquitectura establecida funcionalmente comparable a OSI, la solución buscada es proporcionar una pasarela que mapee los servicios de las capas superiores de OSI y no OSI (o los protocolos fundamentales) de uno hacia el otro, de tal manera que no sea necesario soportar ambas arquitecturas en cada sistema no OSI.

El problema de la interoperabilidad entre las arquitecturas OSI y no OSI puede ser dividida en dos subproblemas:

- 1) Proporcionar un servicio de transporte de datos de extremo a extremo confiable, y
- 2) Cooperación a nivel de aplicación.

El primero no es el nivel de servicio definido por la capa de transporte de OSI. Es deseable dirigirse a la capa superior de servicio, común a todas las aplicaciones de interés de manera que exista una correcta equivalencia con la otra arquitectura. El servicio de transporte de OSI, que proporciona la transferencia de datos sin ninguna sincronización y diálogo de control, es el más bajo de tales servicios.

A continuación, se enfocará en el abastecimiento de tal servicio de transferencia de datos, sin ser específicos acerca de cuales funciones pueden ser proporcionados más allá de

la transferencia de datos. Las pasarelas que soporten tales servicios deberán al menos cumplir con las dos siguientes funciones básicas: conversión de protocolos y direccionamiento interdominio.

A) Conversión de Protocolos

Métodos

La conversión necesaria para lograr el servicio de extremo a extremo a través de la capa M de la arquitectura A y la capa N de la arquitectura B puede ser realizada de dos maneras diferentes.

- Mapeo de la interfase de servicio: La conversión se realiza entre las primitivas funcionalmente compatibles (o secuencias de primitivas) ofrecidas por el servicio de la capa (M) de la arquitectura A y el servicio de la capa (N) de la arquitectura B.
- Mapeo del flujo de protocolo: La conversión se realiza en la capa de las unidades de datos de protocolos (PDU's) individuales (o secuencia de PDU's) del protocolo de la capa (M) de la arquitectura A y el protocolo de la capa (N) de la arquitectura B.

El mapeo del flujo de protocolo trata de lograr la concordancia de extremo a extremo en el nivel de las funciones de los protocolos internos. En el caso del mapeo de la interfase de servicio, la pasarela actúa como un nodo extremo para el protocolo respectivo (y protocolos de nivel inferior) en cada lado; la concordancia de extremo a extremo es proporcionada sólo en el nivel de las primitivas de servicio.

El mapeo de la interfase de servicio en general es más simple de realizar considerándose como la mejor solución. Primero, las interfases de servicios comparables en diferentes arquitecturas son a menudo proporcionadas por protocolos muy diferentes (por ejemplo, usando diferentes mecanismos de control de flujo); el mapeo del flujo de protocolo es realizable sólo cuando los protocolos a ser mapeados son muy similares o pueden ser hechos similares por la imposición de ciertas restricciones en sus implementaciones. Segundo, puede ser posible rehusar implementaciones de servicios existentes esencialmente como "cajas negras" sin importar o modificar su estructura interna. Por otra parte, el mapeo del flujo de protocolo causará menos sobrecarga que el mapeo de la interfase de servicio. Las interfases de los servicios diseñados para uso general, como puede ser el caso cuando subsistemas de comunicación existentes son empleados como constructores de bloques de la pasarela, tratan de agregar cantidades no negligibles de procesamiento a aquel desarrollado por la entidad de protocolo puro. El segundo problema es el retardo

encontrado cuando una secuencia de PDU's (por ejemplo, conteniendo segmentos de datos de los usuarios) deben ser procesados por el lado receptor antes que la información contenida pueda ser pasada a través de la interfase del servicio al mapeador. Cuando el mapeo es realizado abajo de la interfase de servicio, es posible mapear y transmitir la mayoría de los PDU's en una base individual.

Aplicabilidad de los métodos

En el esquema que se quiere interconectar, el mapeo de protocolos es difícilmente posible, dadas las amplias diferencias entre los protocolos OSI y los protocolos IPC de LAN's de propósitos especiales. Por lo tanto, se empleará el mapeo de la interfase de servicio o exportación de la interfase de servicio, como se describió anteriormente.

La conversión de protocolos es también requerida para interconectar dominios OSI soportando diferentes clases de protocolos de transporte, y específicamente, las combinaciones TP4/CLNS y TP0-2/CONS. Aquí, el mapeo de la interfase del servicio es apropiada debido a que las interfaces de los servicios son esencialmente el mismo, mientras los protocolos difieren significativamente.

B) Direccionamiento interdominio

Las funciones de direccionamiento interdominio permiten la comunicación entre las entidades de un dominio con otro dominio a través de una o más pasarelas. A menos que los diferentes dominios usen el mismo esquema global de direccionamiento, la interconexión por pasarelas es requerida para realizar la conversión de direcciones para permitir el direccionamiento de extremo a extremo.

Métodos

Existen tres métodos básicos de conversión de dirección:

- Estructura de dirección extendida,
- Encapsulamiento de dirección, y
- Mapeo de direcciones.

El primer método consiste de agregar algún tipo de identificador de direccionamiento de dominio, a direccionamientos existentes en cada uno de los dominios interconectados. Este identificador es empleado después para el enrutamiento interdominio, mientras las

direcciones originales son empleadas para el enrutamiento dentro de cada dominio. El inconveniente de ésta propuesta es que típicamente requiere modificaciones a los protocolos y formatos originales para resolver las direcciones extendidas y permitir el enrutamiento interdominio. En otras palabras, realmente no soluciona la heterogeneidad, pero se sobrepone a ésta imponiendo un esquema de direccionamiento global.

En los otros dos métodos, la heterogeneidad es resuelta con el inconveniente de colocar el peso de procesamiento del enrutamiento interdominio en los nodos extremos; deberán direccionar su tráfico directamente a las pasarelas apropiadas para que sean enrutadas hacia otros dominios. Ambos métodos están basados en la suposición de que las direcciones están internamente estructuradas al menos en dos campos jerárquicos. Nótese que, dentro de cada interred, los mecanismos de conversión de direcciones adoptados por una subred son independientes de los adoptados por otras subredes, aún cuando estén en el límite inmediato, de manera que una pasarela interdominio dada, puede realizar el encapsulamiento de direcciones en una dirección y el mapeo de direcciones en el otro.

De lo anterior, la pasarela a diseñar debe realizar la conversión o traducción de los protocolos OSI y no-OSI por medio del mapeo de las interfaces de servicio, y emplear para el direccionamiento interdominio ya sea el método de encapsulación de direcciones o el mapeo de direcciones. Los protocolos OSI a traducir se muestran en la tabla 5.3.

Capa	Norma	Descripción
Aplicación	ISO 8572	Protocolo de Acceso, Administración y Transferencia de Archivos.
	ISO 9041	Protocolo de Terminal Virtual.
Presentación	ISO 8823	Protocolo de Presentación orientado a conexión.
Sesión	ISO 8327	Protocolo de Sesión orientado a conexión.
Transporte	ISO 8073	Protocolo de Transporte orientado a conexión.

Tabla 5.3 Protocolos OSI orientados a conexión

Por lo tanto, la pasarela contendrá las capas que se muestran en la figura 5.7.

Para enlazar la pasarela a la red satelital (red X.25), se requiere de otra unidad de interconexión (IWU). Debido a que a la salida de la pasarela se obtiene un CONS, y la función de la capa 3 del X.25 es la de establecer conexiones mediante una llamada virtual y circuitos virtuales permanentes (es decir, un CONS), resulta innecesario incluir la capa de red en el IWU.

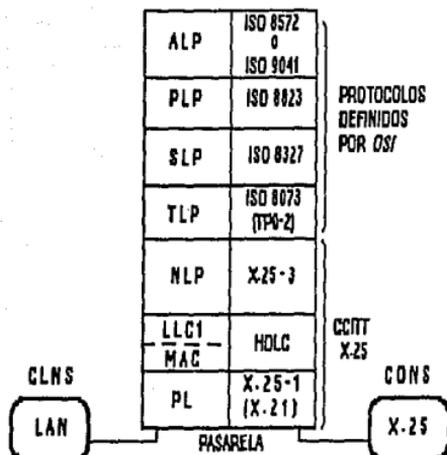


Figura 5.7 Diseño final de la pasarela

El X.25-2 se asegura que se lleve a cabo una comunicación confiable entre ambos extremos, aunque el medio de comunicación presente mucho ruido. Por lo tanto, el IWU deberá contener hasta ésta capa; al IWU de dos capas se le conoce como puente, por lo que llamaremos a nuestro dispositivo "puente en el VSAT".

El "puente en el VSAT" estará constituido como se muestra en la figura 5.8, y las funciones que debe realizar cada una de las capas se explica a continuación.

El X.25-1 está relacionado con la interfase eléctrica, mecánica y funcional entre ambos extremos, aunque en realidad no define estos aspectos, sino que hace referencia a las normas X.21 y X.21 bis, las cuales definen a las interfases digital y analógica respectivamente.

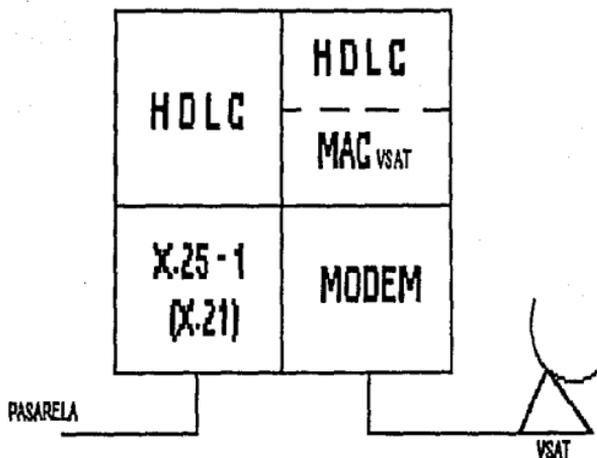


Figura 5.8 Interconexión entre la pasarela y el VSAT

La transferencia de información libre de errores para el envío y recepción de paquetes de información entre el nodo de la red y el DTE es la función de la capa dos. Los procedimientos ahí establecidos se basan en el protocolo de línea HDLC. HDLC es un protocolo orientado a bit, el cual ha obtenido un amplio uso en todo el mundo. Este estándar proporciona muchas funciones y cubre un amplio rango de aplicaciones. Aunque HDLC no establece el tamaño del paquete, recordemos que éste se forma en la capa de red, donde X.25 establece el tamaño máximo del paquete de 4,096 bytes. Este protocolo se realiza en base al intercambio de tres clases diferentes de tramas (ver la figura 5.9):

1. Tramas de Información. Utilizadas para la transferencia de paquetes de información entre el usuario y la red de datos; se transmite en el campo de información de la trama. Estas llevan datos y están numeradas.
2. Trama de Supervisión. Cuya función es controlar y supervisar el flujo de la información y reportar al extremo contrario del circuito, errores en las tramas recibidas, así como la recuperación de datos en caso de pérdida.
3. Tramas no numeradas. Llamadas así por que no cuentan con una numeración secuencial para identificarlas. Su función es la de inicializar el enlace,

desconectar lógicamente la estación y rechazar comandos inválidos así como un reporte del estado del procedimiento. Estas no llevan datos.

