

529



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ARAGON"**

**ANALISIS DEL RENDIMIENTO DE LA  
INTERCONEXION DE REDES DE AREA LOCAL Y  
PLANEACION DE UN PROGRAMA COMPUTACIONAL  
PARA MOSTRAR EL RENDIMIENTO**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO EN COMPUTACION  
P R E S E N T A :  
ARTURO RODRIGUEZ ROSAS

**FALLA DE ORIGEN**





## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

<b>Contenido.</b>	<b>i</b>
<b>Introducción.</b>	<b>x</b>
<b>Capítulo I. Redes de área local.</b>	<b>1</b>
1.1. Definición, beneficios y problemática.	2
1.2. Elementos de diseño iniciales de redes de área local.	4
1.2.1. Topologías.	4
1.2.2. Medios de transmisión.	6
1.2.3. Relación entre la topología y el medio.	7
1.3. Topología bus/árbol.	8
1.3.1. Sistema banda base.	8
1.3.2. Sistema banda ancha.	9
1.3.2.1. Sistema banda ancha FDM.	9
1.3.2.2. Sistema banda ancha canal simple.	13
1.3.3. Comparación entre el sistema de banda base y el de banda ancha.	13
1.4. Topología anillo.	14
1.4.1. Descripción detallada.	15

1.4.2. Beneficios.	16
1.4.3. Problemas potenciales.	17
1.4.4. Arquitectura anillo-estrella.	17
1.5. Modelo de referencia OSI.	18
1.5.1. Definición de los nuevos términos incorporados: usuario, entidad y primitiva.	20
1.5.2. Descripción de los siete niveles.	20
1.6. Estándares.	22
1.6.1. Control de enlace lógico.	23
1.6.2. Protocolos de acceso al medio.	24
1.6.2.1. CSMA/CD.	26
1.6.2.2. Token bus.	26
1.6.2.3. Token ring.	27
1.7. Principales elementos de diseño de las redes de área local típicas.	27
1.8. Tendencias.	28
Capítulo II. Interconexión de redes de área local.	30
2.1. Definición.	31
2.2. Compuertas.	31
2.3. Puentes.	33
2.3.1. Componentes y funcionamiento.	33
2.3.2. Utilización de puentes en paralelo.	35
2.3.3. Una aplicación en un campus.	36
2.4. Empleando la tecnología vía satélite.	36
2.4.1. Comunicaciones vía satélite.	36
2.4.1.1. Segmento terrestre.	39
2.4.1.2. Segmento espacial.	42

2.4.2. Enlace de las redes de área local al segmento terrestre.	44
2.4.3. Estructura de una aplicación.	44
Capítulo III. Análisis del rendimiento de la interconexión de redes de área local.	47
3.1. Definición de rendimiento.	48
3.2. Rendimiento de redes de área local Ethernet.	48
3.2.1. Medidas de rendimiento de LAN's.	49
3.2.2. Eficiencia ideal del medio de transmisión de LAN's.	50
3.2.3. Relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.	51
3.2.4. Utilización de redes de área local en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión.	52
3.2.5. Número de terminales máximo de la eficiencia total de LAN's basado en su carga ofrecida.	60
3.2.6. Utilización del protocolo de acceso al medio CSMA/CD.	65
3.3. Rendimiento de la interconexión de dos redes de área local Ethernet empleando puentes.	74
3.3.1. Modelo de la interconexión de dos Ethernet.	78
3.3.2. Estabilidad de la interconexión de dos Ethernet.	79
3.3.2.1. Estabilidad de la cola $DQ_i$ .	80
3.3.2.2. Estabilidad de la cola $Q_j$ .	82
3.3.3. Eficiencia máxima de la interconexión de dos Ethernet.	84

3.3.4. Características de retardo promedio de paquetes.	88
---	----

Capítulo IV. Planeación de un programa computacional para mostrar el rendimiento.	90
---	----

4.1. Características del programa.	91
------------------------------------	----

4.2. Menú principal: rendimiento de la interconexión de redes de área local.	92
--	----

4.3. Menú: rendimiento de Ethernet's.	97
---------------------------------------	----

4.4. Menú: rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.	108
---	-----

4.5. Cronograma de actividades del programa.	118
--	-----

Conclusiones.	119
---------------	-----

Referencias bibliograficas.	122
-----------------------------	-----

Apéndice A. Diseño de la red de área local del Departamento de Comunicaciones.	125
--	-----

Apéndice B. Glosario.	129
-----------------------	-----

## Lista de figuras.

1.	Topologías de redes de área local.	5
2.	Técnica de transmisión banda base.	9
3.	Técnicas de transmisión banda ancha.	11
4.	Acopladores direccionales y "splitters".	12
5.	Sistema anillo.	15
6.	Concentrador de alambrado anillo.	18
7.	Modelo de referencia OSI.	19
8.	Conexión N-1.	20
9.	Modelo OSI e IEEE 802 para LAN's.	22
10.	Estructura de estándares para redes de área local IEEE 802.	24
11.	Escenario del control de enlace LAN.	25
12.	Compuerta.	32
13.	Puente.	34
14.	Modelo del recurso puente.	35
15.	Interconexión de redes de área local en un campus utilizando puentes.	37
16.	Modelo de un sistema de comunicaciones vía satélite.	38

17.	Diagrama a bloques del segmento terrestre.	40
18.	Diagrama a bloques de un transponder.	43
19.	Estructura de una aplicación de la interconexión de redes de área local empleando la tecnología vía satélite.	46
20.	Eficiencia ideal del medio de transmisión de LAN's.	50
21.a.	Efecto de " $\alpha$ " en la utilización para una LAN con sistema de transmisión banda base bus ( $\alpha < 1$ ).	57
21.b.	Efecto de " $\alpha$ " en la utilización para una LAN con sistema de transmisión banda base bus ( $\alpha > 1$ ).	58
22.	Utilización de LAN en función de " $\alpha$ ".	59
23.	Efecto de " $\alpha$ " en la eficiencia del medio de transmisión.	59
24.	Región de operación factible de LAN's (no se consideran bits de cabecera).	63
25.	Utilización de CSMA/CD en función de " $\alpha$ ".	68
26.	Utilización de CSMA/CD en función de N.	69
27.a.	Utilización de CSMA/CD (Mbps) en función de la tasa de transmisión (longitudes de paquetes de 500 y 2,000 bits); 1 estación activa de 100 estaciones.	71
27.b.	Utilización de CSMA/CD (Mbps) en función de la tasa de transmisión (longitudes de paquetes de 500 y 2,000 bits); 100 estaciones activas de 100 estaciones.	72
28.	Modelo de la interconexión de dos LAN's Ethernet empleando puentes (flujo de paquetes).	78
29.	Eficiencia de CSMA/CD $Z_i E_i (\alpha_i(Z_i), \beta_i(Z_i))$ en función del parámetro $Z_i$ .	83



30.	Fracción de banda ancha optima $Z^*$ en función del retardo de propagación normalizado $\alpha(1)$ para la interconexión de dos LAN's Ethernet identicas empleando puentes.	86
31.	Eficiencia máxima $n(Zr)$ en función del retardo de propagación normalizado $\alpha(1)$ para la interconexión de dos LAN's Ethernet identicas empleando puentes.	87
32.	Retardo promedio de paquetes en $DQ_i$ en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN" P.	88
33.	Retardo promedio de paquetes en $Q_i$ en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN" P.	89
34.	Menú principal: rendimiento de la interconexión de redes de área local.	93
35.	Estructura de Ethernet 1.	94
36.	Estructura de Ethernet 2.	95
37.	Estructura de la interconexión de dos Ethernet.	96
38.	Menú: rendimiento de Ethernet's.	98
39.	Pantalla: relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.	99
40.	Pantalla: A. calculo del parámetro " $\alpha$ ".	100
41.	Pantalla: B. utilización de Ethernet en función de " $\alpha$ ".	101
42.	Pantalla: número de terminales máximo(N) de la eficiencia total de Ethernet basado en su carga ofrecida.	102
43.	Pantalla: A. utilización de CSMA/CD en función de " $\alpha$ ".	103

