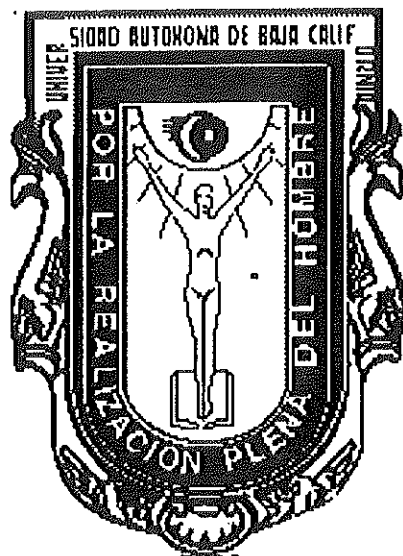


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA DE INGENIERIA



Análisis del estado de arte de la red Ethernet a 100 Mbps sobre par trenzado.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de

Ingeniero en Electrónica

presenta:

Juan Marcos Valencia Backhoff

Ensenada Baja California, Diciembre de 1995.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA DE INGENIERÍA

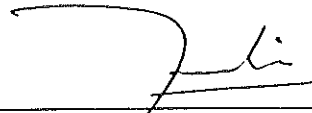
'Análisis del estado del arte de la red Ethernet a 100 Mbps sobre par trenzado'.

TESIS PROFESIONAL

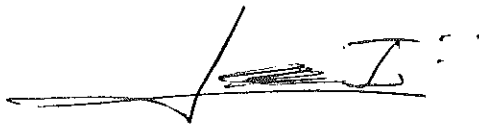
Que presenta:

JUAN MARCOS VALENCIA BACKHOFF

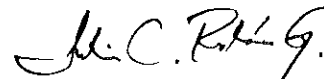
Aprobado por:



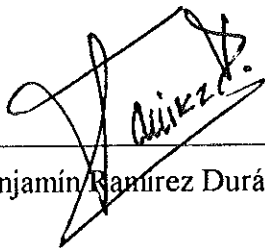
M.C. David Covarrubias Rosales.



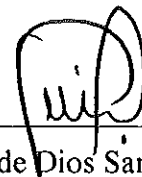
M.C. Juan Iván Nieto Hipólito.



M.C. Julio Rolón Garrido.



M.C. Benjamín Ramírez Durán



Ing. Juan de Dios Sánchez Lopez.

DEDICATORIA:

Tanto esta tesis, como el trabajo y esfuerzo que ésta representa, se la dedico a mi familia.

LAURA C. BACKHOFF DE VALENCIA.

Gracias Madre, por tu comprensión y soporte incondicional, por tus consejos que tan positivamente han reflejado en mi vida, y por tu ejemplo de ser una persona tan íntegra, preparada, honesta, decente y trabajadora. Espero algún día ser como tu. Esta tesis va por ti.

M. GUILLERMO VALENCIA PRECIADO.

Gracias Padre, por haberme instruido en la forma en que lo hiciste, despertando así en mí esas ambiciones académicas desde niño, las cuales hoy en día me han transformado en un profesionalista.

GUILLERMO, ANA LAURA Y DANIEL.

Hermanos: Gracias por estar a mi lado en las buenas y en las malas. Su cariño y hermandad ha sido muy importante para mi realización como persona.

HANS BACKHOFF URCUYO Y EUGENIA ESCUDERO DE BACKHOFF.

Gracias Abuelos: Por haberme dado su ejemplo y haberme apoyado en cuantas formas les fue posible. Su apoyo fue clave para mi formación como persona y como profesionalista.

ANGELINA, HANS, OSCAR Y EDUARDO.

Gracias tíos: Por brindarme su ayuda siempre que la he necesitado. Su forma de ser tan positivos, preparados, trabajadores y familiares me ha motivado a seguir con su ejemplo.

AGRADECIMIENTOS:

A mis asesores y demás personal del CICESE y de la Universidad Autónoma de Baja California.

A mi Director de Tesis M.C. David Covarrubias Rosales, por haberme guiado tan eficientemente desde el principio de este trabajo, cumpliendo así con el objetivo de éste en un tiempo relativamente corto. Gracias David, por haberme transmitido tus conocimientos, transformándome así en un profesionalista.

Al supervisor de mi tesis M.C. Juan Ivan Nieto Hipólito, por sus consejos y recomendaciones a través del desarrollo de mi tesis y su apollo académico como maestro.

Al M.C. Roberto Conte Galván, M.C. Jorge Preciado Velazco, M.C. Rodolfo Castañeda Segura, y Dr. Javier Mendieta Jimenez, que gracias a su gran preparación fueron capaces de brindarme el apoyo técnico necesario para resolver diferentes problemas relacionados con mi trabajo.

A mis profesores y sinodales M.C. Julio Rolón Garrido, M.C. Benjamín Ramírez Durán e Ing. Juan de Dios Sanchez Lopez, los cuales a través de sus recomendaciones me ayudaron a mejorar la calidad de mi escrito.

Al Ing. Enrique Pacheco, M.C. Ernesto Quiroz M., Ing. Raymundo Buenrostro e Ing. Ismael Gutierrez, los cuales me dieron su apollo en diversas ocasiones.

A mis amigas Claudia Pedrín y Verónica Cavazos, las cuales me ayudaron a acelerar el proceso de escrito de mi tesis.

A mis maestros y compañeros de la Universidad, ya que todos ellos influyeron en mi formación como Ingeniero en Electrónica.

Al CICESE por haberme brindado todo el apoyo y la oportunidad de realizar mi tesis en sus instalaciones.

A la Universidad Autónoma de Baja California, por haberme dado la oportunidad de ser un profesionista.

RESUMEN de la tesis de JUAN MARCOS VALENCIA BACKHOFF presentada como requisito parcial para la obtención de la licenciatura en Ingeniería Electrónica. Ensenada Baja California, Diciembre de 1995.

**ANALISIS DEL ESTADO DE ARTE DE LA RED ETHERNET A 100 Mbps SOBRE PAR
TRENZADO.**

Resumen aprobado por :



M.C. David Covarrubias Rosales
Director de Tesis

A través de los años, las redes locales de datos (LAN's) han resuelto problemas de computo interactivo, transferencia de archivos, comunicación entre estaciones, etc.. Sin embargo, la gran demanda de este tipo de aplicaciones y el surgimiento de un conjunto de nuevas aplicaciones de multimedios (voz, video, imágenes), ha dejado a las tecnologías de LAN's tradicionales obsoletas, ya que se requiere de mayores velocidades de transmisión (entre otras características) para satisfacer así el crecimiento exponencial de estas demandas. Por lo anteriormente mencionado, en los últimos tres años ha surgido un conjunto de nuevas tecnologías de LAN's conocidas como redes rápidas, las cuales presentan velocidades de transmisión de 100 Mbps y/o mayores.

El surgimiento de nuevas tecnologías de redes rápidas ha creado mucha confusión en el mercado, ya que cada tecnología presenta sus características propias y presume ser la mejor. En este trabajo se analizan las principales características de dichas redes (FDDI, ATM, 100VG-AnyLAN y Fast Ethernet) haciendo así un análisis comparativo de ellas. Se enfatiza en las diferentes características que describen a Fast Ethernet, ya que ésta presenta aspectos muy favorables para su aplicación en México.

Un problema no resuelto que se aborda en esta tesis es la caracterización del medio físico de transmisión usado por Fast Ethernet (par trenzado sin blindaje) y su relación con las especificaciones que describen a esta tecnología mediante la descripción y medición de los parámetros que degradan más la comunicación (atenuación, diafonía, relación señal a ruido y retardo de propagación.) y su comparación directa con los límites establecidos por la norma que define a Fast Ethernet (IEEE 802.3u).

Dado que las tecnologías de redes rápidas son de muy reciente aparición, el análisis de éstas se hace a través del estudio previo de diversos temas, tales como: arquitecturas de red, evolución de las redes locales de datos, antecedentes, evolución y expectativas particularmente de Ethernet, etc.. Una vez estudiado estos aspectos, se procede al análisis de Fast Ethernet y su relación con los resultados obtenidos en la caracterización del medio físico usado por esta tecnología.

INDICE DE TRABAJO.

	página
1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 ANTECEDENTES.	1
1.2 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO.	1
1.3 OBJETIVO.	2
1.4 METAS.	2
1.5 METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.	3
1.6 INFRAESTRUCTURA UTILIZADA.	4
2 ARQUITECTURAS DE RED.	5
2.1 INTRODUCCIÓN	5
2.2 REDES LOCALES DE COMUNICACIONES.	5
2.2.1 TOKEN RING.	7
2.2.2 ETHERNET.	7
2.2.3 ARCNET.	7
2.3 ARQUITECTURAS DE RED.	7
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA ARQUITECTURA DE RED.	7
2.3.1.1 COMUNICACIÓN ENTRE CAPAS.	9
2.3.2 DIFERENTES ARQUITECTURAS DE RED.	10
2.4 MODELO DE REFERENCIA OSI.	11
2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS SIETE CAPAS DEL MODELO DE REFERENCIA OSI.	12
2.4.2 COORDINACIÓN ENTRE CAPAS.	14
2.5 RELACIÓN DE OSI CON OTRAS ARQUITECTURAS.	15
2.6 CONCLUSIONES.	16
3 REDES LOCALES DE DATOS ETHERNET.	17
3.1 INTRODUCCIÓN.	17
3.2 CARACTERÍSTICAS DE ETHERNET.	17
3.2.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE ETHERNET.	18
3.3 ESPECIFICACIONES DE LA NORMA 802.3.	19
3.3.1 FORMATO DEL PAQUETE 802.3.	19
3.3.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO MAC CSMA/CD.	22

3.3.3 FORMACIÓN Y TRANSMISIÓN DEL PAQUETE.	24
3.3.4 RECEPCIÓN DEL PAQUETE Y DESEMPAQUETAMIENTO.	27
3.4 REDES ESPECIFICADAS POR LA NORMA IEEE 802.3.	28
3.5 CONCLUSIONES.	31
4 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO.	33
4.1 INTRODUCCIÓN.	33
4.2 PARÁMETROS DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN.	34
4.2.1 PARÁMETROS PRIMARIOS.	34
4.2.2 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA.	35
4.2.3 CONSTANTE DE ATENUACIÓN.	36
4.2.4 CONSTANTE DE FASE.	37
4.2.5 CONSTANTE DE PROPAGACIÓN.	37
4.2.6 VELOCIDAD Y RETARDO DE PROPAGACIÓN.	38
4.3 PAR TRENZADO SIN BLINDAJE.	39
4.4 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MEDICIÓN.	40
4.4.1 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO.	40
4.4.2 DIAFONÍA.	40
4.4.3 ATENUACIÓN.	41
4.5 CARACTERIZACIÓN DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) EN SUS DIFERENTES CATEGORÍAS 3, 4, Y 5.	41
4.5.1 ESTÁNDARES DE CABLES.	42
4.5.2 ESQUEMA DE MEDICIÓN DEL PAR TRENZADO.	43
4.5.3 CARACTERIZACIÓN DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) CATEGORÍA 3.	43
4.5.4 CARACTERIZACIÓN DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) CATEGORÍA 4	45
4.5.5 CARACTERIZACIÓN DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) CATEGORÍA 5.	46
4.5.6 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.	48
4.6 CONCLUSIONES.	49
5 REDES LOCALES DE DATOS 'FAST ETHERNET'.	51
5.1 INTRODUCCIÓN	51

5.2 REDES LOCALES RÁPIDAS.	51
5.2.1 REDES RÁPIDAS.	51
5.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES REDES RÁPIDAS.	53
5.2.2.1 FDDI.	53
5.2.2.2 ATM.	55
5.2.2.3 100VG-AnyLAN.	57
5.2.2.4 FAST ETHERNET	58
5.2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS PRINCIPALES REDES RÁPIDAS.	59
5.2.4 100BaseT vs 100VG-AnyLAN.	60
5.3 ESPECIFICACIONES Y MODO DE OPERACIÓN DE FAST ETHERNET.	62
5.3.1 ALGUNAS NORMAS DEL COMITE 802.3u.	62
5.3.1.1 INTERFAZ DE INDEPENDENCIA AL MEDIO.	62
5.3.1.2 AUTONEGOCIACIÓN.	63
5.3.2 ESQUEMA DE CODIFICACIÓN.	64
5.3.3 TEORÍA DE OPERACIÓN DE 100BaseTX.	66
5.3.4 TEORÍA DE OPERACIÓN DE 100BaseT4.	68
5.3.5 LÍMITES DE LA TOPOLOGÍA Y ETAPAS MIGRATORIAS.	72
5.3.5.1 LIMITACIONES EN DISTANCIAS DE FAST ETHERNET	72
5.3.5.2 MIGRACIÓN A FAST ETHERNET	73
5.4 CONCLUSIONES.	75
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77
6.1 CONCLUSIONES.	77
6.2 RECOMENDACIONES.	79
LITERATURA CITADA	80
APÉNDICE A. Comprobación de la ecuación correspondiente a la impedancia característica.	
APÉNDICE B. Demostración matemática de la ecuación correspondiente a la constante de propagación.	
APÉNDICE C. Instalación de una red Ethernet.	
APÉNDICE D. Ethernet conmutado.	

LISTA DE FIGURAS.

Página

figura 1.- Topologías usadas por diferentes LAN's.	6
figura 2.- Comunicación 'peer-to-peer' e interfaz entre capas adacentes.	10
figura 3.- Comunicación 'peer-to-peer' entre dos estaciones regidas por una arquitectura OSI.	13
figura 4.- Topología en ducto usada por Ethernet.	17
figura 5.- Niveles especificados por la norma 802.3.	19
figura 6.- Formato del paquete 802.3.	19
figura 7.- Formato de los campos de dirección.	21
figura 8.- Distribución de las funciones del protocolo CSMA/CD.	24
figura 9.- Diagrama de flujo de la etapa transmisora del protocolo CSMA/CD del subnivel MAC.	26
figura 10.- Diagrama de flujo de la etapa receptora del protocolo CSMA/CD del subnivel MAC.	28
figura 11.- Configuración Ethernet a grán escala.	30
figura 12.- Parámetros geométricos de una línea de transmisión.	35
figura 13.- Cable de cuatro pares trenzados.	39
figura 14.- Parámetro de diafonía.	41
figura 15.- Esquema de medición de los parámetros de transmisión.	43
figura 16.- Características de atenuación del segmento UTP-3.	44
figura 17.- Características de diafonía del segmento UTP-3.	45
figura 18.- Características de atenuación del segmento UTP-4.	46
figura 19.- Características de diafonía del segmento UTP-4	46
figura 20.- Características de atenuación del segmento UTP-5.	47
figura 21.- Características de diafonía del segmento UTP-5.	47
figura 22.- LAN compuesta de varias tecnologías.	52
figura 23.- Límites establecidos por la norma ANSI X3T9.5.	54
figura 24.- Diagrama de conexión de una LAN ATM.	56

figura 25.- Caudal eficaz y utilización del CPU presentado por Fast Ethernet y 100VG- AnyLAN.	61
figura 26.- Ubicación del MII en la arquitectura OSI.	62
figura 27.- Desviación de C.D.	64
figura 28.- Receptor MLT-3.	67
figura 29.- Sucesión de estados lógicos del código MLT-3.	67
figura 30.- Codificación MLT-3.	68
figura 31.- Distribución de los cuatro pares trenzados usados por 100BaseT4.	68
figura 32.- Diagrama de densidad espectral de potencia del código 4B5B.	70
figura 33.- Diagrama a bloques de las funciones realizadas por el circuito integrado BMC500.	71
figura 34.- Diagrama de conexión con límites de distancias permisibles por la norma 802.3u.	73
figura 35.- Esquema migratorio hacia Fast Ethernet.	75

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla I.- Relación de las arquitecturas SNA y DoD con el modelo de referencia OSI.	15
Tabla II.- Características de las redes especificadas por el estándar IEEE 802.3.	29
Tabla III.- Velocidad de propagación en diferentes medios físicos.	38
Tabla IV.- Límites de atenuación y diafonía de segmentos de 100 metros de UTP categorías 3, 4 y 5.	42
Tabla V.- Parámetros medidos al cable UTP-3.	44
Tabla VI.- Parámetros medidos al cable UTP-4.	45
Tabla VII.- Parámetros medidos al cable UTP-5.	47
Tabla VIII.- Características de transmisión de algunos estándares de la IEEE.	48
Tabla IX.- Tecnologías que soportan a UTP-3, 4 y/o 5.	49
Tabla X.- Principales características de las redes rápidas.	59
Tabla XI.- Características adicionales de 100BT y 100VG.	61
Tabla XII.- Información que representa el campo de capacidad de la ráfaga FLP.	63
Tabla XIII.- Selección de símbolos del código de bloques 4B/5B.	66
Tabla XIV.- Esquema del código 4B3T.	69

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 ANTECEDENTES.

Las redes locales de datos se han convertido en una herramienta indispensable para grandes empresas e instituciones, ya que por medio de éstas, es posible el ahorro de tiempo y dinero mediante el cómputo interactivo, transferencia de información, y una serie de aplicaciones de multimedia que vienen a revolucionar el mundo de las comunicaciones.

En la década de los 70's se tenían redes locales de comunicaciones (LAN's) trabajando a velocidades de transmisión de aproximadamente 2 Mbps sobre cable coaxial. En la siguiente década hubo cierto avance tecnológico, pudiendo llegar a obtenerse velocidades de transmisión de hasta 16 Mbps sobre cable coaxial.

No fue hasta principios de los 90's que se introdujo el par trenzado sin blindaje (UTP) como medio de transmisión de las LAN's (10 Mbps), lo cual resultó en un gran éxito comercial, ya que éste es muy práctico y barato, y muchos edificios cuentan con él en sus instalaciones telefónicas.

En estos últimos tres años, ha habido una gran inversión en el área de las LAN's por parte de grandes compañías de comunicaciones, resultando de esto una serie de nuevas tecnologías de alta velocidad (>100 Mbps), las cuales son: ATM, FDDI, 100VG-AnyLAN, y Fast Ethernet.

¿Cual de estas tecnologías es la más apropiada?, ¿que tipo de aplicaciones se puede manejar a través de ellas?, o bien, ¿cual es la tendencia?, ¿cual tecnología es la que predominará y cual tiende a desaparecer?. Estas y otras preguntas se abordarán en el desarrollo de este trabajo, con el propósito de dar suficiente información para responderlas amplia y claramente.

1.2 MOTIVACIÓN DEL TRABAJO.

Dado al gran avance tecnológico del área de LAN's, en estos últimos años ha habido un gran interés en esta área por parte de un grupo de investigadores del CICESE.

Ya que estas tecnologías son nuevas, ha surgido una serie de aspectos poco claros acerca del funcionamiento interno de algunas de éstas, por lo cual el grupo de investigación del área de redes del CICESE ha propuesto diversos temas de tesis para responder a estas incógnitas relacionadas con estas nuevas tecnologías de LAN's.

Una de las inquietudes de este grupo de investigadores está relacionada con el conocimiento de los aspectos técnicos del funcionamiento de la nueva tecnología Fast Ethernet (justificando así su alta velocidad de transmisión), y la relación de estos aspectos con las características del medio físico de transmisión.

1.3 OBJETIVO.

El objetivo de esta tesis es el análisis del estado de arte de la tecnología Fast Ethernet, por medio del cual se pretende dar una explicación detallada de varios aspectos relacionados con esta tecnología, como son: su funcionamiento interno, posibles aplicaciones que soporta, limitaciones de distancias, algunas especificaciones de la norma que la define (IEEE 802.3u), esquemas de codificación empleados, aspectos eléctricos del medio físico usado por esta tecnología, etapas migratorias de 10 a 100 Mbps, y aspectos relacionados con su teoría de operación.

De acuerdo con lo anterior, el análisis de esta tecnología involucra el estudio de diversos temas, por lo cual en esta tesis se aborda uno de éstos para profundizar y resolver los problemas asociados con este tema en particular, enfatizando de esta manera en la problemática relacionada con el medio físico de transmisión usado por Fast Ethernet (UTP), lo cual se lleva a cabo mediante la definición y medición de los parámetros que degradan más la comunicación en las LAN's, dejando así las bases para determinar la posibilidad de usar determinado segmento de cable como medio de transmisión de Fast Ethernet o alguna otra tecnología de LAN's sobre UTP.

1.4 METAS.

- 1) Estudio de la norma 802.3
- 2) Instalación y pruebas de una red Ethernet 10Base2.
- 3) Análisis del comportamiento electromagnético del par trenzado telefónico sin blindaje (UTP) mediante la definición y medición de los parámetros que degradan la comunicación en las LAN's.
- 4) Estudio de las diferentes tecnologías rápidas: FDDI, ATM, 100VG-AnyLAN, y Fast Ethernet.
- 5) Análisis del comportamiento interno de 100Base4 (Fast Ethernet).
- 6) Descripción de la estrategia migratoria de 10 Mbpa a 100 Mbps.

1.5 METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.

Para poder cumplir el objetivo de este trabajo, es necesario un estudio previo de ciertos aspectos más generales del área de redes locales de comunicaciones, partiendo así de un esquema global y terminando en el análisis de la problemática específica previamente planteada.

Para poder ubicar la función de las LAN's dentro de un ambiente de comunicación local, en el capítulo II se estudia detalladamente el concepto de arquitecturas de red, lo cual da la visión necesaria para distinguir e identificar los diferentes protocolos requeridos para poder establecer dicho tipo de comunicación.

Una vez que se tenga claro el concepto y la función de una LAN, se partirá al estudio de la tecnología Ethernet, donde se describirá el funcionamiento interno de dicha de tecnología. Esto último es importante, ya que los protocolos descritos aquí son la base del funcionamiento tanto de Ethernet como de Fast Ethernet, lo cual es parte del objetivo de esta tesis.

En el capítulo IV se trabajará con el medio físico utilizado por Ethernet (10BaseT) y por Fast Ethernet (100BaseT); el par trenzado sin blindaje (UTP), al cual se analizará su comportamiento electromagnético y definirán sus principales parámetros, caracterizándolo así por medio de la medición de los parámetros de atenuación, diafonía y relación señal a ruido. Esto último se hará con el fin de comparar los resultados obtenidos con los límites especificados por la tecnología Fast Ethernet y obtener así conclusiones al respecto.

En el capítulo V se parte del estudio de las nuevas tecnologías de LAN's, analizando así las características más trascendentes de éstas, como son: su protocolo de acceso, medio físico utilizado, topología empleada, tendencias, aplicaciones soportadas, etc.. Se concluye el capítulo con la descripción técnica del funcionamiento de la tecnología Fast Ethernet, así como sus limitaciones y demás aspectos relacionados con esta tecnología.

Finalmente en el capítulo VI se obtendrán conclusiones acerca de los aspectos fundamentales de este estudio, relacionando así las conclusiones individuales de cada capítulo. Se finaliza este estudio con una serie de recomendaciones.

1.6 INFRAESTRUCTURA UTILIZADA.

- * Laboratorio de Redes Locales de Datos del CICESE.

Computadoras, tarjetas de red 10BaseT, sistema operativo de red (Netware de Novell), cable coaxial y conectores.

- * Laboratorio de Cómputo.

Equipo de medición 'Scope Analyzer', par trenzado (UTP 3, 4 y 5).

- * Laboratorio de simulación de redes.

Computadoras.

- * Biblioteca del CICESE.

Libros y revistas relacionadas con los temas.

- * Biblioteca de la Universidad de California de San Diego (UCSD).

Libros y revistas relacionadas con los temas.

- * Internet.

Netscape Navigator.

2 ARQUITECTURAS DE RED.

2.1 INTRODUCCIÓN.

Como se indica en el capítulo anterior, esta tesis se desenvuelve alrededor del análisis de las nuevas tecnologías de redes locales de datos (LAN's por sus siglas en inglés), para lo cual es necesario hacer un estudio preliminar de varios aspectos: ¿Que funciones desempeñan las redes locales de datos?, ¿Como se comunican las estaciones entre sí?, ¿que es una arquitectura de red?, ¿como se distribuyen las funciones dentro de una arquitectura de red?

Todas estas preguntas se pretenden responder en este capítulo, dando así una explicación detallada de estos temas, y con ésto una visión más específica de la distribución de las diferentes funciones y de la ubicación de las LAN's dentro de una arquitectura de red.

El estudio de lo anteriormente mencionado conforma las bases necesarias para poder abordar los temas fundamentales de esta tesis, y finalmente cumplir con el objetivo específico de ésta.

2.2 REDES LOCALES DE COMUNICACIONES.

La función básica de cualquier red de comunicaciones es proveer la ruta de acceso y protocolos de comunicación por medio de los cuales un usuario en un punto geográfico se comunica con otro usuario localizado en otro punto geográfico. El término 'ruta de acceso' no se refiere solamente a la existencia de una trayectoria física entre dos usuarios, sino a la comunicación en su concepción integral, que incluye: errores de transmisión, variación en las velocidades de transmisión, protocolos y formatos diferentes de datos, etc., cuyas características son individuales para cada sistema [Tanenbaum Andrew 1981].

Se puede clasificar a las redes de comunicaciones en dos grandes grupos; Las redes de cobertura amplia (WAN's por sus siglas en inglés) y las redes locales (LAN's). La principal característica que distingue a estos dos grandes grupos es su área de cobertura, ya que las LAN's se limitan a enlazar estaciones dentro de un área de aproximadamente dos kilómetros, mientras que las WAN's cubren distancias ilimitadas dentro del globo terrestre. Sin embargo existen muchas aplicaciones donde la distancia entre usuarios es relativamente corta, como es el caso de enlaces dentro de un edificio o un conjunto centralizado de edificios, en cuyo esquema entra la demanda de las redes locales (LAN's). Las LAN's pueden usarse para: computo interactivo, conmutación entre múltiples computadoras, direccionamiento flexible y de alta difusión ('broadcast'), servicios especializados como base de datos, correo electrónico, etc. [Tanenbaum Andrew. 1981] [Covarrubias].

Existen diversos tipos de redes locales de comunicaciones, las cuales se distinguen entre sí por su: método de acceso, medio de transmisión, topología, velocidad de transmisión, protocolos, y circuitería entre otros aspectos.

Para que la comunicación en un ambiente de redes sea económica, se cuenta con un solo canal de transmisión, por medio del cual todas las estaciones de una red se comunican (medio compartido). Para evitar conflictos de interferencia entre diferentes comunicaciones, las LAN's cuentan con un protocolo de 'control de acceso al medio (MAC por sus siglas en inglés), el cual se encarga de administrar el canal entre las diferentes estaciones.

Existen dos clasificaciones de los diferentes protocolos de acceso al medio (medio compartido): por contención, y determinísticos. En los protocolos de acceso por contención, todas las estaciones de la red contienden por el ancho de banda disponible, el primero que llega es el primero que lo usa. Mientras que en los protocolos determinísticos cada una de las estaciones tienen derecho a una porción del ancho de banda disponible y se garantiza el acceso a la red cuando su turno le corresponde, el tiempo para transmitir es controlado por una ficha o testigo ('token') que continuamente está circulando [Covarrubias].

La topología de una red se refiere a la forma en que se interconectan las estaciones de trabajo. La figura 1 muestra tres de las topologías más empleadas en diferentes LAN's.

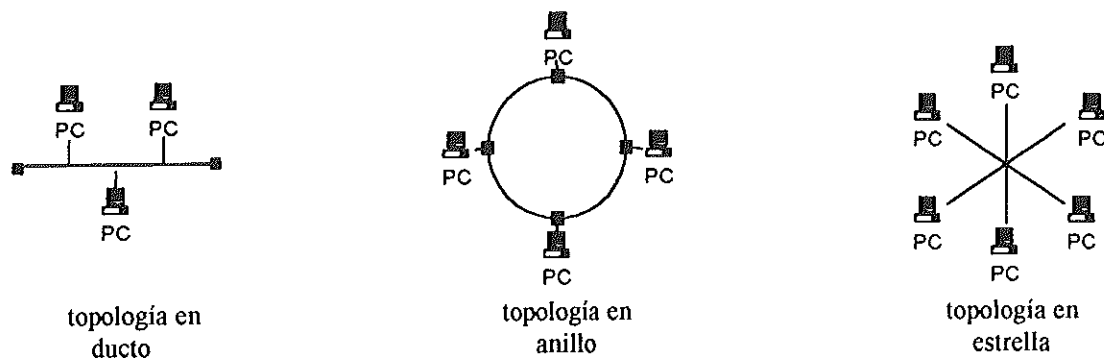


figura 1. Topologías usadas en diferentes LAN's.

Hoy en día, las LAN's trabajan sobre diversos medios físicos de transmisión, los cuales cuentan con sus propias características específicas. Algunos de los medios de transmisión más comunes son: Cable coaxial grueso y delgado, fibra óptica, par trenzado con blindaje (STP) y sin blindaje (UTP) y el aire (infrarrojo, RF, espectro esparcido). El medio de transmisión juega un papel muy importante en la elección de determinada tecnología de LAN.

Desde la década de los ochentas hasta principios de los noventas, las LAN's más populares han sido: Token Ring, Ethernet y ARCnet, las cuales cuentan con sus propias características.

2.2.1 TOKEN RING.

Token Ring es desarrollada por la IBM, la cual especifica velocidades de transmisión de 4 y 16 Mbps (Mega bits por segundo) sobre cable coaxial y una topología de tipo anillo (ver fig. 1).

El protocolo de acceso al medio (MAC) es denominado 'Token Passing' (paso del testigo), el cual se basa en un esquema de tipo determinístico.