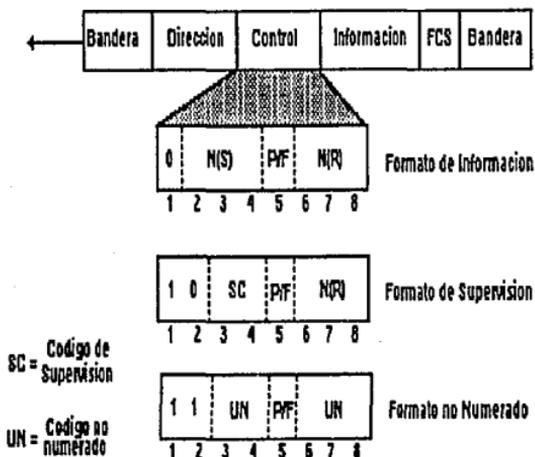


Figura 5.9 Formatos del campo de control para HDLC

Para una comunicación por satélite se recomienda utilizar HDLC en la forma de secuencia extendida; esto es empleado para poner el campo de control del tamaño de 2 bytes, permitiendo que el número de secuencia de envío y de recepción sea de 7 bits de longitud, por lo que se incrementa la ventana a un rango de 1 a 127 tramas (normalmente de 1 a 7 tramas).

Para utilizar HDLC en una comunicación por satélite se debe modificar el campo de dirección de la trama, pues se requiere saber quién envía y quién recibe. En el HDLC normal sólo se indica en el campo de dirección quién envía, por eso hay que modificarlo. Tal es el caso del protocolo AX.25 (basado en el protocolo X.25) el cual en su campo de dirección de cada paquete contiene una lista de claves de llamada que especifican las estaciones que van a almacenar y reexpedir los paquetes, así como el orden en el que lo harán; por lo que el originador deberá seleccionar la trayectoria correcta.

En la tabla 5.4 se muestran los comandos y respuestas del protocolo HDLC, así como la secuencia de bits que debe contener el campo de control.

Formato	Codigo de Bits del Campo de Control								Comandos	Respuestas
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Informacion	0	-	N(S)	-	=	-	N(R)	-	I	I
Supervision	1	0	0	0	=	-	N(R)	-	RR	RR
	1	0	0	1	=	-	N(R)	-	REJ	REJ
	1	0	1	0	=	-	N(R)	-	RNR	RNR
	1	0	1	1	=	-	N(R)	-	SREJ	SREJ
No Numerado	1	1	0	0	=	0	0	0	UI	UI
	1	1	0	0	=	0	0	1	SNRM	
	1	1	0	0	=	0	1	0	DISC	RD
	1	1	0	0	=	1	0	0	UP	
	1	1	0	0	=	1	1	0		UA
	1	1	0	1	=	0	0	0	NR0	NR0
	1	1	0	1	=	0	0	1	NR1	NR1
	1	1	0	1	=	0	1	0	NR2	NR2
	1	1	0	1	=	0	1	1	NR3	NR3
	1	1	1	0	=	0	0	0	SIM	RUM
	1	1	1	0	=	0	0	1		FRMR
	1	1	1	1	=	0	0	0	SARM	DM
	1	1	1	1	=	0	0	1	RSET	
	1	1	1	1	=	0	1	0	SARME	

LEYENDA:

I	INFORMACION	NR0	0 NO RESERVADO
RR	RECEPTOR LISTO	NR1	1 NO RESERVADO
REJ	RECHAZADO	NR2	2 NO RESERVADO
RNR	RECEPTOR NO LISTO	NR3	3 NO RESERVADO
SREJ	RECHAZO SELECTIVO	SIM	ESTAB. MODO INICIALIZACION
UI	INFORMACION NO NUMERADA	RUM	PETIC. MODO INICIALIZACION
DISC	DESCONECTAR	FRMR	RECHAZO DE TRAMA
RD	PETICION DE DESCONEXION	SARM	ESTAB. MODO RESP. ASINCR.
UP	SONDEO NO NUMERADO	SARME	ESTAB. DE ARM EXTENDIDO
RSET	REINICIALIZAR	SNRM	ESTAB. MODO RESP. NORMAL
DM	MODO DESCONECTADO	=	EL BIT PIF

Tabla 5.4 Código de bits para el campo de control de HDLC

Con HDLC se puede operar en cada una de las siguientes formas simplemente con los comandos de control:

- Modo Balanceado. Puede realizarse una comunicación de punto a punto o de igual a igual (full duplex).
- Modo no Balanceado. Puede realizarse una comunicación de un punto (primario) a varios puntos (secundarios). Adicionalmente existe un campo de control para difundir una información de un punto (primario) a todos los demás puntos (secundarios) de la red; éste es un esquema de difusión.

HDLC es frecuentemente empleado como una base para otros protocolos que usan opciones específicas en el repertorio de HDLC; tal es el caso de LAP (Link Access Procedure). LAP está basado en la orden de Establecimiento del Modo de Respuesta Asíncrono (SARM) de HDLC en una configuración desbalanceada, y es empleado para soportar algunos enlaces de redes X.25. El Establecimiento del Modo de Respuesta Asíncrono (SARM), requiere que la estación primaria envíe los comandos respectivos (para instalar los procedimientos de establecimiento, desconexión y reinicio del enlace) a las secundarias y que las secundarias respondan a dichos comandos; además, permite a una estación secundaria transmitir sin un sondeo de la estación primaria.

El IWU debe contar con un Control de Acceso al Medio (MAC) adecuado para el satélite, que por definición debe estar contenida en la capa 2. La técnica de acceso al satélite que emplearemos es el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA); más adelante se explicará el motivo de emplear ésta técnica.

Debido a que se emplea un sistema TDMA, el esquema debe de contar con módulos de almacenamiento de información digital, que funcionan como memorias de amortiguamiento y que van liberando la información por paquetes en cada ráfaga, debido a que las VSAT transmiten en forma de ráfaga a intervalos con duración de una pequeña fracción de segundo. Estos módulos de almacenamiento digital deben estar entre la subcapa MAC del "puente en el VSAT" y el modem.

Ahora bien, todo el manejo de la información se ha hecho en forma digital por lo se necesita un dispositivo que acepte como entrada los flujos de bits, y al mismo tiempo combine la información con una señal portadora a la salida (o viceversa), modificando el ancho de banda y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico. Este dispositivo es conocido como modem (modem de ráfaga) y debe ser colocado en la primera capa del IWU. Aunque el modem coloca a la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor de frecuencias de subida.

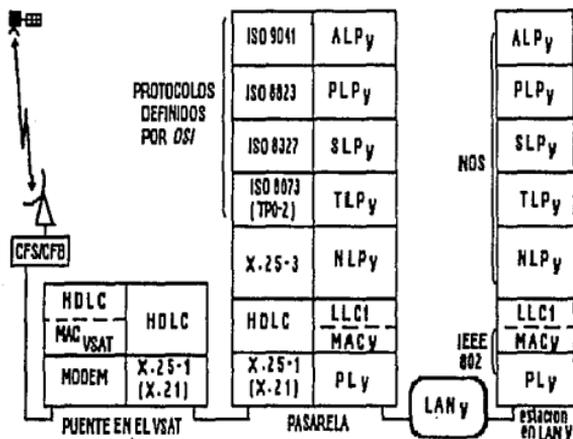
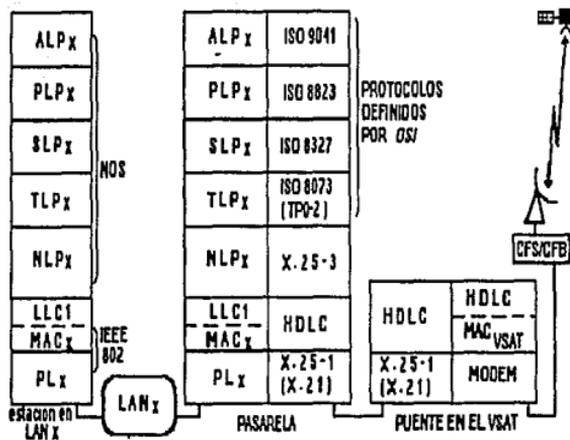


Figura 5.10 Esquema general de interconexión

El Convertidor de Frecuencias de Subida (CFS) transfiere la señal FI a una posición dentro del espectro radioeléctrico (en el orden de gigahertz), a una frecuencia apropiada para poder ser radiada hacia el satélite. Para la recepción de la información proveniente del satélite, además de este equipo, se debe contar con un Convertidor de Frecuencias de Bajada (CFB); este dispositivo traslada la señal recibida a una región más baja en el espectro radioeléctrico, de manera que pueda ser procesada por el modem.

Adicionalmente al equipo anterior, el "puente en el VSAT" requiere de un Sistema de Control cuya función primordial es sensar el momento en que la VSAT tiene acceso al transpondedor del satélite, y entonces habilita tanto al modem como a los módulos de almacenamiento para la transmisión/recepción de datos.

Con base en los diseños de la pasarela y el "puente en el VSAT", el esquema general de interconexión de LAN's diferentes es el de la figura 5.10.

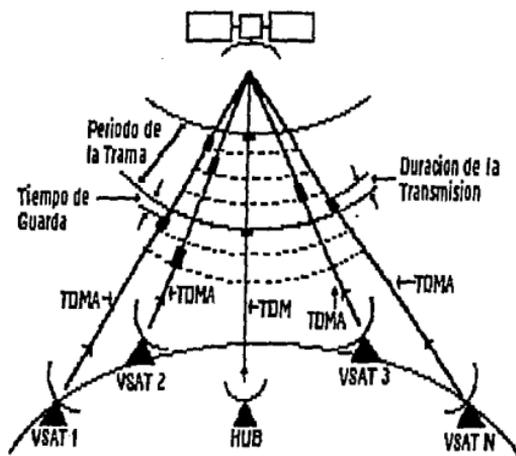


Figura 5.11 Modelo de subida de la red VSAT

Luego de haber diseñado los dispositivos para la interconexión de LAN's diferentes, lo único que queda es diseñar el formato de las tramas en el enlace por satélite.