44.	Pantalla: B. utilización de CSMA/CD en función de N.	104
45.	Pantalla A: consulta de rendimiento de Ethernet 1 o 2.	105
46.	Pantalla B: consulta de rendimiento de Ethernet 1 o 2.	106
47.	Simbología de rendimiento de Ethernet's.	107
48.	Menú: rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.	109
49.	Pantalla: modelo de la interconexión de dos Ethernet.	110
50.	Pantalla: consideraciones importantes del modelo.	111
51.	Pantalla: condiciones de estabilidad de la interconexión de dos Ethernet.	112
52.	Pantalla: condiciones para la eficiencia máxima.	113
53.	Pantalla: fracción de banda ancha optima $Z_r$ en función del retardo de propagación normalizado $\alpha(1)$ .	114
54.	Pantalla: eficiencia máxima $\eta(Z_r)$ en función del retardo de propagación normalizado $\alpha(1)$ .	115
55.	Pantalla: retardo promedio de paquetes en $DQ_i$ en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN" P.	116
56.	Pantalla: retardo promedio de paquetes en $Q_i$ en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN" P.	117
57.	Cronograma de actividades para el desarrollo del programa computacional para mostrar el rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.	118A

## Lista de tablas.

1. Características típicas de medios de transmisión para redes de área local.	6
2. Relación entre la topología y el medio de transmisión.	8
3. Ejemplo de relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.	52
4. Valores típicos de " $\alpha$ " para LAN's con topología bus estan en el rango de 0.01 a 0.1.	55
5. Calculo de " $\alpha$ " para diferentes tasas de transmisión y longitudes de paquetes de 500 y 2,000 bits.	73

## Introducción.

Actualmente, la tecnología de la interconexión de redes de área local (LAN's, de sus siglas en inglés local area networks) está teniendo un gran desarrollo. Una red de área local consiste en establecer la comunicación entre diferentes dispositivos (por ejemplo: computadoras, impresoras, sensores de temperatura y de presión) localizados en una área de dimensión pequeña con la finalidad de que se compartán los mismos y la información [1]. La interconexión de las redes de área local permite el enlace entre dos o más LAN's, siendo la comunicación entre los usuarios transparente; el enlace se lleva a cabo por medio de las compuertas, los puentes o bien empleando la tecnología via satélite. El desarrollo de la interconexión de LAN's se debe principalmente a los siguientes acontecimientos:

1. A principios de los sesenta, la introducción de la conmutación de paquetes y la realización de la red de radio Aloha [2].

2. En la década de los setenta, la LAN llamada Ethernet surge como el primer esfuerzo real hacia este tipo de redes.
3. A principios de los ochenta los estándares para LAN's del proyecto IEEE (de sus siglas en inglés, Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802 [1].

Dentro de la tecnología de interconexión de LAN's han comenzado a desarrollarse estudios, así como programas por computadora para determinar su comportamiento o desempeño, comunmente llamado rendimiento. Es en esta parte donde el presente trabajo tiene como objetivos:

- \* Analizar el rendimiento de Ethernet y de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.
- \* Basado en los resultados obtenidos del objetivo anterior, planear un programa computacional para mostrar el comportamiento de Ethernet al operar aisladamente y cuando se enlazan dos Ethernet con puentes. En un trabajo posterior se efectuará su programación.

Para lograr los objetivos anteriores, el trabajo se estructuró en cuatro capítulos.

En el capítulo uno se trata la tecnología de las redes de área local. Se define que es una LAN y se estudian los elementos de diseño que la componen: la topología, el medio de transmisión y el protocolo de acceso al medio.

En el *capítulo dos* se trata la tecnología de la interconexión de redes de área local. Se estudian las compuertas, los puentes y el empleo de la tecnología vía satélite, que son los medios que permiten el enlace de LAN's. Además, se incluyen estructuras de aplicación de interconexión de LAN's.

El análisis de rendimiento de Ethernet y de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes se lleva a cabo en el *capítulo tres*. Se aplican estudios de rendimiento de LAN's a Ethernet y se presenta el desarrollo de la extensión efectuada al análisis de Lazaros F. Merakos [18] para determinar el comportamiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes. Los resultados obtenidos acerca de su rendimiento no reflejan su comportamiento real, pero son una buena aproximación del mismo.

La planeación del programa computacional para mostrar el rendimiento se efectúa en el *capítulo cuatro*. Se dan sus características de programación para un ambiente LAN's. Se diseñó en tres menús: en el primero se estructura Ethernet uno, dos y su interconexión empleando puentes, en el segundo se piden parámetros adicionales a capturar y se calculan y gráficán las medidas de rendimiento para Ethernet's y en el tercer menú tan solo se muestran los resultados obtenidos de la interconexión de dos Ethernet del capítulo tres. Se da el cronograma

de actividades para desarrollar el programa.

Por último, en el *apéndice "a"* se incluye el diseño inicial de la red de área local del Departamento de Comunicaciones del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

## Capítulo I. Redes de área local.

A principios de la década de los 60, dos desarrollos tuvieron lugar, los cuales vinieron a ser importantes en el posterior surgimiento de las redes de área local: la introducción de la conmutación de paquetes y la realización de la red de radio Aloha. A fines de esa misma década, R. Metcalfe imaginó una red de radio a través de cable coaxial a la que denominó Ethernet. Un factor que contribuyó al desarrollo de las LAN's, fue que los sistemas de computadoras iban creciendo gradualmente, en un espacio pequeño con muchos controladores con el consecuente aumento de cableado, lo cual a su vez incrementó los costos de los sistemas e hizo más complejo darles mantenimiento. Por último, ya en la década de los 80, los estándares para LAN's del proyecto IEEE 802 permitieron la entrada plena de las LAN's en el mercado [2].

Actualmente, el desarrollo de las redes de área local es muy rápido. Esto se debe a que las LAN's



permiten abatir los costos, compartiéndose los dispositivos de comunicaciones costosos y la información.

En esta parte se trata la tecnología de redes de área local. Primero se definen las LAN's. Después, se estudian los elementos de diseño de las LAN's: la topología, el medio de transmisión y el protocolo de acceso al medio. Este último enmarcado dentro del modelo OSI (de sus siglas en inglés, Open Systems Interconnection) y los estándares para LAN's del proyecto IEEE 802. Por último, se dan las tendencias de LAN's.

### 1.1. Definición, beneficios y problemática.

Una red de área local es una red de comunicaciones, en la cual se interconectan una variedad de dispositivos de comunicaciones de datos, todos ellos distribuidos en una área de dimensión pequeña. En la definición anterior, tenemos tres elementos importantes: el primero es que la red es una red de comunicaciones y no de computadoras; el segundo, dispositivos de comunicación de datos incluye computadoras, terminales, dispositivos periféricos, sensores (temperatura, humedad, seguridad, sensores de alarma), teléfonos, transmisores y receptores de televisión y facsimile; el tercero, una área pequeña, significa que regularmente la red se encuentra en un edificio de oficinas, una bodega o bien un campus [1].

Las características más importantes de las redes de área local son: tasas de datos altas (0.1 - 100 megabits por segundo), distancias cortas (0.1 - 50 Kilometros) y tasas de error bajas ( $10^{-8}$  -  $10^{-11}$ )<sup>1</sup> [3].

Los beneficios que se obtienen son:

- \* El costo de los requerimientos para conectar una red de área local es menor a los costos de los dispositivos de comunicaciones en sí.
- \* El equipo que se conecta puede ser de diferentes fabricantes.
- \* Se comparten los recursos caros: las grandes memorias y las impresoras laser; así como la información tal es el caso de: datos de computadora, voz, información de audio y video, y fascímile.

Dentro de las dificultades, tenemos principalmente, que siendo un sistema distribuido conlleva el problema de que varios dispositivos pueden acceder el medio de transmisión a la vez, provocando una colisión, también tenemos que el protocolo de acceso al medio a veces es complejo [3].

---

<sup>1</sup>  $10^{-8}$  por cada  $10^8$  bits, un bit se espera que tenga error.