2.2.2 ETHERNET.

Ethernet es una tecnología desarrollada inicialmente por Xerox y Digital Equipment Corp., la cual especifica velocidades de transmisión de 1 y 10 Mbps sobre cable coaxial (delgado y grueso) y par trenzado sin blindaje.

Esta tecnología utiliza una topología en ducto para sus versiones sobre cable coaxial, y una topología externa en estrella para su versión de UTP (ver figura 1).

El protocolo de acceso al medio utilizado por Ethernet es denominado CSMA/CD ('Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection'), el cual es de tipo de contención.

2.2.3 ARCNET.

La tecnología ARCnet fue desarrollada por Datapoint, especificando velocidades de transmisión de 2.5 Mbps y 20 Mbps (ARCnet Plus). Soporta cable coaxial y par trenzado sin blindaje UTP.

La topología empleada por esta tecnología puede ser de estrella o en ducto, mientras que el protocolo de acceso es de tipo determinístico ('Token Passing').

En los últimos tres años ha habido una gran inversión en el área de LAN's por parte de grandes compañías, por lo que han aparecido en el mercado un conjunto de nuevas tecnologías, las cuales presentan velocidades de transmisión de 100 Mbps y mayores, haciendo posible el uso de nuevas aplicaciones (voz, video e imágenes). Dichas tecnologías serán analizadas con detalle en el capítulo V.

2.3 ARQUITECTURAS DE REDES.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA ARQUITECTURA DE RED.

Para reducir la complejidad del diseño de una red, éstas son organizadas internamente por medio de una distribución de sus diferentes tareas en niveles o capas, permitiendo así dividir un problema grande en problemas más pequeños y específicos.

Otra ventaja de la distribución en capas es asegurar la independencia de cada capa con respecto a las demás, definiendo servicios específicos que debe proveer cada capa de forma independiente, permitiendo así hacer cambios en la forma en que opera una o varias capas, y asegurando el mismo servicio a las capas adyacentes [Tanenbaum Andrew. 1981].

Al conjunto ordenado de esta distribución de capas es lo que se conoce como arquitectura de red. Existen diversas arquitecturas, las cuales se caracterizan por tener su propia distribución de funciones a través de determinado número de capas.

Cualquiera que sea la arquitectura de red, ésta debe de seguir ciertos procedimientos con el fin de establecer la ruta de acceso e iniciar con la comunicación:

1) Para poder lograr el enlace entre dos usuarios, primero se debe asegurar que existan ciertos recursos físicos para la transmisión, los cuales deben unir al nodo fuente con el nodo destino.

2) Existe la necesidad de compartir un mismo canal entre varios usuarios, para esto se han desarrollado varios protocolos de acceso múltiple (MAC) con el fin de economizar la transmisión de información.

3) Deben existir funciones que aseguren una transmisión sin error, es decir, que los bits transmitidos sean los mismos que los bits recibidos.

4) Debe existir también la función de direccionamiento, mejor conocida como 'enrutamiento'.

5) La siguiente función es el almacenamiento de la señal de entrada en memorias ('buffers') hasta que ésta pueda ser procesada, y el almacenamiento de la señal de salida hasta que pueda ser transmitida.

6) Debe haber también una etapa de control de flujo, donde se regula la transmisión de paquetes de información, de tal manera que no se saturen las memorias y tampoco se dejen esperando mucho tiempo vacías.

7) La siguiente función necesaria es el establecimiento del tipo de transmisión a realizar, el cual puede ser unidireccional (simplex), bidireccional (half-duplex) o bidireccional simultáneo (full-duplex).

8) La etapa siguiente es la de darle cierta presentación a la información transmitida, donde se elige cierto formato, encriptamiento, compresión de datos, etc..

Una vez que se hayan proveído todos estos elementos, la ruta de acceso es considerada completa para el empleo de diversas aplicaciones [P.E. Green, Jr. 1980].

En general, estas funciones en conjunto son realizadas por cualquier red sea cual sea su arquitectura. El número de capas, el nombre de éstas, y la función que cada una desempeña, es lo que diferencia a una arquitectura de otra.

2.3.1.1 COMUNICACIÓN ENTRE CAPAS.

Obviamente a la hora de establecer un enlace, cada protocolo se comunica únicamente con su homólogo en la otra estación, por ejemplo, la etapa de presentación de la estación transmisora se comunica únicamente con la etapa de presentación de la estación receptora, sin importarle acerca de la etapa de enrutamiento.

Algo que tienen en común las diferentes arquitecturas de red es que cada nivel tiene el propósito de procesar la información y pasarla al siguiente nivel, sin importar las funciones realizadas o por realizar por los demás niveles.

La idea es que la capa n de una máquina tenga conversación con la capa n de otra máquina. Las reglas y convenciones usadas en esta conversación es a lo que se le denomina 'protocolo de la capa n'.

A esta comunicación entre dos capas n de diferentes máquinas se le denomina comunicación capa a capa ('peer to peer').

En realidad no hay una transferencia directa de datos de la capa n de una máquina a la capa n de otra máquina (excepto en el nivel físico), sino que cada nivel pasa bits de información y control a capas inferiores hasta acceder al nivel físico, en este último nivel es donde se realiza la comunicación física, por medio de la cual se puede llevar a cabo la comunicación 'peer to peer' [Covarrubias].

La interacción entre capas adyacentes se da a través de un protocolo de interfaz, el cual se basa en el manejo de instrucciones llamadas 'primitivas'. Una primitiva inicia una acción o advierte del resultado de una acción.

La interfaz es utilizada para acceder servicios proporcionados por la capa adyacente. El punto en el cual es proporcionado un servicio es conocido como punto de acceso al servicio (SAP por sus siglas en inglés) [Covarrubias].

La figura 2 muestra un diagrama de una comunicación 'capa a capa', para lo cual es necesario la interfaz entre capas adyacentes mediante el uso de primitivas.

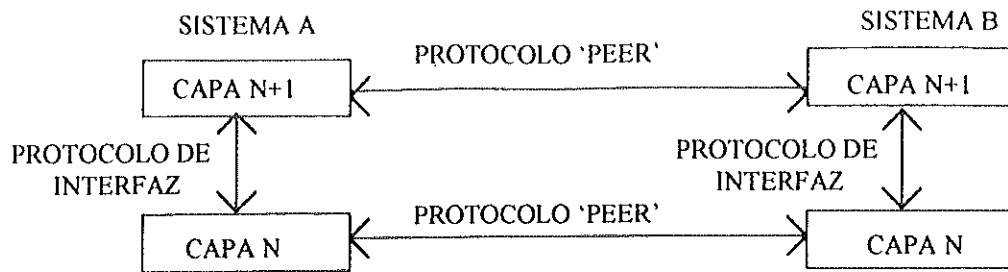


figura 2. Comunicación capa a capa ('peer to peer') e interfaz entre capas adyacentes.

Como muestra la figura 2, para poder llevar a cabo una comunicación 'capa a capa' es necesario la interfaz entre capas adyacentes mediante el uso de primitivas.

El conjunto de normas que permite la interacción entre dos niveles homólogos es denominado protocolo, por lo tanto las arquitecturas de red son especificadas en términos de 'protocolos de comunicación'.

2.3.2 DIFERENTES ARQUITECTURAS DE RED.

Existen diversas arquitecturas de red, las cuales se caracterizan por tener su propia distribución de capas y por ser regidas por sus propios protocolos. Entre las arquitecturas de red más comunes se encuentran las siguientes: SNA, DoD, DNA, Novell y otras.

ARQUITECTURA SNA:

La arquitectura SNA ('System Network Architecture') fue desarrollada por la IBM a principios de los 70's con el propósito de soportar aplicaciones de diversos productos de esta compañía. Hoy en día SNA es una arquitectura absolutamente abstracta, es decir, independiente de productos específicos ('hardware y software'), y abierta en continua evolución [Covarrubias].

La arquitectura SNA está constituida por seis capas jerárquicamente ordenadas: 1) enlace físico, 2) control de enlace de datos, 3) control de trayectoria, 4) control de transmisión, 5) control de flujo de datos, y 6) servicios de presentación.

En esta forma la arquitectura SNA organiza internamente sus protocolos para establecer un enlace y así mismo la comunicación entre usuarios [P.E. Green, Jr. 1980].

ARQUITECTURA DoD:

En 1969 se llevó a cabo un proyecto experimental de una red de computadoras para el intercambio de paquetes de información coordinado por ARPA ('Advanced Research Project Agency') del departamento de defensa de los Estados Unidos (DoD), al cual se le denominó ARPANET. Los protocolos conocidos actualmente como TCP/IP ('Transmission Control

Protocol / Internet Protocol') fueron creados en base a los utilizados por ARPANET [Covarrubias].

La arquitectura DoD distribuye sus funciones en cuatro capas jerárquicamente ordenadas de la siguiente manera: 1) acceso a la red, 2) inter-red, 3) transporte, y 4) aplicación y servicios. Los protocolos correspondientes a esta arquitectura son hoy en día ampliamente usados.

Así mismo, otras arquitecturas distribuyen las funciones previamente mencionadas en determinado número de capas.

2.4 MODELO DE REFERENCIA OSI.

Al principio de los 70's la comunicación de datos estaba en un estado caótico, dado que cada fabricante de equipo establecía sus propios protocolos de comunicaciones para sus sistemas (estándares propietarios).

Para 1977 la ISO ('International Organization for Standardization') creó el subcomité que dio origen a OSI ('Open System Interconnect'). La idea principal era desarrollar estándares para definir los procedimientos de comunicación que permitieran que sistemas de cómputo heterogéneos pudiesen interconectarse entre sí.

El modelo OSI de manera integral viene siendo un marco de trabajo que especifica el empleo de una arquitectura de siete capas, donde cada capa representa la función de un protocolo que se requiere para el establecimiento y mantenimiento de un intercambio de información libre de error entre usuarios de una red [Covarrubias].

El modelo de referencia OSI es una estructura lógica importante, no es una especificación, regulación, o protocolo. Su propósito es simplemente guiar el diseño y uso de estándares de comunicaciones.

La arquitectura especificada por OSI es constituida por las siguientes capas: física, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación, y aplicación. La figura 3 muestra un ejemplo del establecimiento de una comunicación entre dos aplicaciones:

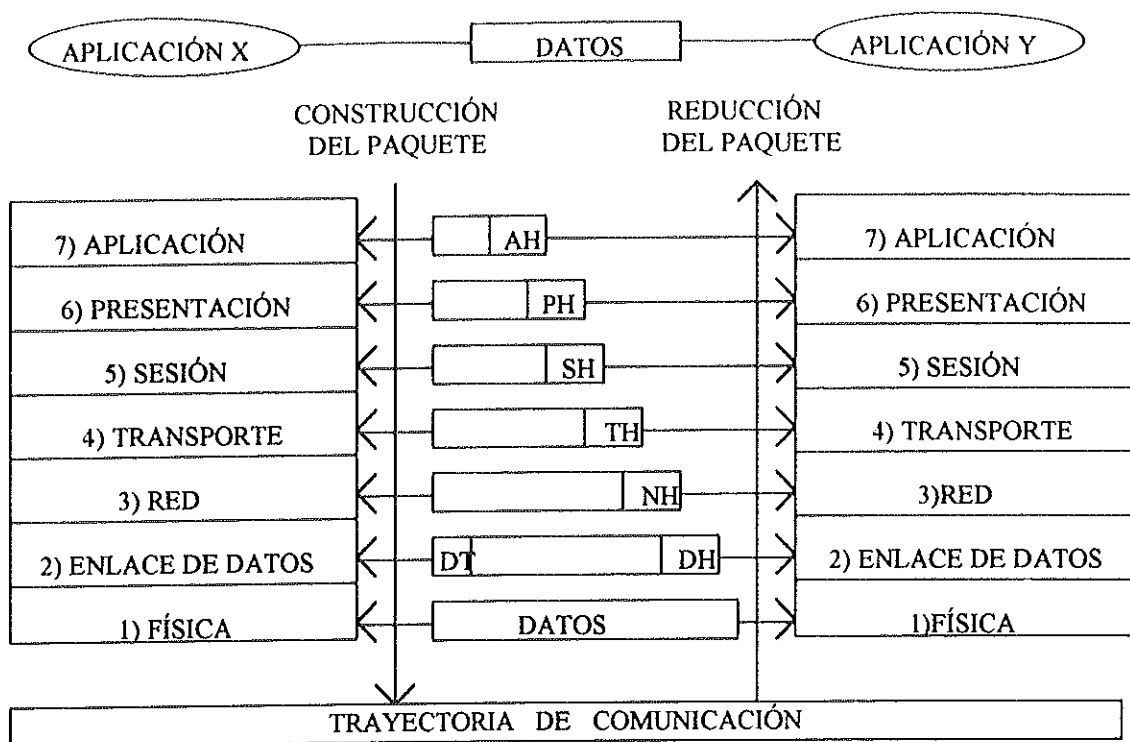


figura 3. Comunicación 'peer to peer' entre dos estaciones regidas por una arquitectura OSI.

La figura 3 muestra como la aplicación X presenta los datos al sistema para transmitirlos a la aplicación Y.

En la construcción del paquete de salida se van añadiendo uno o más campos de control por cada capa (AH, PH, SH, etc.). En la recepción del paquete dichos campos son removidos por la correspondiente capa semejante (peer) de la estación receptora. Estos campos añadidos son utilizados precisamente para realizar una comunicación 'peer to peer'.

2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS SIETE CAPAS DEL MODELO DE REFERENCIA OSI.

Las capas superiores de aplicación y presentación tienen como misión principal establecer la forma del procesamiento de cómputo y presentación de datos, la capa de sesión proporciona el reconocimiento y conexión entre la computadora principal y la terminal del usuario, y las capas inferiores están involucradas con el manejo y transporte de datos. [Covarrubias].

Las funciones generales especificadas por cada una de las capas de la arquitectura OSI son las siguientes:

CAPA DE APLICACIÓN: Esta capa no solo incluye programas de aplicación, sino también servicios básicos de red, tales como servicios de archivos y de impresión.

Cada aplicación debe emplear su propio protocolo de la capa siete (de aplicación). Existe una amplia variedad de aplicaciones disponibles: transferencia de archivos, correo electrónico, acceso remoto, operación de terminal virtual, etc..

Los protocolos de aplicación han presentado un desarrollo muy fuerte en los últimos años, pero su estandarización ha resultado difícil de concretar. De esta manera aplicaciones específicas han desarrollado sus propios protocolos, tales como: VPT (Virtual Terminal Protocol), X.400, FTAM ('File Transfer And Management'), etc..

CAPA DE PRESENTACIÓN: Esta capa define cosas como: sintaxis, gráficas especiales y conjunto de caracteres. Controla también el formato de los archivos.

En esta capa se establecen funciones de codificación (encriptamiento), compresión de la información, etc.. Esta es especialmente importante para servicios de videotexto.

CAPA DE SESIÓN: Esta capa se encarga de administrar la información; por ejemplo: Su establecimiento, mantenimiento y terminación.

Establece límites para el inicio y fin de los mensajes, así como la forma en que éstos serán enviados (half-duplex o full-duplex). Estas formas de establecer la comunicación son negociadas y establecidas durante el inicio de la sesión.

CAPA DE TRANSPORTE: Maneja el transporte extremo a extremo, haciendo una entrega secuenciada muy confiable.

Cada paquete de un mensaje puede seguir diferentes rutas a través de la red, y en el receptor, esta capa se encarga de restablecer el orden de los paquetes mediante un proceso llamado 'secuenciación'.

Esta capa se encarga de recuperar los datos perdidos y proporciona un control de flujo, controlando la velocidad de transferencia de datos para prevenir un sobre flujo en las memorias ('buffers') de la red. Puede soportar también transferencia de datos en forma de datagramas, es decir, transacciones que no tienen que ser secuenciales.

CAPA DE RED: Esta capa se encarga de empaquetar los datos, añadiendo un encabezado que contiene la secuencia del paquete y la dirección del dispositivo receptor. En pocas palabras, esta capa realiza funciones de enrutamiento.

CAPA DE ENLACE DE DATOS: Esta capa provee el nivel más bajo de control de error. Cuando se detecta un error, se solicita la retransmisión de datos. En esta capa se especifica también el método de acceso múltiple (MAC) utilizado, el cual puede ser determinístico o por contención.

CAPA FÍSICA: Esta capa representa la interfaz eléctrica y mecánica para conectar al equipo de cómputo con el medio de transmisión (conectores, medio físico).

El esquema de codificación necesario para el transporte de la información (codificación en línea) es realizado en esta capa.

2.4.2 COORDINACIÓN ENTRE CAPAS.

Como fue mencionado anteriormente, para establecer la comunicación entre dos estaciones es necesaria la interacción entre capas adyacentes de cada estación, comunicándose así los diferentes protocolos correspondientes a determinada arquitectura para finalmente establecer una comunicación 'peer to peer'.

La coordinación entre capas adyacentes en la recepción de un paquete en la arquitectura OSI es la siguiente:

- 1) En el extremo receptor la capa física reconvierte el mensaje de entrada en un patrón de bits (decodificación de línea).
- 2) La capa de enlace de datos se asegura que la información esté libre de errores.
- 3) La capa de red vuelve a contar los paquetes de entrada para propósitos de seguridad y confiabilidad. Desempaqueta la información.
- 4) La capa de transmisión ordena la información mediante el proceso de secuenciación.
- 5) La capa de sesión mantiene las partes del mensaje hasta que arriben todos los paquetes para su envío a la siguiente capa.
- 6) La capa de presentación expande el mensaje (si este fue comprimido) y lo descifra (si fue previamente encriptado).
- 7) La capa de aplicación identifica el receptor, convierte los bits en caracteres legibles, y direcciona los datos a la aplicación correcta.

El modelo de referencia OSI tiene también ciertas limitaciones, las cuales son expuestas a continuación:

- * Es complejo, con un gran volumen de información para describirlo.
- * La información documentada es poco directa (legible).
- * Existe un número excesivo de opciones para un protocolo de arquitectura.
- * Es frecuente encontrar incompatibilidad entre diferentes implementaciones del modelo.
- * Algunas funciones y atributos de las capas no están del todo bien definidas.
- * No se le da mucha importancia a la interconectividad.

2.5 RELACIÓN DE OSI CON OTRAS ARQUITECTURAS.

Con respecto a lo recién analizado, la arquitectura OSI es solamente un modelo de referencia, es decir, OSI no presenta protocolos propios, sino que guía a los fabricantes de equipo de comunicaciones a desarrollar dispositivos en base a lo establecido por este modelo.

La tabla I muestra la relación del modelo de referencia OSI con otras arquitecturas:

TABLA I. RELACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS SNA Y DoD CON EL MODELO DE REFERENCIA OSI.

MODELO DE REFERENCIA OSI	ARQUITECTURA DoD (Y SUS PROTOCOLOS)	ARQUITECTURA SNA (Y SUS PROTOCOLOS)
APLICACIÓN	APLICACIÓN Y SERVICIOS (FTP, TELNET, SMTP)	
PRESENTACIÓN		ADMINISTRACIÓN DE FUNCIÓN
SESIÓN	TRANSPORTE (TCP, UDP)	CONTROL DE FLUJO (PAHD)
TRANSPORTE		CONTROL DE TRANSMISIÓN
RED	INTER-RED (IP, ARP, ICMP)	CONTROL DE TRAYECTORIA
ENLACE DE DATOS	ACCESO A RED	ENLACE DE DATOS (SDLC, subnivel LLC)
FÍSICA		ENLACE FÍSICO

El nivel de 'enlace de datos' especificado por el modelo de referencia OSI se divide en dos partes; control de enlace lógico (LLC por sus siglas en inglés) y control de acceso al medio (MAC).

Las LAN's especifican operaciones correspondientes al subnivel MAC y al nivel físico, mientras que los protocolos correspondientes a los niveles superiores son activados por medio de programación ('software').

Algunas capas de estas arquitecturas no corresponden uno a uno a las capas de OSI, por ejemplo, la capa de 'control de transmisión' de la arquitectura SNA realiza funciones correspondientes tanto a la capa de 'transmisión' como a la de 'sesión' del modelo OSI.

2.6 CONCLUSIONES:

Una arquitectura de red especifica la distribución ordenada de los diferentes protocolos necesarios para poder establecer comunicación entre estaciones de trabajo (computadoras).

Existen muchas arquitecturas de red bien definidas, las cuales cuentan con sus propios protocolos. Sin embargo, es posible la interacción de protocolos correspondientes a diferentes arquitecturas, como es el caso de los protocolos de la capa de aplicación de la arquitectura DoD, los cuales son usados frecuentemente en otras arquitecturas.

El modelo OSI ('Open System Interconnect') de la ISO especifica una arquitectura (de siete capas) con el fin de tener un estándar de una 'arquitectura de red universal', lo cual ha resultado muy difícil de lograr en la práctica, ya que es un proceso lento y caro.

OSI es una arquitectura conceptual (no existe físicamente), es decir, no existen protocolos diseñados específicamente para esta arquitectura, sino que es simplemente un modelo de referencia. Sin embargo, la IEEE ha desarrollado estándares de protocolos correspondientes a las capas inferiores de OSI, por lo tanto se dice que éstos son protocolos de OSI.

El modelo OSI ha servido de 'referencia' para los fabricantes de equipo de comunicaciones, ya que éstos diseñan sus productos alrededor de este modelo, definiendo así la labor específica de sus productos.

Las redes locales de datos corresponden solamente a los dos niveles inferiores del modelo de referencia OSI (nivel físico y subnivel MAC), ya que para poder establecer una comunicación es necesario la activación de protocolos correspondientes a los niveles superiores (transporte, red, etc.), conformando así a una 'arquitectura de red'.

3 REDES LOCALES DE DATOS ETHERNET.

3.1 INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con lo analizado en el capítulo anterior, la mayoría de las redes locales de datos son definidas por cierta arquitectura, bajo cuyo esquema se hace una distribución ordenada de las diferentes funciones que en conjunto conforman a dicha red. En este capítulo se parte del estudio de Ethernet mediante la relación de las funciones realizadas por esta tecnología con respecto a las funciones indicadas por las capas inferiores de la arquitectura OSI.

El objetivo fundamental de este capítulo es entonces la definición de las características que conforman a la tecnología Ethernet mediante el estudio de la norma 802.3 de la IEEE, la cual define el funcionamiento interno de Ethernet y sus diferentes versiones. Esto es particularmente importante para el objetivo global de esta tesis, ya que los protocolos principales que describen el funcionamiento de Ethernet son los mismos utilizados en la nueva versión de esta tecnología a 100Mbps (Fast Ethernet).

3.2 CARACTERÍSTICAS DE ETHERNET.

Ethernet utiliza una topología de ducto bidireccional, del cual penden físicamente las distintas estaciones (figura 4). Debido a su característica de un ducto en común para la transmisión y recepción de datos entre estaciones, Ethernet emplea un protocolo de tipo contienda denominado CSMA/CD ('Carrier Sense Multiple Access with Colission Detection'), el cual es la base fundamental de esta tecnología. Dicho protocolo es especificado por la norma 802.3 de la IEEE [Covarrubias].

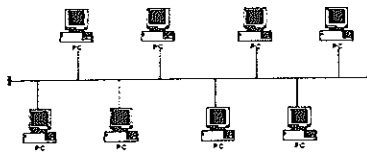


figura 4. Topología en ducto usada por Ethernet.

Las principales características de Ethernet son las siguientes: capacidad de soportar hasta 1024 estaciones, velocidad de transmisión de 10 Mbps, dispersión geográfica de 2.5 Km, alta confiabilidad (protocolos bien definidos y conocidos), fácil de instalar y de aumentar el número de estaciones.

3.2.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE ETHERNET.

El estándar original de la red Ethernet fue creado por Xerox, DEC e Intel. Dicho estándar fue basado en el uso de los siguientes componentes: Tarjeta controladora (NIC por sus siglas en inglés), transceptor, cable del transceptor, y medio físico [Gilbert Held. 1994].

MEDIO FÍSICO: Una de las características de Ethernet es que puede operar bajo diferentes medios (cable coaxial, par trenzado y fibra óptica).

Existen dos tipos de cable coaxial: grueso y delgado. El cable coaxial grueso tiene la ventaja de soportar grandes distancias entre estaciones y un número relativamente grande de éstas por segmento, sin embargo este cable es caro e impráctico, ya que es muy voluminoso, pesado y difícil de instalar. El cable coaxial delgado es más barato, flexible y práctico, sin embargo, tanto el número de estaciones por segmento como la máxima longitud permitida de éste, son menores.

El UTP tiene ciertas ventajas y desventajas con respecto al cable coaxial; aunque el UTP es más barato, se requiere del uso de concentradores, lo cual implica un gasto extra. Sin embargo esto último tiene sus ventajas, ya que el uso de concentradores facilita el crecimiento de la red y la detección de errores en ésta.

La fibra óptica es el medio físico más eficiente con respecto al desempeño, pero en cuestiones de instalación por ahora no es del todo práctico ni barato. Este último punto (el económico), es la razón por la cual muchas empresas optan por otro medio de transmisión.

TRANSECTOR Y CABLE DEL TRANSECTOR. El término transceptor viene de transmisor-receptor. Este es un dispositivo electrónico diseñado para transmitir y recibir señales a través del medio físico.

El transceptor hace las funciones de detección de colisión y detección de portadora (cuyas funciones son descritas con detalle posteriormente en este capítulo). El transceptor puede ser interno (localizado dentro de la tarjeta controladora) o externo. Cuando se tiene un transceptor externo, éste es acompañado de un cable de transceptor, el cual lo une a la tarjeta controladora.

El cable del transceptor está formado de cinco pares trenzados sin blindaje, de los cuales se utilizan dos para transmitir y recibir, dos para hacer las funciones de detección de colisión y de detección de portadora y el quinto se usa para la alimentación del dispositivo.

TARJETA DE RED (NIC). La tarjeta de red es insertada en un ducto de expansión de una computadora, y tiene la función de transmitir paquetes de información hacia el transceptor y recibirlos de este mismo. Esta tarjeta contiene ciertos circuitos integrados especiales que le permiten realizar funciones como es el empaquetamiento y desempaquetamiento de datos, el algoritmo de revisión de error (CRC), codificación/decodificación, etc..

3.3 ESPECIFICACIONES DE LA NORMA 802.3.

La tecnología Ethernet es descrita en su totalidad por el estándar 802.3 de la IEEE, para cuyo análisis se parte de la relación de Ethernet con la arquitectura OSI, enfatizando así en las divisiones lógicas del sistema y su interrelación.

Como fue indicado en el capítulo anterior, el nivel de enlace de datos del modelo OSI se divide en dos: control de enlace lógico (LLC) y control de acceso al medio (MAC). La figura 5 muestra los niveles y subniveles especificados por la norma 802.3 [IEEE 802.3 International Standard].

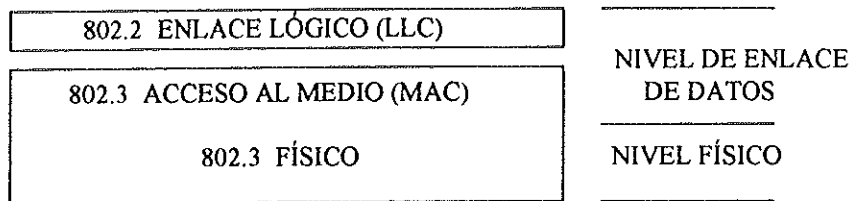


figura 5. Niveles especificados por la norma 802.3.

Como se puede ver en esta figura, el subnivel LLC corresponde al estándar 802.2, por lo tanto no será cubierto en este capítulo. Sin embargo, cabe mencionar que las funciones realizadas por el subnivel LLC involucran procedimientos relacionados con la detección de errores en la transmisión.

3.3.1 FORMATO DEL PAQUETE 'IEEE 802.3' UTILIZADO POR ETHERNET.

Posteriormente se definirá en detalle la estructura del paquete utilizado por el protocolo MAC. La figura 6 muestra los ocho campos que comprenden a dicho paquete:

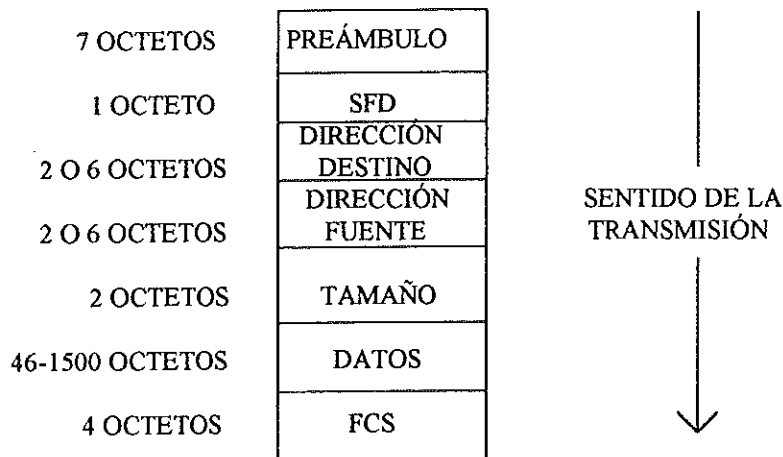


figura 6. Formato del paquete 802.3

El único campo que puede tener un valor variable es el campo de datos. El sentido de la transmisión es de arriba hacia abajo, es decir, primero se transmite el preámbulo y al último el campo FCS. En seguida se da una definición de cada uno de los campos que constituyen a dicho paquete.