Diseño del Formato de las Tramas en el Enlace por Satélite

El concepto básico de subida de la red VSAT se ilustra en la figura 5.11, donde muchas terminales dispersas intentan enviar datos en forma de paquetes al transpondedor del satélite a través de un Acceso Múltiple por División de Tiempo con Asignación Fija (FA/TDMA). La estación maestra envía una señal de inicio de las tramas TDMA vía un canal Multiplexado por División de Tiempo (TDM).

La trama TDM de la estación maestra consta de un patrón de sincronización, y es difundida hacia todas las terminales de la red. Este patrón de sincronización proporciona el inicio de las tramas TDMA, sincronizando de ésta manera a las estaciones remotas.

El canal TDMA puede ser un canal ALOHA ranurado, el cual es compartido por todas las estaciones. El tiempo en el canal TDMA es dividido en una serie de tramas y ranuras contiguas. Cada trama está compuesta de un número N de ranuras (ver figura 5.12). Las estaciones sólo pueden transmitir paquetes dentro de las ranuras y un paquete nunca puede atravesar los límites de una ranura. El tamaño de un paquete puede variar, pero nunca debe ser mayor que el tamaño de una ranura. Los paquetes son transmitidos como ráfagas. La misma trama de HDLC puede ser utilizada en gran parte como la información a recibir. La transmisión comienza en el inicio de una ranura y es completada antes del final de esa ranura. El tamaño de una ranura y el número de ranuras en una trama dependerán del tipo de aplicación.

El canal FA/TDMA es un canal en el cual las estaciones pueden transmitir cuando su ranura les es asignada. Una ranura FA/TDMA es una ranura dedicada a una sola estación por lo que no existe contención. Todas las estaciones comparten el canal FA/TDMA, por lo que necesitan estar sincronizadas al inicio de cada trama; los instantes de inicio de cada ranura son calculados por cada estación. Este temporizador común se deriva del patrón de sincronización difundido por la estación maestra.

Una ranura TDMA inicia con un preámbulo que consiste de un temporizador de bits (BT) e información para la recuperación de la portadora (CRI), de un decodificador sincronizado FEC (para la corrección de errores) y otra información adicional en caso de ser necesario. Esto es seguido por la ráfaga, que consiste de un campo (IP/PPDF) para indicar el inicio del paquete y la posición dentro de la trama, una bandera de inicio, un campo de dirección origen, un campo de dirección destino (o destinos cuando sea necesario), un campo de control, un campo de datos, un chequeo de redundancia cíclica, y una bandera de fin. Una serie de campos adicionales se agregan al final (postámbulo).

El campo de dirección destino identifica la estación para la cual el mensaje es dirigido, mientras la dirección origen identifica al transmisor del mensaje. Todas las estaciones reciben el flujo TDMA y filtran los mensajes no dirigidos a ellos. A través del uso de un esquema de direccionamiento apropiado es posible que con una sola transmisión

del mensaje, el mensaje pueda ser difundido hacia todas las estaciones, a un grupo específico de estaciones, o enviarlo a una estación específica.

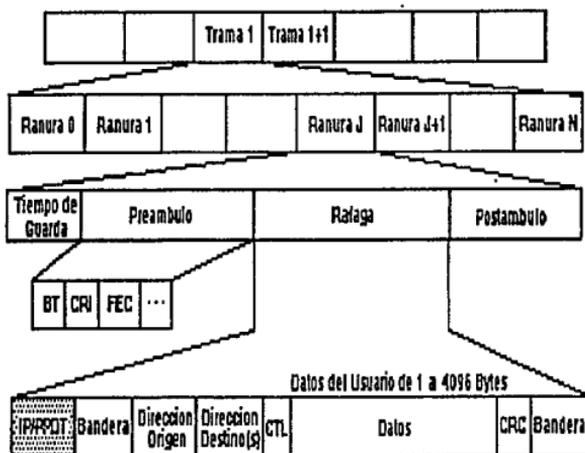
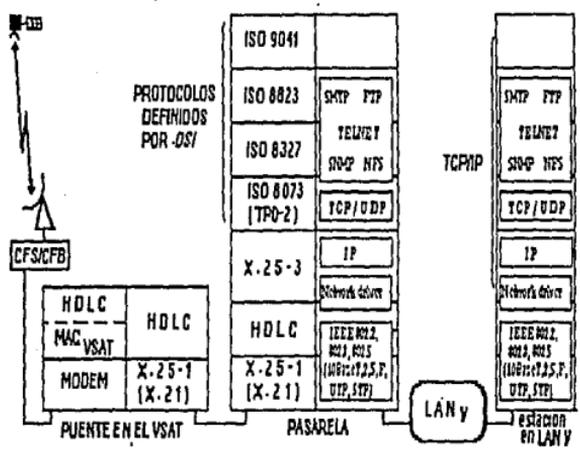
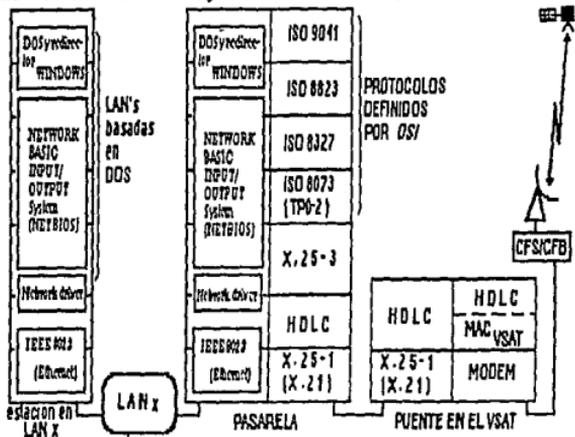


Figura 5.12 Descripción de la trama TDMA

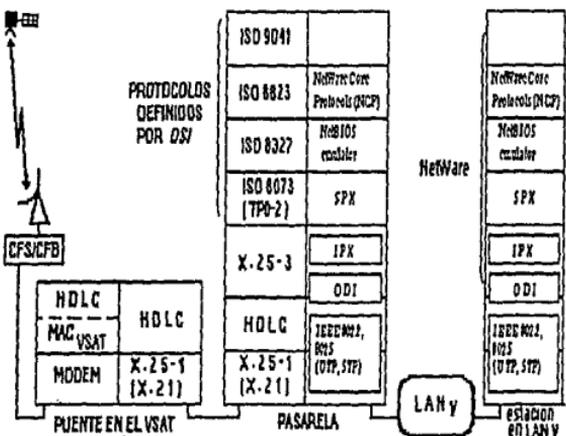
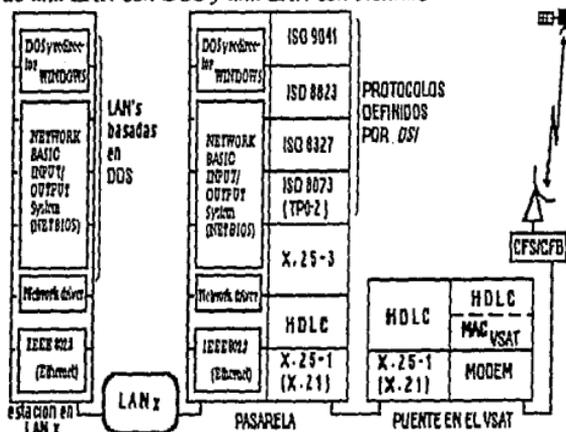
Interconexión de LAN's utilizando diversos NOS

A continuación se planteará la interconexión de redes de área local utilizando diferentes sistemas operativos de red (NOS). Se retomarán las arquitecturas internas de cada NOS ilustradas anteriormente (figura 5.6), por lo que la interconexión sólo se planteará de manera gráfica.

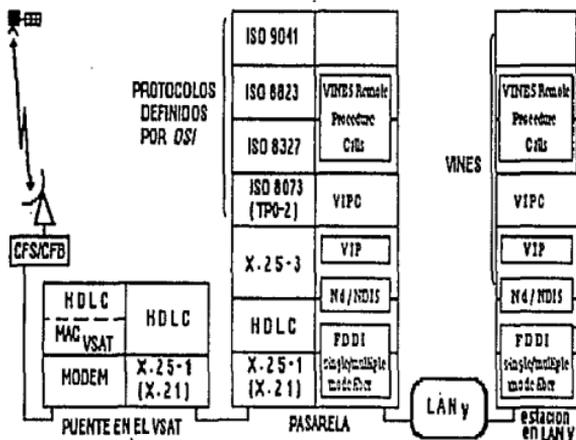
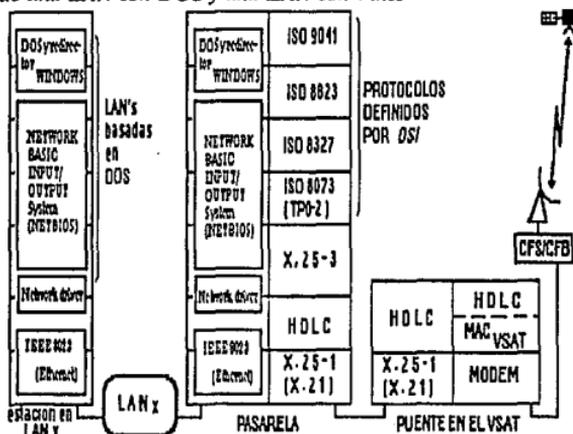
Interconexión de una LAN con DOS y una LAN con TCP/IP