## 1.2. Elementos de diseño iniciales de redes de área local.

La topología y el medio de transmisión determinan que tipo de datos pueden ser transmitidos (analógicos y digitales), la rapidez y eficiencia de la comunicación.

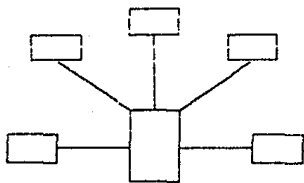
### 1.2.1. Topologías.

La *topología* es la estructura que consta de las rutas e interruptores, que proveen las comunicaciones interconectando nodos de la red.

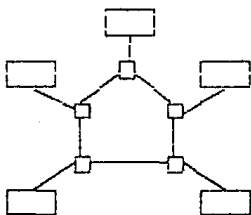
Las topologías más comunes para redes de área local son: la estrella, anillo y bus o árbol (la bus es un caso especial de la de árbol, con solo un tronco y sin ramificaciones; se usa el término bus/árbol cuando la distinción no es importante), las cuales se muestran en la figura 1.

La *estrella* consiste de un elemento de cambio central, al cual se le conectan todos los dispositivos de comunicación de datos. Cuando se quiere una comunicación entre los dispositivos, el elemento de cambio central pone los interruptores adecuados, pareciendo ser entre los mismos un enlace punto a punto.

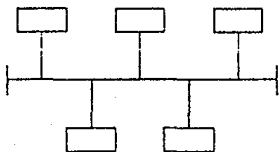
En la *anillo* se enlazan repetidores punto a punto, hasta formar entre ellos un círculo imaginario



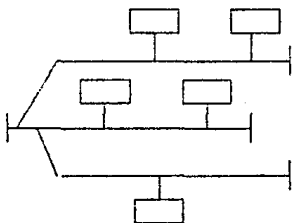
Estrella



Anillo



Bus



Arbol

Figura 1. Topologías de redes de área local.

y a cada uno de ellos se conectan los dispositivos, la comunicación se hace entre cada enlace de los repetidores y de estos a los dispositivos.

La *bus/árbol* es caracterizada por el uso de un medio de transmisión de múltiple acceso. Los dispositivos comparten el medio y solo un dispositivo puede transmitir a la vez [3].

### 1.2.2. Medios de transmisión.

El medio de transmisión es la ruta física entre transmisores y receptores dentro de la red.

Los medios más apropiados para redes de área local son: el par trenzado, cable coaxial y la fibra óptica. En la tabla 1 se muestran sus características.

Técnicas de comunicación	Tasa de datos máxima en Mbps.	Rango máximo en tasa de datos máxima (km).	Número práctico de dispositivos.
Par trenzado			
Digital	1-2	Pocos	10
Cable coaxial(50 ohms)			
Digital	10	Pocos	100
Cable coaxial(75 ohms)			
Digital	50	1	10
Analógico con FDM.	20	10	1,000
Analógico canal simple.	50	1	10
Fibra óptica			
Analógico	10	1	10

Mbps : Megabits por segundo

Tabla 1. Características típicas de medios de transmisión para redes de área local.

En el *par trenzado* se tiene una tasa de datos máxima de 1 a 2 Mbps y es recomendable para redes en un solo edificio, con un tráfico de datos bajo.

El *cable coaxial* que se maneja es de 50 ohms y el de 75 ohms. De acuerdo a la impedancia y la técnica de comunicación se pueden alcanzar tasas de datos máximas de 10 a 50 Mbps, un alcance de 1 a 10 kilómetros (km) y dispositivos conectados de 10 a 1'000.

Con la *fibra óptica* empleando técnica de comunicación analógica, la tasa de datos máxima es de 10 Mbps y un rango máximo de 1 km [3].

### 1.2.3. Relación entre la topología y el medio.

En el diseño de las redes de área local, de acuerdo a su topología existe uno o varios medios más apropiados (tabla 2). En la topología bus tenemos el *par trenzado* y el *cable coaxial* en banda base y ancha. Con respecto a la de árbol el *cable coaxial* banda ancha. Por su parte, la *anillo* que requiere un enlace punto a punto entre los repetidores son adecuados el *par trenzado*, *cable coaxial* banda base y la *fibra óptica*, el *cable coaxial* banda ancha no lo es porque al manejar medios múltiples simultáneamente aquí es demasiado complejo. Por último, en la *estrella* tenemos el *par trenzado* que es más barato [3].

Medio	Topología			
	Bus	Arbol	Anillo	Estrella
Par trenzado	x		x	x
Coaxial banda base	x		x	
Coaxial banda ancha	x	x		
Fibra óptica			x	

Tabla 2. Relación entre la topología y el medio de transmisión.

### 1.3. Topología bus/árbol.

En la topología bus/árbol dos sistemas de transmisión son muy conocidos: el de banda base y el de banda ancha. Los cuales a continuación se tratarán.

#### 1.3.1. Sistema banda base.

El sistema *banda base* se define como aquel que tiene un canal simple y usa señales digitales. Este sistema tiene principalmente las siguientes características: la transmisión es a base de paquetes en un ancho de banda, no se acepta multicanalización por división de frecuencia (FDM, de sus siglas en inglés *frequency-division multiplexing*), es bidireccional porque la transmisión es en ambas direcciones como lo muestra la figura 2, además el sistema puede extenderse hasta una distancia de 1 km [4].

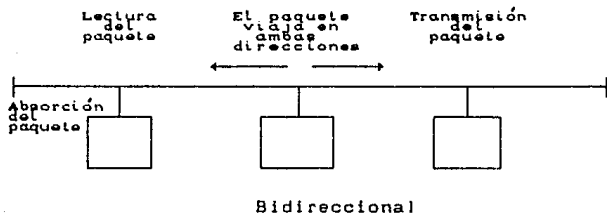


Figura 2. Técnica de transmisión banda base.

### 1.3.2. Sistema banda ancha.

El término *banda ancha* se refiere a algún canal que tiene una amplitud mayor que un canal de voz (0.3 - 3.4 kilohertz). Por lo regular, cuando se habla de un sistema banda ancha se refiere a la transmisión de señales analógicas. A continuación para tratar estos sistemas se dividen en dos: banda ancha que permiten FDM y aquellos que transportan solo una señal analógica simple denominados banda ancha canal simple [4].

#### 1.3.2.1. Sistema banda ancha FDM.

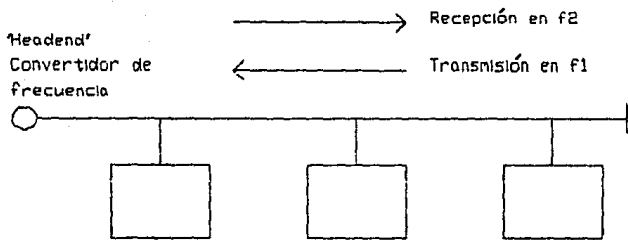
Los sistemas *banda ancha FDM* usan comunmente señales analógicas y permiten tener múltiples canales. En el espectro de frecuencias del cable se divide en canales o secciones de anchos de banda. Los canales separados pueden soportar tráfico de datos, televisión (TV), y señales de radio. Aquí cabe aclarar que algunos canales de datos pueden transmitir señales digitales.



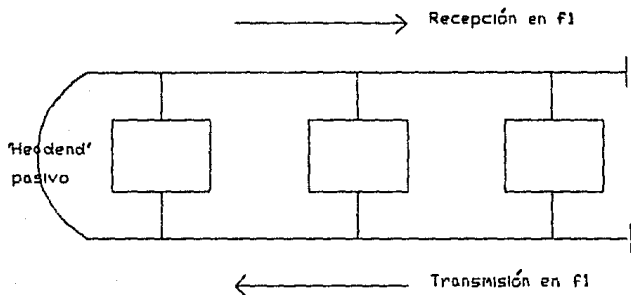
Estos sistemas tienen dos rutas una de transmisión y otra de recepción. La ruta de transmisión va dirigida hacia el "headend" (elemento que se coloca al final de uno de los extremos del bus), en la cual todas las estaciones transmiten. La ruta de recepción va del "headend" hacia fuera, las señales son propagadas por el "headend" en esta ruta y todas las estaciones reciben en la misma.