CAMPO DE PREÁMBULO. Este campo es utilizado para que la circuitería del nivel físico ('Physical Layer Signaling (PLS)') llegue a un estado estable de sincronía y para establecer su temporización. El preámbulo es constituido por una serie de siete octetos de bits aleatorios (10101010...).

CAMPO SFD ('Start Frame Delimiter'). Este campo sigue inmediatamente después del campo de preámbulo, e indica el comienzo de un paquete mediante la siguiente secuencia de bits: 10101011.

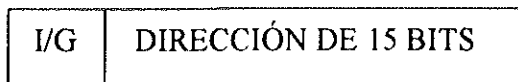
CAMPOS DE DIRECCIONAMIENTO. Cada paquete contiene dos campos de direccionamiento, el destino y el fuente. El campo de direccionamiento destino identifica la dirección de la estación a la cual es dirigido el paquete. El campo de direccionamiento fuente identifica la dirección de la estación que envía el paquete. La representación de cada campo de direccionamiento es de la siguiente manera:

- (1) Cada campo de direccionamiento debe ser compuesto de 16 o 48 bits. Sin embargo, estos campos deben ser del mismo tamaño en todos instantes en determinada LAN.
- (2) El soporte de campos de 16 o 48 bits es opción del fabricante, es decir, no necesariamente se debe tener la opción de ambos tamaños.
- (3) El primer bit del campo es usado para identificar la dirección del paquete como individual o de grupo. En el campo de direccionamiento fuente, este bit es reservado y asignado el valor de 0 (ver figura 7).
- (4) Para campos de 48 bits, el segundo bit sirve para distinguir entre direcciones administradas local o globalmente.
- (5) Cada octeto de cada campo de dirección debe ser transmitido de bit menos significativo (LSB) a bit más significativo (MSB).

FORMATO DE DIRECCIÓN DE 48 BITS



FORMATO DE DIRECCIÓN DE 16 BITS



I/G = 0 DIRECCIÓN INDIVIDUAL

I/G = 1 DIRECCIÓN DE GRUPO

U/L = 0 DIRECCIÓN ADMINISTRADA GLOBALMENTE

U/L = 1 DIRECCIÓN ADMINISTRADA LOCALMENTE

figura 7. Formato de los campos de dirección.

La dirección individual se refiere a la dirección de una sola estación, mientras que la dirección de grupo se refiere a una o más de una estación en la red.

CAMPO DE TAMAÑO. Este campo especifica el tamaño total del paquete. Si el tamaño del paquete no concuerda con la información de este campo, la estación receptora identifica un error.

CAMPO DE DATOS. Este campo contiene la información que se desea transmitir. Existe un número máximo de 1500 octetos, mientras que el número mínimo es de 46 octetos. En caso de que el mínimo de octetos no se cumpla, se le agregan bits extras a dicho campo mediante un proceso de relleno ('padding').

CAMPO FCS ('Frame Check Sequence'). Para detectar algún posible error, los campos de dirección, tamaño y datos, son pasados por un algoritmo (CRC 'cyclic redundancy check'), cuyo valor resultante es puesto en este campo y enviado con el resto del paquete. En la estación receptora se vuelven a pasar los mismos campos por el mismo algoritmo CRC, si el valor generado difiere al de éste campo, se interpreta la ocurrencia de un error.

Existe también otro formato denominado 'paquete Ethernet', el cual difiere al paquete IEEE 802.3 únicamente por la sustitución del campo 'tamaño' por el campo 'tipo'. El campo 'tipo' (usado solamente por el paquete 'Ethernet') identifica el protocolo utilizado por los niveles superiores para procesar los datos. Esto último es importante, ya que pueden existir problemas de compatibilidad en la etapa de instalación.

PAQUETE NO ACEPTADO. Un paquete no aceptado es uno que cuenta con alguna de las siguientes características:

- 1) El tamaño del paquete no concuerda con la información del campo 'tamaño'.
- 2) El tamaño del paquete no es un número entero de octetos.
- 3) El resultado generado por el algoritmo CRC en la estación receptora no concuerda con el contenido del campo FCS.

3.3.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOCOLO MAC (CSMA/CD).

Los subniveles MAC y LLC realizan las funciones correspondientes al nivel de enlace de datos presentado por la arquitectura OSI. La partición de funciones presentadas en el estándar 802.3 son divididas prácticamente en dos grupos principales, asociadas con el subnivel LLC y realizadas por el subnivel MAC [IEEE 802.3 International Standard]:

- 1) Encapsulado de datos (transmisión y recepción).
 - (a) Empaquetado.
 - (b) Direccionamiento.
 - (c) Detección de errores.
- 2) Administración del acceso al medio MAM (transmisión y recepción).
 - (a) Asignación del medio (evasión de colisiones).
 - (b) Contención del medio (manejo de colisiones).

TRANSMISIÓN SIN COLISIÓN.

Cuando el subnivel LLC requiere la transmisión de un paquete, la circuitería del subnivel MAC construye dicho paquete con los datos suministrados por el subnivel LLC. En esta etapa se proveen todos los campos que forman la estructura del paquete (preámbulo, direcciones, tamaño, datos y SFD). Una vez construido el paquete, éste es pasado al administrador de acceso al medio (MAM por sus siglas en inglés), el cual se encuentra dentro del subnivel MAC. El MAM verifica que la línea esté disponible para transmisión y así evitar colisión de información. Cuando el medio esté libre, la transmisión del paquete es iniciada, entonces el subnivel MAC provee a la interfaz del nivel físico con una ráfaga de bits, llevando a cabo así la transmisión del paquete. Una vez que el nivel físico reciba los datos, éste los codifica con un código de línea Manchester para su transmisión. Simultáneamente se monitorea el medio, y en caso de colisión el subnivel MAC informa al LLC y se espera para la próxima transmisión [IEEE 802.3 International Standard].

RECEPCIÓN SIN COLISIÓN.

En cada estación receptora la llegada de un paquete es detectada primeramente por el nivel físico (PLS 'physical layer signaling'), el cual se sincroniza con el campo de preámbulo de dicho paquete y genera éste una señal de detección de portadora (monitoreo de la utilización del medio). La señal recibida es decodificada (del código de línea Manchester) a datos binarios y pasada al subnivel MAC. El administrador de acceso al medio (MAM) espera la llegada de los datos mientras la señal de detección de portadora esté activada. Los campos de dirección son revisados para determinar si

la estación debe o no recibir el paquete, en caso de tener que recibirlos, el subnivel MAC le pasa al LLC los campos de dirección y datos. También se revisa la posibilidad de tener paquetes inválidos [IEEE 802.3 International Standard].

COLISIONES Y RECUPERACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Si varias estaciones intentan transmitir al mismo tiempo (aún cuando traten de evitarlo), es posible que éstas se interfieran mutuamente, a esto se le llama colisión. Al ocurrir una colisión, el nivel físico de la estación transmisora nota la interferencia en el medio y activa una señal de 'detección de colisión'. La subcapa MAC se alerta de la situación y entra en estado de 'manejo de colisión'. Primeramente la parte MAM de la subcapa MAC genera una señal de colisión (con el fin alertar a las demás estaciones de la existencia de una colisión) denominada 'jam'. Una vez enviada la señal 'jam', la MAM intenta la retransmisión después de cierto tiempo aleatorio determinado por un proceso de retransmisión (algoritmo de retransmisión). Eventualmente la transmisión será exitosa.

FUNCIONES REALIZADAS POR EL PROTOCOLO CSMA/CD.

A continuación se resumen las funciones llevadas a cabo por el protocolo CSMA/CD de la subcapa MAC [IEEE 802.3 International Standard]:

- (1) Transmisión de paquetes.
 - (a) Adquiere datos del subnivel LLC y construye el paquete.
 - (b) Manda una ráfaga de bits al nivel físico para ser codificados en línea y transmitidos.
- (2) Recepción de paquetes.
 - (a) Recibe una ráfaga de bits del nivel físico.
 - (b) Manda paquetes al subnivel LLC.
 - (c) Descarta paquetes que no son direccionados a dicha estación.
- (3) Retarda la transmisión de datos cuando el medio físico está ocupado.
- (4) Hace una verificación de error (CRC) al paquete transmitido y pone el resultado en el campo SFD.
- (5) Hace una verificación de error (CRC) al paquete recibido y lo compara con el campo SFD.
- (6) Retarda la transmisión entre paquetes por un periodo de 9.6 μ s.
- (7) Detiene la transmisión de paquetes cuando detecta una colisión.
- (8) Establece la retransmisión del paquete (en caso de colisión) después de cierto tiempo aleatorio establecido por el algoritmo de retransmisión (backoff).

(9) Manda señales de refuerzo de colisión (jam) para asegurarse que la colisión dure el suficiente tiempo para alertar así a las demás estaciones.

(10) Descarta paquetes de tamaño menor al límite (46 octetos).

(11) Rellena al campo de datos cuando éste es de menor tamaño al límite mínimo ('padding').

(12) Remueve los campos de los paquetes recibidos.

La figura 8 muestra la distribución de las funciones especificadas anteriormente.

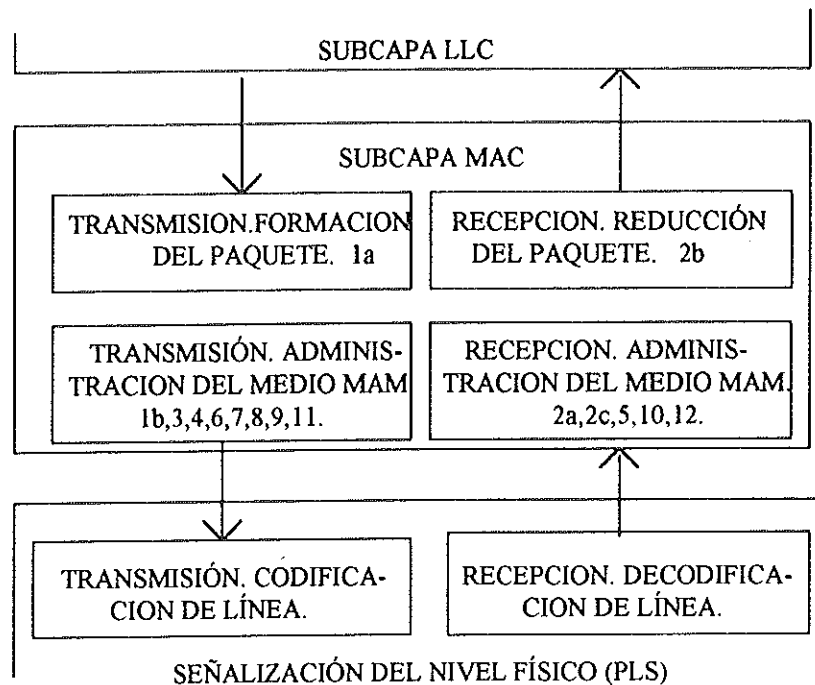


figura 8. Distribución de las funciones del protocolo CSMA/CD.

3.3.3 FORMACIÓN Y TRANSMISIÓN DEL PAQUETE.

EMPAQUETAMIENTO DE LOS DATOS. Los campos del paquete de transmisión son formados de los valores dados por el subnivel LLC con excepción del campo SFD y del relleno del campo de datos (en caso de que sea este último muy pequeño), los cuales son formados en el subnivel MAC.

DEFERENCIA DE PORTADORA. Aún cuando no hay nada que transmitir, el subnivel MAC (CSMA/CD) monitorea el tráfico del medio físico al revisar la 'señal de detección de portadora' generada por el PLS (señalización del nivel físico). Cuando se detecta ocupado el medio, el subnivel MAC retarda la transmisión del paquete, y al detectar el medio disponible procede con la transmisión de dicho paquete. Después de haber transmitido el último bit del paquete, el subnivel

MAC cesa la transmisión cierto tiempo preestablecido llamado 'esparcimiento entre paquetes'. Si al final de este tiempo existe otro paquete a transmitir, la transmisión se efectúa sin revisar la señal de detección de portadora.

ESPARCIMIENTO ENTRE PAQUETES. La norma 802.3 establece que debe de haber un tiempo de espera entre transmisión de paquetes consecutivos de 9.6 μ s mínimo y 10.6 μ s máximo. Esto se hace con el fin de proveer cierto tiempo de recuperación entre cada paquete a otros subniveles MAC de otras estaciones [Covarrubias. 1991].

DETECCIÓN DE COLISIÓN. Una colisión es detectada al monitorear la señal de 'detección de portadora' generada por el PLS. Al detectar una colisión, la transmisión no es detenida inmediatamente, sino que se envía la señal 'jam', la cual tiene la función de asegurarse que la colisión sea lo suficientemente larga (en tiempo) para que las demás estaciones en la red se enteren de la colisión. El contenido de la señal 'jam' no es especificado.

ALGORITMO DE RETRANSMISIÓN. Cuando un intento de transmisión ha terminado a causa de una colisión, se vuelve a intentar a transmitir hasta que dicha transmisión sea exitosa o hasta que se hayan hecho cierto número de intentos y todos hayan resultado en colisión. Al detectarse una colisión, inmediatamente se manda una señal de refuerzo de colisión (jam), y se procede a esperar cierto intervalo de tiempo antes de retransmitir el paquete, el cual es calculado por un algoritmo de retransmisión ('Truncated Binary Exponential Backoff'). Este intervalo de tiempo es un múltiplo entero de una constante denominada ranura de tiempo (RST por sus siglas en inglés). Según Las especificaciones de la norma 802.3, RST tiene un valor de 51.2 μ s [IEEE 802.3 International Standard].

Con el objetivo de garantizar el rápido uso del canal, las ranuras de tiempo deben de ser cortas, pero mayores o iguales a un intervalo de colisión para evitar colisiones sucesivas. El tiempo de retardo de retransmisión es igual al producto de RST por un entero positivo, este número entero se adquiere de una distribución aleatoria uniforme en un cierto intervalo (entre 0 y un límite superior). Para controlar el canal y mantenerlo estable bajo una carga de tráfico, el intervalo de tiempo se duplica con cada colisión sucesiva, aumentando así el intervalo de los posibles retardos en las retransmisiones.

El intervalo de retransmisión es duplicado después de los primeros diez intentos, estableciendo la cuenta de retransmisión entre:

$$[0, 2^M - 1] \quad M = (0, 1, 2 \dots 10)$$

después del primer intento de retransmisión los siguientes diez intervalos serán: [0,1], [0,3], [0,7], [0,15], [0,31],...[0,1023]. Este último intervalo se mantiene fijo por cinco intentos más de retransmisión. Una vez pasado sin éxito el intento número quince, se aborta la política de retransmisión y se manda una señal de error hacia los niveles superiores [Covarrubias. 1991].

TAMAÑO MÍNIMO DE PAQUETE. El subnivel MAC requiere que el tamaño de los datos enviados en un paquete sea de por lo menos 64 octetos. En caso de que el subnivel LLC envíe un número menor, el subnivel MAC ejecuta un procedimiento llamado 'padding' o rellenado, el cual rellena con los bits necesarios a dicho campo para poder ser transmitido.

La figura 9 muestra el diagrama de flujo correspondiente a la etapa transmisora del protocolo MAC (CSMA/CD), el cual se basa en las funciones previamente descritas.

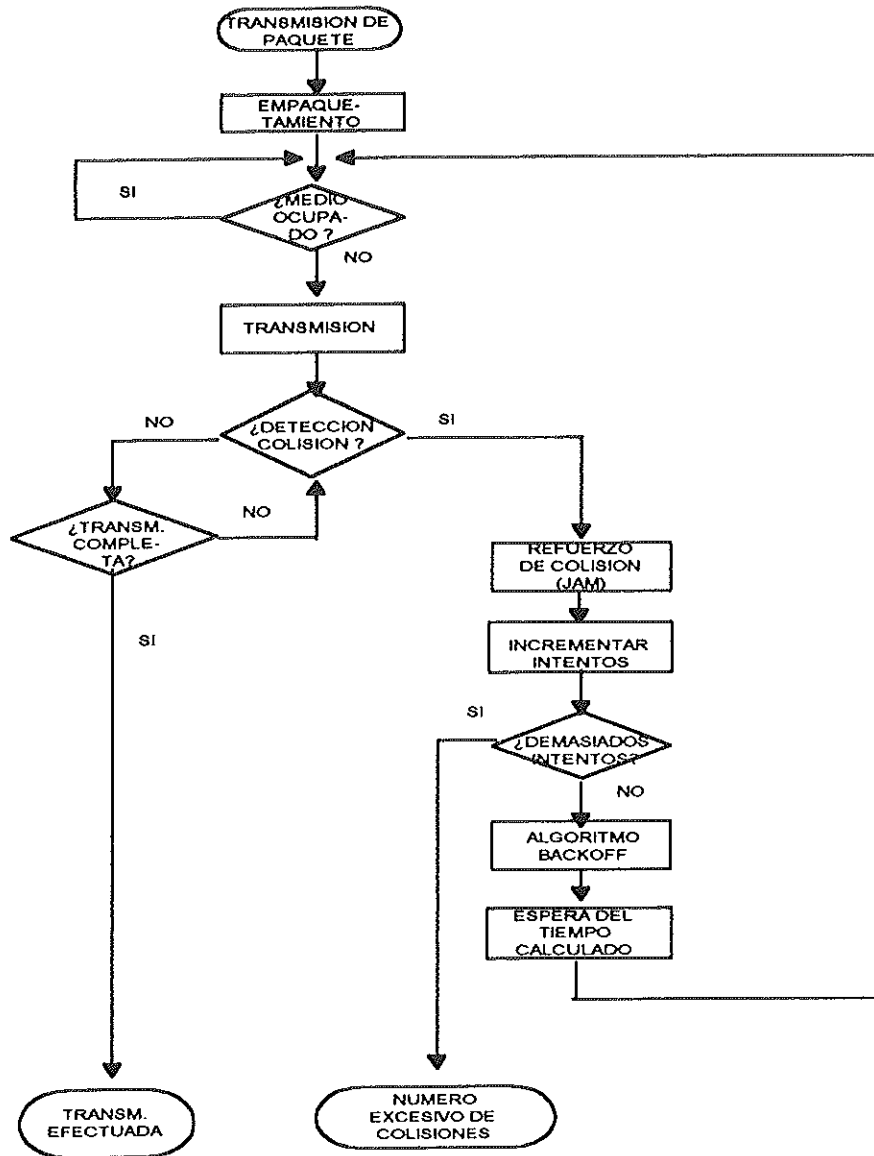


figura 9. Diagrama de flujo de la etapa transmisora del protocolo CSMA/CD del subnivel MAC [IEEE 802.3 International Standard].

3.3.4 RECEPCIÓN Y DESEMPAQUETAMIENTO.

DESEMPAQUETAMIENTO DE DATOS. El subnivel MAC (CSMA/CD) es capaz de reconocer direcciones individuales y de grupo. Las direcciones de grupo pueden ser para más de una estación o para todas las estaciones ('broadcast') según como especifiquen las capas superiores. Antes de pasar los campos de interés del subnivel MAC al LLC, se hace una revisión de error mediante el algoritmo CRC, comparando el resultado de éste con el contenido del campo SFD. En caso de que no haya error (resultado del CRC igual al campo SFD), son abstraídos los campos de direccionamiento y de datos, y pasados éstos al subnivel LLC.

RECONOCIMIENTO DE PAQUETES DAÑADOS. El subnivel MAC reconoce los límites de un paquete llegado mediante el monitoreo de la señal de 'detección de portadora'. Existen dos posibles errores que pueden ocurrir, los cuales indican un paquete dañado: el paquete es muy grande, o el número de octetos del paquete no es un número entero.

FILTRAJE DE COLISIÓN. El paquete válido más pequeño debe ser mínimo del tamaño de una 'ranura de tiempo'. Si el paquete recibido no tiene esta mínima longitud, se asume que es el fragmento de una colisión, y como el manejo de colisiones es algo muy común en esta tecnología, se ignora dicho evento y no se reporta nada al subnivel LLC.

La figura 10 muestra el diagrama de flujo correspondiente a la etapa receptora del protocolo CSMA/CD del subnivel MAC, cuyo esquema se basa en las funciones previamente definidas.

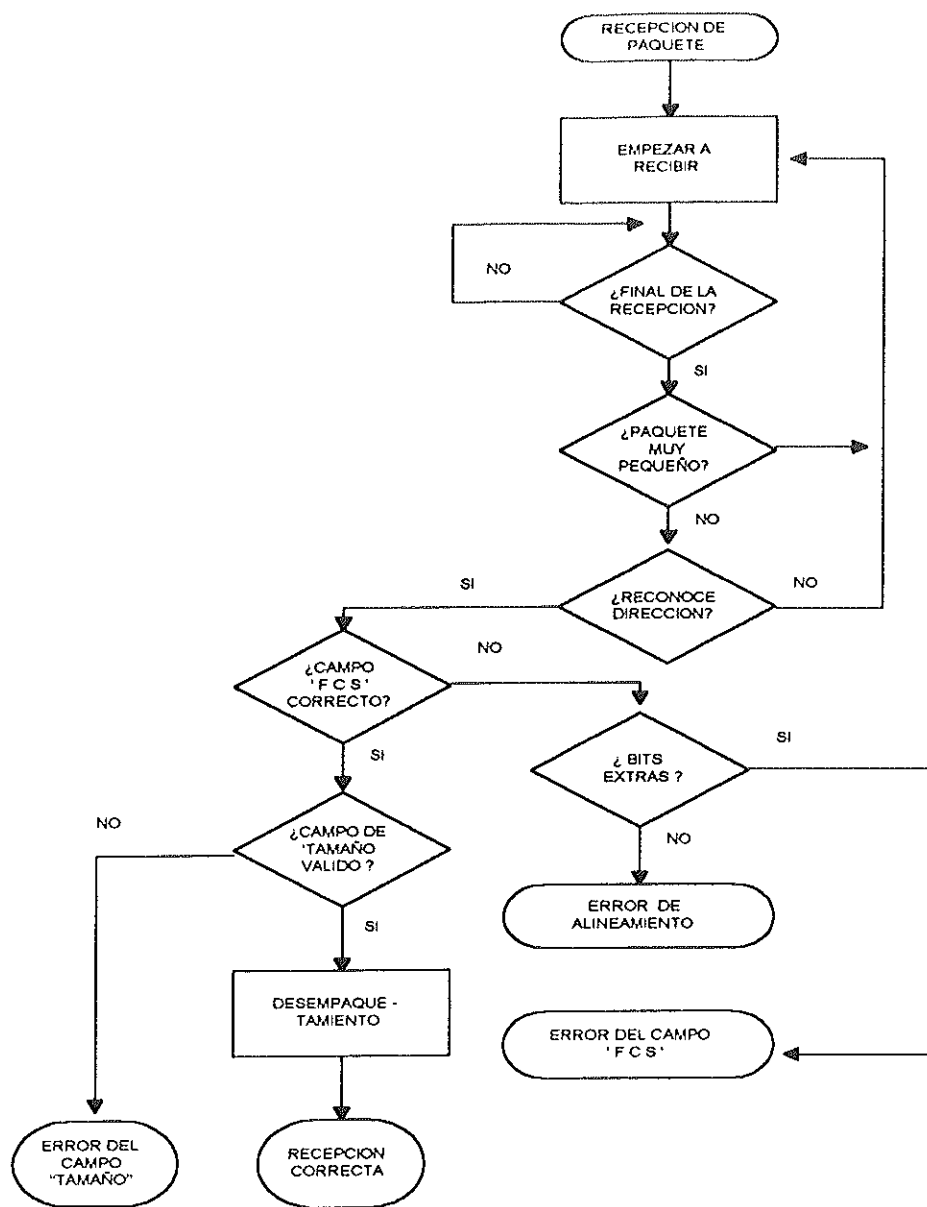


figura 10. Diagrama de flujo de la etapa receptora del protocolo CSMA/CD del subnivel MAC.

3.4 REDES ESPECIFICADAS POR LA NORMA IEEE 802.3.

El estándar 802.3 de la IEEE define varias redes tipo Ethernet, las cuales tienen sus propias características que las distinguen de las demás. La tabla II muestra las principales características que describen a cada una de las redes especificadas por este estándar.

**TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES ESPECIFICADAS
POR EL ESTÁNDAR IEEE 802.3**

CARACTERÍSTICAS	10Base5	10Base2	10Base5	10BaseT	10Broad36
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	10 Mbps	10 Mbps	1 Mbps	10 Mbps	10 Mbps
PROTOCOLO MAC	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD
TIPO DE SEÑALIZACIÓN	BANDA BASE	BANDA BASE	BANDA BASE	BANDA BASE	PORTADOR A
LONGITUD MAX. DEL SEGMENTO	500 m	185 m	250 m	100 m	1800 m
ESTACIONES POR SEGMENTO	100	30	12/hub	12/hub	100
MEDIO DE TRANSMISIÓN	COAXIAL GRUESO	COAXIAL DELGADO	UTP	UTP	COAXIAL
TOPOLOGÍA	DUCTO	DUCTO	ESTRELLA	ESTRELLA	DUCTO

De todas estas redes las más populares son 10Base5, 10Base2 y 10BaseT, por lo tanto se hará un análisis más detallado de estas últimas.

RED 10Base5:

Como puede verse en la tabla II, 10Base5 trabaja sobre cable coaxial grueso, es decir RG-8. Esta tecnología establece una distancia mínima entre estaciones de 2.5 metros, y para mayores distancias se requiere que sean múltiplos de esta cantidad.

Aunque el número máximo de estaciones por segmento sea de 100, es posible conectar entre sí varios segmentos empleando repetidores. No deben existir más de dos repetidores entre cualesquiera estaciones, de manera que la máxima distancia posible entre dos estaciones es de 1.5 Km. En caso de que la red necesite ampliarse, Ethernet admite la posibilidad de un enlace punto a punto de 1 Km mediante fibra óptica, conectando así a dos segmentos con medio repetidor en cada extremo. Como muestra la figura 11, la distancia máxima entre dos nodos queda aumentada a 2500 metros [Covarrubias. 1991].

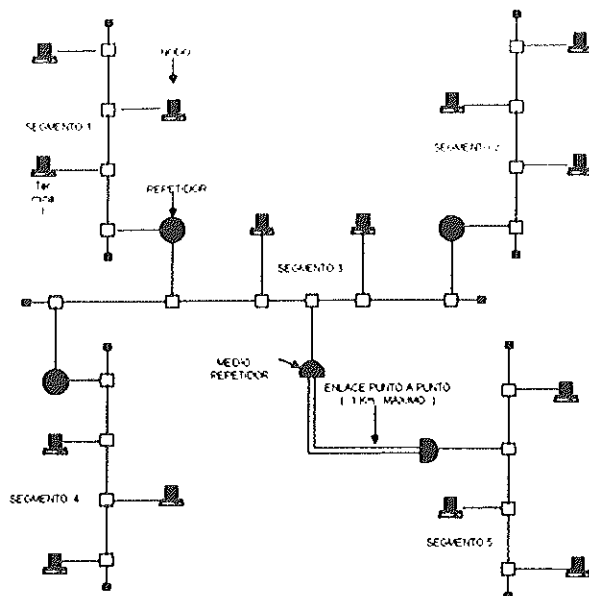


figura 11. Configuración Ethernet a gran escala.

RED 10Base2:

El estándar 10Base2 es una versión más barata de 10Base5, ya que éste usa cable coaxial delgado RG-58. Sin embargo, como indica la tabla II, las distancias especificadas son menores.

Otra diferencia de 10Base2 con respecto a 10Base5 es su posibilidad de integrar el transeptor en la tarjeta controladora. Esto permite que la tarjeta esté conectada directamente al segmento de cable a través de un conector T-BNC.

10Base2 puede incrementar el número de estaciones interconectadas a través del uso de repetidores. Entre cualquier par de nodos puede haber hasta tres segmentos (ocupados) conectados a través de dos repetidores. La distancia mínima entre dos nodos es de 0.5 metros [Covarrubias. cit. op.].

Como ejercicio adicional al objetivo de este trabajo se llevó a cabo la instalación de una red de este tipo, cuyos pasos son mostrados en el apéndice C.

RED 10BaseT:

Al final de los 80's, la IEEE reconoció la necesidad de usar par trenzado sin blindaje (UTP) como medio físico de Ethernet. El estándar resultante fue aprobado por la IEEE como 802.3i en septiembre de 1990, el cual es conocido como 10BaseT.

Como muestra la tabla II, 10BaseT soporta velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps a una distancia de 100 metros del concentrador. El conector RJ-45 usado por 10BaseT tiene 8 terminales, sin embargo solo se usan dos pares de UTP, uno para la transmisión y otro para la recepción, dejando así cuatro terminales del conector sin uso.

Para formar una red 10BaseT se necesitan tarjetas controladoras, cable UTP, y uno o más concentradores. Cada tarjeta es instalada en el ducto de una computadora y conectada punto a punto con el concentrador, resultando así una topología física en forma de estrella pero una topología lógica interna de ducto.

El concentrador usado en esta tecnología funciona como un repetidor multipuertos: regenera y amplifica las señales recibidas de las estaciones. También actúa como filtro, descartando así la transmisión de paquetes dañados o de tamaño incompatible al estándar.

Los concentradores 10BaseT prueban la integridad de los enlaces (estación-concentrador) transmitiendo una señal especial a la estación, si la estación no responde, el concentrador automáticamente desactiva al puerto. Estos dispositivos monitorean, graban, y cuentan las colisiones consecutivas que ocurren en cada estación, si se rebasa cierto número consecutivo de colisiones, dichos puertos son deshabilitados. Esto último facilita la detección de estaciones en mal estado [Gilbert Held. cit. op.].