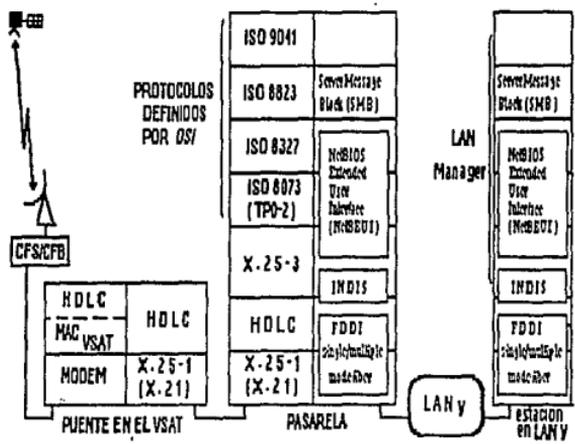
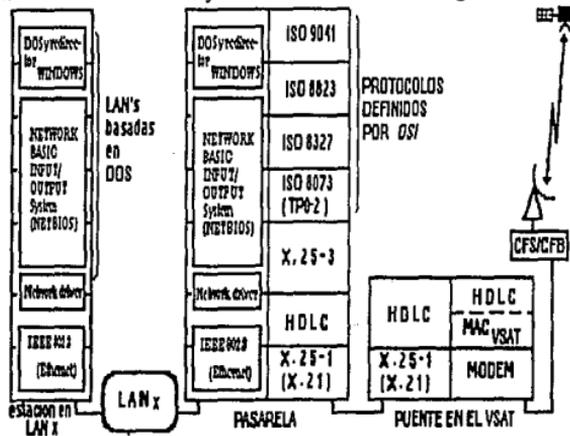
Interconexión de una LAN con DOS y una LAN con Netware



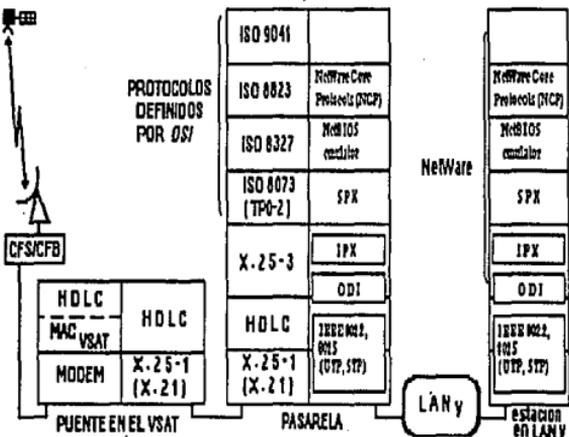
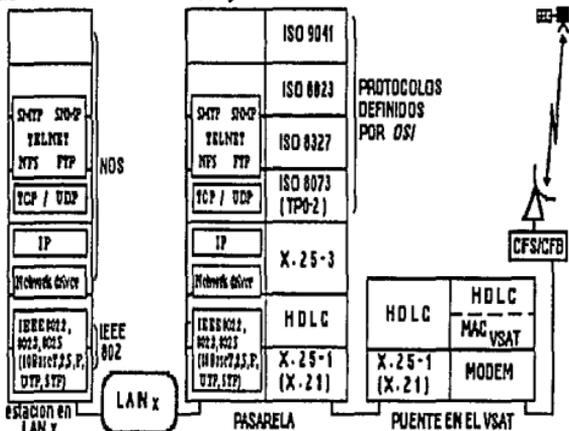
Interconexión de una LAN con DOS y una LAN con Vines



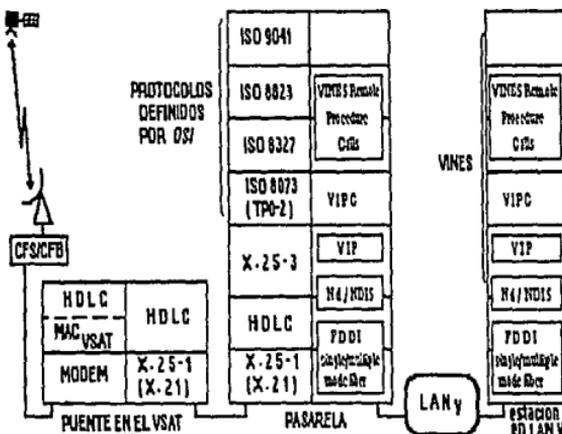
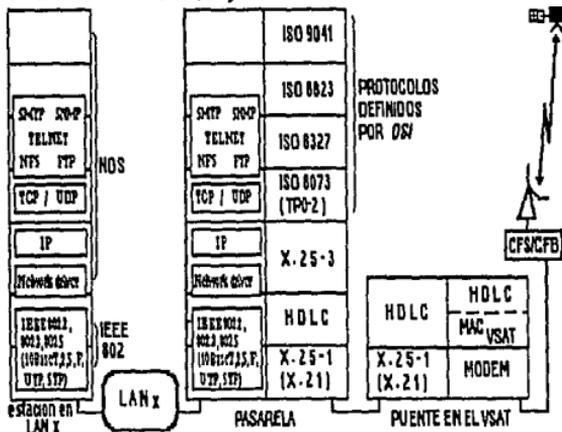
Interconexión de una LAN con DOS y una LAN con LAN-Manager



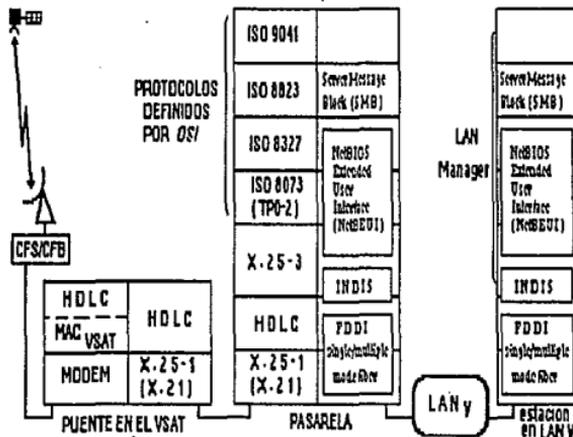
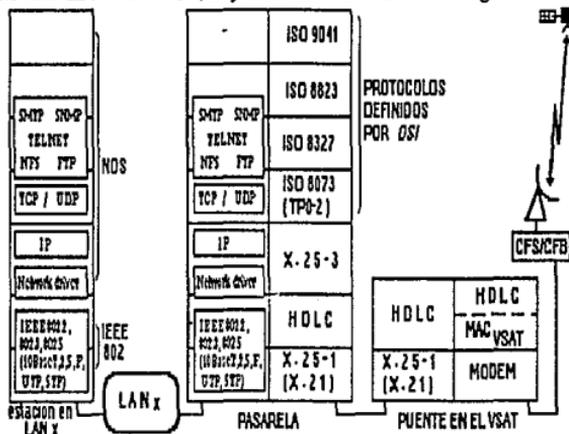
Interconexión de una LAN con TCPIP y una LAN con Netware



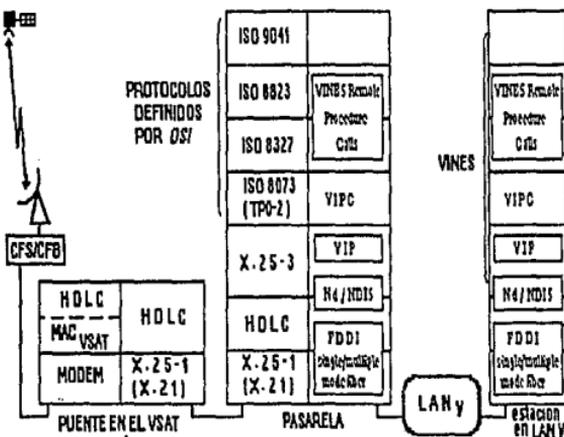
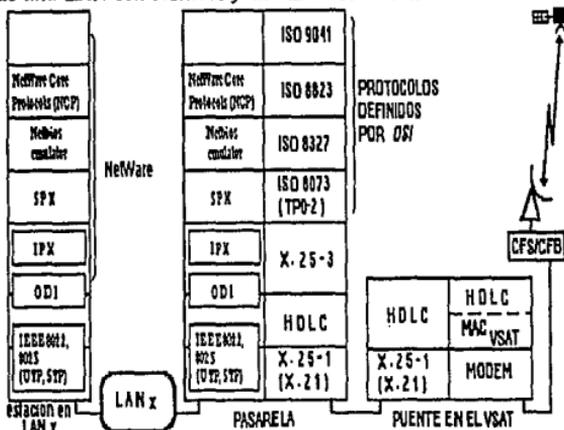
Interconexión de una LAN con TCP/IP y una LAN con Vines



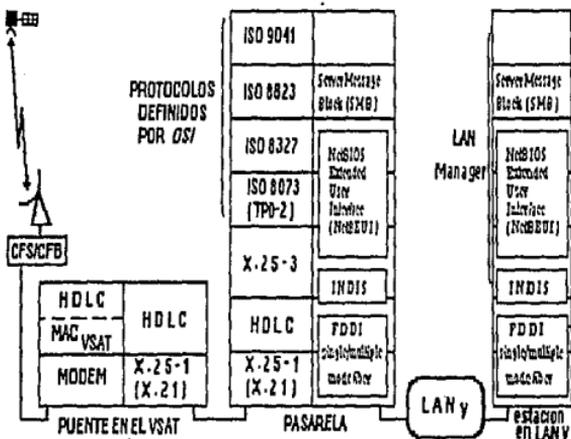
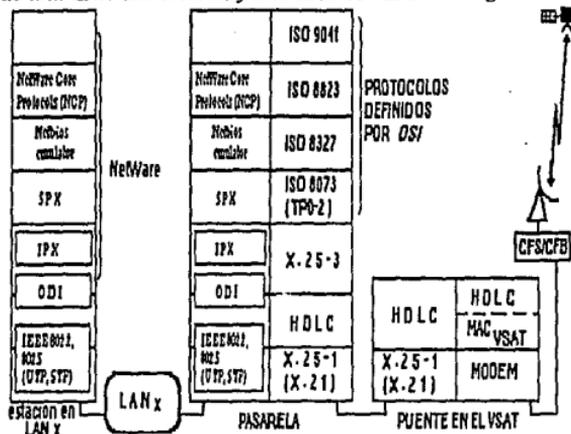
Interconexión de una LAN con TCP/IP y una LAN con LAN-Manager



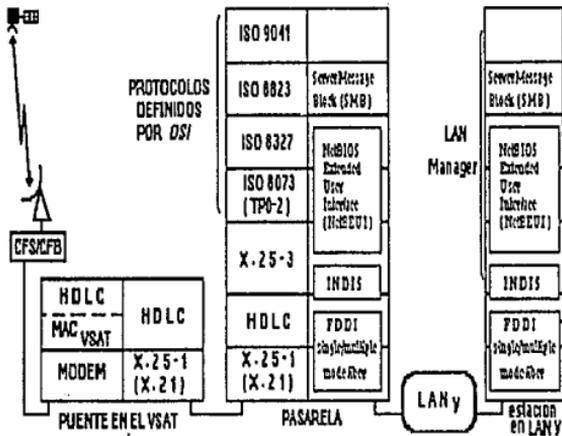
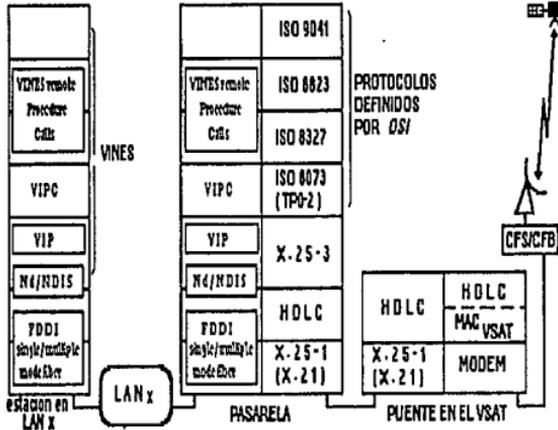
Interconexión de una LAN con NetWare y una LAN con Vines



Interconexión de una LAN con Netware y una LAN con LAN-Manager



Interconexión de una LAN con Vines y una LAN con LAN-Manager



¿ Por qué emplear X.25 como red de enlace ?