Físicamente, dos configuraciones diferentes son usadas para implantar las rutas de transmisión y recepción (figura 3). En la configuración banda ancha "mid-split" se transmite a una frecuencia  $f_1$ , luego al llegar al "headend" (en este caso un convertidor de frecuencias) los retransmite a una frecuencia  $f_2$ , en la cual van a ser recibidas las señales por las estaciones (figura 3.a). La otra configuración es llamada banda ancha cable-doble se transmiten y reciben las señales a la misma frecuencia  $f_1$  y el "headend" es tan solo un elemento pasivo (figura 3.b).

Algunos de los principales componentes de estos sistemas son: el cable, acopladores direccionales y "splitters". Los cables usados son de tres tipos: "trunk", de distribución y "drop"; su diámetro esta en un rango de 0.635cm a 2.54cm y su atenuación se encuentra en un rango de 0.7 a 6 decibeles (db) por 30.48m. Con respecto a los acopladores direccionales o "taps" son el medio para dividir una entrada en dos



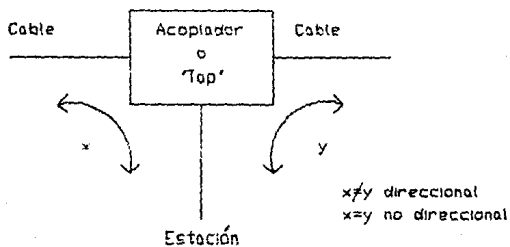
a) Banda ancha 'mid-split'.



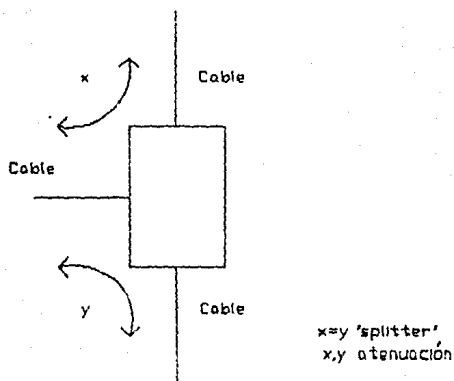
b) Banda ancha cable doble.

Figura 3. Técnicas de transmisión banda ancha.

salidas y la combinación de dos entradas en una salida. "Splitters" son usados para ramificar el cable, dan una atenuación igual a lo largo de las ramificaciones (figura 4).



a) Acoplador



b) 'Splitter'

Figura 4. Acopladores direccionales y 'splitters'

Tres clases de transferencia de datos digitales son posibles en un cable de banda ancha: dedicado, "switched" y de acceso múltiple. En el dedicado se tiene un enlace punto a punto, transmitiendo y recibiendo a la misma frecuencia. En el "switched", los dispositivos se conectan a un modem y este al medio de transmisión, para una transmisión y una recepción se les asigna una frecuencia a los dispositivos, entre todas las frecuencias que se tengan ( $F_0 \dots F_N$ ). En el acceso múltiple todos están a la misma frecuencia y solo uno puede transmitir a la vez [4].

#### 1.3.2.2. Sistema banda ancha canal simple.

Un sistema banda ancha canal simple tiene las siguientes características: transmisión bidireccional (la técnica de transmisión es igual a la de banda base, figura 2), usa topología bus, puede no usar amplificadores y no hay necesidad de un "headend". Se transmite de acuerdo a alguna forma de manipulación por corrimiento de frecuencia (FSK, de sus siglas en inglés frequency-shift keying) a bajas frecuencias ya que en estas se tiene menos atenuación [4].

#### 1.3.3. Comparación entre el sistema de banda base y el de banda ancha.

Los sistemas banda base son baratos, la tecnología que emplean es simple y su instalación es sencilla. Por otra parte, tienen un canal simple y

son limitantes en cuanto a tasa de datos, distancia a la cual se pueden expandir y a su crecimiento. Los sistemas banda ancha tienen una alta capacidad de datos, manejan tráfico de datos, tienen configuraciones más flexibles, se puede cubrir una área geográfica más extensa y emplean la tecnología CATV (de sus siglas en inglés, community antenna television). Por otra parte, son más caros y representa una complejidad en la instalación y el mantenimiento de la misma [4].

#### 1.4. Topología anillo.

La cantidad de estudios realizados acerca de la topología anillo son diferentes en Europa y en Estados Unidos. En Europa se han desarrollado una gran cantidad de estudios, sin embargo en Estados Unidos son muy pocos debido a que están concentrados en la topología bus [4].

A continuación se da una descripción detallada del funcionamiento de LAN's con topología anillo, se anotan sus principales beneficios, así como los problemas potenciales que presentan, además se presenta un refinamiento de la topología anillo como es: la arquitectura anillo-estrella que permite sanar algunos problemas.

#### 1.4.1. Descripción detallada.

El sistema anillo consiste de un número de repetidores, en el que cada repetidor se conecta a otros dos con un enlace unidireccional hasta que se forma una ruta cerrada (figura 5). Los datos se transmiten secuencialmente, bit a bit, y cada repetidor los regenera y los retransmite.

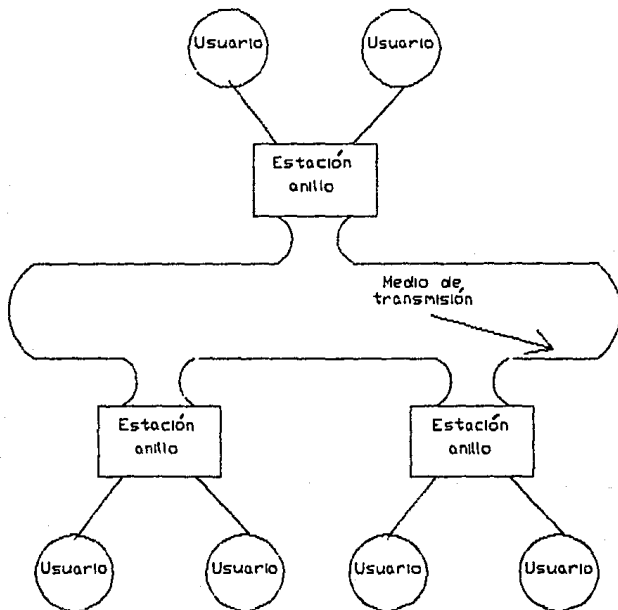


Figura 5. Sistema anillo.

Para que el sistema se comporte como una red de comunicaciones, requiere tres funciones: inserción del mensaje, recepción del mensaje y el borrado del mensaje. Para la inserción del mensaje en el canal de comunicaciones y transmitirlo, se encarga el repetidor. En la recepción del mensaje, como los mensajes van en paquetes y en el un campo de dirección del destinatario, el repetidor verifica si le corresponde, si es afirmativo lo copia de lo contrario lo retransmite. Con respecto al borrado del mensaje se tienen dos criterios: uno es que el destinatario después de copiarlo se encargue de borrarlo y el segundo consiste en que el transmisor después de dar una vuelta lo borre, de esta manera se puede hacer que varias estaciones puedan copiar el mensaje [4].

#### 1.4.2. Beneficios.

*El más grande beneficio de LAN's con topología anillo* es que son a base de enlaces de comunicación punto a punto. También representa un beneficio que cada repetidor regenere y retransmite cada bit ya que se logra un mayor grado de seguridad de transmitir correctamente. Por último, en ciertas condiciones se alcanzan tasas altas de throughput (datos procesados efectivos) [4].

#### 1.4.3. Problemas potenciales.

Los problemas potenciales que presenta son: vulnerabilidad del cable, falla del repetidor y un estudio más detallado al adicionar nuevos repetidores. La vulnerabilidad del cable se presenta cuando hay una ruptura de algún enlace lo que provoca que se caiga el sistema. Con respecto a la falla del repetidor, sucede cuando los datos no son transmitidos correctamente y por tanto, también ocasiona una caída del sistema. Adicionar nuevos repetidores es problemático porque necesita un buen estudio de los repetidores que están juntos donde se quieren adicionar [4].