Una red 10BaseT puede ser expandida con concentradores adicionales, haciendo conexiones concentrador-concentrador. La norma 802.3 especifica que no puede haber dos estaciones separadas por más de cuatro concentradores. Por lo tanto se recomienda tener cable coaxial como dorsal y los concentradores pueden pender de éste.

La última versión de Ethernet a 100 Mbps (Fast Ethernet) usa el mismo medio físico de transmisión que 10BaseT (UTP), por lo tanto en el próximo capítulo se procede con la caracterización del mismo, definiendo y midiendo así los parámetros más importantes que lo definen.

3.5 CONCLUSIONES.

Las técnicas de acceso al medio por división de tiempo tradicional es (TDMA) desperdician demasiado el ancho de banda, ya que las estaciones son asignadas a ranuras de tiempo quieran o no transmitir. Por lo tanto fue necesario la obtención de un esquema de acceso que permita una mejor distribución del ancho de banda. De estas necesidades surgió el protocolo de acceso CSMA/CD, el cual ha sido un éxito comercial a través de los años.

Ethernet es una tecnología muy versátil, ya que soporta diferentes medios de transmisión, diferentes topologías físicas, y aún así permite la interconectividad de sus diferentes versiones.

Ethernet está muy bien documentada y definida por el estándar IEEE 802.3, lo cual hace a ésta una tecnología muy completa y confiable.

Además de todas la características mencionadas en este capítulo, Ethernet tiene dos características que justifican su gran éxito: su facilidad de instalarse y su bajo costo.

La base del funcionamiento interno de Ethernet es su protocolo MAC CSMA/CD, el cual ha sido tan eficiente que se conserva para la última versión de Ethernet a 100 Mbps ('Fast Ethernet').

4 CARACTERIZACIÓN DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP).

4.1 INTRODUCCIÓN.

El par trenzado es un medio físico muy importante para las redes locales de datos (LAN por sus siglas en inglés). La tecnología 10BaseT es un estándar de la IEEE, la cual provee funcionamiento a una velocidad de 10 Mbps sobre par trenzado sin blindaje (UTP por sus siglas en inglés), de hecho, es un suplemento de la especificación 802.3.

Hay que recordar que todavía a finales de los ochentas el par trenzado como medio de transmisión ofrecía una capacidad máxima de transporte de 2 Mbps, por lo que muchos diseñadores de redes locales de datos lo descartaban como medio físico de transmisión. Sin embargo para 1992 el par trenzado mejoró notablemente sus características eléctricas que le permitieron no solo alcanzar los 10 Mbps al igual que el cable coaxial, sino los 100 Mbps que se aplicaron inmediatamente en la versión de cobre de FDDI (Interfaz de datos Distribuidos por Fibra Óptica). Ahora, el par trenzado sin blindaje se utiliza como medio de transmisión en las líneas de redes locales de datos de alta velocidad del tipo Fast Ethernet, especificada por la norma IEEE 802.3u como 100BaseT4 y 100BaseTX, es decir, 100 Mbps sobre cuatro y dos pares de hilos de par trenzado respectivamente.

Para tener una transmisión confiable de señales de Ethernet sobre cableado de UTP, deben ser resueltos algunos problemas en el medio de transmisión. UTP es susceptible a problemas de interferencia eléctrica y ruido como:

- * Interferencia electromagnética (EMI) de otros aparatos.
- * Diafonía ('Crosstalk').
- * Ruido de fase ('Jitter').

Todos ellos efectos indeseables que limitan fuertemente las características de transmisión. De acuerdo a lo anterior, el UTP tiene un desempeño por debajo de los límites del cable coaxial. Este desempeño limitado resulta en distancias más cortas entre nodos de transmisión y menor número de nodos interconectados. Sin embargo, el UTP es popular ya que se puede ahorrar dinero al usar el cable ya instalado y en existencia en el área del servicio telefónico [Davidson, Robert P. 1992].

¿Cuales son los parámetros del medio de transmisión que afectan más el desempeño en las LAN's?, ¿Cual es la definición de dichos parámetros?, ¿Cual es el procedimiento necesario para medir dichos parámetros y mediante qué instrumento de medición es posible hacerlo?, ¿cómo se determina si un segmento de cable cumple con las características eléctricas necesarias para ser empleado en determinada LAN?, Todas estas interrogantes encontrarán respuesta en este capítulo.

El objetivo de este capítulo es entonces la definición de los parámetros que pudieran degradar la comunicación en las LAN's, la medición de dichos parámetros y su comparación directa con los límites establecidos por Fast Ethernet, todo esto con el fin de determinar si los cables particularmente caracterizados se pueden usar como medio de transmisión de esta tecnología de LAN's.

Esto último es muy importante, ya que aparte del hecho que esta información no es fácilmente disponible en un documento y que este es un problema muy común en las instalaciones de LAN's, es parte del objetivo global de esta tesis.

4.2 PARÁMETROS DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN.

Para entender mejor las propiedades eléctricas del par trenzado resulta conveniente hacer un breve análisis de la teoría electromagnética aplicada a este medio, con lo cual, además de definir sus propiedades más importantes, permitirá realizar la caracterización de los parámetros que determinan la capacidad de transmisión de dicho medio.

4.2.1 PARAMETROS PRIMARIOS.

Se denominan parámetros primarios, al conjunto de características eléctricas que definen las propiedades de líneas homogéneas; Resistencia (R), Inductancia (L), Capacitancia (C), y Conductancia (G).

El valor de los parámetros primarios depende esencialmente del material y de la configuración geométrica en que están constituidas las líneas.

La resistencia óhmica depende de la resistividad del material y de sus parámetros geométricos.

$$R = \phi l / s \quad \Omega/m \quad (1)$$

Donde ϕ es la resistividad del material medida en ohms (Ω), 'l' es la longitud del cable en Km., y 's' es el área transversal del cable en mm^2 .

Para corrientes alternas, deben tomarse en cuenta ciertos factores que aumentan el valor de la resistencia del conductor, como es el efecto piel ('skin') o pelicular, el efecto de proximidad, y el de pérdidas por radiación para el caso de altas frecuencias.

La inductancia por unidad de longitud es simplemente la permeabilidad magnética (μ) del material (medida en henrios) multiplicada por un factor geométrico:

$$L = \mu (a/b) \text{ H/m} \quad (2)$$

Donde 'a' es la separación entre los conductores y 'b' es el diámetro de la sección transversal de la línea (ver figura 12).

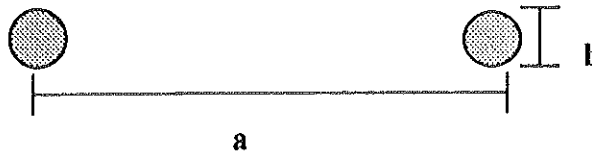


figura 12. Parámetros geométricos de una línea de transmisión.

La capacitancia entre dos conductores depende de la permitividad eléctrica del material (ϵ) (medida en Faradios) entre ambos conductores y de las dimensiones de estos.

$$C = \epsilon (b/a) \quad (3)$$

Efecto similar al de tener conectado un capacitor del valor hallado entre los conductores del par telefónico [Blake L op. cit.].

La conductancia, medida en siemens, se puede considerar como la suma de $G = G' + G''$.

donde:

G' : Está dada por la inversa de la resistencia del aislamiento entre conductores.

G'' : Es un valor que depende de la frecuencia, según las pérdidas del material aislante utilizado.

Los parámetros que definen adecuadamente el comportamiento de una línea de transmisión son su impedancia característica y su constante de propagación (parámetros secundarios), los cuales son descritos en términos de los parámetros primarios.

4.2.2 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA.

La impedancia característica se define como la relación de voltaje a corriente de cualquiera de las ondas que se propagan por la línea en cualquier punto y en cualquier instante dado. Para que la propagación se efectúe adecuadamente es necesario que la impedancia de carga sea del mismo valor que la impedancia característica de la línea, ya que si estos valores no son iguales, una parte de la onda incidente será reflejada de la carga al generador [Covarrubias].

En el apéndice A se demuestra que para el caso de una línea de transmisión ideal (sin pérdidas):

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad \Omega \quad (4)$$

En caso de tener una línea con pérdidas, se interpreta el resultado de la siguiente forma;

$$Z_0 = \sqrt{(R + j\omega L)/(G + j\omega C)} \quad \Omega \quad (5)$$

Donde es claro que la impedancia característica depende de la frecuencia. Sin embargo, existen ciertos casos donde el valor de la impedancia característica no depende de la frecuencia, es decir, nos da un valor real; esto ocurre en el caso de tener una línea sin pérdidas, y en el caso de que se cumpla la condición de Heaviside ($RC = LG$), donde la ec.5 se transforma a la ec.4 [Blake L. op. cit.].

Como fue mencionado anteriormente, la impedancia característica debe ser igual a la impedancia de carga, para evitar así el fenómeno de onda estacionaria. Por lo tanto

$$Z_L = Z_0 \quad (6)$$

Donde Z_L es la impedancia de la carga y Z_0 es la impedancia característica previamente definida.

Esto último se ve en la práctica con las redes 10Base2 y 10Base5, donde al final de cada segmento de cable coaxial deben conectarse resistores de la misma impedancia que la impedancia característica del cable, evitando así reflexiones. Igualmente en el caso de Fast Ethernet y cualquier otra tecnología sobre UTP, la impedancia de entrada de la tarjeta de red y del concentrador deben ser igual a la impedancia característica del par trenzado.

4.2.3 CONSTANTE DE ATENUACION.

Cuando las ondas de voltaje y corriente viajan a través de una línea de transmisión, representan un flujo de potencia. Si las líneas tienen cierta resistencia serie R , y conductancia paralela G , parte de esta potencia es disipada y transformada en calor. Esta potencia es pérdida de la onda eléctrica, por lo tanto, la onda se reduce en amplitud (se atenúa) conforme se propaga a través de la línea. Se puede deducir matemáticamente que esta atenuación se da en forma exponencial. Esto significa que si el voltaje de entrada a una línea de transmisión es V_i , la amplitud de la onda después de propagarse una distancia x será:

$$V(x) = V_i e^{-\alpha x} \quad (7)$$

Donde α es una constante, denominada 'constante de atenuación' de la línea. La expresión que relaciona a la constante de atenuación con los parámetros estudiados está dada por;

$$\alpha = (1/2)(R/Z_0 + GZ_0) \quad (8)$$

Este valor es dado en neppers/metro. Si se desea en decibeles, solo hay que multiplicar el lado derecho de la ecuación por 8.686 [Blake L. op. cit.].

4.2.4 CONSTANTE DE FASE

Conforme la onda se propaga a través de la línea de transmisión, ésta sufre un desfaseamiento con respecto a la onda en las terminales de entrada V_i . Este desfaseamiento, al igual que la atenuación α , es presentado en forma exponencial y depende también de la posición x . La siguiente ecuación representa la variación en fase de dicho voltaje V_i conforme se propaga una distancia x .

$$V(x) = V_i e^{-j\beta x} \quad (9)$$

Donde β es denominada la 'constante de fase'. La expresión que relaciona a la constante de fase con los parámetros primarios es;

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \quad (10)$$

4.2.5 CONSTANTE DE PROPAGACIÓN.

La constante de fase β y la constante de atenuación α son parte ambas de las ecuaciones de línea de transmisión. Estos dos factores siempre se presentan juntos como un producto $e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} = e^{-(\alpha + j\beta)x}$. Por lo que a la cantidad $(\alpha + j\beta)$ es llamada la 'constante de propagación (γ)' [Blake V. cit. op.].

La constante de propagación representa entonces, la atenuación de la energía a medida que se propaga a lo largo de la línea (α), así como las posibles variaciones que puede tener con respecto a su fase (β) [Covarrubias]:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (11)$$

La comprobación de esta igualdad se muestra en el apéndice B.

4.2.6 VELOCIDAD Y RETARDO DE PROPAGACIÓN.

Al aplicar un voltaje en las terminales de entrada de una línea de transmisión, éste no aparece instantáneamente en las terminales de salida, sino que le toma cierto tiempo a la onda en propagarse a través de dicha línea, es decir, la onda tiene una velocidad finita. La velocidad de la onda es determinada por las características eléctricas (parámetros primarios) del medio de propagación por donde dicha onda viaja.

La velocidad de las ondas electromagnéticas es mayor en el vacío que en cualquier otro material. La velocidad de una onda en el vacío es una cantidad física muy importante; es la máxima velocidad alcanzada en la naturaleza (Teoría de la relatividad), la cual tiene un valor de $c = 3 \times 10^8$ m/s .

Como puede apreciarse en la tabla III, en diferentes medios de propagación las ondas viajan a velocidades menores que la del vacío.

TABLA III VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN DIFERENTES MEDIOS

CABLE	VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (%c)
UTP-3	67-68 %c
UTP-4	69-71 %c
UTP-5	72-75 %c
RG-58(COAX)	78 %c
RG-11(COAX)	78 %c

Dependiendo de varios factores como es el diámetro del conductor y la aleación metálica que compone a dicho medio, éste tendrá menor o mayor velocidad de propagación [Scope Communications].

Asociado con el concepto anterior, un parámetro muy utilizado para el caso de redes locales de datos es el 'retardo de propagación'. El retardo de propagación (τ) es el tiempo que una estación A, situada en un extremo de la línea común, tarda en comunicarse con una estación B situada al otro extremo. Este retardo de propagación se relaciona en forma inversa a la velocidad de propagación.

$$\tau = (d/V_p) \text{ s} \quad (12)$$

Donde ' V_p ' es la velocidad de propagación expresada en m/s, ' d ' es la distancia (m), y ' τ ' es el retardo de propagación expresado en segundos.

4.3 PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP).

A través de los años el par trenzado sin blindaje ha sido utilizado en instalaciones telefónicas y servicios de ancho de banda limitada (voz). Para estos casos el par trenzado sin blindaje categoría 2 (UTP-2) ha resuelto dichas necesidades de audio.

Al ser introducido el UTP como medio de transmisión por las redes locales de datos, resultó muy atractivo para muchas empresas, ya que el cableado en existencia era capaz de soportar las velocidades de transmisión de dichas redes (1 Mbps), resultando en un gran ahorro económico. Sin embargo, hoy en día es necesario contar con un medio de transmisión de mayor ancho de banda, ya que no solo se trabaja con LAN's a 10 Mbps, sino que surge la necesidad de tener un medio que soporte los 100 Mbps.

Por lo mencionado anteriormente, es necesario contar con UTP de mayor calidad, por lo que en los últimos años fueron mejoradas las características del UTP, surgiendo así tres nuevas clasificaciones (UTP 3, 4 y 5) orientadas a resolver problemas de transmisión de diferentes LAN's.

La clave para la eficiencia del par trenzado sin blindaje (UTP) consiste en los dobleces ('twists') que se le dan al cable. Cada par de cable es doblado 180 grados con respecto a su posición original (ver figura 13), por lo que cualquier interferencia electromagnética (EMI) o interferencia por radiofrecuencia (RFI) es recibida 180 grados fuera de fase; ésto teóricamente cancela la EMI y la RFI, mientras que la señal de información se ve inafectada. En realidad, la porción de alambre entre dobleces actúa como antena y recibe cierta EMI. Esta interferencia trae como consecuencia la limitación de 100 metros para cada segmento de 'Fast Ethernet' [Gilbert, Held. 1994].

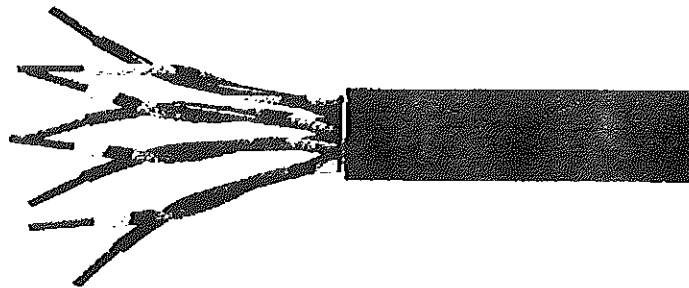


figura 13. Cable de 4 pares trenzados.

Los cables más recientes radian y reciben menos energía, ya que tienen más vueltas por pulgada y están compuestos de mejores aleaciones metálicas y aislantes, lo cual justifica su mejor funcionamiento.

En el caso del cable UTP analizado, las tres categorías (UTP 3,4 y 5) son fabricadas con el mismo calibre 24 AWG, por lo tanto tienen un diámetro de 0.5 mm. Los trenzados de estos cables se dan cada 2 o 3 cm aproximadamente.

4.4 DEFINICIÓN DE LOS PARAMETROS DE MEDICIÓN.

Las principales características del medio físico de cableado para las LAN's son; La relación señal a ruido (SNR por sus siglas en inglés), la diafonía ('Crosstalk' o NEXT), y la atenuación. Estos parámetros dependen obviamente de los parámetros primarios y secundarios mencionados en la sección 4.2, pero por razones prácticas es más conveniente expresar la eficiencia de una instalación en términos de estos parámetros.

4.4.1 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (SNR)

La calidad de un canal de comunicación se representa en términos de su relación señal a ruido (SNR). SNR es una medida de la amplitud de la señal transmitida con respecto a la señal de ruido. Un valor bajo de SNR resulta en errores de bits, ya que la señal recibida no es distinguible por la presencia del ruido [Scope Communications].

Se puede definir entonces a SNR como la relación de la potencia de la señal transmitida con respecto a la potencia de la señal de ruido. En términos matemáticos la SNR se define por:

$$\text{SNR} = 20 \log (V/V_n) \text{ dB} \quad (13)$$

Donde V es el voltaje de la señal y V_n es el nivel de ruido de la señal.

Para tener un límite aceptable de la tasa de error de bit (BER), es necesario establecer un límite de la relación señal a ruido (SNR).

4.4.2 DIAFONÍA.

La mayor fuente de interferencia en cables de par trenzado es la diafonía (NEXT), la cual se define como el acoplamiento de la señal del par transmisor al par receptor [Kim David. 1994]. Ya que la señal de transmisión tiene más potencia en la fuente de transmisión, la mayor parte de la diafonía ocurre en el conector RJ-45 y decae conforme la señal se propaga a través del cable, por lo tanto este parámetro se mide cerca de la fuente (en el conector).

Esto último tiene su razón de ser. Como fue mencionado anteriormente, la sección de cable entre trenzados actúa como una antena, radiando ésta cierta energía, la cual depende tanto del material del cable como de la potencia y la frecuencia de la señal transmitida. La diafonía se presenta entonces a través de todo el cable, pero ya que la energía inducida se recibe 180 grados defasada (por los trenzados), y tomando además en cuenta que la energía es menor a través de la línea que en la fuente, se justifica el hecho de que este parámetro se mida cerca de la fuente de energía. Este fenómeno es mostrado en la figura 14.

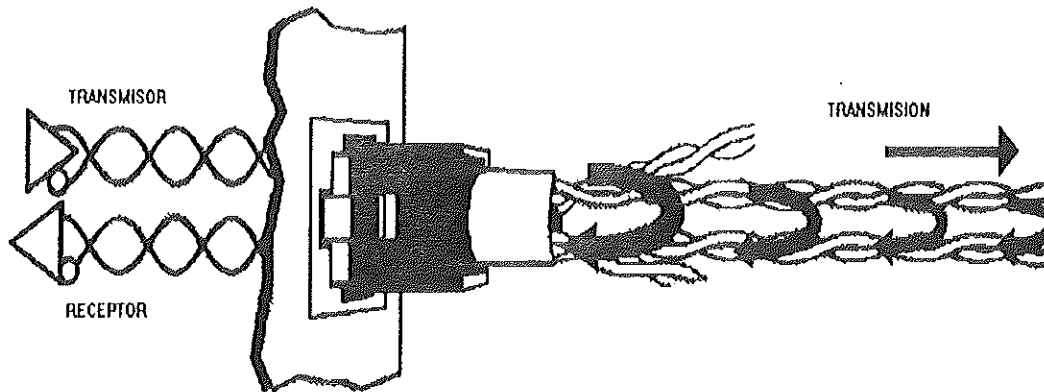


Figura 14 Parámetro de diafonía.

La definición matemática de este parámetro es la siguiente:

$$\text{Diafonía (NEXT)} = 20 \log(V_a/V_s) \text{ dB} \quad (14)$$

Donde V_s es el voltaje de la señal transmitida y V_a es el voltaje acoplado al par receptor.

4.4.3 ATENUACION.

La Potencia de la señal en el receptor depende de la potencia de la señal transmitida y de la atenuación del cable entre la estación transmisora y la estación receptora. Como fue explicado en la sección 4.2, la amplitud de la señal transmitida varía exponencialmente con respecto a la distancia (ver ec. 7), dependiendo ésta de la constante de atenuación (α). Se puede definir a la atenuación como el desvanecimiento parcial o la reducción en amplitud de la señal recibida con respecto a la señal transmitida. La expresión que describe al parámetro de atenuación desde el punto de vista de teoría de circuitos es:

$$\text{atenuación} = 20 \log (V_r/V_s) \text{ dB} \quad (15)$$

Donde V_s es el voltaje de la señal transmitida y V_r es el voltaje de la señal recibida.

4.5 CARACTERIZACION DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) EN SUS DIFERENTES CATEGORÍAS 3, 4, Y 5.

Una vez descritos los parámetros de un medio de transmisión, y de haber definido los principales parámetros de medición (por medio de los cuales se caracteriza a un medio físico para este tipo de aplicaciones (LAN's)), se procederá ahora a llevar a cabo las mediciones de los principales parámetros de dicho medio. Pero antes de esto, se dará una breve explicación de las características que deben de tener los cables para poder ser clasificados como UTP 3, 4, o 5.

4.5.1 ESTÁNDARES DE CABLES.

La gran demanda de LAN's sobre UTP creó la necesidad de cable con mayor ancho de banda, por lo que muchos fabricantes introdujeron en sus productos cables de mayor calidad, y comenzó la estandarización de cables.

Surgieron documentos de grandes asociaciones como: American National Standard Institute (ANSI), Electronic Industry Association (EIA) y Telecommunications Industry Association (TIA).

La TIA desarrolló estándares importantes como es: TIA-568-A, TIA-TSB36, y TIA-TSB40, los cuales fueron desarrollados para satisfacer los requerimientos de cableado para LAN's de alta velocidad (ATM, CDDI, 100Base-TX, 100Base-T4, 100VG-AnyLan, 10Base-T, y Token Ring) [Kim David. cit. op.].

El estándar TIA-568-A fue desarrollado por un grupo de la TIA (TR-41.8.1). TIA-568-A clasifica a los cables UTP como categorías 3, 4 y 5. La categoría 3 es cable catalogado para voz.

La categoría 5 es el UTP de más alta calidad, capaz de soportar transmisión de datos de hasta 100 MHz de ancho de banda [Lee Keough 1992].

La tabla IV muestra las especificaciones con respecto a los límites de atenuación y diafonía establecidos en el estandar TIA 568-A para categorías 3, 4 y 5 de UTP.

TABLA IV LÍMITES DE ATENUACION Y DIAFONÍA PARA SEGMENTOS DE 100m DE UTP 3, 4 Y 5 DE LA NORMA TIA/ANSI 568-A

FRECUENCIA (MHz)	CATEGORIA 3		CATEGORIA 4		CATEGORIA 5	
	ATTEN(dB)	NEXT(dB)	ATTEN(dB)	NEXT(dB)	ATTEN(dB)	NEXT(dB)
1.0	4.2	39.1	2.6	53.3	2.5	60.3
4.0	7.3	29.3	4.8	43.3	4.5	50.6
8.0	10.2	24.3	6.7	38.2	6.3	45.6
10.0	11.5	22.7	7.5	36.6	7.0	44.0
16.0	14.9	19.3	9.9	33.1	9.2	40.6
20.0	---	---	11.0	31.4	10.3	39.0
25.0	---	---	---	---	11.4	37.4
31.2	---	---	---	---	12.8	35.7
62.5	---	---	---	---	18.5	30.6
100.0	---	---	---	---	24.0	27.1

Como puede observarse de la tabla IV, los límites establecidos para UTP-3 y UTP-4 no se especifican hasta los 100 MHz, esto es por que no están contruidos para tales frecuencias.

4.5.2 ESQUEMA DE MEDICIÓN DEL PAR TRENZADO.

Las mediciones de los parámetros de transmisión del par trenzado se llevaron a cabo con un equipo llamado 'Wire Scope 100' (Scope Communications Inc., Dic '94), el cual calcula la magnitud de los parámetros más importantes (descritos en la sección 4.3). El esquema de medición empleado es mostrado en la figura 15.

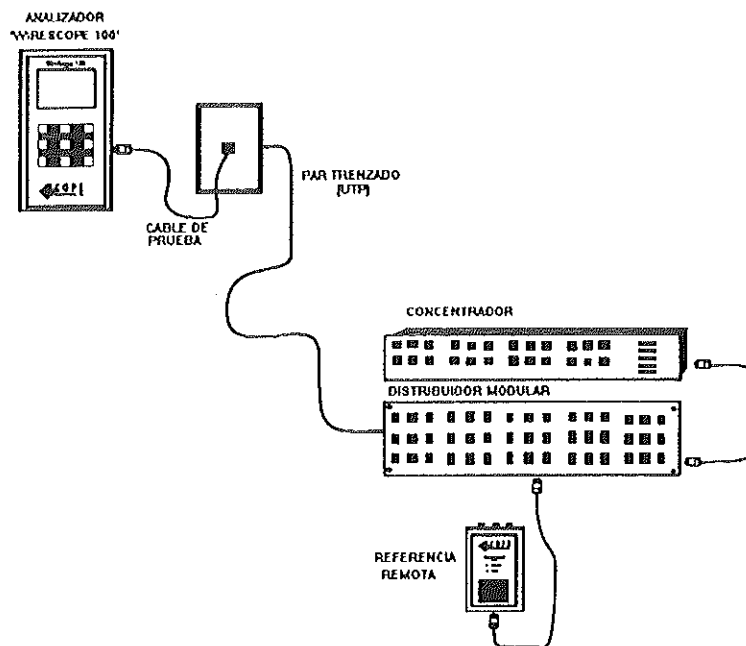


fig 15. Esquema de medición de los parámetros de transmisión del UTP.

El equipo 'Wirescope 100' es un instrumento de medición, el cual trabaja junto con un dispositivo llamado 'Referencia remota'. Ambos instrumentos se conectan (a través de un conector RJ-45) en los extremos del cable que se desea caracterizar.

'Wire scope 100' contiene un teclado y una pantalla de Cristal líquido (LCD), por medio de los cuales se corre cierta programación contenida en dicho dispositivo, el cual hace un barrido en frecuencia tomando mediciones así de los parámetros requeridos. Una vez realizadas las mediciones adecuadas, se transfiere la información vía serie a una computadora, donde se grafican los parámetros deseados.

4.5.3 CARACTERIZACIÓN DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) CLASE 3.

Para la caracterización del UTP-3 se contó con un segmento de cable marca AT&T modelo 1024, el cual especifica una impedancia característica de 100Ω y una velocidad de propagación de 67% de c. La longitud de dicho segmento fue de 88 metros.

El retardo de propagación se puede calcular por medio de la ecuación (12):

$$V_p = (0.67) c \text{ m/s} \quad \tau = d/V_p \text{ s ;} \quad \tau = 438 \text{ ns}$$

Cuyo valor es aproximado a los 445 ns medidos por el instrumento. Hay que tomar en cuenta que el dispositivo de medición mencionado cuenta con cierto intervalo de error, y que la velocidad de propagación (67% de c) es un valor aproximado.

La tabla V muestra un resumen de las mediciones realizadas;

TABLA V PARAMETROS MEDIDOS AL UTP-3

PARAMETRO	MEDICIÓN (TEORICO CASO)	FRECUENCIA
RELACION SEÑAL A RUIDO (SNR)	24.2 dB	-
DIAFONÍA (NEXT)	23.2 dB	76.9 MHz
ATENUACION	34.1 dB	81.6 MHz
RETARDO DE PROPAGACIÓN	445 ns	-

La figura 16 muestra la relación de atenuación con respecto a frecuencia de este segmento.

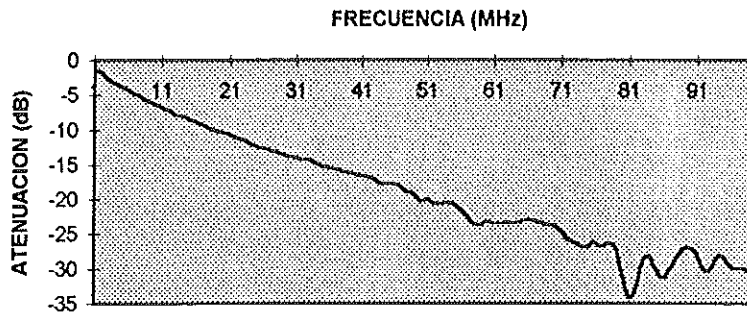


figura 16. Características de atenuación del segmento UTP-3.

Como puede verse en esta gráfica, la máxima atenuación es de 34 dB a los 81 MHz. La figura 17 muestra la gráfica de las mediciones de diafonía con respecto a la frecuencia.