Para satisfacer los requerimientos de acceso a diferentes plataformas, una pasarela debe ofrecer la capacidad de acceso a numerosos y diferentes sistemas de información. La tecnología de X.25, cuenta con variadas e importantes características que lo postulan como el sistema ideal para manejar éstas necesidades de conectividad.

X.25 permite el acceso de múltiples usuarios a múltiples destinos con el empleo de múltiples protocolos. Esto significa que con un sólo enlace X.25, la pasarela hace posible el acceso a múltiples destinos, donde cada destino utiliza un protocolo diferente a los demás. Cada usuario tiene la libertad de escoger uno o varios destinos, donde se encuentra la información que requiere. Esto es posible gracias al soporte de múltiples circuitos virtuales, cada uno capaz de llevar simultáneamente diferentes comunicaciones.

La tecnología X.25 ofrece la capacidad, para dos o más localidades, de comunicarse mutuamente con líneas de diferentes velocidades que actúan como un buffer entre los dos sistemas. Por ejemplo, una red local corporativa o un mainframe, puede estar conectado en X.25 con una línea dedicada de alta velocidad, mientras que localidades remotas de menor tamaño son conectadas con líneas de menor velocidad y más baratas. Esto permite que la configuración global se adapte a los recursos de los usuarios.

Un beneficio adicional es que la tecnología X.25 es reconocida como un estándar internacional de comunicaciones. Esto facilita el acceso a diferentes plataformas en todo el mundo. Como ya está en uso, los usuarios no sufren con los problemas asociados normalmente con las soluciones propietarias o las nuevas tecnologías.

Los dos mecanismos principales de conmutación de paquetes (circuitos virtuales y datagramas) ofrecen ventajas y desventajas en las redes VSAT. Mientras los circuitos virtuales requieren menos sobrecarga de información por paquete, las limitaciones en el desempeño (impuestas por la necesidad de mantener la información de cada conexión dentro de la red) puede traer graves complicaciones en una red VSAT muy grande. Por otra parte, los datagramas pueden proporcionar altos porcentajes de flujo de información, a costa de una gran sobrecarga de información por paquete, y ofrecen la ventaja adicional de poder reinicializar la comunicación sin necesidad de restablecer conexiones en la red.

Cuando se usa una red VSAT para reemplazar una red terrestre, las interfaces X.25 son más sencillas. La interfase de red comprende la conexión física entre el equipo de usuario y la red, basada en el estándar del protocolo X.25 de CCITT; las interfaces son como las descritas en los niveles dos y tres del X.25 y un retransmisor proporciona la interfase entre el X.25 y el VSAT.

Además de las ventajas anteriores, existe una gran probabilidad (a corto plazo) de que los satélites se comuniquen entre sí directamente, sin necesidad de emplear estaciones

terrenas retransmisoras; es decir, los mismos satélites realizarán la conmutación de la información, lo cual se podrá realizar en base a las características de conmutación de X.25.

Comparación de las Técnicas de Acceso al Satélite

Existen varios tipos de técnicas de acceso al satélite que han sido empleadas para diversas aplicaciones; cada una tiene sus ventajas y desventajas propias. La tabla 5.5 muestra los cuatro tipos predominantes de técnicas de acceso, que tendrán un papel importante en el mercado dentro de esta década.

Técnicas de Acceso	Topología
SCPC	Malla
TDMA	Malla
MCPC	Malla
TDM/TDMA	Estrella

Tabla 5.5 Técnicas de acceso utilizadas en la comunicación por satélite

Canal Único Por Portadora (SCPC)

Esta técnica fue introducida inicialmente hace dos décadas y requiere el uso de una portadora diferente, por cada canal de información. El SCPC podría ser empleado tanto en técnicas de modulación analógica como en modulación digital. La tendencia en la industria está enfocada principalmente en el uso de la modulación digital, con uno de los algoritmos disponibles de codificación de información.

Las ventajas del SCPC son:

- Permite una conexión total entre dos canales cualesquiera de la red.
- Permite un uso progresivo del transpondedor del satélite y por consecuencia una expansión flexible de la red.

Sin embargo, existen varias desventajas en el SCPC cuando se le compara con otras técnicas; podemos mencionar las siguientes:

- Cada canal de voz requiere un modem separado en cada estación terrena.
- El equipo terrestre se incrementa en base al número de circuitos requeridos en cada sitio.
- Cada portadora SCPC requiere cierto porcentaje de banda de protección sobre el transpondedor y, consecuentemente, resulta en una utilización relativamente más alta del ancho de la banda comparado con otras técnicas.
- Cuando múltiples canales de voz son empleados en cualquier estación remota, el amplificador de potencia tiene que ser operado a un nivel razonablemente más bajo que su máxima salida.

Este último punto es un aspecto significativo de reducción de costos en las VSAT's normales, donde solamente hay una portadora transmitida desde el amplificador y por lo tanto requiere menor potencia.

Multicanal Por Portadora (MCPC)

Esta técnica ha emergido como el método más popular de comunicación por satélite en los mercados internacionales desregulados, regidos por las demandas de los usuarios. El MCPC es un producto combinado del SCPC con la multiplexación TDM convencional de voz y datos. En éste método, un multiplexor típico por división de tiempo es usado para crear una ráfaga de datos. Cada ráfaga de datos es asignada a una portadora separada en el transpondedor. Entonces, cada portadora forma un enlace dedicado, punto a punto, entre dos localidades.

Las ventajas de ésta tecnología son:

- Se pueden utilizar múltiples portadoras MCPC en cada estación terrena, para proveer una interconexión en malla.
- El costo inicial es relativamente bajo para las redes privadas pequeñas, pues requieren solamente un enlace.

Las desventajas de este método son casi las mismas que aquellas encontradas en SCPC, además de una carencia de flexibilidad en el uso de los canales satelitales, los cuales son preasignados a cada enlace.

Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)

Estos sistemas han sido usados para comunicaciones de alto volumen con estaciones terrenas grandes, logrando un rendimiento más alto por kHz de ancho de banda del transpondedor, comparado con los sistemas SCPC. Los recientes avances en el equipo de radio frecuencia y las reducciones de costos de estos equipos, han beneficiado a los productos TDMA. Consecuentemente, los sistemas TDMA de velocidad media (1.5 Mbps a 4 Mbps) han aparecido en las estaciones terrenas de 2.4 mts a 4.5 mts.

Las principales ventajas de la técnica TDMA son:

- La interconectividad en malla, y
- La flexibilidad en el enrutamiento.

La desventaja, comparada con los sistemas SCPC, es que la utilización del transpondedor se inicia con una porción grande (por ejemplo, 3 Mbps), aunque el usuario no tenga inicialmente la demanda total para esa capacidad.

¿Cuál es la técnica de acceso al satélite óptima ?

Arquitectura TDM/TDMA

Estas técnicas son las que se emplean en un ambiente VSAT, debido a que son los métodos de mayor efectividad en costo para las comunicaciones. Esta arquitectura usa una portadora única TDM difundida desde una estación maestra a varias VSAT's remotas, utilizada para indicar el inicio de cada trama TDMA. La trama TDMA consta de ranuras, y cada ranura contiene la información de cada VSAT. Una vez que la trama TDMA llega al satélite, éste se encarga de difundirlas hacia todas las estaciones remotas. Este enfoque combina las ventajas de las técnicas SCPC y TDMA en una arquitectura común, permitiendo la utilización máxima de la potencia disponible desde la unidad de RF del VSAT, mientras permite el crecimiento gradual en la utilización del transpondedor, asociada normalmente con los sistemas SCPC. Con esta arquitectura se logra un esquema de difusión completo; es decir, se pueden lograr enlaces punto a punto o punto a multipunto.

Tasas TDMA para VSAT's

Mientras no haya estándares que fijen la tasa de la ráfaga de transmisión para la operación de las VSAT's en el modo TDM/TDMA, cada proveedor ha seleccionado sus propias tasas, de acuerdo a lo que convenga a cierto tipo de antena y unidad de RF.

Hasta hace poco, las tasas empleadas por la mayoría de los proveedores han fluctuado desde los 32 kbps hasta los 128 kbps. Aún cuando los equipos VSAT menos costosos proporcionan tasas de datos más bajas, la estandarización de componentes y la disponibilidad de módulos de más alta potencia a costos relativamente bajos, han ocasionado una migración a tasas de datos más altas para comunicaciones. Actualmente, es posible alcanzar tasas de ráfaga de 192 kbps con antenas de 1.8 mts y 304 kbps con antenas de 2.4 mts.

Acceso a un Mainframe por Medio de la Red VSAT

Las redes VSAT están creciendo en uso, proporcionando cada vez mayores servicios. Tal es el caso de integrar a una red VSAT, el servicio de un mainframe, logrando agregar mayores servicios (procesamiento masivo de información, acceso a dispositivos de almacenamiento masivo, acceso a bases de datos mundiales, periféricos, etc.) y por lo tanto se beneficia a los usuarios de la red.

Este tipo de servicios están teniendo actualmente gran demanda por parte de los pequeños usuarios (corporaciones pequeñas, universidades sin grandes recursos, etc.) que no cuentan con el suficiente respaldo, tanto técnico como económico, para obtener un mainframe propio.