#### 1.4.4. Arquitectura anillo-estrella.

Un refinamiento de una LAN con topología anillo es la arquitectura anillo-estrella que se muestra en la figura 6. Consiste básicamente en tener concentrados todos los enlaces, permitiendo tener interconexión de repetidores. Esto permite que cuando existe una falla de algún cable sea más fácil localizarlo y después repararlo, además en ese momento se pueden utilizar otros enlaces que se tengan a los dos repetidores donde se encuentra la falla. Finalmente, en esta arquitectura es más fácil adicionar repetidores [4].



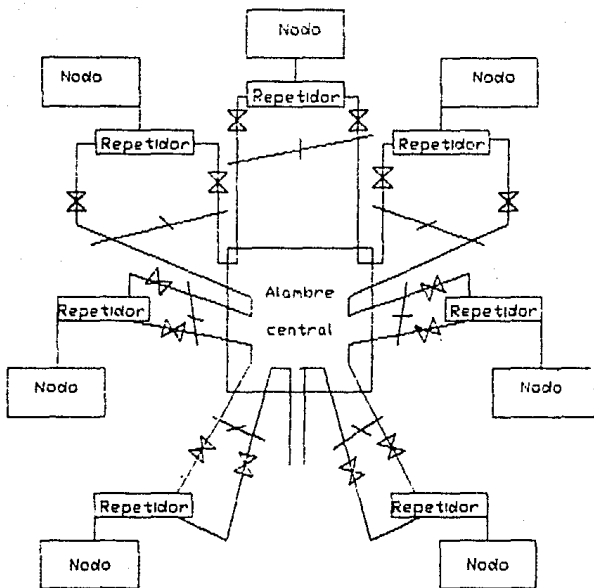


Figura 6. Concentrador de alambrado anillo.

### 1.5. Modelo de referencia OSI.

A fines de los sesenta, ISO (de sus siglas en inglés, International Organization for Standardization) conjuntamente con CCITT (de sus siglas en francés, International Telegraph and Telephone Consultative Committee) comenzaron a trabajar acerca del modelo de referencia OSI, para definir, desarrollar y dar validez a normas dentro de

este marco para los nuevos sistemas de información distribuidos [5].

Cuando se comenzó a particionar funcionalmente el modelo OSI se apreció que podía constar de muchas partes, pero finalmente se acordó dividirlo en siete niveles: aplicación, presentación, sesión, transporte, red, enlace de datos y físico; como se muestra en la figura 7 [5,8].

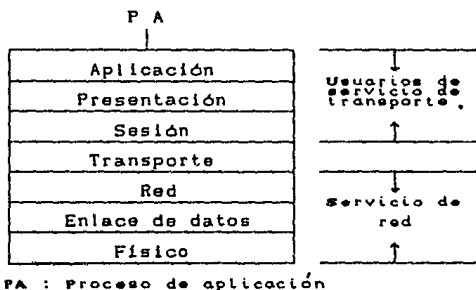


Figura 7. Modelo de referencia OSI.

En esta parte primero se tratan los nuevos terminos incorporados: usuario, entidad y primitiva. Luego, para cada nivel del modelo OSI se dará su definición de servicio ya que es donde existe una mayor profundidad de definición, cabe aclarar que todavía no hay firme definición de las funciones y las primitivas para cada nivel.

### 1.5.1. Definición de los nuevos términos incorporados: usuario, entidad y primitiva.

Nuevos términos han sido necesarios dar en este modelo. El primero es usuario que se le da a un proceso de aplicación pudiendo ser por ejemplo: la simple captura de datos en una terminal o bien la ejecución de un programa complejo. El segundo es entidad que es una función o un grupo de funciones que se llevan a cabo en una comunicación. Como se puede observar en la figura 8, puede existir comunicación entre dos entidades de un mismo nivel, esto lo permite el nivel N-1 que tiene la ruta lógica entre las dos, cabe aclarar que se puede tener comunicación entre más de dos entidades. Por último, el término primitiva se refiere a una forma de requerimiento, indicaciones, respuestas y confirmaciones que se dan en interacciones entre entidades de niveles que están juntos [5].

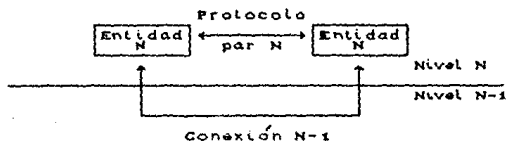


Figura 8. Conexión N-1.

### 1.5.2. Descripción de los siete niveles.

El modelo de referencia OSI está constituido por siete niveles. Cada nivel tiene servicio de su nivel inferior y a su vez el le da servicio al nivel

superior, excepto para el nivel físico, el cual esta conectado con el medio de transmisión y en el superior el de aplicación que esta directamente con el proceso de aplicación. A continuación se da la definición de servicio para cada uno de los niveles [5,6,7]:

- \* Aplicación. Soporta la comunicación inmediata con el proceso y supervisa la información.
- \* Presentación. Se encarga de poner la información en un código entendible.
- \* Sesión. Reglas de sincronización de los participantes en la comunicación, procedimientos que rigen la interrupción y la reanudación de un diálogo.
- \* Transporte. Se encarga del enlace entre la parte inferior y superior del modelo OSI (siendo este nivel el punto medio) y del fin de la comunicación entre dos procesos.
- \* Red. Control del flujo de información en cada punto de la red.
- \* Enlace de datos. Reglas de intercambio de información en el medio de transmisión.
- \* Físico. Trata del mantenimiento, la activación y la desactivación del medio de transmisión, también abarca las características físicas de conexión de los equipos en términos eléctricos y mecánicos.

En los siguientes años se espera una mayor firmeza en la definición de servicios, funciones y primitivas para cada nivel.

## 1.6. Estándares.

Los estándares para redes de área local IEEE 802 se desarrollaron bajo las siguientes características: una red de área local es un sistema de comunicaciones de datos, el costo en los requerimientos de conexiones debe ser menor al costo del equipo que se va a interconectar, además están enmarcados en el modelo OSI (figura 9) [1,6].

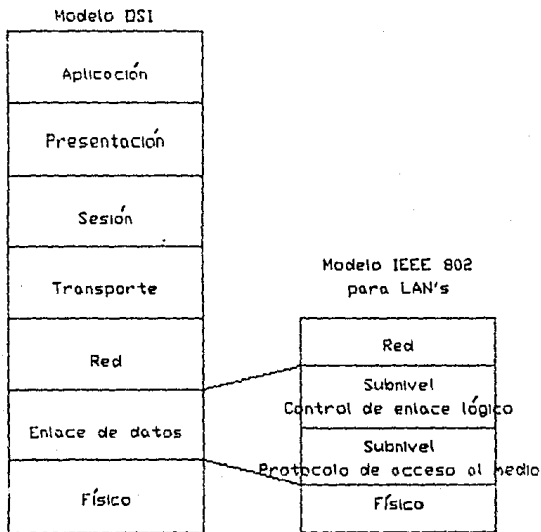


Figura 9. Modelo OSI e IEEE 802 para LAN's. Para el nivel de enlace de datos OSI le corresponden los subniveles de control de enlace lógico y el protocolo de acceso al medio en el modelo IEEE 802 [8].

Los estándares para redes de área local IEEE 802 están divididos en seis [1,6,7]:

1. IEEE 802.1 Interfaz de nivel alto (HILI, de sus siglas en inglés higher layer interface).
2. IEEE 802.2 Control de enlace lógico (LLC, de sus siglas en inglés logical link control).
3. IEEE 802.3 CSMA/CD (de sus siglas en inglés, carrier sense multiple access with collision detection) bus.
4. IEEE 802.4 Token bus.
5. IEEE 802.5 Token ring.
6. IEEE 802.6 Red de área metropolitana (MAN, de sus siglas en inglés metropolitan area network).

Acerca del IEEE 802.1 HILI y el IEEE 802.6 MAN se han desarrollado trabajos pero todavía no han sido aceptados por IEEE. En cambio, con respecto a los otros se tiene su estándar inicial ya aprobado por IEEE y una versión propuesta en ISO que los hace más sólidos; en la figura 10 se muestra la estructura de estos estándares. A continuación se tratarán estos últimos dando una descripción de sus puntos más importantes.