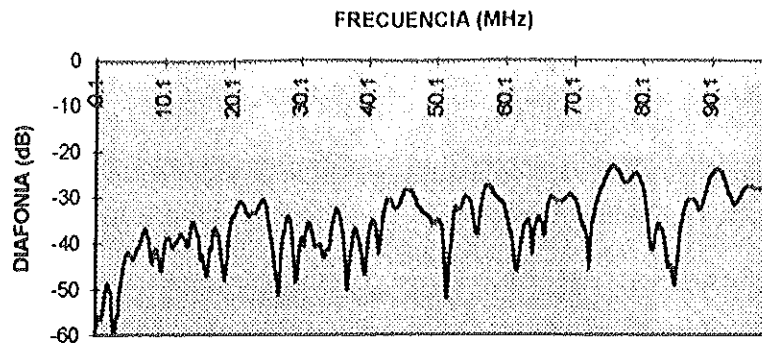


figura 17. Características de diafonía del segmento UTP-3.

Lo importante aquí es la magnitud máxima de este parámetro dentro de cierto intervalo de frecuencia, para así poder comparar este valor con el valor límite establecido por determinada tecnología (Fast Ethernet en este caso).

4.5.4 CARACTERIZACION DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) CLASE 4.

En este caso se contó con un segmento de solo 19 metros. Ya que el segmento analizado es prácticamente corto, es de esperarse que la atenuación presentada por este segmento en particular esté dentro de los límites preestablecidos por Fast Ethernet. Sin embargo, la diafonía no depende de la distancia del cable, ya que este fenómeno se da en su mayoría cerca del transmisor. El resumen de las mediciones obtenidas de este segmento son mostradas en la tabla VI:

TABLA VI PARAMETROS MEDIDOS AL UTP-4

PARAMETROS	MEDICIONES (PEOR CASO)	FRECUECIA
RELACION SEÑAL A RUIDO (SNR)	46.1 dB	-
DIAFONIA (NEXT)	28.7 dB	91.6 MHz
ATENUACION	4.9 dB	96.0 MHz
RETARDO DE PROPAGACION	95 ns	-

La figura 18 muestra la gráfica de los niveles de atenuación sufridos por la señal.

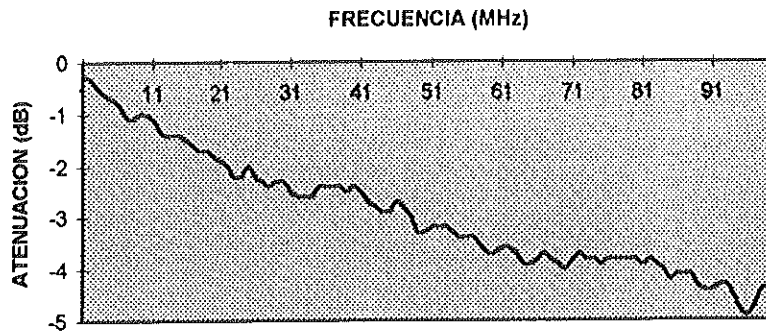


figura 18. Características de atenuación del segmento UTP-4.

Como era de esperarse, las características de atenuación presentadas por este segmento son muy buenas, ya que la máxima atenuación no llega ni a los 5 dB. La figura 19 muestra las mediciones de diafonía obtenidas por este segmento de cable.

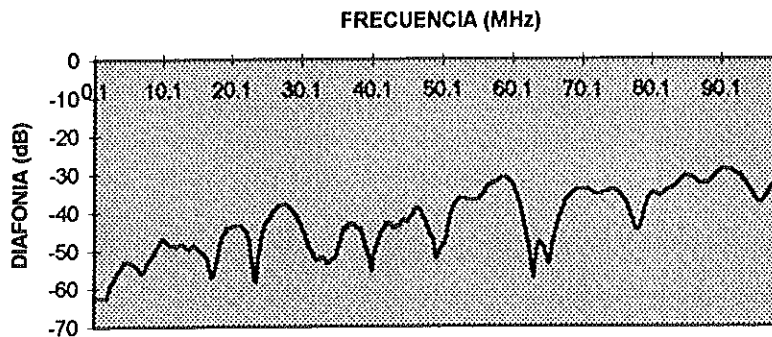


figura 19. Características de diafonía del segmento UTP-4.

Nótese la mejor respuesta de diafonía de este segmento con respecto al UTP-3 previamente caracterizado, esto se debe a la aleación metálica de mejor calidad presentada por el UTP-4.

4.5.5 CARACTERIZACION DEL PAR TRENZADO SIN BLINDAJE (UTP) CLASE 5.

Las pruebas realizadas al UTP-5 se llevaron a cabo a un segmento de marca Belden modelo 1583-A, el cual especifica una velocidad de propagación de 72% de c. dicho segmento midió 31 metros de longitud. La tabla VII muestra el resumen de las mediciones;

TABLA VII PARAMETROS MEDIDOS AL UTP-5

PARÁMETRO	MEDICIÓN (PEOR CASO)	FRECUENCIA
RELACION SEÑAL A RUIDO	43.6 dB	-
DIAFONÍA(NEXT)	29.9 dB	99.0 MHz
ATENUACIÓN	5.9 dB	100 MHz
RETARDO DE PROPAGACIÓN	150 ns	-

Nótese que a altas frecuencias se dan las peores mediciones de atenuación y diafonía. La figura 20 muestra la gráfica de atenuación con respecto a frecuencia.

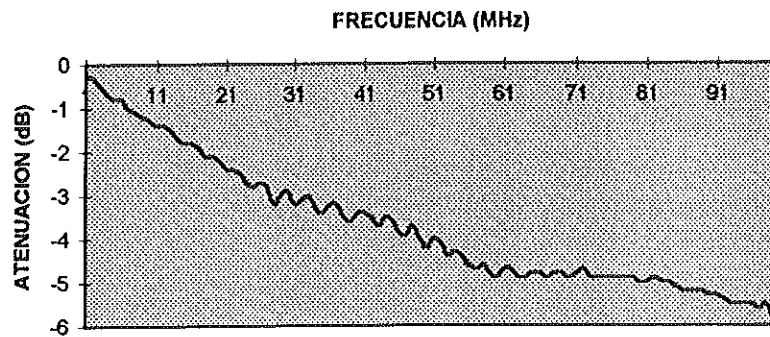


figura 20. Características de atenuación del segmento UTP-5.

Como puede verse, la respuesta de la atenuación con respecto a la frecuencia es en forma exponencial, lo cual fue previamente establecido mediante la ecuación 7.

La figura 21 muestra las mediciones de diafonía con respecto a frecuencia.

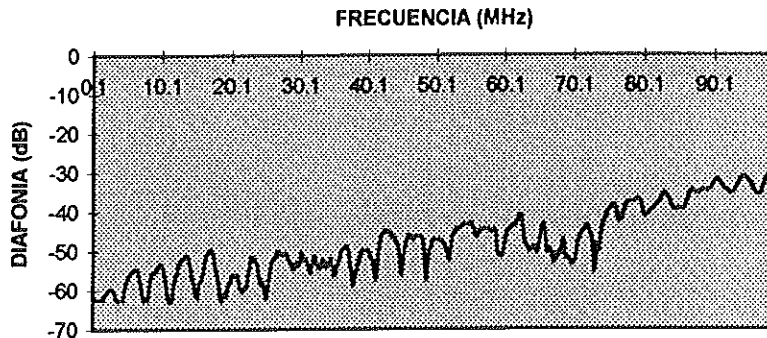


figura 21. Características de diafonía del segmento de UTP-5

Como muestra esta gráfica, las características de diafonía presentadas por este segmento son favorables con respecto a las demás.

Las características de atenuación y diafonía presentadas por el segmento UTP-5 están dentro de los límites requeridos por la mayoría de las LAN's de alta velocidad. Este segmento presentó las mejores características de diafonía.

4.5.6 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Ya que se han caracterizado las tres categorías de UTP de mayor interés, se procederá ahora a hacer un análisis comparativo de las mediciones obtenidas y los límites especificados por diferentes tecnologías de LAN's. Esto último con el objetivo de determinar si los segmentos analizados soportarán en un momento dado la comunicación en ambiente de 'Fast Ethernet'.

Para llevar a cabo dicha comparación, en la Tabla VIII se proporcionan los límites establecidos en cuanto a los parámetros anteriormente caracterizados en relación con las tecnologías conocidas como Ethernet, Fast Ethernet y 100VG-AnyLAN.

TABLA VIII CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DE ALGUNOS ESTÁNDARES DE LA IEEE

RED LOCAL DE DATOS (LAN)	DIAFONÍA (dB)	ATENUACION (dB)	RELACION SEÑAL A RUIDO (dB)
100Base-TX	29.0	20.0	17.0
100Base-T4	26.0	12.5	13.5
100VG-AnyLan	19.5	14.5	----
100VG-AnyLan Tipo 1	29.0	13.0	17.0
10Base-T	26.0	11.5	14.5

Al comparar estos límites con los valores máximos mostrados en las tablas V, VI y VII, se puede determinar la posibilidad de trabajar cada segmento de cable con cada tecnología.

La tabla IX muestra un resumen sobre las tecnologías que soportan a cada segmento de cable previamente caracterizado como medio de transmisión en base a las mediciones obtenidas y a los estándares preestablecidos por cada tecnología:

TABLA IX TECNOLOGÍAS QUE SOPORTAN A LOS CABLES UTP 3, 4 Y/O 5 RECIÉN CARACTERIZADOS.

CABLE UTP CARACTERIZADO	TECNOLOGÍAS QUE SOPORTAN A CADA CABLE	COMENTARIOS
UTP-3	10BaseT.	Las características de atenuación exceden los límites de 'Fast Ethernet'.
UTP-4	10BaseT, 100BaseT4, 100VG-AnyLan.	Las características de diafonía presentadas por este segmento (28.7 dB) no cumplen con el límite establecido por 100BaseTX (29 dB).
UTP-5	10BaseT, 100BaseT4, 100BaseTX, 100VG-AnyLan, 100VG-AnyLan tipo1	Las características de diafonía de este cable tienen un máximo de 29.9 dB, cuyo valor se encuentra dentro de los límites de prácticamente todas las LAN's rápidas.

Las características de relación señal a ruido (SNR) y de retardo de propagación (τ), fueron satisfactorias para los tres segmentos de cable analizados, y son valores soportados por prácticamente todas las redes rápidas.

4.6 CONCLUSIONES.

Las propiedades de un medio de transmisión que influyen en la propagación de ondas electromagnéticas, son descritas por tres parámetros: Permitividad eléctrica (ϵ), permeabilidad magnética (μ), y conductividad (σ). Existen variables dependientes de estas últimas que definen más adecuadamente las características electromagnéticas del medio de propagación (parámetros secundarios). Los parámetros de medición utilizados para caracterizar al medio físico catalogado como calibre 3, 4 y 5 del estándar TIA-568-A, se relacionan con los parámetros primarios y secundarios.

La caracterización del UTP en sus diferentes categorías tiene un propósito clave en este trabajo de investigación: determinar la posibilidad de la aplicación de éstos segmentos de cable en redes locales tipo 'Fast Ethernet', dejando así las bases para resolver futuros problemas relacionados con el medio de transmisión de cualquier tecnología de LAN.

Las mediciones de atenuación realizadas al segmento de UTP-3 se encuentran fuera del límite mínimo de aceptación por las tecnologías 100BaseT4, cuya tecnología presume trabajar sobre UTP-3.

Con respecto al UTP-3, se cataloga a un cable de par trenzado como 'UTP-3' si éste cumple con los límites de atenuación, diafonía y relación señal a ruido establecidas por el estándar

TIA 568-A, cuya norma establece límites de estos parámetros hasta los 16 MHz, por lo tanto se puede dar el caso que el par trenzado en cuestión caiga dentro de la clasificación de 'UTP-3' y al mismo tiempo no presente las características requeridas por determinadas tecnologías de LAN's que trabajan a mayores frecuencias.

Las mediciones de atenuación del UTP-4 fueron muy buenas, pero hay que considerar que el segmento mide solo 19 metros. Este cable en particular puede usarse en algunas redes de alta velocidad como 100BaseT4, ya que no cuenta con las características de diafonía requeridas por 100BaseTX.

El UTP-5 mostró las mejores características de diafonía en todo el ancho de banda. Las características de atenuación fueron también muy buenas. Este cable puede usarse prácticamente en todas las redes locales rápidas.

La diferencia en costos entre UTP-3 y UTP-5 es mínima, por lo tanto se recomienda la adquisición de UTP-5. Sin embargo, dependiendo de la tecnología que se pretende emplear, puede recomendarse también el UTP-4.

Una de las ventajas de 100BaseT4 y 100VG-AnyLAN es su posibilidad de operar sobre UTP-3, el cual se encuentra ya instalado muchos edificios. En este caso se recomienda hacer pruebas de los parámetros previamente definidos, ya que como fue el caso del segmento de UTP-3 analizado, no cuenta con los límites de atenuación requeridos por estas tecnologías a pesar de ser UTP-3 auténtico y de tener una longitud menor al límite establecido por estas LAN's (100 m).

Ya que las tres categorías de UTP caracterizadas son del mismo calibre (24 AWG), se puede concluir también que el UTP5 presenta mejores características debido a la aleación metálica que compone a dicho medio, no al diámetro del cable (en este caso). Esto implica que las características de permeabilidad magnética (μ) y permitividad eléctrica (ϵ) son favorables en la aleación metálica que compone al UTP-5 con respecto a la aleación del UTP-3.

5 REDES LOCALES DE DATOS 'FAST ETHERNET'.

5.1 INTRODUCCIÓN.

De acuerdo a lo analizado en el capítulo anterior, el medio de transmisión juega un papel muy importante en las características de desempeño de las redes locales de comunicaciones, ya que a partir de la combinación de ciertos parámetros como la velocidad de transmisión, codificación de línea, medio físico, y comercialización, se determina en gran medida las aplicaciones y desarrollos de las diferentes tecnologías aplicadas a las redes de comunicaciones. Tomando en cuenta lo anterior, en los últimos tres años ha habido una gran investigación para encontrar la mejor combinación de los parámetros anteriores, que permitan en conjunto el desarrollo de nuevos servicios (imágenes, voz y video) tanto en un ambiente estrictamente local (< 2 Km) como en un ambiente de cobertura amplia (distancia ilimitada).

¿Cuales son dichas tecnologías y cuales son sus características y posibles aplicaciones?, ¿cuales de todas ellas tienden a sobresalir y cuales tienden a desaparecer?, ¿cuales de éstas se recomiendan para futuras implementaciones en México y como funciona dicha tecnología? todas estas preguntas se pretenden responder en este capítulo.

El objetivo de este capítulo es entonces el análisis del estado de arte de las principales redes de comunicaciones de alta velocidad (mayor o igual a 100 Mbps), enfatizando en aquella tecnología que tiene las características adecuadas para su aplicación en el futuro inmediato en ambientes de aplicaciones heterogéneas, dando así una explicación detallada del funcionamiento interno de la tecnología Fast Ethernet.

5.2 REDES LOCALES RÁPIDAS.

Las principales características que clasifican a una red local de datos (LAN) como 'red rápida', son su alta velocidad de transmisión, posibilidad de aplicaciones de multimedios (voz, datos, video, imágenes), y una gran comercialización. En esta sección se hará un análisis de las LAN's que cuentan con estas características, donde se analizará su topología, medio físico, estándar, y sus posibles aplicaciones.

5.2.1 REDES RÁPIDAS.

Las tecnologías de comunicaciones conocidas como redes rápidas son: FDDI, ATM, 100VG-AnyLan y Fast Ethernet.

Cada una de ellas tiene sus propias ventajas y desventajas. En realidad, no existe una respuesta correcta hacia el dilema de cual de estas tecnologías es la mejor, ni se sabe cual de ellas sobrevivirá en el mercado en el futuro. Sin embargo, dependiendo del tipo de aplicación que se desea adoptar, del área que se pretende cubrir, del medio físico que se quiere usar, y de otros factores (como el económico), se pueden escoger algunas y descartar otras de éstas.

Se predice que las nuevas instalaciones de LAN's van a estar compuestas de diferentes tecnologías. Por ejemplo, una empresa puede optar por tener 10 Mbps en su red del área de ventas, 100 Mbps en sus aplicaciones gráficas, y un canal de fibra óptica a 622 Mbps para enlazar su red Unix (ver figura 22) [Saunders Stephen. 1995].

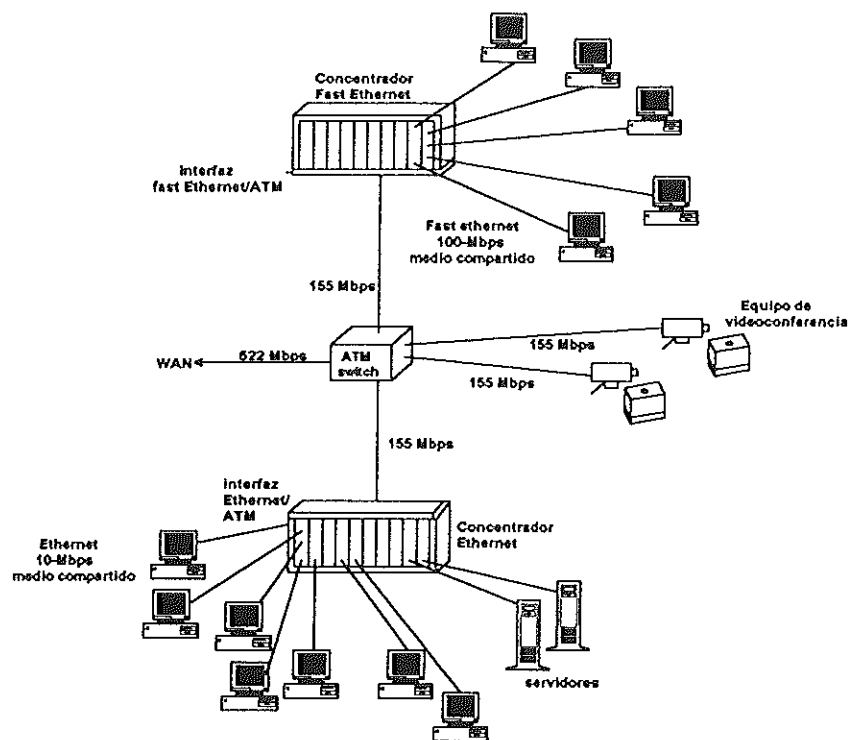


figura 22. LAN compuesta de varias tecnologías.

El problema aquí sería definir el tipo específico de red para cada aplicación, ya que algunas LAN's son orientadas más hacia aplicaciones de multimedia, algunas sirven mejor como dorsal, otras pueden usar UTP existente en las instalaciones telefónicas, en fin, haciendo un estudio comparativo preliminar se puede optar por el diseño más eficiente, para lo cual se darán las bases en este capítulo.

Uno de los parámetros utilizados para medir la eficiencia de una LAN es el 'caudal eficaz', el cual determina la cantidad de información efectiva, es decir, la cantidad de información recibida exitosamente, medida en bits sobre segundo [Guerrero, Alejandro. 1991].

Existen varias interpretaciones acerca de lo que el caudal eficaz realmente representa con respecto al desempeño de la red. En LAN's de 'medio compartido' (FDDI, Fast Ethernet) su velocidad de línea (caudal eficaz de un solo nodo) decrece en proporción al número de nodos por segmento. Por ejemplo, en una instalación de FDDI (100 Mbps) de 10 nodos, cada uno tiene un promedio de una décima del ancho de banda total (10 Mbps). En redes 'conmutadas' (ATM, 'Ethernet conmutado') todos los nodos tienen un canal dedicado, por lo tanto la velocidad de línea no depende del número de nodos [Sdanders Stephen. op. cit.].

Dependiendo de la utilización del canal ésto puede o no influir en el desempeño de la red, es decir, si todos los nodos de la red desean transmitir información frecuentemente, probablemente este fenómeno sea notorio, sin embargo, éste puede no ser un factor trascendente en la mayoría de los casos, ya que la transferencia de información no se da a todas horas y por todos los nodos.

Por otro lado, la eficiencia de una LAN no se mide solamente en términos del caudal eficaz, sino que depende de parámetros como el retardo de transmisión, la latencia ('latency') y el sobreprocesamiento entre otros.

El sobreprocesamiento ('overhead') se define como la cantidad de información enviada con respecto al tamaño del paquete, entre menor sea el sobreprocesamiento, más efectivo será el transporte. La siguiente ecuación describe a este parámetro:

$$\text{sobreprocesamiento} = (\text{encabezado}/\text{paquete})100\% \quad (16)$$

Donde 'encabezado' se refiere al número de octetos del paquete que no son datos, y 'paquete' se refiere al número total de octetos del paquete [Sanders Stephen. op. cit.].

La latencia se define como el tiempo requerido en ser atendido un intento a transmitir. A menor latencia, menor es el retardo y mayor la eficiencia [Nemzow Martin A.W. 1998].

Una vez definidos los parámetros por medio de los cuales se puede determinar el desempeño de una red, se procederá ahora a evaluar a cada una de las tecnologías rápidas previamente mencionadas, ésto con el fin de hacer un análisis comparativo de la eficiencia de dichas redes.

5.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES REDES RÁPIDAS.

5.2.2.1 FDDI.

FDDI ('Fiber Distributed Data Interface') fue la primera de estas tecnologías en salir al mercado, la cual ha tenido gran aceptación, ya que un número considerable de grandes empresas como IBM, Hewlett Packard, Sun Microsystems y 3Com entre otras, la soportan.

FDDI es definido por el comité X3T9.5 de la ANSI ('American National Standard Institute'), el cual especifica una velocidad máxima de transmisión de 100 Mbps a través de fibra óptica y UTP-5 (en su versión de cobre 'Copper distributed data interface (CDDI)').

FDDI usa una topología de doble anillo, la cual provee una recuperación rápida del enlace en caso de que un nodo se caiga (deje de operar adecuadamente). El tráfico de datos se da a través de un anillo, y en caso de que un nodo se caiga, los anillos se conmutan aislando así al nodo caído [Internet].

Una de las principales características de esta red es su amplia cobertura, ya que el doble anillo puede tener un perímetro de hasta 100 Km y soportar un número máximo de 500 nodos, mientras que la máxima distancia permitida entre el anillo y un nodo aislado es de 2 Km (ver figura 23). FDDI es usada en muchas instalaciones como dorsal principal de la red, teniendo la posibilidad de coexistir con otras tecnologías (por ejemplo Ethernet) mediante el uso de puentes o enrutadores, sin embargo, el uso de estos dispositivos disminuye el caudal eficaz de la red [Restivo Ken. 1994].

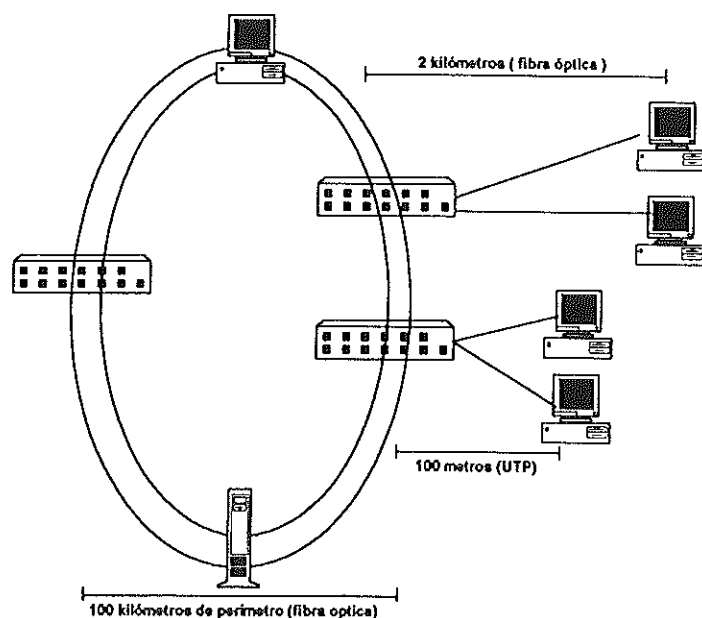


figura 23. Límites establecidos por la norma ANSI X3T9.5.

En experimentos realizados por expertos en el área en los Estados Unidos, se han obtenido mediciones del caudal eficaz de hasta 98% con tarjetas FDDI, cuyos resultados son muy buenos [Newman David. 1994].

Esta tecnología trabaja con paquetes máximos de 4,478 octetos, de los cuales 23 pertenecen a encabezados, por lo tanto según la ecuación (16) se obtiene un sobreprocesamiento de 0.51%.

Esta tecnología presenta una latencia típica de 10-200 milisegundos (variable) [Saunders Stephen. cit. op.].

FDDI usa un esquema de control de acceso al medio (MAC) tipo 'token passing (medio compartido)', donde el testigo ('token') viaja de estación en estación dándole oportunidad a cada una de éstas a transmitir datos. Si muchas estaciones desean transmitir, el retardo puede ser muy grande, lo cual es intolerable para aplicaciones de tiempo real (multimedios). Sin embargo, 'FDDI síncrono (FDDI II)' usa un reloj para reservar una porción de ancho de banda para comunicaciones sensibles a la variación del retardo.

FDDI es una tecnología ya madura, la cual tuvo mucho auge en los 80's y principios de los 90's. Esta tecnología es muy cara, costando aproximadamente \$2,000 dólares por nodo, más aparte los costos de la fibra óptica.

Se cree que a partir de esta década FDDI tiende a desaparecer del mercado, ya que como se verá posteriormente, existen otras tecnologías más económicas que ofrecen las mismas velocidades de transmisión.

5.2.2.2 ATM.

ATM ('Asynchronous Transfer Mode') es una tecnología de conmutación y transporte de muy alta velocidad, la cual es empleada en un escenario de área amplia (WAN's) y se está introduciendo a un ambiente local (LAN's).

ATM es una tecnología muy escalable, la cual soporta velocidades de transmisión de 155 y 622 Mbps sobre fibra óptica.

Las funciones realizadas por ATM LAN corresponden a algunas funciones especificadas por la capa física y de enlace de datos del modelo de referencia OSI [Minioli, Dan. 1992].

El forum de ATM ha propuesto dos protocolos para ATM LAN, uno de éstos es el protocolo de señalización (conocido como ITU-T), y el otro es un formato de direccionamiento, el cual se basa en el NSAP ('Network Service Access Point') del modelo de referencia OSI [Gould, Jeff. 1994].

Por lo anterior, ATM no está totalmente especificada como LAN (hasta junio de 1994), sin embargo esta tecnología cuenta con mucho soporte de grandes empresas fabricantes y vendedoras de equipo de comunicaciones, por lo que se espera que en un futuro cercano esté totalmente especificada como LAN.

El protocolo de enrutamiento manejado por ATM es denominado 'trayectoria lógica', en el cual la terminal de emisión debe solicitar a la red el establecimiento de un itinerario. Esta

operación se efectúa por medio de un paquete de 'llamado', que marca dentro de la red el camino que deberán seguir los paquetes que componen una secuencia [Ampolia Mario H. 1994].

Hoy en día, ATM es ampliamente usado como WAN y como dorsasal de LAN's, cuya tecnología presenta mejor características de desempeño que otras tecnologías dorsales (como FDDI).

ATM presenta valores pequeños de latencia, amplio ancho de banda, y capacidades para multimedios (por su esquema natural isócrono). Con esta tecnología cada usuario es garantizado con el ancho de banda requerido, independientemente del número de estaciones interconectadas.

Ya que ATM siempre opera a velocidad de línea, la medición del caudal eficaz resulta irrelevante, ya que siempre se entrega el ancho de banda especificado en la interfaz física, ya sea 155 Mbps o alguna otra velocidad especificada.

Las redes ATM han adoptado la fórmula de longitud de celda (paquete) constante, la cual está constituida por un conjunto de 53 octetos, de los cuales 5 forman el encabezado. Una ventaja de utilizar celdas de longitud fija, es que pueden procesarse directamente por circuitería ('hardware'). [Ampolia Mario H. 1994]. Sin embargo, para un ambiente local, estas celdas tienen un sobreprocesamiento muy grande.

Mediante la utilización de la ecuación (16) se puede determinar que el sobreprocesamiento presentado por ATM es de 9.4%. La latencia típica presentada por esta tecnología es de 20 microsegundos o menor (variable) [Saunders Stephen. op. cit.].

ATM tiene varias ventajas con respecto a otras tecnologías: primeramente, esta tecnología tiende a ser muy escalable en términos de velocidades de transmisión y de número máximo de nodos permitidos, ATM está naciendo de una serie de estándares bien estructurados, y finalmente su ventaja más notable es su habilidad de unir las redes de amplio alcance (WAN's) con las redes locales (LAN's) sin necesidad de enrutadores intermedios (ver figura 24).

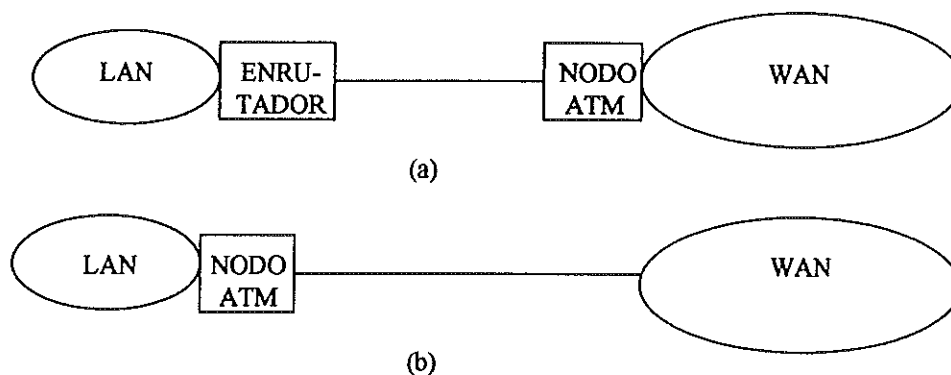


figura 24. (a) Diagrama tradicional de conexión de una LAN con una WAN. (b) Diagrama de conexión que se pretende implementar con ATM LAN .