Se podría pensar que integrar el mainframe a la red VSAT es complicado, pero no es así. Debido a que se emplea el protocolo X.25 (el cual es reconocido como un estándar mundial) como el protocolo de la red principal (backbone) de comunicaciones, éste cuenta con características para enlazar diferentes sistemas empleando diversos protocolos.

El esquema de interconexión es el mismo planteado anteriormente, cambiando únicamente la arquitectura propia de la LAN por la arquitectura propia del mainframe; es decir, la pasarela realizará la traducción de los protocolos OSI hacia los protocolos propios de la arquitectura del mainframe (SNA, DEC, Xerox, etc.).

El esquema del "puente en el VSAT" es el mismo, así como el formato de las tramas de transmisión para el enlace satelital. La figura 5.13 muestra el esquema de interconexión entre una LAN y un mainframe.

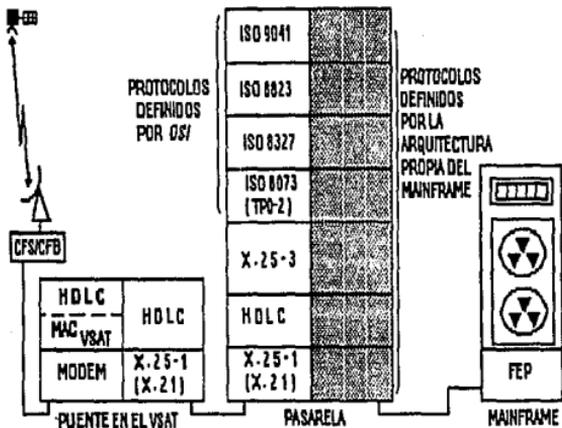
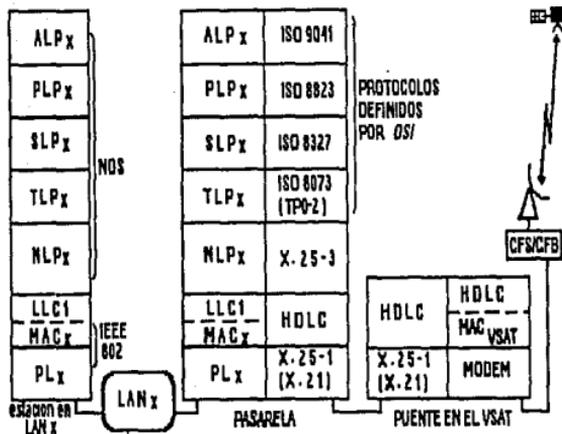


Figura 5.13 Interconexión entre una LAN y un Mainframe

Interconexión de LAN's similares o casi similares

Debido a que en el país ya se cuenta con soluciones establecidas para la interconexión de redes similares o casi similares, no analizaremos en detalle este tipo de situación.

La interconexión entre redes LAN's similares o casi similares puede ser establecida vía satélite, utilizando dispositivos ya existentes, como puentes, enrutadores, y repetidores además de un medio de transmisión con baja ocurrencia de error. Otro dispositivo necesario es el equipo de interfase entre la LAN y la VSAT: consiste de un multiplexor, una unidad de servicio al canal (CSU) y la unidad de servicio de datos (DSU) (ver figura 5.14).

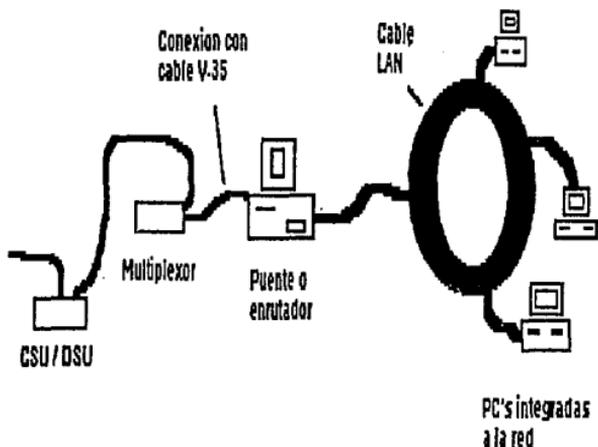


Figura 5.14 Interfase entre la LAN y la VSAT

Quando se conecta un dispositivo puente, enrutador o repetidor a un canal de comunicaciones de alta velocidad T1/E1 o T1/E1 fraccionario, una tarjeta adaptadora en el dispositivo cambia el tráfico de la red hacia una cadena de datos que satisface uno de los varios estándares para conexión de señales. La salida de la tarjeta adaptadora podrá ser alguno de los siguientes estándares: EIA RS-232, EIA RS-449, o el CCITT V.35. Se necesita conectar ésta salida a un multiplexor, que es un dispositivo que sirve de interfase con la línea de comunicaciones de alta velocidad.

El multiplexor subdivide el canal de comunicaciones de alta velocidad en múltiples canales de voz y datos de baja velocidad. El CSU es el lado del equipo conectado al canal de comunicaciones, mientras el DSU puede estar conectado a un puente, enrutador o repetidor. El CSU termina el circuito de alta velocidad y mantiene las señales en fase y apropiadamente temporizadas; realiza funciones tales como:

- La equalización de la línea. Mantiene la eficiencia de la señal consistente a través del ancho de banda del canal;
- Reconstrucción de la señal. Reconstruye la cadena de pulsos binarios;
- Verificación del circuito de enlace. Involucra la transmisión de señales de prueba entre el CSU y el VSAT.

El DSU convierte todos los datos de entrada al formato apropiado para su transmisión sobre un circuito T1/E1 o T1/E1 fraccionario, es decir, convierte las señales en señales digitales bipolares, también realiza la regeneración y temporización de las señales en el canal. Algunos puentes contienen un DSU, de tal manera que lo único que se necesita es un CSU.

A continuación se presenta un ejemplo práctico de un enlace entre LAN's mediante satélite:

La red está formada por una estación maestra, ubicada en el Estado de México, 25 estaciones remotas que se encuentran distribuidas en la República Mexicana, así como por el Centro de Operación de Red (NOC).

La red planteada tiene una configuración de estrella y los enlaces son punto a punto entre la estación central y cada una de las estaciones remotas. Para fines de monitoreo y control de la red, se cuenta con un enlace vía satélite Morelos entre la Estación Central y el llamado Centro de Operación de Red, el cual se encuentra ubicado en la Ciudad de México.

Los enlaces emplean el método de Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) con la técnica de canal único por portadora (SCPC).

Tendencias Futuras

Recientemente, para solventar la necesidad de eficientar el uso de recursos de computación en organizaciones de todo tipo, surgieron las redes de computadoras. En el mundo actual, se han convertido en elementos de fundamental importancia y todo indica que la tendencia seguirá igual, incorporando tecnologías cada vez más novedosas para obtener mayor velocidad de transferencia y de seguridad de los datos, así como la interoperabilidad de elementos de diversos fabricantes.

Las tendencias actuales indican una definitiva orientación hacia la conectividad de datos. No sólo en el envío de información de una computadora a otra, sino sobre todo, en la distribución del procesamiento a lo largo de grandes redes en toda la organización.

En la próxima década se espera un continuo crecimiento de la industria de redes, así como el surgimiento de más tecnologías de conectividad independientes de protocolos y de equipos propietarios.

Tendencias de la Población de Redes

Es indiscutible que para poder hablar de las diferentes propiedades que tendrán las redes en el futuro, se debe antes estar seguro que habrá redes y que no desaparecerán. La industria está presentando una tendencia a grandes fusiones industriales o pactos intercompañías, lo que permite que los fabricantes se muevan de ser vendedores dedicados a un campo en especial a la posibilidad de ofrecer soluciones completas de conectividad. También, los usuarios han visto la aparición muy reciente de sistemas operativos de red sumamente poderosos que incitan al mercado a seguir creciendo. No solamente se tiene la tendencia hacia mayor número de PC's conectadas en red, debido a la diferente serie de facilidades que ofrecen los nuevos sistemas operativos o la creciente oferta de software de grupo sino que, las grandes compañías se están enfocando a las redes de área local como medio de acceso a las grandes redes corporativas.

La ley de la oferta y la demanda es otro factor sumamente importante en la proliferación de redes de área local. La actual tecnología en las redes Ethernet basadas en el estándar 10BaseT está logrando integrar transreceptores a precios sumamente bajos, en el orden de los 70 dls, y con esto la parte del mercado que es sensible a los precios tenderá a entrar a construir redes de tipo Ethernet más que de ningún otro. Si a esto se agregan los bajos costos del cableado con par trenzado, comparado contra los coaxiales y la fibra óptica, y su naturaleza estructurada, se tiene el resto del panorama.

Tecnologías Estratégicas

Sin lugar a dudas, las grandes redes corporativas preferirán este fin de siglo la FDDI (Fiber Data Distributed Interface) como la espina dorsal de su sistema de redes locales. La mayoría de los fabricantes de equipo de redes locales y de instrumentos de interconectividad han iniciado una producción prácticamente masiva de equipo compatible con este doble anillo de fibra óptica de 62.5 micras. Pudiendo mover datos a la velocidad de 100 Mbps, las redes con especificación FDDI prometen aplicaciones que pueden considerarse pertenecen a la ciencia ficción, tales como el acceso a bases de datos gráficas, las tele-video-conferencias múltiples, etc.

En cuanto a las tecnologías que se emplearán principalmente para la formación de redes de área local, no será sorprendente que se conserven las que actualmente dominan: Ethernet y Token Ring. Quizá esta última baje un poco su ritmo de crecimiento ya que su principal promotor (IBM) últimamente se ha visto en serios problemas financieros. Por otra parte, Ethernet se encuentra en lo mejor de su carrera. Ahora se puede adquirir la configuración de estrella utilizando un cableado sumamente económico (par torcido sin blindaje). Más aún, aunque no existen estándares establecidos como el 10BaseT, Ethernet ya tiene varias versiones que son totalmente inalámbricas.

Sistemas Operativos de Red

Los sistemas operativos de red han evolucionado de una forma tal que proporcionan diversas aplicaciones distribuidas de cliente-servidor. El sistema operativo de la red (NOS) es quien le da a ésta sus características específicas y define sus capacidades y la interoperabilidad que es posible con ella.

Las nuevas especificaciones de interfase con el medio físico (Network Device Interface Specification -NDIS- de Microsoft y la Open Data Link Interface -ODLI- de Novell) le dan gran flexibilidad a los sistemas operativos actuales al desacoplarlos de los métodos de acceso. Los sistemas operativos siguientes serán los que se impongan en los próximos años:

Netware: Continuará siendo el sistema de tecnología propietaria preferido por su amplia red de distribución, el servicio que ofrecen sus representantes y, desde luego, su alto índice de desempeño.