#### 1.6.1. Control de enlace lógico.

El control de enlace lógico se encarga de establecer, mantener y terminar un enlace lógico entre dispositivos de comunicaciones. Por ejemplo,

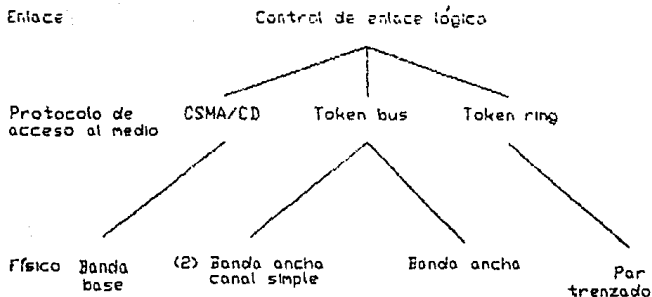


Figura 10. Estructura de estándares para redes de área local IEEE 802.

como se observa en la figura 11 se tiene un proceso "X" en la estación A y se requiere comunicación con la estación B se hace por medio de un punto de acceso de servicio (SAP, de sus siglas en inglés service access point) y con direcciones A1 y B1; soporta múltiples enlaces, otro sería el proceso "Y" con enlace a la estación C, con otro SAP y direcciones A2 y C1. Además, se tiene una interfaz general con el protocolo de acceso al medio que permite utilizar CSMA/CD bus, Token bus o bien Token ring [1].

#### 1.6.2. Protocolos de acceso al medio.

El protocolo de acceso al medio es el método para determinar cual dispositivo de comunicaciones tiene

transmisión que soportan (banda base o banda ancha) y sus correspondientes características físicas del medio de transmisión.

#### 1.6.2.1. CSMA/CD bus.

En el protocolo *CSMA/CD bus*, una estación que quiere transmitir lo hace cuando el medio de transmisión esta libre, puede suceder que más de una estación intenten transmitir a la vez provocando una "colisión", en tal caso a todas las estaciones se les avisa por medio de una breve señal llamada "jamming" la cual es una señal de interferencia. La transmisión se hace considerando un sistema banda base, utilizando cable coaxial de 50 ohms, con código Manchester a una tasa de datos de 10 Mbps y es permitida una longitud máxima de segmento de cable de 500 metros. [1].

#### 1.6.2.2. Token bus.

En el protocolo *Token bus*, las estaciones que estan conectadas al bus llevan un orden lógico que no necesariamente es de acuerdo a su posición física, formando una ruta cerrada. El acceso al canal es regulado por una señal de control llamada "token". Se tienen tres especificaciones y todas ocupan el cable coaxial CATV 75 ohms y señales analógicas. Dos de las especificaciones son en un sistema banda ancha canal simple, con una técnica de transmisión FSK (de sus siglas en inglés, frequency-shift keying) pudiendose manejar dependiendo del caso, tasas de



datos de 1 a 10 Mbps. La tercera especificación es en un sistema banda ancha donde se pueden manejar canales de video simultáneamente, a tasas de datos de 1 a 10 Mbps [1].

### 1.6.2.3. Token ring.

El protocolo *Token ring* esta orientado a una topología anillo. En el medio de transmisión circula una señal de control llamada "token" cuando esta libre una estación puede transmitir poniendole al "token" "ocupado", después cuando vuelve a regresar le coloca "libre" y otra estación puede atrapar el "token" y transmitir. A nivel físico son utilizados cables blindados conteniendo dos pares trenzados balanceados de 150 ohms. Se emplea el código Manchester diferencial y son permitidas tasas de datos de 1 a 4 Mbps [1].

### 1.7. Principales elementos de diseño de las redes de área local típicas.

Las redes de área local típicas son: Ethernet, Broadband bus y Token ring [2]. . A continuación se dan sus tres principales elementos de diseño que caracterizan a cualquier red de área local; estos elementos son: la topología, el medio de transmisión y el protocolo de acceso al medio.

\* Ethernet. Topología bus con sistema de transmisión banda base, cable coaxial y protocolo de acceso CSMA/CD bus.

- \* Broadband bus. Topología bus con sistema de transmisión banda ancha, cable coaxial y protocolo de acceso Token passing.
- \* Token ring. Topología anillo con sistema de transmisión banda base, con par trenzado y protocolo de acceso Token ring.

### 1.8. Tendencias.

Las tendencias de la tecnología de las redes de área local estarán englobadas en los siguientes aspectos: firmeza en la definición del modelo de referencia OSI, mayor consolidación de las redes de área local típicas, incorporación de nuevos sistemas bus de transmisión unidireccional y LAN's utilizando fibras ópticas.

- \* Con respecto al modelo de referencia OSI, se espera una firmeza en la definición de servicios, funciones y primitivas para cada uno de los niveles del modelo [5].
- \* Existirá una mayor consolidación de las redes de área local típicas debido a que cada día hay más productos de los fabricantes que las soportan, esto gracias a los estándares IEEE 802.
- \* Se incorporarán nuevos sistemas bus de transmisión unidireccional permitiendo alcanzar mayor rapidez en la transmisión; sistemas como: el Expressnet y el Faset [2].
- \* El desarrollo de LAN's utilizando fibras ópticas se incrementará ya que cada día más se requieren LAN's con tasas de transmisión altas y las fibras ópticas lo permiten, además porque el ANSI (de sus siglas en

inglés, American National Standards Institute) esta trabajando un nuevo estándar conocido como FDDI (de sus siglas en inglés, fiber distributed data interface), el cual es una LAN con topología anillo, con fibra óptica, protocolo de acceso Token ring y a una tasa de transmisión de 100 Mbps [2].

## Capítulo II. Interconexión de redes de área local.

*La tecnología de la interconexión de redes de área local* comprende las compuertas, los puentes, así como el empleo de la tecnología vía satélite que son los medios por los cuales se lleva a cabo el enlace entre redes de área local. Las compuertas se han desarrollado fuera del contexto de los estándares para LAN's IEEE 802, mientras que los puentes están dentro de ese contexto. Con lo que respecta a la utilización de la tecnología vía satélite para interconectar redes de área local ha comenzado a nivel mundial. A continuación se trata esta tecnología de interconexión de redes, primero se da su definición, después se estudian las compuertas y los puentes y al final el empleo de la tecnología vía satélite.

## 2.1. Definición.

La interconexión de redes de área local es el enlace entre dos o más redes de área local con la finalidad de que exista comunicación entre los diferentes dispositivos de las redes. El enlace se lleva a cabo por medio de las compuertas, los puentes o bien empleando la tecnología vía satélite. La comunicación entre los usuarios es transparente pudiendose compartir los diferentes dispositivos, así como la información.

## 2.2. Compuertas.

Una compuerta es una interfaz que permite la interconexión entre dos redes de área local. Las compuertas operan en el nivel de red de acuerdo al modelo OSI o bien al IEEE 802 (figura 12). Las compuertas son utilizadas cuando las redes no manejan los estándares para LAN's IEEE 802, CSMA/CD, Token bus y Token ring [9]. En estas interfaces los algoritmos que se emplean son sofisticados y las tasas de transmisión que se han alcanzado están en la vecindad de los 56 Kbps [10]. Por último, cabe decir que puesto que las compuertas se desenvuelven fuera del ambiente de los estándares para LAN's IEEE 802 han tenido poco desarrollo.

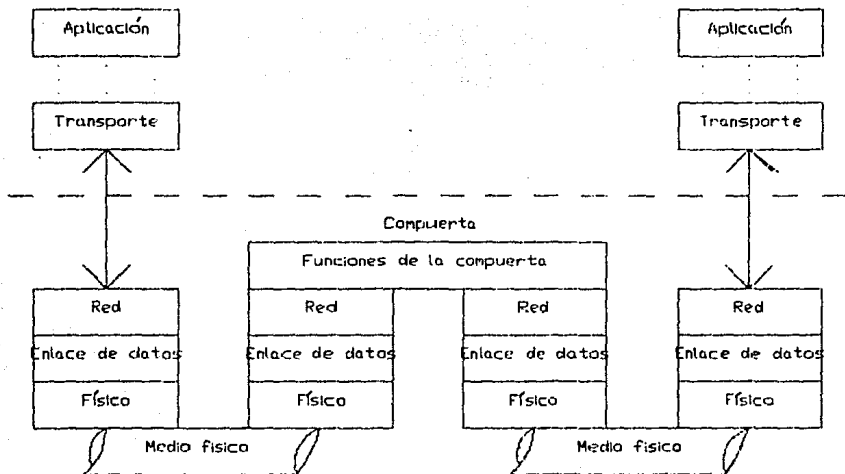


Figura 12. Compuerta.