Este esquema presentado por ATM es posible ya que la celda usada en WAN's se preserva para el escenario local. Esto último resulta en la eliminación del protocolo de comunicación entre el enrutador ATM y el enrutador (frame relay, X.25).

No obstante que ATM presenta todas estas ventajas, existe una desventaja muy grande; la económica. El precio que presenta esta tecnología es de aproximadamente \$2,500 dólares por nodo, lo cual prácticamente la deja fuera del escenario local por el momento, ya que este precio resulta poco competitivo con las demás tecnologías de ambiente local.

5.2.2.3 100VG-AnyLAN.

100VG-AnyLAN es definido por el estándar 802.12 de la IEEE. Esta tecnología es soportada por un considerable número de vendedores como: Hewlett Packard, AT&T, IBM, etc..

100VG-AnyLAN especifica una velocidad de transmisión de 100 Mbps sobre cuatro pares de UTP 3, 4 o 5 y una topología en estrella, lo cual de acuerdo con lo mencionado en los capítulos anteriores, presenta una gran ventaja en relación al medio físico empleado.

100VG utiliza un nuevo esquema de control de acceso al medio (MAC) denominando protocolo de prioridad de demanda ('Demand Priority Protocol (DPP)'). Este protocolo se basa en concentradores inteligentes, los cuales usan una técnica arbitraria ('round robin') para atender las peticiones de los clientes. Estas peticiones de transmisión pueden ser de alta prioridad o de prioridad normal. Obviamente se atienden primero las peticiones de alta prioridad [Garris John. 1995].

Aunque esta tecnología sea de medio compartido, la posibilidad de distinguir prioridades de paquetes la hace viable para aplicaciones de múltiples servicios (voz, imágenes, video).

En pruebas realizadas en los Estados Unidos con esta tecnología, se han obtenido resultados de 85 Mbps y 95 Mbps de caudal eficaz con una utilización del CPU de 100% y 70% respectivamente. De esto se puede observar como dependiendo de diversos factores como es el número de usuarios, la programática usada, el modelo específico de la tarjeta, y otros más, se pueden obtener variaciones del caudal eficaz y de la utilización del CPU.

El paquete de transmisión está conformado de los mismos campos del paquete usado por Ethernet convencional, de esta manera 100VG-AnyLAN tiene un sobreprocesamiento de 1.6%.

Esta tecnología presenta valores mínimos de latencia de 121 microsegundos, cuyo valor incrementa 120 microsegundos por cada estación presente [Saunders Stephen cit. op.].

100VG no presenta características adecuadas para ser usada como dorsal de instalaciones muy grandes, sin embargo se permite hasta 6 repetidores entre dos nodos, con una distancia máxima de 100 metros entre repetidores.

El costo de esta red es de aproximadamente \$300 dólares por tarjeta y de \$200 dólares por puerto del concentrador.

5.2.2.4 Fast Ethernet.

100BaseT, mejor conocido como Fast Ethernet, es una tecnología de medio compartido, la cual es definida totalmente por el comité 802.3u de la IEEE. Este estándar especifica dos versiones de 100BaseT sobre cobre (100BaseTX y 100BaseT4) y una sobre fibra óptica (100BaseFX), las cuales trabajan a velocidades de transmisión de 100 Mbps.

100BaseT utiliza el mismo protocolo de control de acceso al medio (MAC) utilizado por Ethernet (CSMA/CD). La estructura del paquete y la topología en estrella también se conserva, sin embargo, para unir segmentos Ethernet con segmentos Fast Ethernet es necesario la adquisición de concentradores o conmutadores que soporten ambas velocidades de transmisión 10/100 Mbps, los cuales están ya muy comercializados. [Garris John. 1995].

La retención del protocolo CSMA/CD puede verse como una ventaja en el sentido de que esta tecnología ha tenido un gran éxito a través de los años, pero es una desventaja en el sentido de que no es posible la comunicación en tiempo real, ya que al haber una colisión se pierde toda la información, haciendo a 100BaseT impropia para aplicaciones de multimedios. Sin embargo, mediante la utilización de conmutadores ('switches') es posible tener un canal dedicado y aplicaciones de tiempo real. El apéndice D da una explicación detallada de los conmutadores Ethernet [3Com].

La tecnología 100BaseTX utiliza dos pares de UTP-5 o de STP para transmisiones bidireccionales 'half-duplex' o 'full-duplex'. Esta tecnología es la más comercializada de las tres versiones de Fast Ethernet.

100BaseT4 opera con cuatro pares de UTP 3, 4 o 5. Dado a que esta tecnología usa los ocho hilos normalmente encontrados en los cables de UTP, solamente le es posible operar en modo 'half-duplex'.

Una de las nuevas implementaciones a la norma 802.3u es el esquema de autonegociación, el cual permite a nodos Ethernet y Fast Ethernet autonegociar su máxima velocidad de transmisión permisible, pudiendo trabajar a 10 y a 100 Mbps (en diferentes segmentos) simultáneamente, haciendo así una migración paulatina hacia Fast Ethernet.

En pruebas realizadas en el exterior con tecnología Fast Ethernet, se han llegado a obtener resultados de hasta 90 Mbps de caudal eficaz, con una utilización del CPU del 85% en este punto. Estas pruebas fueron realizadas con tarjetas EISA, sin embargo también existen tarjetas disponibles para ductos PCI ('Peripheral Component Interconnect'), lo cual mejoraría estos resultados, ya que el ducto EISA actúa como un cuello de botella, mientras que el ducto PCI está diseñado para mayores frecuencias [Garris John. 1995].

Ya que la estructura del paquete es la misma que en Ethernet, el sobreprocesamiento presentado por Fast Ethernet es también de 1.6%. La latencia presentada por esta tecnología varía en caso de que ocurra una colisión o no, sin embargo se encuentra al rededor de los 30 milisegundos. Mediante la utilización de un conmutador se alcanzan mejores valores de latencia (38 microsegundos) [Saunders Stephen. 1993].

Fast Ethernet especifica una distancia máxima entre concentrador y estación de 100 m, y solo es permisible el uso de dos repetidores entre dos nodos. Sin embargo, en un estudio realizado por IBM, se muestra que más del 90% de las estaciones están dentro de 100 metros del concentrador. No obstante, esta tecnología no es recomendada como dorsal de una instalación muy grande (> 2 Km) [Internet].

Una de las ventajas de Fast Ethernet es el gran número de compañías que la soportan, lo cual tiende a estandarizarla en el mercado. Entre estas compañías se encuentran: Grand Junction, DEC, SynOptics, 3Com, Cnet, DuPont, Hunday Electronics, Sun Microsystems, NEC, Cnet, DAVID Systems, Intel, SMC, Unisys, Datacom, etc..

Otra de sus ventajas es el aspecto económico, ya que se encuentra disponible desde \$300 dólares por tarjeta y \$200 dólares por puerto del concentrador, cuyos precios se espera que disminuyan a corto plazo.

5.2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRINCIPALES REDES RÁPIDAS.

Con respecto a las mediciones de los parámetros de sobreprocesamiento, latencia, y caudal eficaz analizadas anteriormente, hay que tomar en cuenta que los resultados obtenidos dependen de varios factores como tamaño del paquete transmitido, programas utilizados, modelo específico de tarjetas, etc.. Sin embargo, estos resultados nos dan una buena idea de la eficiencia de estas redes rápidas.

Una vez definidas las características de las LAN's más importantes actualmente, se tomará parte de esa información para hacer un análisis comparativo y concluir con una serie de recomendaciones. La tabla X muestra un resumen de algunas características de estas tecnologías:

TABLA X. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES RÁPIDAS.

RED	ESTANDAR	PROTOCOLO MAC	TOPOLOGÍA	MEDIO FISICO	APLICACIONES	DORSAL
ATM	CCITT	CONMUTACIÓN	EN MALLA Y/O EN ESTRELLA	F.O.	MULTIMEDIA, DATOS.	SI
FDDI	ANSI X3T9.5	TOKEN PASSING	ANILLO DOBLE	F.O. UTP5	DATOS, POCA MULTIMEDIA	SI
100VG	IEEE 802.12	DPP	ESTRELLA	F.O. UTP3-5	DATOS, POCA MULTIMEDIA	NO
100BT	IEEE 802.3u	CSMA/CD	ESTRELLA (DUCTO)	F.O. UTP3-5	DATOS, POCA MULTIMEDIA	NO

Es notable que la única tecnología verdaderamente orientada por ahora a multimedios es ATM, por su esquema isócrono, de conmutación y altas velocidades de transmisión. Sin embargo 100VG tiene también una forma natural de trabajar cierto tipo de servicios multimedios, mientras que 100BaseT requiere del uso de conmutadores para ello.

Al analizar el contenido de esta tabla, es notorio que cada una de estas redes son orientadas a diferentes ambientes y aplicaciones. Podemos clasificar a estas cuatro tecnologías en dos grupos: las redes dorsales (ATM y FDDI) y las redes de menor cobertura (100VG y 100BT), cuyos grupos también se distinguen en precios.

Ya que FDDI es una tecnología inescalable, se recomienda ATM como dorsal, ya que esta tecnología está teniendo un soporte grandísimo de las compañías del área de comunicaciones, y ésta presenta características de eficiencia muy buenas. Se cree por lo tanto que ATM representa el futuro como red dorsal y como LAN.

Ha habido mucha competencia entre 100VG y 100BT, ya que ambas LAN's son prácticamente nuevas (1995), y proveen características y precios similares. Por lo tanto, se procede a hacer un análisis comparativo de estas dos tecnologías.

5.2.4 100BaseT vs 100VG-AnyLAN.

En esta sección se pretende tomar las características más trascendentes de ambas tecnologías, analizarlas mediante una comparación directa, y finalmente concluir a cerca de cual de estas dos tendrá mayor auge en futuras implementaciones.

100VG-AnyLAN hace uso de dos esquemas claves en su funcionamiento: la técnica de codificación de línea ('quartet signaling') y un protocolo de acceso al medio (MAC) llamado protocolo de prioridad de demanda ('Demand priority protocol (DPP)') [Schnaidt Patricia. 1993].

El esquema de codificación de línea 'quartet signaling' divide la información en cuatro líneas paralelas de 30 Mbps cada una (25 Mbps antes de ser codificada), donde cada línea se transmite por un par de cables UTP [Bursky Dave. 1994].

El protocolo adoptado por 100VG (DPP) elimina la colisión de paquetes, obteniendo así un uso más eficiente del ancho de banda. Permite también la priorización del tráfico sensible al retardo, posibilitando la utilización de aplicaciones de multimedios [Garris John. cit. op.].

Por el otro lado, 100BaseT permanece con el mismo protocolo de acceso al medio CSMA/CD, sin embargo también usa diferentes técnicas de codificación.

Las aplicaciones de voz y video (multimedios), deben recibir paquetes a intervalos constantes de tiempo. El protocolo CSMA/CD es impropio para este tipo de aplicaciones, ya que una colisión o una línea ocupada por mucho tiempo puede retardar el tráfico inesperadamente. Sin

embargo, los conmutadores ('switches') de Ethernet eliminan este problema, ya que estos dispositivos establecen canales dedicados entre estaciones, eliminando la posibilidad de colisión [SynOptics '94]. El funcionamiento de Ethernet conmutado es especificado en el apéndice D.

Como muestra la figura 25, 100VG-AnyLAN presenta mejores resultados de caudal eficaz y utilización del CPU que Fast Ethernet.

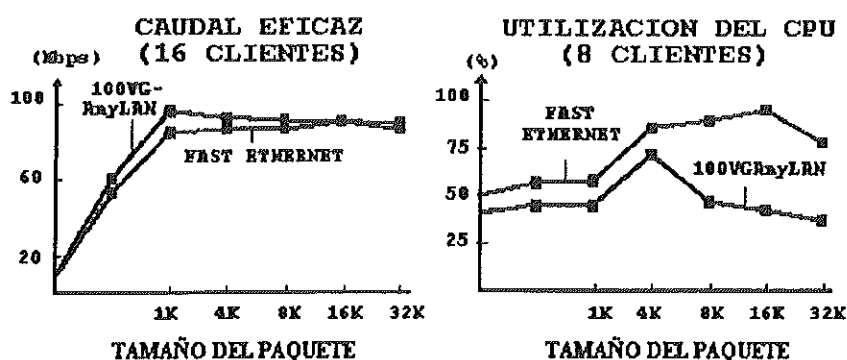


figura 25. Caudal eficaz y utilización del CPU presentado por Fast Ethernet y 100VG-AnyLAN.

Sin embargo, en este análisis no se toma en cuenta la posibilidad que presenta Fast Ethernet de trabajar en modo full-duplex mediante el uso de conmutadores, lo que representa un incremento del caudal eficaz del doble.

La tabla XI muestra un análisis comparativo de algunas características adicionales de estas tecnologías.

TABLA XI. CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DE 100BT Y 100VG.

RED	ESTABLECIMIENTO DE ESTANDAR	SOPORTE DE VENDEDORES	HABILIDAD DE CONMUTACION	METODO DE ACCESO	SOPORTE DE FULLDUPLEX
100BT	802.3u YA ESTABLECIDO	MAS DE 30 EMPRESAS	SI	CSMA/CD CONOCIDO	SI
100VG	802.12 POR ESTABLECERSE	POCAS EMPRESAS	NO	DPP DESCONOCIDO	NO

Otra ventaja que presenta Fast Ethernet sobre 100VG-AnyLAN es su facilidad de emigrar de 10 a 100 Mbps, ya que 100BaseT cuenta con el esquema de autonegociación, el cual permite que segmentos de ambas velocidades convivan simultáneamente, emigrando así paulatinamente hacia los 100 Mbps.

Por todas estas características, se espera que Fast Ethernet tienda a estandarizarse de una forma similar a lo que fue Ethernet convencional en los 80's.

Hasta septiembre de 1995, el 60% de ambas redes vendidas han sido Fast Ethernet, mientras que el 40% ha sido de 100VG-AnyLAN [Internet].

5.3 ESPECIFICACIONES Y MODO DE OPERACIÓN DE 'FAST ETHERNET'.

Esta sección tiene el propósito de dar una explicación detallada de los mecanismos empleados por Fast Ethernet para la obtención de 100 Mbps, explicando así las especificaciones más trascendentes de esta tecnología. Los esquemas de codificación juegan un papel muy importante, por lo cual se esplicarán con detalle.

5.3.1 ALGUNAS NORMAS DEL COMITÉ 802.3u.

5.3.1.1 INTERFAZ DE INDEPENDENCIA AL MEDIO.

La norma 802.3u especifica tres diferentes tipos de medios de transmisión: dos pares de UTP5, cuatro pares de UTP-3, y fibra óptica. Afortunadamente, la estación (computadora) no tiene que preocuparse del medio específico con que se está trabajando, ya que para eso se tiene a una subcapa denominada interfaz de independencia al medio ('Medium Independent Interface (MII)') entre la capa física y la subcapa MAC del modelo OSI (ver figura 26).

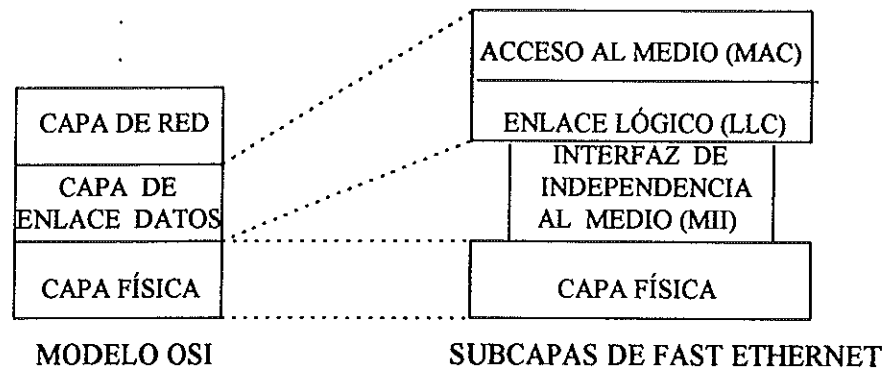


figura 26. Ubicación del MII en la arquitectura OSI.

La interfaz MII provee una forma uniforme de pasar datos por segmentos de 4 bits ('nibbles') a la capa física y también de la capa física hacia las capas superiores. MII facilita la emigración hacia mayores velocidades de transmisión y nuevos medios físicos disponibles [Goldberg Lee. 1995].

Gracias a MII, las compañías diseñadoras de tarjetas de red pueden utilizar circuitos integrados de transceptores y de funciones del subnivel MAC de diferentes fabricantes, influyendo así estos factores favorablemente con respecto a costos .

Estas características son muy importantes, ya que hace a esta tecnología escalable, es decir, es pensada a futuras implementaciones.

5.3.1.2 AUTONEGOCIACIÓN.

Una de las consideraciones más importantes al implementar 100BaseT, es la posibilidad de su coexistencia con 10BaseT.

La norma 802.3u establece el protocolo de 'autonegociación', el cual es usado por tarjetas que soportan ambas velocidades (10/100 Mbps) con el fin de configurarse automáticamente a la máxima velocidad permisible por los demás dispositivos (concentrador o conmutador) [Melatti Lee. 1994].

La idea detrás de este protocolo es muy simple. Ya que la topología de la red es en forma de estrella, con cada estación conectada a un concentrador, cada estación y concentrador se comunica mutuamente describiendo sus capacidades de transmisión, de tal manera que cada transceptor se configura con la mayor velocidad de transmisión posible [Goldberg Lee. 1995].

La configuración automática se lleva a cabo de la siguiente manera: al encender la estación, ésta manda una serie de pulsos ('fast link pulses (FLP)'), cada pulso mandado es idéntico a los pulsos de 10BaseT, de tal manera que en caso de que el concentrador sea de 10 Mbps, éste será 'engañado' pensando que son pulsos de enlace normales, y continuará a operar como nodo 10BaseT. En caso de que el concentrador sea operable a 100 Mbps, éste recibirá la ráfaga de FLP y mandará sus propios FLP para configurar a la estación con las máximas capacidades posibles.

Una ráfaga FLP consiste de 33 pulsos, donde 17 representan información de reloj y 16 representan información de la capacidad. El campo de capacidad consiste del conjunto de bits D5-D12, el cual es mostrado en la tabla XII.

TABLA XII. INFORMACIÓN QUE REPRESENTA EL CAMPO DE CAPACIDAD DE LA RÁFAGA FLP

PULSOS DE FLP	CAMPO DE CAPACIDAD
D5	10BaseT
D6	10BaseT full-duplex
D7	100BaseTX
D8	100BaseTX fullduplex
D9	100BaseT4
D10-D12	RESERVADOS

Conforme las redes crecen, este protocolo se va haciendo indispensable, ya que al tener un número considerablemente grande de estaciones puede hacerse una tarea muy pesada configurar manualmente una por una [3Com] [Goldberg Lee. 1995].

Una de las funciones realizadas por el nivel físico del modelo OSI (descrito en el capítulo II), es la codificación en línea, la cual juega un papel muy importante en las LAN's. Debido a esto

último, se procede a dar una explicación de los términos necesarios para poder describir los esquemas de codificación empleados por Fast Ethernet.

5.3.2 ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN.

En un sistema de transmisión digital, la información se representa por secuencias de símbolos (normalmente binarios) elegidos de un conjunto finito.

Para transmitir la información digital, la secuencia de información pudiera aplicarse directamente a la línea, pero esto ocasionaría problemas de transmisión. Primero, es imposible observar el comportamiento en el sistema en cuanto a la calidad de la transmisión en los repetidores y en las terminales estando en operación. Segundo, se desea un sistema autosincronizable, es decir, que la información de temporización se extraiga de la misma señal de información. Tercero, se desea evitar el fenómeno de 'desviación de nivel de CD', el cual se da en la transmisión de muchos unos consecutivos. Dicho fenómeno es representado en la figura 27 [Mendieta].

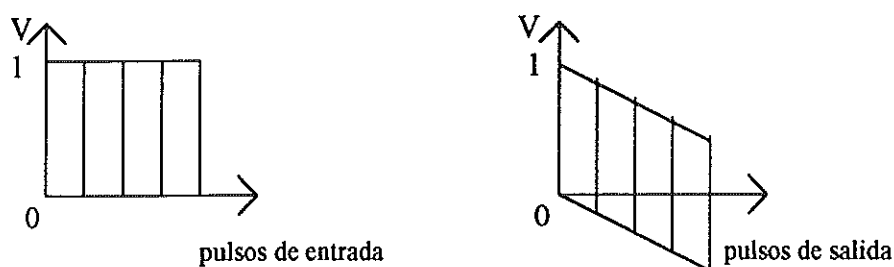


figura 27. Desviación del nivel de C.D.

Si se aplican muchos pulsos consecutivos ocurrirá una desviación del nivel de C.D. de la secuencia, resultando esto en una degradación de la relación señal a ruido (SNR). Dichos problemas pueden ser solucionados codificando a la señal binaria de información mediante una secuencia de símbolos con determinada estructura y redundancia. A esta estructura resultante se le denomina 'código en línea'. La conformación de estos códigos está dominada por ciertas características tales como propiedades del canal y operación del sistema.

De esta manera, un problema importante en el diseño de sistemas de transmisión digitales es el de la elección del código de línea, el cual debe satisfacer al mismo tiempo muchas exigencias en parte contradictorias, como son: una conformación adecuada de la densidad de potencia espectral, información de temporización, posibilidad de monitorear errores, información de alimentación de trama, etc. [Mendieta].

Las secuencias permitidas en la transmisión de información, pueden a su vez, estar especificadas por un conjunto de palabras escogidas que toma la secuencia a través de una

sucesión de estados permitidos, uno para cada símbolo de la palabra. Los códigos de este tipo son denominados 'códigos de bloques'.

En los códigos de bloques, la información binaria es agrupada en tramas de m bits, los cuales son transformados en palabras de n bits y de R niveles ($R=2$ es un código binario, $R=3$ es uno ternario, etc.).

De esto último, nace una familia de códigos denominados $mBnN$, donde se representan palabras de m bits (binarios) mediante palabras de n bits de R niveles. Las familias de códigos más comunes son los binarios y los ternarios ($mBnB$ y $mBnT$ respectivamente).

La eficiencia de un código de este tipo está definida mediante:

$$\eta = \frac{\text{Log } 2^m}{\text{Log } R^n} \quad (17)$$

La transformación de las palabras del conjunto de información a las palabras del conjunto de códigos se hace necesariamente de una forma unívoca, es decir, un elemento del dominio de la información puede ser representado por uno o más elementos del contradominio (dominio del código), pero no inversamente, lo que implica que:

$$B^m \leq R^n \quad (18)$$

Usualmente el proceso de codificación involucra un cambio en la velocidad de transmisión con respecto a la velocidad de información, esto va ligado al añadir la redundancia necesaria para adaptar el código de línea al canal de transmisión, dicha redundancia puede obtenerse ya sea aumentando la velocidad de transmisión o incrementando el número de niveles de amplitud ($R>2$) [Mendieta].

Fast Ethernet toma ambos de los esquemas mencionados para sus diferentes versiones de transmisión sobre UTP, es decir, para acoplar el código de línea al canal de transmisión; 100BaseTX incrementa la velocidad de transmisión, mientras que 100BaseT4 incrementa el número de estados lógicos mediante una codificación ternaria ($R=3$).

El cambio en la velocidad de transmisión es un parámetro muy importante en este tipo de códigos, ya que relaciona a la frecuencia del reloj con la velocidad de la información neta transmitida. Dicho parámetro está dado por la relación n/m .

5.3.3 TEORÍA DE OPERACIÓN DE 100BaseTX.

100BaseTX emplea dos pares de par trenzado de categoría cinco (UTP-5) como medio de transmisión, teniendo ésta la opción de trabajar en modo full-duplex.

El nivel físico de 100BaseTX se basa en la misma tecnología empleada por FDDI en su versión de cobre (CDDI), la cual utiliza un esquema de codificación de bloques 4B5B, es decir, utiliza 5 bits binarios para representar 4 bits (binarios).

Ya que existen 16 posibles combinaciones (símbolos) con 4 bits y 32 símbolos con 5 bits, se tienen 16 símbolos sin usar, empleándose algunos de estos últimos como señales de control. El resto de los símbolos nunca deben ocurrir en la recepción, proveyendo así cierta capacidad para detectar errores [Jayasumana Albert. 1994]. La tabla XIII muestra la relación usada por esta tecnología en su asignación de códigos:

TABLA XIII. SELECCIÓN DE SÍMBOLOS DE CÓDIGO DE BLOQUES 4B/5B

SÍMBOLO	CODIFICADO 4B/5B	INFORMACIÓN
Hex 0	11110	0000 BINARIO
Hex 1	01001	0001 BINARIO
Hex 2	10100	0010 BINARIO
Hex 3	10101	0011 BINARIO
Hex 4	01010	0100 BINARIO
Hex 5	01011	0101 BINARIO
Hex 6	01110	0110 BINARIO
Hex 7	01111	0111 BINARIO
Hex 8	10010	1000 BINARIO
Hex 9	10011	1001 BINARIO
Hex A	10110	1010 BINARIO
Hex B	10111	1011 BINARIO
Hex C	11010	1100 BINARIO
Hex D	11011	1101 BINARIO
Hex E	11100	1110 BINARIO
Hex F	11101	1111 BINARIO
H	00100	PARO AL SISTEMA (HALT).
I	11111	DESOCUPADO (IDLE).
J	11000	SEÑAL DE INICIO DE ESTAFETA, MENSAJE Y GUÍA.
K	10001	SEÑAL DE INICIO DE ESTAFETA Y GUÍA.
Q	00000	SILENCIO, NO SEÑAL TRANSMITIDA.
T	01101	TERMINACIÓN, FINAL DE LA SEÑAL DE ESTAFETA, MENSAJE Y GUÍA.
S	11001	SÍMBOLO DE TRANSMISIÓN SOLO EN ESTAFETA, DENOTA TAMBIÉN UN UNO LÓGICO.
R	00111	NORMALMENTE NO ENVIADO, DENOTA TAMBIÉN UN CERO LÓGICO.
V o H	00001	INVALIDO/PARO (HALT), SÍMBOLO ILEGAL.
V o H	00010	INTERPRETADO COMO PARO (HALT).
V o H	01000	
V o H	10000	
V	00011	
V	00101	
V	00110	
V	01100	

Los símbolos de esta tabla son seleccionados para asegurar la transición al menos cada tres estados, haciendo así a éste un esquema de codificación autosincronizable.

La eficiencia presentada por este esquema, según la ecuación (17) es de 80% (a diferencia del 50% de eficiencia de la codificación Manchester usada en 10BaseT). Para obtener 100 Mbps se requiere de un cambio de velocidad de: $n/m = 1.25$, es decir, se requiere de un reloj de 125 MHz.

La transmisión de esta información binaria codificada (código de bloque), se transmite mediante un esquema de codificación de línea denominado MLT-3, el cual usa tres niveles de voltajes (+1V, 0V, -1V) para balancear el nivel de corriente directa [Jayasumana Albert. 1994].

Como muestra la figura 28, puede diseñarse un receptor mediante dos comparadores y una compuerta lógica.

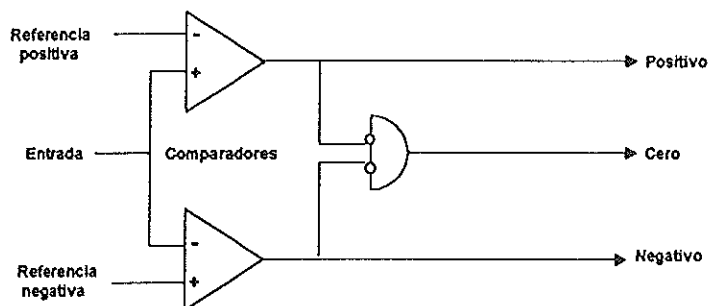


figura 28. Receptor MLT-3.

Los niveles de voltaje no representan directamente a los datos, sino que representan una versión codificada de los datos. Los estados lógicos de transmisión y recepción de este código son mostrados en la figura 29:

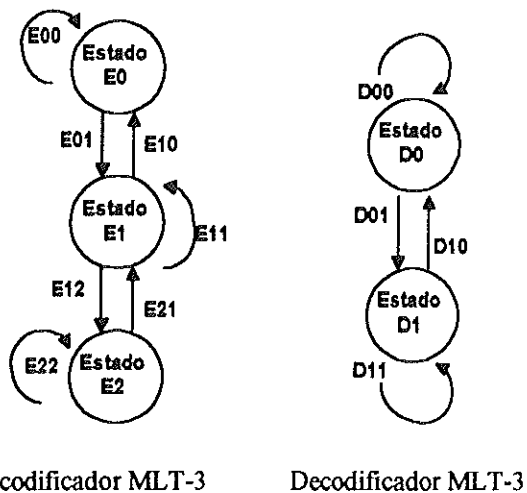


figura 29. Sucesión de estados lógicos del código de línea MLT-3.

El transmisor tiene tres estados lógicos y un contador, y solo hay saltos entre estados lógicos adyacentes. Si el bit en cuestión es un cero, entonces no hay transición, si el bit es un uno, entonces habrá transición al siguiente estado lógico. Desde el estado E0 o E2, la transición es hacia E1, y desde E1, la transición será a E0 o E2 dependiendo del estado del contador. El contador puede ser de un solo bit [Jayasumana Albert. 1994].