Lan Manager: Seguirá representando el esfuerzo de Microsoft por abarcar el mercado de redes locales y que fue desarrollado como una extensión de OS/2.

Vines: Está siendo preferido por aquellas compañías acostumbradas al ambiente Unix.

Protección de la inversión

Las próximas redes de área local (de tamaño corporativo, 100 o más nodos) estarán construidas sobre par telefónico sin blindaje por la facilidad de administración de cableado que esto representa en primer lugar y, en segundo, por la protección de la inversión que este tipo de cableado brinda.

Interoperabilidad

La industria tendrá su mayor crecimiento en los productos de interconectividad entre diferentes redes LAN y para unir las con las redes de área amplia (WAN).

La Interconectividad seguirá existiendo separadamente de la total interoperabilidad. Los fabricantes de ruteadores y puentes seguirán solamente interoperando con otros elementos de su propia marca y, desde luego, que las tarjetas de los centros concentradores de conmutación (hubs) tampoco serán compatibles.

A fin de tener el mayor grado de interoperabilidad posible se recomienda siempre apearse a los estándares. Si alguna red se encuentra operando en un ambiente exclusivo de un fabricante, se tendrá que depender de una pasarela para asegurar la compatibilidad con el ambiente fuera de esa red o tendrá que usar dispositivos que puedan manejar dos o más protocolos al mismo tiempo.

El futuro de la conectividad

En la década de los 90's se verá una nueva fase en la continua evolución de las redes desde meras utilerías hasta herramientas estratégicas. Esta fase estará marcada por un incremento de la conectividad, es decir, las redes de redes en las cuales los usuarios de diferentes redes podrán conectarse a través de una red con otro usuario en forma directa. A mediano plazo la calidad de los servicios ofrecidos vendrá a ser un punto clave entre competidores. Esta interconexión de redes permitirá a los usuarios acceder las bases de datos de varias líneas aéreas directamente sin tener que ir a una agencia de viajes directamente; las compañías podrán organizar sus servicios interactuando directamente con las bases de datos y los mecanismos de control operacional de las compañías de teléfonos y proveedores de servicios especiales. Pedidos de partes y suministro serán generados y

procesados automáticamente para una entrega justo a tiempo en la línea de producción de las fábricas; los datos de los hospitales serán entregados directa y simultáneamente a las compañías de seguros, agencias de gobierno, médicos y quizá las bases de datos de sus pacientes, encuestadores, etc..

Cualesquiera que sean las aplicaciones, la velocidad y eficiencia con la cual la información es transferida, procesada y consumida prometen tener un profundo impacto en las economías de todas las naciones. Este impacto se manifestará en la entrega de servicios, empezando con mejoramientos para la eficiencia y precisión. La industria de servicios será radicalmente transformada, los intermediarios serán totalmente desplazados por una interacción directa de los usuarios con las bases de datos de las compañías.

A un nivel global la interconexión de redes no solamente facilitará el manejo de negocios a gran distancia sino que también permitirá que las sucursales de las compañías se localicen en los lugares más apropiados en cuanto a mercado y mano de obra sin restricciones en las comunicaciones. El énfasis dado a la rapidez de las comunicaciones se traducirá en eficiencia en el diseño, fabricación, venta y distribución del producto, así como servicio al cliente que ninguna corporación puede ignorar por más tiempo. La alta tecnología para la comunicación de redes esta acelerando los eventos mundiales y al mismo tiempo mejorando el nivel de vida de la humanidad.

ISDN - Red Digital de Servicios Integrados

Otra alternativa disponible de comunicación entre LAN's en un creciente número de áreas metropolitanas es la red digital de servicios integrados RDSI (en inglés ISDN). Se trata de un programa internacional diseñado para digitalizar los sistemas telefónicos y eliminar las líneas analógicas.

Para el servicio local, la arquitectura RDSI divide al ancho de banda disponible en tres canales de datos. Dos de los canales tienen una velocidad de 64 kbps. El tercer canal opera a 16 kbps y proporciona un camino para mandar peticiones a un conmutador ISDN, mientras mueve datos de las aplicaciones a su máxima velocidad en los canales de datos. En los sistemas ISDN los canales de datos son llamados canales B, y el canal de señalización (tercer canal) se denomina canal D. Se necesita un teléfono especial ISDN o un adaptador interno para conectar una PC al servicio ISDN. El teléfono se conecta al puerto serial de la PC, siendo su velocidad de 19.2 kbps, por lo que los adaptadores internos son muy rápidos pero, desafortunadamente, muy caros.

En la actualidad ISDN esta disponible en algunas grandes ciudades, y va ganando terreno rápidamente en Europa y parte de Asia. La lentitud en su crecimiento se debe al alto precio de las tarjetas adaptadoras de ISDN para PC. Se piensa que para fines de este

año, habrá muchas líneas ISDN instaladas y operando, pero desafortunadamente muchos de los usuarios de estas líneas no podrán comunicarse con otros usuarios, debido a la incompatibilidad presente entre equipos de diferentes proveedores. Por esta razón se está trabajando en acuerdos para estandarizar las interfaces, protocolos, hardware y software cuya compatibilidad es esencial para hacer transparente el uso de ISDN. De lograr estos estándares, los servicios de ISDN tales como interconexión de computadoras personales y videotransmisiones, serán tan sencillos y comunes como una llamada telefónica hoy en día, de tal manera que finalmente una persona podrá mandar y recibir datos, voz y video por su teléfono.

Las principales ventajas ofrecidas por ISDN son:

- Rápido tiempo de respuesta de la red, así como de establecimientos de una llamada.
- Terminación de transmisión para todos los servicios digitales.
- Acceso a diferentes servicios de la red a través de un sólo enlace, en lugar de necesitar una línea para cada tipo de servicio.
- Eliminación de retardos al acceder nuevas líneas y servicios.
- Reducción del costo y complejidad del cableado y equipo.
- Mejor manejo de la red y mayor control.
- Mayor flexibilidad en la configuración

Para el tráfico de datos de área extendida, la ISDN tiene una competencia muy importante con las redes de satélites. Actualmente los receptores/transmisores de los satélites se encuentran en el rango de los 50 Mbps, los del futuro cercano tendrán un ancho de banda todavía mayor. La transmisión por satélite de una cinta magnética completa de 6,250 bpin (bits por pulgada) podría tomar un tiempo máximo de 30 segundos, en tanto que un canal de ISDN se llevaría hasta 6 horas. La ventaja del uso del satélite consiste en que toda su capacidad de transmisión puede ofrecerse a un solo usuario en un periodo muy breve, bajo demanda. La ISDN está sujeta a los canales de 64 kbps.

Como un punto de comparación, los 64 kbps vienen a ser el 20% del ancho de banda que tenían los manejadores de los discos flexibles de las máquinas IBM PC originales. Así, la lectura remota de un archivo en un canal de la ISDN toma cinco veces más tiempo del que se llevaría en leerlo de un disco flexible antiguo, dispositivo que, por lo general, no se considera como lo mejor en la tecnología de las comunicaciones.

Mientras las redes ISDN proporcionan actualmente acceso a servicios integrados de banda angosta, la red satelital VSAT actualmente proporciona acceso integrado y capacidad de transmisión para banda angosta así como para algunos servicios de banda ancha. Aún cuando existen redes satelitales que ofrecen servicios ISDN que cumplen y aún exceden los requerimientos de desempeño establecidos por la CCITT, pero no cumplen con los estándares de interfase de terminal y señalamiento de ISDN (ISTI). Algunos proveedores de VSAT estudian el proceso de estandarización hacia ISTI.

Tendencias Futuras de VSAT

Las tendencias futuras en las redes VSAT, con estaciones terrenas localizadas en el domicilio de los suscriptores, estarán determinadas por las siguientes metas:

- Baja de costos de las terminales VSAT, estación maestra e instalación de éstas redes.
- Proporcionar una amplia gama de servicios, incluyendo voz y video.
- Proporcionar redes más amigables al usuario y flexibles en terminos de mantenimiento, administración y operación.
- Integración de éstas redes con una amplia variedad de equipo y redes terrestres más avanzadas, incluyendo redes con fibra óptica e ISDN.

Para alcanzar éstas metas, deberá de ponerse énfasis en las técnicas de fabricación masiva para alcanzar costos bajos de producción, así como el uso de nuevos desarrollos a circuitos integrados de microondas (MIC's), circuitos digitales integrados y métodos baratos para el diseño de montaje de antenas.

En el futuro las redes VSAT estarán conectadas con las redes terrestres ISDN. Una de las áreas de estas redes será a nivel internacional, extendiéndose a todos los continentes; esto requerira de la integración con redes terrestres a través de múltiples pasarelas en diferentes paises, compatibilidad con diferentes interfases terrestres en cada país y también incorporarán convertidores estándar como podría ser el caso de la distribución de video.

Además se espera nueva tecnología en el campo espacial; nuevos satélites de comunicaciones incorporarán las siguientes características, las cuales repercutirán en las futuras redes VSAT:

- Procesamiento a bordo.

- Enlaces entre satélites.
- Alta potencia.
- Uso de haces puntuales.

Estas características permitirán redes VSAT de gran capacidad, con estaciones terrenas baratas y de gran flexibilidad. El uso de los enlaces entre satélites podrá proporcionar conectividad e integración directa con otras redes sin necesidad de enlaces terrestres. La integración directa con redes móviles también puede ser posible con este método.

Los costos aún no han bajado lo suficiente para considerar a las VSAT accesibles para todas las redes privadas. Para lograr esta meta los precios deberán de bajar a la mitad de sus niveles presentes y los costos de instalación deberán reducirse en forma proporcional.

El uso de la banda Ku para comunicaciones móviles por satélite proporcionará una amplia gama de frecuencias, sufriendo una interferencia terrestre; esta banda necesita una antena direccional y un sofisticado procesamiento de las señales. Sin embargo, una vez resuelta esta dificultad se convertirá en una poderosa herramienta, con la cual se reducirá la interferencia y mejorará la comunicación y el multienlace. Una consecuencia de lo anterior podría ser la realización de una terminal de apertura ultra pequeña (USAT), la cual representará una sustancial reducción en el costo del equipo y en particular de la instalación para aplicaciones con un porcentaje de datos pequeño.