### 2.3. Puentes.

Un *punto* es una interfaz que también permite la interconexión de dos redes de área local. Un punto opera dentro del modelo OSI en el nivel de enlace de datos y con respecto al modelo IEEE 802 en el subnivel protocolo de acceso al medio (figura 13). Los puntos regularmente son utilizados cuando los protocolos de acceso al medio de las redes que se enlazan son de los estándares para LAN's IEEE 802 (CSMA/CD, Token bus y Token ring) [1]. Los algoritmos de los puntos son más sencillos que los de las compuertas y se han alcanzado tasas de transmisión en el rango de 5 a 7 Mbps [2]. Finalmente, como los puntos se encuentran en el ambiente de los estándares para LAN's IEEE 802 están teniendo bastante desarrollo.

#### 2.3.1. Componentes y funcionamiento.

Un punto está compuesto principalmente por dos buffers uno a cada lado del punto y un procesamiento (figura 14). Un buffer guarda la trama que se está enviando después pasa al procesamiento que consiste en acoplar la trama recibida al tipo de trama que maneja la LAN a cual se le va a enviar y pasaría al otro buffer, para después ser transmitida [9]. Para que el punto tenga una recepción y después una transmisión de la información con el menor tiempo de

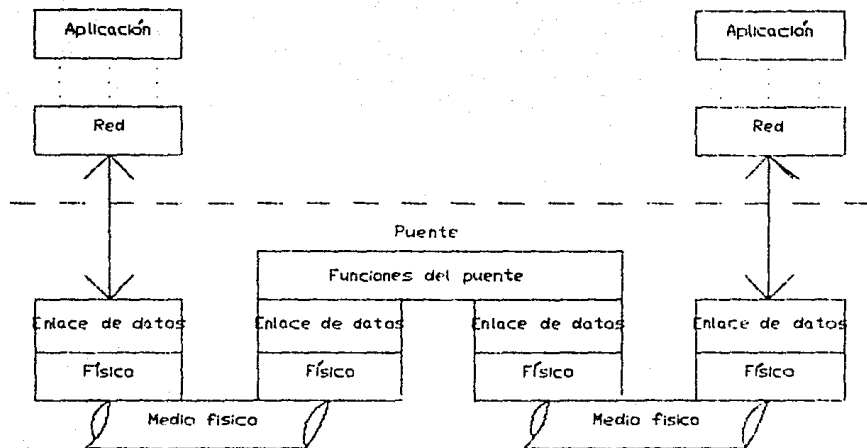


Figura 13. puente [3].



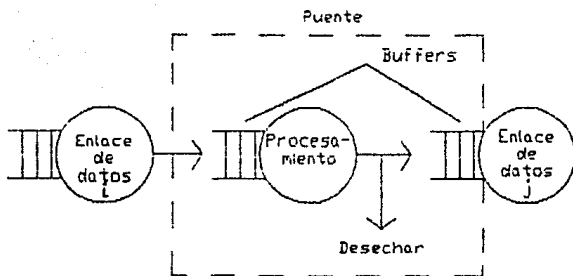


Figura 14. Modelo del recurso puente [11].

retardo necesita que sus buffers sean suficientes para la información y que su procesamiento sea muy eficaz [11].

### 2.3.2. Utilización de puentes en paralelo.

Los puentes en paralelo son utilizados por dos razones principalmente, la primera es para servir como respaldo de otro por si falla y la segunda es para repartir el tráfico que existe entre dos LAN's cuando es demasiado, obteniendo de esta manera un mejor funcionamiento en la interconexión de redes de área local [9].

### 2.3.3. Una aplicación en un campus.

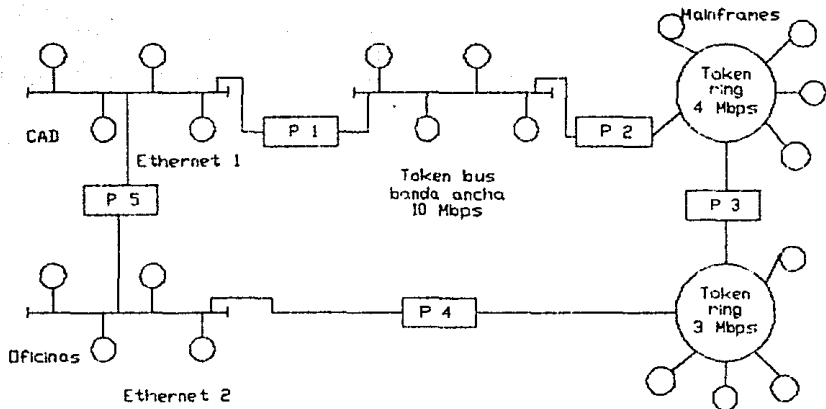
La figura 15 muestra una interconexión de redes de área local en un campus utilizando puentes. La interconexión es de cinco LAN's, empleando cinco puentes los cuales están numerados. Cada una de las LAN's están conectadas físicamente a otras dos, por ejemplo: la LAN Ethernet uno está enlazada con el puente uno a la LAN Token bus banda ancha de 10 Mbps, también está conectada por medio del puente cinco a la Ethernet dos. Por último, cabe aclarar que la interconexión es distribuida.

### 2.4. Empleando la tecnología vía satélite.

El empleo de las comunicaciones vía satélite permite llevar a cabo una interconexión de redes de área local entre sí localizadas a puntos muy distantes. La tecnología vía satélite está bien desarrollada y ofrece un alto grado de seguridad en las comunicaciones y su utilización para el enlace de LAN's ha comenzado a ser explotado a nivel mundial.

#### 2.4.1. Comunicaciones vía satélite.

*Un sistema de comunicaciones vía satélite está constituido principalmente por: el segmento terrestre, conformado por las estaciones terrenas transmisora y receptora; y el segmento espacial que*



P : Puente.

CAD : (de sus siglas en inglés, computer aid design)

Figura 15. Interconexión de redes de área local en un campus utilizando puentes.

comprende el satélite como estación repetidora, tal como se muestra en la figura 16. La señal de un usuario que se desea transmitir se enlaza por medio de un sistema terrestre de microondas a la estación terrena que va a transmitirla. En esta estación, la señal es procesada y enviada al segmento espacial. En el satélite, la señal es nuevamente procesada y retransmitida a la Tierra. Finalmente, en la estación terrena que recibe se recupera la señal original mediante el proceso inverso empleado en su transmisión [12, 13].

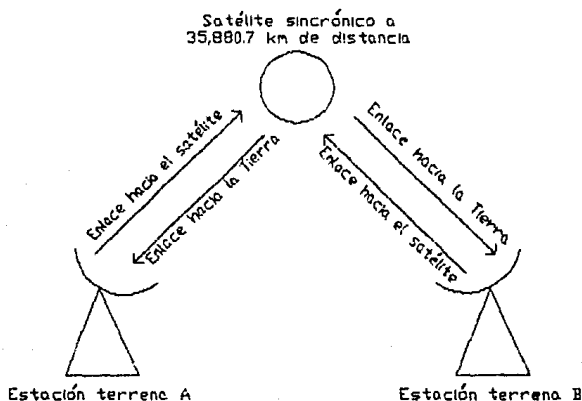


Figura 16. Modelo de un sistema de comunicaciones vía satélite.