La figura 30 muestra un ejemplo de una señal primeramente codificada mediante el código de bloque 4B5B y luego transmitida mediante una codificación de línea MLT-3.

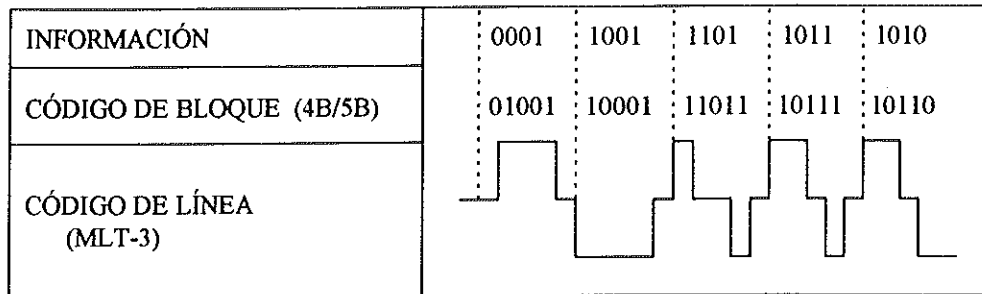


figura 30. Codificación MLT-3.

Para que 100BaseTX sea capaz de detectar una colisión, ésta realiza una función lógica 'AND' de la línea transmisora y receptora. La detección del estado del medio ('carrier sense') se hace mediante una operación 'NOT' [Patricia Schnaid. cit. op.].

5.3.4 TEORÍA DE OPERACIÓN DE 100BaseT4.

100BaseT4 emplea cuatro pares de UTP3 como medio de transmisión. Esta característica de operar sobre UTP3 le permite ser empleado en instalaciones viejas, ahorrando así el gasto de cableado nuevo. La transmisión de información (en cualquier dirección) se lleva a cabo dividiendo los datos y mandando la información por tres líneas (ver figura 31).

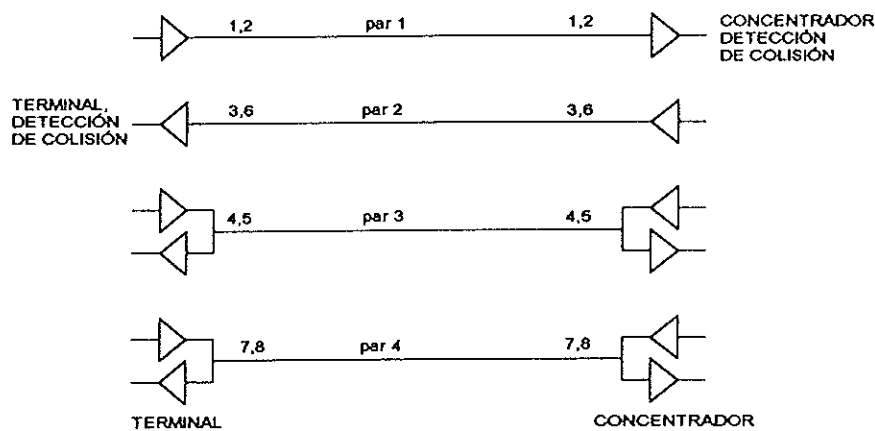


figura 31. Diagrama de la distribución de los cuatro pares trenzados usados por 100BaseT4.

Los cuatro pares trenzados usados por esta red se dividen en dos bidireccionales y dos unidireccionales. En cualquier sentido que fluya la información, se usan tres pares para transmitir datos y uno de éstos se usa para detectar colisiones [Goldberg Lee. 1995].

Cada una de las líneas de transmisión es codificada con un eficiente esquema ternario 8B6T, el cual usa 3 niveles de voltaje por bit (3V, 0V y -3V).

El esquema de codificación de bloque 8B6T viene de la familia de códigos mBnT anteriormente mencionada, dicho esquema utiliza 6 bits ternarios para representar a 8 bits binarios. Con 8 bits binarios se tiene la posibilidad de representar 256 símbolos, mientras que con 6 bits ternarios se puede representar hasta 729 símbolos. Dado a esto último, se tiene cierta flexibilidad en la selección de los códigos ternarios [Kustra Rubén. 1988].

La tabla XIV muestra la relación empleada en la codificación 4B3T, cuyo código tiene las mismas características de eficiencia y cambio de velocidad que el código 8B6T empleado por 100BaseT4.

TABLA XIV. ESQUEMA DE CODIFICACIÓN 4B3T.

PALABRA BINARIA	PALABRA TERNARIA		
0000	---		+++
0001	--0		++0
0010	-0-		+0+
0011	0--		0++
0100	--+		++-
0101	-+-		+ - +
0110	+--		-++
0111	-00		+00
1000	0-0		0+0
1001	00-		00+
1010		0+-	
1011		0-+	
1100		+0-	
1101		-0+	
1110		+0	
1111		-+0	

Las palabras ternarias de la columna del medio están balanceadas en su contenido de corriente directa. Las palabras del código de la primera y tercer columna se eligen para mantener el balanceo de corriente directa, si se transmiten mas pulsos positivos que negativos se selecciona la columna 1, y viceversa. [Kustra Rubén. cit. op.].

Hay que notar que no existe la palabra 000, haciendo así a éste un esquema de codificación autosincronizable. La eficiencia presentada por este código, según la ecuación (1) es del 84.12%.

La forma de onda adoptada para la transmisión de datos está implícita en la codificación de bloque.

La figura 32 muestra el diagrama de densidad de espectro de potencia presentado por este esquema de codificación.

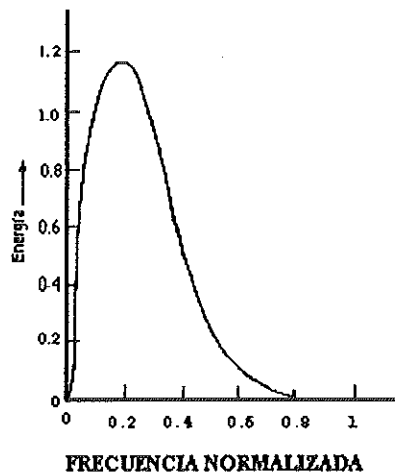


figura 32. Diagrama de densidad espectral de potencia del código 4B3T.

El hecho de que el codificador trabaje a $3/4$ de la frecuencia del reloj, hace a este esquema propio para altas velocidades de transmisión.

El transmisor triple asociado con esta codificación tan eficiente incrementa el caudal eficaz tanto, que solo se necesita tener un incremento del reloj de 20 MHz (Ethernet convencional) a 25 MHz para lograr los 100 Mbps [Goldberg Lee. 1995].

Para obtener los 100 Mbps es necesario que cada par transmita a 33.33 Mbps. Tomando en cuenta el cambio de velocidad $n/m = 0.75$, y multiplicando este factor por la velocidad de información (33.33 Mbps) dan los 25 MHz usados en el reloj de transmisión.

De esto se puede apreciar como la transmisión a través de la línea se hace a 25 Megabauds, donde cada baud representa 1.33 bits, obteniendo así una transmisión neta de 33.33 Mbps por cada línea.

Este esquema permite aproximadamente 2.5 más información por bit que el esquema de codificación Manchester usado en 10BaseT.

En Ethernet convencional se resuelven problemas de filtraje y de acoplamiento de impedancias entre la línea y el tranceptor mediante un conjunto de componentes pasivos externos (resistencias, capacitores), lo cual no es recomendable en 100BaseT4, ya que el esquema ternario usado por éste es más vulnerable al ruido.

En este caso es recomendable pasar al dominio digital, resolviendo así los mismos problemas de filtrado mediante algoritmos de procesamiento digital de señales, para lo cual es necesario la implementación de convertidores analógico/digital de muy altas velocidades en la etapa receptora.

La compañía Broadcom.Corp fabrica el circuito integrado BCM500, el cual realiza las funciones del transceptor, codificador, y otras más relacionadas con el nivel físico (del mo^o OSI).

La figura 33 muestra el diagrama a bloques correspondiente a las funciones llevadas a cabo por el circuito integrado BCM500.

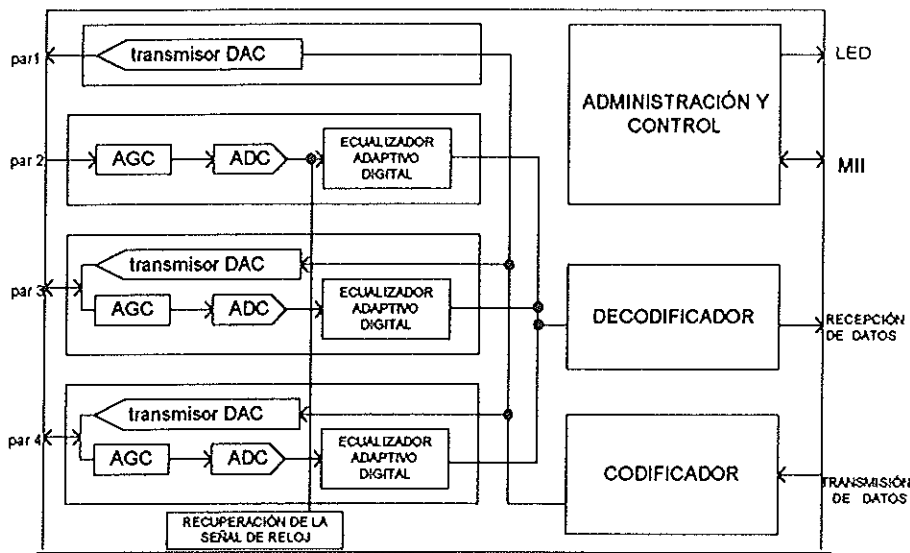


figura 33. Diagrama a bloques de las funciones realizadas por el circuito integrado BCM5000.

Como muestra esta figura, se usa un esquema totalmente digital. En la etapa receptora son usados tres convertidores analógico/digital (ADC), pasando de aquí a la etapa de equalización, en la cual se filtra y se regenera la información mediante un algoritmo de PDS (Procesamiento Digital de Señales), posteriormente la información ternaria es decodificada. En la etapa transmisora, son usados tres convertidores digital/análogo (DAC), los cuales le dan a la información la forma de onda adecuada para su transmisión.

El procesamiento digital implementado en esta tecnología no solo hace funciones de filtrado y regeneración, sino que dependiendo de la información implícita en las muestras tomadas, se autoconfigura el filtro digital con los valores adecuados. Este sistema de equalización adaptiva, muestrea las características del medio físico de transmisión varias veces por segundo, asegurándose así la obtención de los valores óptimos para una recuperación y filtrado adecuado.

La adopción de este procesamiento digital es favorable en varios aspectos; se ahorra el costo de los componentes externos, el trabajo de ensamblaje y espacio en la tarjeta, resultando de todo esto una tecnología de redes eficiente y barata.

5.3.5 LÍMITES DE LA TOPOLOGÍA Y ETAPAS MIGRATORIAS A 100BaseT.

5.3.5.1. LIMITACIONES EN DISTANCIA.

Fast Ethernet preserva los 100 metros típicos del concentrador a la estación, sin embargo, como resultado del escalamiento del protocolo MAC, existen diferentes limitaciones que en Ethernet.

Las limitaciones en distancias son las siguientes:

- * Tamaño máximo de un segmento: 100 metros.
- * Distancia máxima entre dos concentradores de 5 metros.
- * En una topología de un solo concentrador, puede usarse un segmento de 225 metros de fibra óptica.
- * En una conexión de MAC a MAC (conmutador-conmutador o conmutador-estación), puede usarse un enlace de fibra óptica de hasta 450 metros con el empleo de 100BaseFX half-duplex.
- * Se puede usar 100BaseFX full-duplex para enlazar dos dispositivos a una distancia de 2 Kilómetros.

Cada vez que se pase por un repetidor, conmutador, o concentrador, las distancias empiezan desde cero. La figura 34 muestra un esquema de conexión con las tolerancias máximas permitidas.

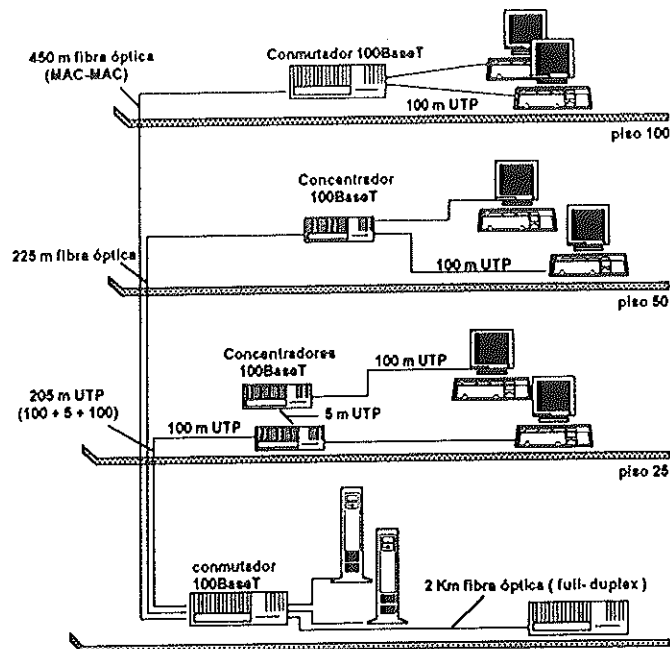


figura 34. Diagrama de conexión con distancias máximas permitidas por la norma 802.3u

Nótese que en este esquema se emplea tanto Fast Ethernet como Ethernet conmutado, cuya combinación es altamente recomendada.

5.3.5.2 MIGRACIÓN A FAST ETHERNET.

Con respecto a la migración de 10 Mbps a 100 Mbps, se recomienda seguir una serie de pasos, los cuales tienen el objetivo de unir a ambas tecnologías en una sola red, permitiendo así mantener las costosas inversiones del pasado.

* Primeramente hay que verificar qué cable se encuentra instalado, si se tiene dos pares de UTP5 disponible hay que planear la adquisición de 100BaseTX, pero si se tiene cuatro pares de UTP3 disponibles planeamos la adquisición de 100Base4.

* Se debe evaluar la red actual y los futuros requerimientos. Por ejemplo, ¿donde se encuentran los cuellos de botella?, ¿se congestiona la red demasiado en horas hábiles?, ¿se limita la red a determinadas aplicaciones?, ¿se trabaja con grandes bases de datos?. Estas preguntas normalmente nos llevan a la conclusión que el medio compartido (independientemente de la alta velocidad de transmisión) no es la solución para emigrar a 100BaseT, por lo tanto se recomienda la implementación de medio conmutado ('switched Ethernet').

Siendo ésta la estrategia, se procede a la adquisición de un conmutador con capacidad de ambas velocidades (10 y 100 Mbps), el cual servirá como dispositivo de enlace de diferentes segmentos.

Normalmente el mayor cuello de botella es el servidor, por lo cual en este paso migratorio se propone la adquisición de tarjetas inteligentes (como la 'PRO/100 Smart Adapter' de la Intel) para los servidores, las cuales presentan muy buenas características de caudal eficaz y utilización del CPU.

Aunque en este punto se tenga transmisión de 10 Mbps entre las estaciones, la velocidad de transmisión entre los servidores y el conmutador es de 100Mbps, eliminando así el principal cuello de botella.

* El siguiente paso es separar las computadoras más nuevas de los modelos más viejos, ya que el ducto de las computadoras puede actuar como cuello de botella. Se recomienda la combinación de Pentium (ductos PCI) con Fast Ethernet, sin embargo también existen tarjetas para ductos EISA.

Una vez separados los segmentos, se procede a adquirir tarjetas Fast Ethernet 10/100 Mbps, las cuales se van insertando en los segmentos equipados con las computadoras más veloces, dejando así al segmento más lento con las viejas tarjetas Ethernet a 10 Mbps.

Ya que los concentradores son Ethernet convencional, la velocidad de transmisión entre estaciones sigue siendo de 10 Mbps, por lo tanto se procede a adquirir concentradores Fast Ethernet (100 Mbps).

Al ir aumentando el número de nodos de la red, se van adquiriendo ya sea más concentradores (medio compartido) o más conmutadores (10/100 Mbps) en caso de querer tener medio conmutado en el segmento. Es posible también usar puentes para conectar nodos de 10 y 100 Mbps.

* Extender 100BaseT a una dorsal. Conectar servidores y grupos de 100BaseT a un dispositivo que sirva como dorsal (puente, enrutador o conmutador con capacidades de Fast Ethernet).

La figura 35 muestra un diagrama de conexión donde se tienen ambas tecnologías 10BaseT y 100BaseT.

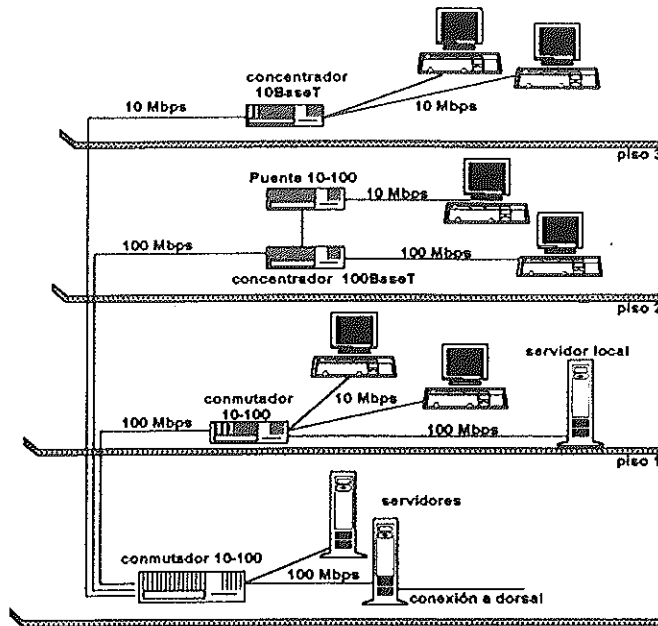


figura 35. Esquema migratorio hacia 100 Mbps.

Como se puede ver, es posible hacer un buen diseño si se planea adecuadamente. De esta forma migratoria se puede ir adquiriendo el equipo poco a poco, evitando un gasto económico instantáneo.

5.4 CONCLUSIONES.

Muchas aplicaciones de esta época y del futuro cercano necesitan de mayor ancho de banda del que ofrecen las LAN's tradicionales (10-16Mbps), por eso es que hoy en día existe una gran demanda de redes locales rápidas.

Existe mucha competencia entre las cuatro redes rápidas mencionadas (ATM, FDDI, 100VG, 100BT), las cuales tienden a revolucionar el mundo de comunicaciones mediante la aplicación de servicios de imágenes, voz, y video.

Se cree que para un futuro la tecnología universal será ATM, ya que ésta tiende a unir el esquema de área amplia (WAN) con el área local (LAN) de una forma natural. Sin embargo esta tecnología tiende a ser excesivamente cara.

FDDI tuvo mucho éxito durante los 80's y la primera mitad de 1990, sin embargo ésta no es una tecnología escalable, y se cree que ya llegó a su límite, es decir, ya existen LAN's mucho más económicas que soportan la misma velocidad de transmisión, por lo que no tiene sentido seguir gastando los miles de dólares que involucra esta tecnología.

Fast Ethernet y 100VG-AnyLAN, están teniendo una gran demanda, ya que presentan altas velocidades de transmisión y precios muy bajos.

Aunque parezca que 100VG-AnyLAN tenga ventaja sobre Fast Ethernet con respecto a su forma natural de dar prioridades a los paquetes y con mejores respuestas del caudal eficaz, Fast Ethernet supera fácilmente a su rival mediante la utilización de conmutadores, pudiendo así tener mejoras del doble del caudal eficaz mediante un canal dedicado en modo full-duplex.

La combinación de Ethernet conmutado con Fast Ethernet es ampliamente recomendada, ya que mediante la utilización de conmutadores es posible tener canales dedicados, y adoptar así aplicaciones de multimedios (voz, video, e imágenes), además de posibilitar así la opción de trabajar en modo full-duplex.

Fast Ethernet tiene una manera muy práctica de emigrar de un ambiente de 10 Mbps a uno de 100Mbps, algo que 100VG-AnyLAN no puede tener, ya que la inserción de ambos protocolos de acceso MAC (DPP y CSMA/CD) en una sola tarjeta sería muy caro.

Se puede concluir de este estudio que la forma más práctica, económica, y viable para emigrar a 100 Mbps es mediante Fast Ethernet, cuya tecnología se recomienda para instalaciones de mayor demanda de ancho de banda.

Cabe mencionar también, el papel tan importante que juega el medio físico de transmisión para la elección de la tecnología adecuada, ya que dependiendo de la categoría de UTP disponible, se recomienda 100BaseTX o 100BaseT4.

Con respecto al funcionamiento interno de 100BaseT, se puede deducir que parte del éxito ha surgido de los nuevos esquemas de codificación presentados, ya que se aprovecha más el ancho de banda que con una codificación Manchester (empleada por Ethernet convencional).

La MII ('medium independent interface') proporciona una gran ventaja a esta tecnología, ya que la hace ser escalable, teniendo la posibilidad de adquirir mejores características de transmisión en el futuro.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES.

* Un aspecto que debe estar muy bien conceptualizado, es la ubicación de las redes locales de datos (LAN's) dentro de las arquitecturas de redes, ya que las LAN's conforman solamente una parte de los protocolos necesarios para establecer un enlace y efectuar la comunicación entre estaciones, y para ello es necesario tener una arquitectura bien definida mediante la existencia y activación de diferentes protocolos correspondientes a los niveles medios y superiores de dicha arquitectura.

* El hecho de tener una arquitectura de red como estándar internacional, permite la compatibilidad de diferentes equipos de comunicación, interactuando así equipos fabricados por diversas compañías. Sin embargo, este proceso no es fácil, rápido, ni económico, por lo que el desarrollo y la estandarización de los protocolos correspondientes a la arquitectura OSI ha tomado años de esfuerzos. Por lo anterior, es común emplear de manera combinada protocolos de diferentes arquitecturas.

* De las LAN's tradicionalmente usadas (1970-1992), Ethernet y Token Ring han tenido mayor auge y desarrollo. Sin embargo, a diferencia de Token Ring, Ethernet es una tecnología escalable, con constantes y continuos avances tecnológicos que en la actualidad le permite introducir un nuevo concepto de red a muy altas velocidades y capacidades.

* La técnica de control de acceso al medio (MAC) utilizada por Ethernet, se basa en un tipo de Acceso Múltiple por división en tiempo (TDMA), el cual presenta ciertas características mejores que TDMA tradicional. En TDMA cada estación es asignada mediante ranuras de tiempo independientemente si se desea o no transmitir información, resultando ésto en un desperdicio innecesario de ancho de banda. La técnica CSMA/CD utilizada por Ethernet se basa en una especie de TDMA llamada ALOHA, en la cual primeramente se asegura la disponibilidad del canal antes de transmitir, se transmite, y se revisa la posibilidad de colisión, entrando un algoritmo de retransmisión en caso de haberse llevado a cabo dicha colisión. El protocolo CSMA/CD es tan eficiente y ha trabajado tan bien a través de los años, que se mantiene éste para la nueva versión de Ethernet a 100 Mbps (Fast Ethernet).

* La adopción del UTP por parte del comité 802.3 de la IEEE como medio de transmisión resultó en un éxito, ya que debido a la topología externa utilizada se tienen varias ventajas: es fácil detectar nodos en mal estado, es fácil conectar y desconectar estaciones a la red y es posible su interconexión con segmentos de cable coaxial mediante el uso de transceptores. Debido a lo anterior, Fast Ethernet preserva el UTP como medio de transmisión.

* Las características del medio de transmisión dependen del material físico con el cual es construida la línea de transmisión y de las dimensiones geométricas de éste.

* Los parámetros que determinan el comportamiento espectral del medio de transmisión son denominados parámetros primarios. Las mediciones obtenidas de los cables en la etapa de caracterización dependen de estos parámetros

* La caracterización del medio físico fue particularmente importante para el desarrollo de esta tesis, ya que dependiendo de las características presentadas por determinado segmento de cable, se pudo comprobar la posibilidad de emplear diferentes tecnologías de LAN's.

* Una conclusión interesante nace de la comparación de los límites de atenuación y diafonía especificados por el estandar TIA/ANSI 568-A y los límites de estos parámetros establecidos por la norma 802.3u que define a Fast Ethernet. Para hacer esta comparación es necesario primeramente analizar el comportamiento interno de esta tecnología.

En el capítulo V se mostró como 100BaseT4 usa un reloj de 25 MHz para transmitir sobre tres pares de UTP-3. Las mediciones llevadas a cabo en la caracterización del UTP-3 exceden los límites de diafonía (a estas frecuencias) establecidos por 100BaseT4, aún así, cumpliendo este cable con las especificaciones de diafonía del estandar TIA/ANSI 568-A.

De esto se puede concluir que existen diferentes tecnologías que especifican la utilización de determinada categoría de par trenzado, y aún así sus límites de atenuación y/o diafonía permisibles son más estrictos que los presentados por dichos cables.

* De esto último se puede recomendar hacer pruebas al cableado antes de adquirir cualquier tecnología de LAN's, ya que aunque cumpla éste con las especificaciones del estándar, puede ser que no cumpla con las características especificadas por determinada tecnología.

* Con respecto a las tecnologías de redes rápidas analizadas, ATM presenta las mejores características en cuanto a desempeño, manejo de aplicaciones de multimedios, y compatibilidad con redes de amplio alcance (WAN's). Sin embargo ATM tiende a ser una tecnología excesivamente costosa.

La principal utilización de ATM en el presente es como dorsal de LAN's, para lo cual es ampliamente recomendada por lo antes mencionado.

* 100BaseT tiene varias ventajas con respecto a las demás tecnologías, primeramente tiene un gran soporte tecnológico y comercial (soportado por más de 30 empresas grandes). Esta característica es muy favorable, ya que al estar estandarizada en el mercado, se elimina la posibilidad de que desaparezca de éste. Se tiene la opción de trabajar con UTP-3, UTP-4, o UTP-5, dando flexibilidad con respecto al UTP disponible.

* Fast Ethernet es compatible con Ethernet tradicional y con Ethernet conmutado ('Switching Ethernet'), permitiendo así la coexistencia de estas tecnologías en un mismo ambiente.

* Se recomienda ampliamente el uso de conmutadores, ya que además de tener posibilidades de trabajar en modo full-duplex mediante éstos (duplicando así el caudal eficaz), se posibilita la adopción de aplicaciones de multimedios mediante un canal dedicado a 100 Mbps.

* 100BaseT es una tecnología totalmente comprobada con posibilidades de presencia en el mercado por varios años más, a diferencia de FDDI que tiende a desaparecer como tecnología de redes locales de datos. Probablemente el atractivo más grande de esta tecnología es su costo (el cual se espera que baje a corto plazo).

* Se concluye este estudio con la recomendación de 100BaseT para ambientes donde sea justificable esta alta velocidad de transmisión (aplicaciones gráficas, grandes bases de datos, aplicaciones multimedios). Así mismo, se recomienda la utilización de UTP-5 independientemente de la tecnología en cuestión, ya que este último cuenta con mejores características de desempeño que el UTP-3 y UTP-4, siendo además mínima la diferencia en costos.

6.2 RECOMENDACIONES.

* De acuerdo a la experiencia adquirida en la realización de este trabajo de investigación es altamente recomendable que el estudiante realice una tesis de licenciatura, ya que al abordar un problema específico de ingeniería le permite a éste poner en práctica los conocimientos adquiridos durante los estudios, y sobre todo ir más allá en nuevas experiencias.

* El tema sobre redes locales de datos no se ha agotado en cuanto a nuevos desarrollos y aplicaciones, por lo que existen aún muchos problemas abiertos que resolver como trabajos de tesis.

* Ejemplo de lo anterior ha sido el hecho de analizar la problemática asociada al medio de transmisión para redes locales rápidas, lo cual en muy pocas ocasiones se aborda con profundidad, por lo que de todo el universo de aspectos asociados a dichas redes éste fue analizado, obteniendo así resultados interesantes.

* En este trabajo se abordó de manera muy sesgada los aspectos de codificación de línea empleadas por Fast Ethernet. Esto pudiera ser un tema interesante para una futura investigación, ya que como se mencionó en su oportunidad, la combinación medio físico/esquema de codificación determina en gran medida las características de transmisión de una tecnología de comunicaciones locales.

LITERATURA CITADA.

- Ampolia Mario H. 'ATM Public Bureau'. Tecnología. 1994. No 8, pag 38-44.
- Belleza Eduardo. Diseño de Planta externa. Ed. Carlos Hermida Barral. 1988.
- Blake, Lamont. Transmission Lines and waveguides. Ed. John Willey & Sons, Inc. 1969.
- Bursky Dave. 'Chip set delivers 100 Mbps to the desktop' Electronic Dessign..
Enero1994. vol 42, No. 1, pag 25-31.
- Covarrubias, David. Apuntes de Maestria del CICESE. 1995.
- Covarrubias, David. Redes locales de datos Ethernet. Pub. CICESE. 1991.
- Davidson, Robert. Internetworking LAN's. Ed. Art tech house Inc.1992.
- Garris, John. 'The greed for speed'. PC Magazine. Abril 1995. vol 14, No 8.
- Gilbert, Held. Ethernet Networks. Ed. John Willey & Sons, Inc. 1994.
- Goldberg, Lee. '100BaseT4: A turbo charge for todays networks'. Electronic Dessigns.
- Gould, Jeff. 'ATM's long strange trip'. Datta Communications. Junio 1994. Vol 23, No
10, pag 120-130.
Marzo 1995. vol 43, No 6, pag 59-74.
- Goldberg Lee. '100BaseT4 chip brings speed to todayu's LAN's'. Electronic Dessign.
Febrero 1995. vol 43, No 3, pag 180-183.
- GreenJr. P.E. IEEE Transactions on Communications. Ed. IEEE. 1980.
- Guerrero, Alejandro. Tesis de licenciatura. CICESE. 1993.
- IEEE/ANSI 802.3 International Standard. Ed. IEEE.
- Jayasumana, Albert. FDDI & FDDI-II. Ed. Artech House, Inc. 1994.
- Ken Restivo. 'The boring facts about FDDI'. Datta Communications. Diciembre 1994. vol

23, No 23, pag 85-90.