Las VSAT actualmente tienen sofisticados y poderosos microprocesadores que les permiten proporcionar una interfase inteligente a los protocolos de comunicaciones existentes hoy en día. En el futuro, procesadores más poderosos permitirán a las VSAT implementar una variedad de aplicaciones específicas tales como implementación de las capas altas del modelo OSI. Las aplicaciones como mensajes de voz, videoconferencias, radio y TV estarán todas integradas en un mismo paquete; es decir, debido a su poder de cómputo, la VSAT servirá como procesador general de comunicaciones.

Mientras muchos diseñadores de telecomunicaciones ven el cable de fibra óptica como la llave para construir nuevas redes ISDN, en realidad son los satélites, junto con las características de VSAT, las que pueden ofrecer un medio rápido y fácil para los servicios de ISDN, aún en áreas que actualmente están conectadas mediante cables de cobre y conmutadores electromecánicos.

La introducción de satélites con procesamiento a bordo ciertamente ayudará a las VSAT. Los sistemas actuales no permiten las conexiones directas entre VSAT's para comunicaciones interactivas donde el retardo provocado por la conexión con la estación maestra es importante. Los satélites con procesamiento a bordo incluirán conmutación y

conjuntos de demoduladores con multiportadora, lo cual hará posible el uso de SCPC/FDMA en el enlace de subida y de TDM en el enlace de bajada; de esta manera será posible que las estaciones VSAT reduzcan su tamaño y complejidad al mismo tiempo que proporcionarán múltiples servicios y un alto grado de interconectividad.

Para VSAT's pequeñas y de bajo costo, es necesario un alto PIRE del satélite para manejar los altos porcentajes de bits necesarios para transmisiones de voz y video. El reemplazar un haz simple con múltiples haces locales puede proporcionar una mayor ganancia de las antenas del satélite y se tiene la ventaja del reuso de la misma banda de frecuencias en haces dirigidos a lugares geográficos separados, incrementando el uso del ancho de banda; sin embargo, debido al alto costo y complejidad involucrados, la evolución hacia el uso de múltiples haces locales será gradual, comenzando con unos pocos haces hasta llegar incluso a 100 haces por satélite.

Los haces pueden ser fijos y dinámicos. En un sistema dinámico, cada uno de los M haces independientes atenderá continuamente a N diferentes localidades, produciendo un efecto de un sistema virtual de $M \times N$ haces. La ventaja de los sistemas dinámicos es que el tiempo dedicado a cada localidad puede ser ajustado en forma dinámica para ajustarse a la demanda instantánea de tráfico en dicha localidad, lograndose de esta forma un uso óptimo de la capacidad del satélite; sin embargo el uso de haces dinámicos necesita la utilización de TDMA, lo cual puede llevar a terminales terrenas de alto costo para un sistema con alto porcentaje de ráfagas.

Un punto importante es que para proporcionar comunicación entre haces se necesita de un mecanismo de enrutamiento a bordo del satélite; la conectividad entre haces se logra a costa de una gran complejidad en la forma de llevar el enrutamiento, el cual puede ser estático o dinámico. El enrutamiento dinámico puede lograrse usando conmutadores de alta velocidad o utilizando multiplexores en tiempo o frecuencia para conectar sistemáticamente el enlace de subida de un haz a el enlace de bajada de otro haz. El enrutamiento estático se puede lograr usando una matriz de filtros y entrelazando los transpondedores.

En conclusión, las redes VSAT futuras utilizarán satélites más sofisticados empleando antenas de haces múltiples con alta ganancia y enrutamiento a bordo. Comparado con los satélites actuales, la próxima generación de satélites de comunicaciones incrementará el porcentaje de información manejado por la VSAT de 2 a 3 veces la magnitud actual. El enrutamiento y procesamiento a bordo permitirán la conexión directa entre VSAT's. En general, se mejorará el desempeño de los enlaces y la eficiencia en la utilización del espectro. Tales sistemas proporcionarán alternativas económicas para las comunicaciones en un amplio rango de aplicaciones soportando servicios integrados.

CONCLUSIONES

Las comunicaciones vía satélite han evolucionado de tal forma en la última década, que están cambiando la vida de la gente en todo el mundo. México no ha pasado por alto esto, y ha desarrollado su propio sistema doméstico de comunicaciones por satélite. Este sistema permite la posibilidad que todo el país se encuentre comunicado.

Para la gente que se dedica a interconectar redes de cómputo, las comunicaciones por satélite se presentan como un medio, muy eficiente y fácil, para realizar la interconexión. Aunque existen otros medios para realizar este trabajo, debido a las condiciones geográficas, económicas y tecnológicas que presenta la nación, es muy práctico tener como red principal a la red satelital. La red satelital se puede construir con la tecnología VSAT, que es barata y muy práctica con respecto a otras tecnologías empleadas para el satélite.

Ahora bien, en el país existe una cantidad enorme de redes de área local, heterogéneas y homogéneas, por lo que se deben encontrar dispositivos eficaces para poder interconectarlas. El diseño de estos dispositivos se ha planteado, y se concluye que para poder realizar la interconexión por medio de X.25, la unidad de interconexión debe de contar por lo menos con tres niveles o capas. Esto se debe a que el estándar X.25 define tres diferentes protocolos para las primeras capas definidas por OSI (la capa física, la de enlace de datos, y la de red). Se usa el modelo OSI, principalmente por que es el modelo que se emplea para interconectar sistemas abiertos; en otras palabras, actualmente se está tratando de realizar la interconexión por una red satelital, pero si en el futuro ésta se realiza por una red de fibra óptica, por una red pública de datos ó la red digital de servicios integrados, el esquema de interconexión no cambiaría en nada.

Volviendo a la unidad de interconexión, cuando se tiene dos redes de cómputo que emplean los mismos protocolos en sus diversas capas, el dispositivo a emplear es un enrutador. En caso contrario, cuando se tienen dos redes que emplean diferentes protocolos en su arquitectura, este dispositivo tiene que ser una pasarela. También se puede plantear una unidad de interconexión "universal", el cual tendría un stack de comunicaciones con los diferentes protocolos más empleados y que se encargaría de realizar la emulación de los diferentes ambientes. Este último proceso es muy complejo, por lo que el diseño del dispositivo es un gran reto.

En la actualidad, ya existen en México algunos ejemplos de redes que utilizan puentes, enrutadores y pasarelas, en las cuales, dependiendo de la aplicación de los usuarios, estos elementos han dado una solución adecuada al problema de conectividad. Las opciones se extienden desde los puentes más sencillos para filtrar y extender redes que vienen incluidos en el sistema Netware V.2.2 y 3.11, por ejemplo, hasta los ruteadores más complejos que utilizan en su totalidad los 2 Mbps que ofrece la red digital de Teléfonos de México y que se encuentran ya con diferentes proveedores especializados.

En cuanto al uso de la tecnología VSAT en el país, su uso es aún muy limitado, pero se pretende aprovechar cada día más la moderna infraestructura satelital con que cuenta el país. Existe el proyecto de establecer una red de teleinformática y comunicaciones que enlace todas las universidades públicas del país; esta red, resolverá la problemática de la mayoría de los académicos del país del sistema universitario estatal. Esta consiste de tener acceso a sesiones de cómputo intensivo, consulta a base de datos y al servicio de correo electrónico. Lo anterior significa una modernización y autonomía en las comunicaciones del grupo de investigadores nacionales.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

Bhargava V. K., Haccoun K. D., Matyas R., Nuspl P. "Digital Communications by Satellite", John Wiley & Sons, Nueva York, 1981.

Black, Uyless. "Data Networks. Concepts, Theory, and Practice", Prentice Hall, New Jersey, 1989.

Derfler F. J. "Network Protocols: Making Interoperability Practical", PC MAGAZINE, Mc Graw Hill, Nueva York, April 1992.

Derfler F. J., Maxwell K. J. "The Media Move the Message", PC MAGAZINE, Mc Graw Hill, Nueva York, September 1991.

Derfler F. J., Rigney Steve. "Bringing Your Networks Together", PC MAGAZINE, Mc Graw Hill, Nueva York, September 1991.

Derfler F. J., Rigney Steve. "Smart Links between LAN Segments", PC MAGAZINE, Mc Graw Hill, Nueva York, September 1991.

Fcher, Kamilo. "Digital Communications: Satellite/Earth Station Engineering", Prentice Hall, 1983.

González Sainz, Nestor. "Comunicaciones y Redes de Procesamiento de Datos", Mc Graw Hill, 1989.

Haykin, Simon. "Communication Systems", John Wiley & Sons, Nueva York, 1987.

IEEE Communications Magazine, "Special Series on VSAT Communication Networks", Mayo, Julio, Septiembre y Noviembre de 1988; Mayo de 1989.

IEEE Journal on Select Areas in Communications. "Special Series on Internetworking", January 1990.

Kimberley, Paul. "Electronic Data Interchange", Mc Graw Hill, Nueva York, 1991.

Lathi, B. P. "Modern Digital and Analog Communication Systems", CBS College Publishing, Nueva York, 1986.

Martin, James. "Local Area Networks: Architectures and Implementations", Prentice Hall, New Jersey, 1990.

Miller, Michael J. "Digital Transmission Systems and Networks", Vol. I y II, Computer Science Press, 1987.

Nathan J. Muller, Robert P. Davidson. "LANs to WANs: Network Management in the 1990s", Artech House, Boston, 1990.

Neri Vela, Rodolfo. "Satélites de Comunicaciones", Mc Graw Hill, México, 1989.

Neri Vela, Rodolfo, Landeros Ayala Salvador. "Satélites de Comunicaciones: Ingeniería y Sistemas", Telecomunicaciones y Satélites S.A. de C.V., México D.F. 1990.

Proceedings IEEE, "Special Issue on Paquet Communication Networks", Noviembre 1978.

Stremmler, Ferrel. "Introduction to Communication Systems", Addison Wesley Publishing, Massachusetts, 1989.

T. Ha, Tri. "Digital Satellite Communications", Mc Graw Hill, Nueva York, 1990.

Tanenbaum, Andrew S. "Computer Networks", Prentice Hall, Nueva York, 1988.

Todd, T. D. "A compatible fixed-frame ISDN gateway for broadband metropolitan area networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, June 1989.

Tomasi, Wayne. "Electronic Communications Systems", Prentice Hall, New Jersey, 1988.

Wolejsza, C. J. "Multiple Access Protocols for Data Communications via VSAT Networks", IEEE Communications Magazine, July 1987.