Kim David. 'Cable ready'. LAN Magazine. Enero 1994. vol 9, No 1, par 83-93.

Kustra Rubén. Principios de comunicaciones digitales. Ed. Carlos Hermida Barral. 1988.

Lee Keough. 'Premises wiring'. Datta Communications. Noviembre 1992. vol 21, No. 21, pag 103-115.

Martin A.W. Nemzow. Keeping the Link. Ed. McGraw Hill. 1988.

Melatti Lee. 'Fast Ethernet, 100 Mbps made easy'. Datta Communications. Nov. 1994. vol 23, No. 22, pag 111-116.

Mendieta Javier. Apuntes de maestría del CICESE. 1995.

Minoli, Dan. ATM: 'The Future of Local and Wide Area Networks'. Network Computing. Oct 15, 1992.

Newman David. FDDI Adapters: A Sure Cure for the Bandwith Blues. Datta Communications. Julio 1994. vol 23, No. 12.

Saunders Stephen. 'Choosing High-Speed LAN's'. Datta Communications. Sept. 1993. vol 22, No. 17, pag 58-70.

Schnaidt Patricia. 'twice as nice'. LAN Magazine. Mayo 1993. vol 8, No. 6, pag 75-80.

Tanenbaum, Andrew. Computer Networks. Ed. Pretince Hall. 1981.

Wittmann Art. Network computing. Ed. Pretince Hall. 1993.

APÉNDICE A

En este apéndice se comprueba la obtención de la ecuación (4) mediante un enfoque de teoría de circuitos y con ayuda de técnicas de cálculo diferencial.

Supóngase que se está trabajando con una línea de transmisión ideal, es decir, tanto la resistencia serie como la capacitancia paralela son nulas ($R=G=0$). La figura A1 muestra la representación circuital de una línea de transmisión ideal.

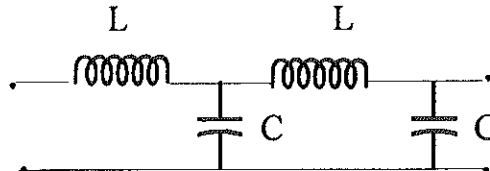


figura A1. Circuito equivalente al de una línea ideal.

Para analizar las características de dicha línea ideal se toma una pequeña porción de ésta (Δx), la cual corresponde a un capacitor en paralelo y una bobina en serie, representando así la capacitancia e inductancia correspondiente a dicha porción de línea.

El voltaje y la corriente de entrada son representados mediante V e I respectivamente, mientras que la inductancia serie es representada por L y la capacitancia entre los hilos conductores (paralela) es representada por C . El voltaje de salida es $V + \Delta V$, mientras que la corriente de salida es $I + \Delta I$. De teoría de circuitos elemental:

$$V = -L \frac{dI}{dt}; \quad \Delta V = -L \Delta x \frac{dI}{dt}; \quad \text{de donde} \quad \frac{\delta V}{\delta x} = -L \frac{\delta I}{\delta t}. \quad (\text{A-1})$$

$$I = -C \frac{dV}{dt}; \quad \Delta I = -C \Delta x \frac{dV}{dt}; \quad \text{de donde} \quad \frac{\delta I}{\delta x} = -C \frac{\delta V}{\delta t}. \quad (\text{A-2})$$

Nótese que se usan derivadas parciales, ya que x y t son variables independientes. Derivando ambos lados de las ecuaciones con respecto a x se tiene:

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} = -L \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\delta I}{\delta t} \right) = -L \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta I}{\delta x} \right) \quad (\text{A-3})$$

$$\frac{\delta^2 I}{\delta x^2} = -C \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{\delta V}{\delta t} \right) = -C \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta V}{\delta x} \right) \quad (\text{A-4})$$

Sustituyendo (A-1) y (A-2) en (A-3) y (A-4) respectivamente se tiene:

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} = LC \frac{\delta^2 V}{\delta t^2} \quad (\text{A-5})$$

$$\frac{\delta^2 I}{\delta x^2} = LC \frac{\delta^2 I}{\delta t^2} \quad (\text{A-6})$$

Considerando una señal de entrada senoidal, se tiene que su expresión con respecto al tiempo y distancia es dada por la ecuación (A-7):

$$V(x,t) = V_0 \text{sen}[\omega (t-x/v)] = V_0 \text{sen} [\omega (t - x \sqrt{LC})] \quad (\text{A-7})$$

$$I(x,t) = I_0 \text{sen}[\omega (t-x/v)] = I_0 \text{sen} [\omega (t - x \sqrt{LC})] \quad (\text{A-8})$$

Donde V_0 e I_0 son amplitudes y se supone un desfase nulo ($\alpha=0$). La comprobación de las ecuaciones (A-7) y (A-8) se puede hacer derivándolas dos veces con respecto al tiempo 't' y dos veces con respecto a la distancia 'x', y sustituyendo estos valores en las ecuaciones (A-5) y (A-6) respectivamente.

De la ecuación A-7 se puede observar que existe un máximo cuando la función seno es igual a la unidad, por lo tanto esto ocurre cuando

$$x = \frac{(t - 1/4f)}{\sqrt{LC}} \quad (\text{A-9})$$

De esta ecuación podemos determinar la velocidad de la onda incidente. Derivando con respecto al tiempo se tiene:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{A-10})$$

Donde x es función solamente de t, por lo tanto se aplica una derivada total en vez de una derivada parcial.

La impedancia de entrada de la línea es $Z_0=V_0/I_0$. El valor Z_0 corresponde a la impedancia característica del medio, y se deduce al diferenciar la ecuación (A-7) y (A-8) con respecto a la distancia (x) y el tiempo (t) respectivamente.

$$dV/dx = V_0 (-\omega \sqrt{LC}) \cos[\omega (t - x \sqrt{LC})] \quad (A-11)$$

$$dI/dt = I_0 \omega \cos[\omega (t - x \sqrt{LC})] \quad (A-12)$$

Al sustituir estos resultados en la ecuación (A-1), y cancelando los términos iguales en ambos lados de la expresión nos da;

$$V_0 (\sqrt{LC}) = L I_0 ;$$

$$V_0/I_0 = Z_0 ;$$

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

Se ha comprobado en este apéndice, que la onda tiene una velocidad de $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, y que la

razón de voltaje a corriente (impedancia característica) está dada por $Z_0 = \sqrt{L/C}$ para el caso de

una línea de transmisión sin pérdidas.

APÉNDICE B

En el capítulo IV se define a la constante de propagación mediante la ecuación (10). En este apéndice se realiza el desarrollo matemático necesario para comprobar dicha ecuación.

Se define a la impedancia y conductancia mediante las ecuaciones (B-1) y (B-2) respectivamente.

$$Z = R + j\omega L \quad (\text{B-1})$$

$$Y = G + j\omega C \quad (\text{B-2})$$

Si tomamos una muestra de la línea de transmisión (Δx) se tiene que:

$$\frac{dV(x)}{dx} = -(R + j\omega L) I(x) \quad (\text{B-3})$$

$$\frac{dI(x)}{dx} = -(G + j\omega C) V(x) \quad (\text{B-4})$$

donde V e I son el voltaje y la corriente de entrada respectivamente.

Derivando a la ecuación (B-1) con respecto a la distancia (x), se tiene que:

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = -(R + j\omega L) \frac{dI(x)}{dx} \quad (\text{B-5})$$

Sustituyendo la ecuación (B-4) en (B-5) resulta la ecuación (B-6):

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = (R + j\omega L) (G + j\omega C) V(x) \quad (\text{B-6})$$

Para resolver la ecuación diferencial se hace uso de la solución diferencial:

$$V(x) = V_1 e^{\gamma x} + V_2 e^{-\gamma x} \quad (\text{B-7})$$

Se hace $V(x) = e^{\gamma x}$ y se sustituye en (B-6):

$$\gamma^2 e^{\gamma x} = (R + j\omega L) (G + j\omega C) e^{\gamma x} \quad (\text{B-8})$$

Eliminando factores comunes en ambos lados de la ecuación :

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) (G + j\omega C)}$$

Comprobando así el origen de esta igualdad.

La solución de la ecuación diferencial sería entonces:

$$V(x) = V_1 e^{\text{sqrt}(ZY)} + V_2 e^{-\text{sqrt}(ZY)}$$

Donde V_1 y V_2 son constantes independientes, determinables solamente por condiciones de frontera. En este caso estas constantes representan a la onda incidente y a la onda reflejada.

APENDICE C

En esta sección se analizan los pasos llevados a cabo para instalar una red Ethernet. Esto se hace en base a la arquitectura Novell.

Este ejercicio es importante para este trabajo, ya que permite relacionar los protocolos activados en la instalación de la red con las capas especificadas por el modelo de referencia OSI, reforzando así los conocimientos teóricos.

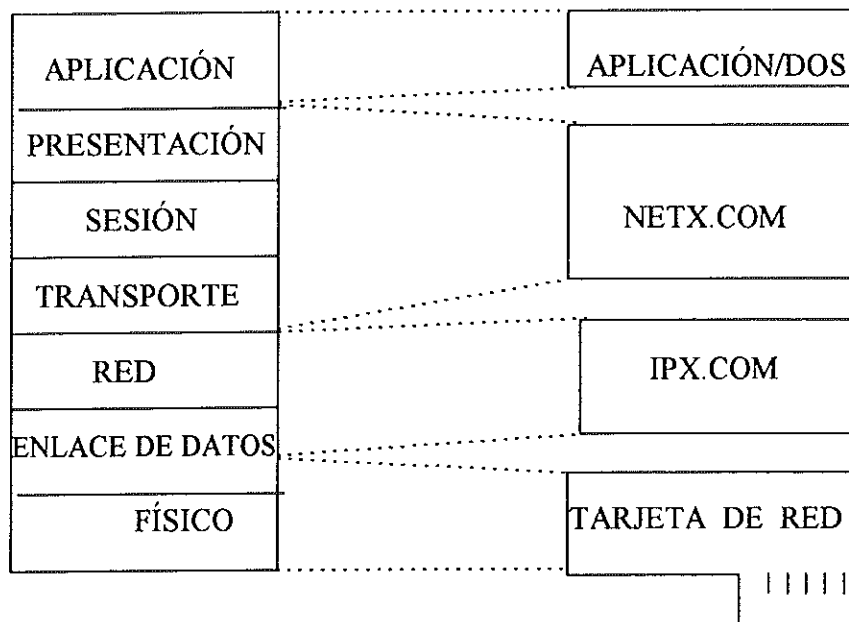


figura C1. Relación de los protocolos usados por la arquitectura Novell con el modelo de referencia OSI.

Como muestra la figura C1, los principales protocolos de esta arquitectura son el IPX y el NETX, los cuales activan prácticamente todas las capas superiores correspondientes al modelo OSI.

Es notable en esta figura, como Ethernet representa solamente los niveles inferiores de la arquitectura Novell, mientras que los protocolos medios y superiores son activados por el sistema operativo 'Netware' (de Novell).

La instalación de la red consiste precisamente en activar el conjunto de protocolos establecidos por la arquitectura Novell.

Antes de empezar con la instalación de una red, hay que asegurarse que los segmentos de cable utilizados tengan continuidad y la resistencia requerida, que las computadoras estén funcionando adecuadamente, y que las tarjetas de red estén en buen estado.

PASOS NECESARIOS PARA INSTALAR UNA RED TIPO ETHERNET 10Base2.

El primer paso es establecer el medio físico, lo cual involucra la inserción de las tarjetas a las computadoras y el cableado. Una vez hecho ésto se procede a configurar las tarjetas, lo cual dependiendo del modelo se hace por medio de programática ('software') o a través de interruptores ('jumpers'). Lo importante aquí es que las computadoras sepan cual es la dirección base I/O y la interrupción de dicho periférico. En este caso se escoge la dirección de tarjetas de prototipos [300-31F] y la interrupción 3.

Para activar la red es necesario dedicar una computadora como servidor y convertir las demás computadoras a estaciones de trabajo mediante la activación de los protocolos necesarios. Los pasos a seguir son los siguientes:

- A) Activación del servidor.
- B) Activación de las estaciones.
- C) Administración de la red e instalación de paquetería de aplicación.

ACTIVACIÓN DEL SERVIDOR.

Un servidor es una estación dedicada a administrar y dar servicios a las demás estaciones de una red, en éste es cargada toda la información de los sistemas operativos (MS-DOS y NetWare), se activan los usuarios, y se instala la paquetería. Por lo tanto se elige como servidor una máquina de alto nivel de procesamiento y capacidad adecuada en la unidad de almacenaje permanente (disco duro). Se realizan los siguientes pasos para activar al servidor:

1)Partición del disco duro: El primer paso para instalar el servidor consiste en reservar cierta capacidad del disco duro para el sistema operativo MS-DOS mediante una partición, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

a) Crear un disco de arranque, añadiendo además los siguientes archivos: fdisk.com, format.com, sys.com.

b)Prender la máquina con el disco de arranque en el lector A>, para así inicializar la máquina con este disco.

c) Correr el comando fdisk.com de la siguiente manera:

```
A:\> fdisk <enter>
```

d) Una vez corrido este comando se presenta una serie de opciones; se procede a borrar las particiones existentes y a crear una nueva partición para el MS-DOS de aproximadamente 5 a 10 MB. Finalmente se activa esta partición.

2)Formateo del disco duro: Se formatea la partición recién creada mediante el comando format.com de la siguiente manera:

```
A:\> format c:/s <enter>
```

Además de formatear, se transfiere así el sistema operativo MS-DOS.

3)Se crea un subdirectorio NETWORK en el disco duro, donde se copian los discos SYSTEM1, SYSTEM2 y SYSTEM3. Una vez copiados los archivos, se procede a ejecutar el comando server.exe de la siguiente manera:

```
C:\NETWORK> server <enter>
```

Se elige un nombre y número interno cualquiera para el servidor.

4)Desde la consola, se carga el manejador del disco duro y el de la tarjeta controladora de la siguiente forma:

```
: load c:\network\isadisk.dsk      (I/O port: 1F0, interrupt #: E)
: load c:\network\ne2000.lan      (I/O port: 300H, interrupt #: 3)
```

En este caso el disco es de ducto EISA, por lo tanto es compatible con el manejador ISADSK.DSK, así mismo, la tarjeta es compatible con el manejador NE2000.LAN. Nótese que la dirección I/O y la interrupción son las mismas que las establecidas en la configuración de la tarjeta.

5)Se corre el programa de instalación desde la consola de la siguiente manera:

```
: load install      <enter>
```

Dentro de esta paquetería se da la partición del resto del disco duro, escogiendo así las siguientes opciones: DISK OPTIONS- PARTITION TABLES- CREATE NEW PARTITION.

Se crean tres volúmenes (opcional), uno para el sistema operativo, otro para las aplicaciones y otro para las cuentas de los usuarios: VOLUME OPTIONS.

Se copian los archivos del sistema operativo al volumen SYS: SYSTEM OPTIONS- COPY SYSTEM AND PUBLIC FILES.

6)Antes de salir de este programa, se verifica la creación del autoejecutable (AUTOEXEC.NCF), y se asegura que tenga los siguientes comandos:

```
bind IPX to NE2000 NET=1995ABC
Mount all
load install
load monitor
```

También se verifica la creación del archivo STARTUP.EXE.

ACTIVACIÓN DE LAS ESTACIONES:

1) Se corre la utilería WGEN de la siguiente manera:

```
A:\> WGEN <enter>
```

Este programa genera o modifica al protocolo de red IPX, el cual se configura con las opciones elegidas (I/O base = 300H, IRQ = 3, NO DMA). Es importante que esta configuración sea la misma que la que se usó en la instalación de la tarjeta, para que así el software y el hardware sean compatibles.

2) Se corre el comando IPX.COM:

```
A:\> IPX <enter>
```

Este protocolo activa los niveles inferiores y medios de la arquitectura Novell, los cuales corresponden a la capa física, de enlace de datos y de red del modelo de referencia OSI.

3) Se corre el comando NETX.COM:

```
A\>NEXT5 <enter>
```

Este protocolo activa las capas superiores de esta arquitectura, correspondientes a los niveles de transporte y sesión del modelo de referencia OSI.

ADMINISTRACIÓN DE LA RED.

En este punto se procede a dar de alta a los clientes, darles derechos, e instalar las aplicaciones requeridas.

1) Para poder dar de alta y darles derechos a los clientes, es necesario entrar a la red como supervisor.

```
F:\> supervisor <enter>
```

una vez que el supervisor entra a la red, éste tiene control sobre los clientes activos, derechos de estos, aplicaciones existentes, etc.. La activación de clientes y sus derechos se dan mediante un programa llamado syscon, el cual permite interactuar de una forma bastante amigable.

```
F:\SYSTEM> syscon <enter>
```

El supervisor es el único que puede copiar y modificar archivos, por lo tanto éste es el encargado de instalar aplicaciones y quitarlas del servidor. Para instalar programas de aplicaciones solo se crea un subdirectorio y se copia la paquetería deseada ya sea por medio de un instalador (install.exe o setup.exe) o por medio de un simple comando 'copy' del sistema operativo.

En caso de haber creado un volumen especial para paquetería, se espera que las aplicaciones estén dentro de éste. Para entrar a cualquier volumen es necesario ejecutar el siguiente comando:

```
F:\CLIENTE> map ins s16:= nombre del volumen :\ <enter>
```

Esta instrucción puede estar dentro de un autoejecutable o dentro del 'login script', de donde se ejecutaría automáticamente.

En caso de no haber creado un volumen especial para los paquetes, se instalan los paquetes en el mismo volumen SYS dentro de un subdirectorio de APLICACIONES.

Los pasos realizados hasta este momento son los mínimos requeridos para la instalación de una red Novell. Ya que la etapa de administración es muy amplia y mucho más compleja, y tomando en cuenta que esto es solo un ejercicio complementario de esta tesis, se dejan los detalles para ser profundizados por otros estudios más específicos del área.

APÉNDICE D

En el capítulo V se hace mención de 'Ethernet conmutado', cuya tecnología se recomienda ampliamente a través del escrito. Como fue mencionado, esta tecnología se basa en la utilización de dispositivos externos llamados conmutadores ('switches'), conservando así las tarjetas de red convencionales (10BaseT o 100BaseT). En este apéndice se da una explicación ilustrativa de las funciones realizadas por estos dispositivos y de su impacto que tienen sobre las redes Ethernet.

En Ethernet, los segmentos conectados a un concentrador comparten el ancho de banda total, mientras que si se emplean conmutadores, cada segmento tiene el total del ancho de banda. La figura D1 muestra el esquema de una red Ethernet a 10 Mbps conectada a un conmutador.

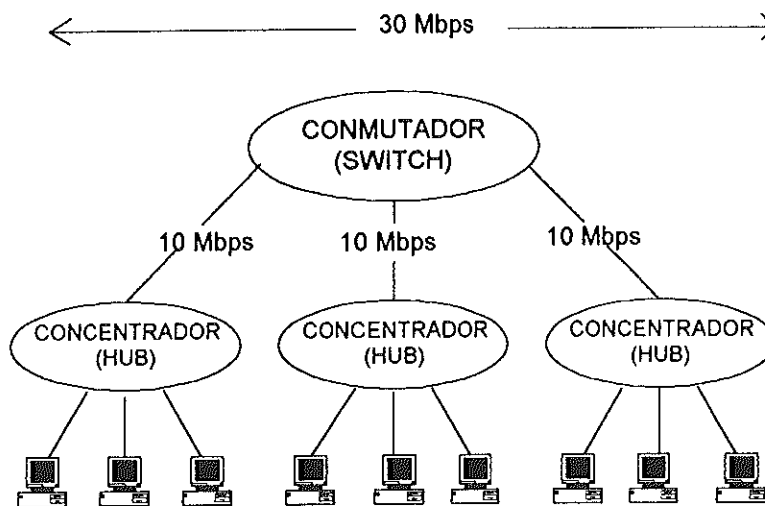


figura D1. Esquema de conexión de Ethernet conmutado.

Como muestra la figura 1, se aprovecha mejor el ancho de banda mediante el uso de conmutadores, ya que en este ejemplo se tiene un ancho de banda total de 30 Mbps.

Un 'conmutador Ethernet' mantiene una tabla interna, asociando así sus puertos físicos con las direcciones de los diferentes nodos conectados a éste. Las direcciones pueden ser introducidas manualmente a la tabla mediante un administrador de red o pueden ser introducidos automáticamente por el conmutador al detectar los paquetes en cada puerto. La tabla D1 muestra un ejemplo de una tabla interna de un conmutador.

TABLA D1. POSIBLE CONFIGURACIÓN DE LA TABLA INTERNA DE UN CONMUTADOR

DIRECCIÓN ETHERNET	NÚMERO DE PUERTO
A	1
B	2
C	3
D	4

Mediante la utilización de esta tabla y el campo de dirección de un paquete Ethernet (u 802.3), el conmutador habilita una conexión virtual del puesto destino al puerto fuente, transmitiendo así el paquete correspondiente. En la figura D2 se muestra como un nodo con dirección A manda un paquete a con dirección destino D.

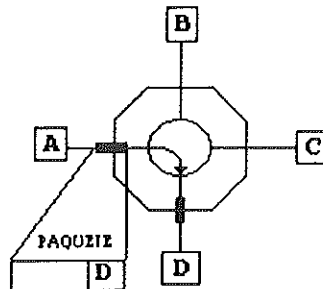


figura D2. Transferencia de un paquete entre dos estaciones.

Los pasos llevados a cabo en esta comunicación son los siguientes: 1) el nodo A manda un paquete con dirección destino D. 2) El conmutador decifra el campo de dirección destino mientras el paquete aparece en su puerto de entrada. 3) El conmutador revisa la dirección destino D en su tabla interna y manda el paquete al puerto cuatro.

La conexión virtual entre puertos destino y fuente se hace durante el tiempo necesario para transferir un solo paquete. Cada paquete es transferido individualmente entre puertos fuente y destino dependiendo de la dirección destino del paquete.

Ya que el paquete es transferido solamente al puerto asociado con la dirección destino, ningún otro usuario (B y C en este ejemplo) recibirá el paquete, siendo así este escenario más seguro con respecto a la privacidad de la información que Ethernet convencional (concentradores).

En 'Ethernet conmutado', se puede llevar a cabo transferencia de datos entre pares de puertos en paralelo a máxima velocidad. Este esquema es mostrado en la figura D3.

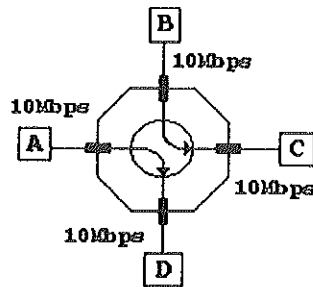


figura D3. Conversación simultanea a ente dos pares de puertos.

Ya que cada transferencia de datos se lleva a cabo a 10 Mbps, el máximo caudal eficaz en este esquema es de 20 Mbps. Si existen más pares transfiriendo datos, el caudal eficaz total incrementa correspondientemente.

Un conmutador puede incrementar el caudal eficaz total si el tráfico es dado simultáneamente entre múltiples nodos fuentes y múltiples nodos destinos como muestra la figura D3. Sin embargo, si el tráfico es transmitido de múltiples nodos fuentes hacia un solo nodo destino (por ejemplo a un servidor), entonces el caudal eficaz es limitado a la capacidad del nodo destino (del servidor). En este caso un conmutador no presenta mejor desempeño con respecto a un concentrador. La figura D4 muestra un ejemplo de esta situación.

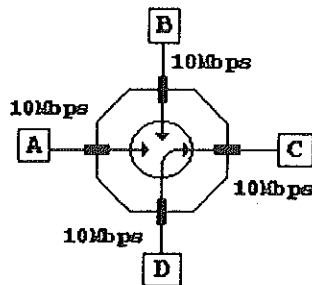


figura D4. Transferencia de datos de múltiples nodos fuentes hacia un solo nodo destino.

En esta figura, los nodos fuentes A, B y D mandan datos al nodo destino C. El conmutador guarda temporalmente en memoria los paquetes A y B hasta que sea transferido el paquete de D a C. Una vez que esta primer transmisión se halla efectuado se procede a transmitir los paquetes de A y B hacia el nodo destino C. El caudal eficaz aquí es determinado en gran medida por la máxima velocidad permitida del conmutador y del nodo destino.

Una característica importante de los conmutadores es el desempeño, lo cual es medido a través de tres parámetros claves: ancho de banda puerto a puerto, ancho de banda total, y latencia.

En Ethernet convencional (10 Mbps) la transmisión se da a una velocidad de 14,880 paquetes por segundos (PPS) del tamaño mínimo (64 octetos). Esto es lo que se conoce como velocidad de línea, ya que esta es la velocidad a la que se propagan los paquetes en una línea de Ethernet (en este caso). Si un conmutador sostiene 14,880 PPS de 'ancho de banda puerto a puerto', se dice que éste tiene un desempeño de velocidad de línea, lo cual es una característica muy favorable, ya que se brinda un caudal eficaz máximo entre usuarios.

El ancho de banda total se refiere a la máxima velocidad en que los paquetes son transmitidos y recibidos por todos los puertos. Por ejemplo, un conmutador de 10 Mbps de 24 puertos puede tener un máximo de 12 conexiones virtuales a velocidad de línea, por lo que se dice que tiene un ancho de banda total de $12 \times 10 = 120$ Mbps.

La latencia se refiere al tiempo de retardo a través del conmutador, desde la recepción de datos del puerto fuente hasta la transmisión por el puerto destino.

Existen dos tipos de conmutadores, los conmutadores de estaciones ('desktop switches') y los conmutadores de segmentos ('segment switches'), cuyas características y diferencias son discutidas posteriormente.

CONMUTADORES DE ESTACIONES.

Un conmutador de estación ('desktop switch') garantiza conexiones privadas a velocidad de línea entre estaciones o nodos, soportando así a una sola estación por puerto.

Estos dispositivos pueden ofrecer diferentes velocidades de transmisión, 10 o 100 Mbps en diferentes puertos. Esta característica reduce el retardo (latencia) cuando múltiples estaciones desean conectarse a un solo destino. Por ejemplo, pueden haber múltiples estaciones trabajando a 10 Mbps y comunicándose simultáneamente con un servidor a 100 Mbps, reduciendo así el máximo cuello de botella.

La figura D5 muestra una topología de tres segmentos, cada uno conectado a un 'conmutador de estaciones' con velocidades múltiples, transmitiendo así a 10 Mbps en tráfico local y a 100 Mbps hacia la dorsal.

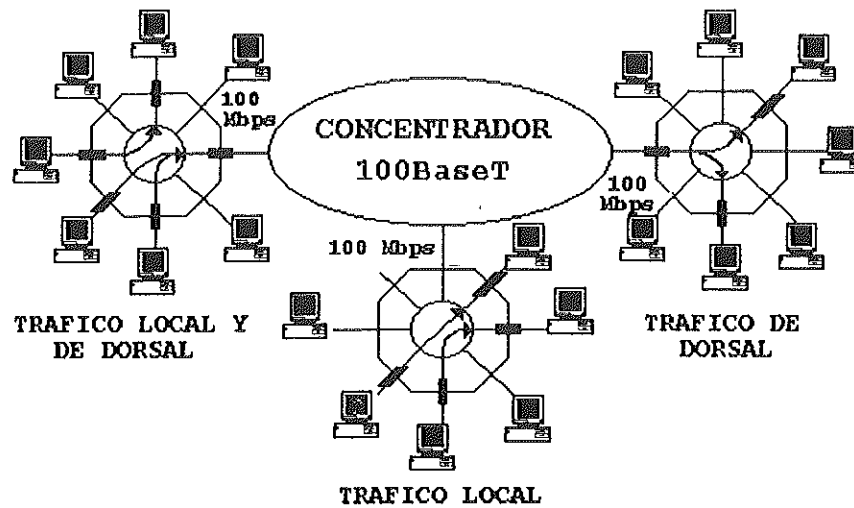


figura D5. Trafico local y hacia la dorsal mediante conmutadores de estaciones.

Las mayores ventajas que presentan estos dispositivos es que ofrecen un nivel muy alto de desempeño, ya que garantizan un canal dedicado entre dos estaciones a velocidad de línea y muy baja latencia. También eliminan virtualmente el esquema de colisiones, evitando así la transmisión de éstas hacia otros puertos.

CONMUTADORES DE SEGMENTOS.

Un conmutador de segmentos Ethernet garantiza velocidades de línea entre pares de segmentos. Si las velocidades de transmisión de las estaciones fuente y destino son iguales, entonces la estación destino debe estar libre de tráfico para evitar retardos (ver figura D6).