#### 2.4.1.1. Segmento terrestre.

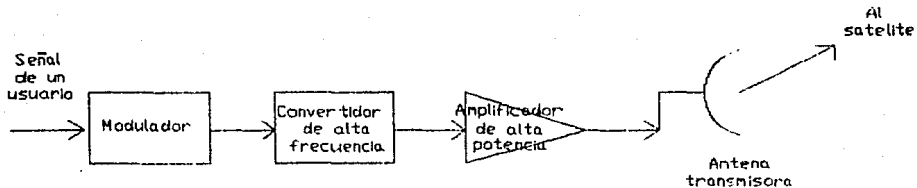
El segmento terrestre esta formado por la estación terrena que transmite, así como por la que recibe (figura 17). La señal del usuario que se transmite es procesada por las dos estaciones terrenas, de la manera descrita a continuación.

La estación terrena transmisora recibe la señal del usuario y la envía al satélite. Primeramente, la señal del usuario se modula a una frecuencia intermedia, la cual se trasladada posteriormente a la frecuencia del enlace hacia el satélite (6, 14 ó 30 Ghz dependiendo de la banda que se este manejando<sup>1</sup>).

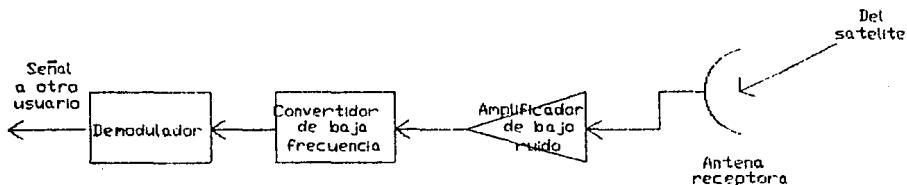
Ya teniendo una señal de alta frecuencia, el amplificador de alta potencia le proporciona la energía suficiente para que sea radiada por la antena a través del espacio libre; los amplificadores manejan regularmente un ancho de banda de 500 MHz y potencias entre los 400 y los 10,000 watts. Adicionalmente, la antena da la ganancia necesaria para los propositos de transmisión y recepción a la señal de alta frecuencia, además le proporciona las características de radiación y polarización para

---

<sup>1</sup> Banda C 4/6 GHz, Ku 12/14 GHz y 20/30 GHz. El segundo valor 6, 14 y 30 GHz es la frecuencia del enlace hacia el satellite. El primer valor 4, 12 y 20 GHz es la frecuencia del enlace hacia la Tierra.



a) Modelo ascendente de la estación terrena que transmite.



b) Modelo descendente de la estación terrena que recibe.

Figura 17. Diagrama a bloques del segmento terrestre.

eliminar la interferencia con señales no deseadas provenientes de otros satélites [12,13].

La estación terrena que recibe la señal del satélite, la vuelve a procesar para que después sea enviada al otro usuario. La señal proveniente del satélite se recibe mediante la antena receptora, con un adecuado direccionamiento y polarización de la misma para evitar las interferencias de señales provenientes de otros satélites. La señal de alta frecuencia pasa por un amplificador de bajo ruido que le proporciona una alta ganancia y un bajo nivel de ruido, características que influyen en forma importante en la figura de mérito<sup>1</sup>. Más adelante, la alta frecuencia de la señal (frecuencia del enlace hacia la Tierra) es trasladada a la frecuencia que se está manejando en el demodulador. Finalmente, la

---

<sup>1</sup> La figura de mérito es una característica del sistema receptor que describe la capacidad de la estación terrena para recibir la señal del satélite.

$$\begin{aligned} \text{Figura de mérito} &= G / T \text{ o} \\ &= 10 \log G - 10 \log T \end{aligned}$$

Donde:

G: la ganancia de la antena a la entrada del amplificador de bajo ruido, expresada en dB.

T: la temperatura de ruido del sistema receptor referida a la entrada del amplificador de bajo ruido, expresada en dB - K.

señal pasa por el demodulador para ser recuperada la señal original y ser enviada al usuario en el extremo receptor (12,13).

#### 2.4.1.2. Segmento espacial.

El *segmento espacial* comprende al satélite como estación repetidora. Un satélite es una estación relevadora situada en el espacio. Su función principal es recibir la señal proveniente de la estación terrena transmisora, darle el nivel de potencia adecuado y retransmitirla a la Tierra (12,13).

Las comunicaciones comerciales se basan en el uso de satélites situados sobre la línea del ecuador. Estos satélites están a una distancia de 35,880.7 Km de la superficie terrestre y se mueven a una velocidad de 11,400 Km/hr, misma que coincide con la rotación terrestre, de manera que permanecen en una misma posición con respecto a la Tierra. El ancho de banda que maneja un satélite es de 500 MHz (12,13).

El *transponder* (transmisor/receptor) de un satélite es el equipo empleado para recibir la señal de alta frecuencia, amplificarla, cambiarla de frecuencia y retransmitirla a la Tierra (figura 18). Primeramente, la señal de alta frecuencia es recibida por la antena. Después, esta señal es seleccionada en banda y preamplificada; este proceso es muy



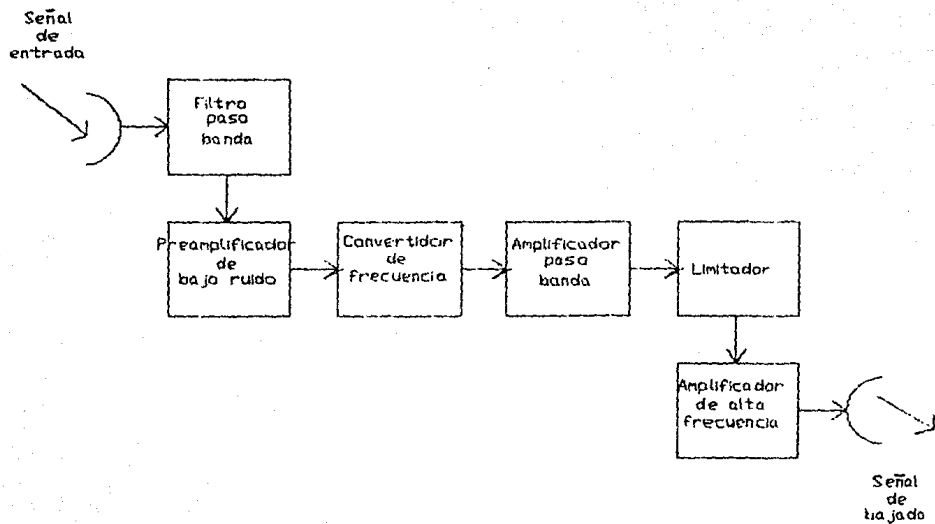


Figura 18. Diagrama a bloques de un transponder.

importante ya que la señal de alta frecuencia captada es de apenas unos cuantos picowatts, los cuales resultan insuficientes para la siguiente parte. Luego la frecuencia de la señal ya preamplificada es trasladada a la frecuencia del enlace hacia la Tierra (4, 12 ó 20 GHz dependiendo de la banda). En la parte final, la señal de alta frecuencia es filtrada en banda y elevada en potencia para su retransmisión hacia la Tierra [12,13].

#### 2.4.2. Enlace de las redes de área local al segmento terrestre.

Las redes de área local son enlazadas al segmento terrestre para utilizar las comunicaciones vía satélite. Primeramente, cada LAN se conecta a una interfaz con la finalidad de acoplar el formato de la trama que transmite al tipo de la trama que maneja la LAN o LAN's a cual se les quiere enviar. Después, la interfaz se conecta al sistema terrestre de microondas para llegar al segmento terrestre y de esta manera emplear las comunicaciones vía satélite.

#### 2.4.3. Estructura de una aplicación.

Una estructura de una aplicación de la interconexión de redes de área local empleando la tecnología vía satélite se muestra en la figura 19. Se ilustran cuatro redes de área local muy distantes geográficamente, dos LAN's son Ethernet, una Token

ring a una tasa de transmisión de 5 Mbps, la cuarta es también Token ring pero a una tasa de 4 Mbps. Las LAN's están conectadas a interfaces y de ahí al sistema terrestre de microondas para llegar a las estaciones terrenas y de esta manera emplear las comunicaciones vía satélite. Como se observa en la figura 19, se establece una comunicación de cada red de área local con las otras LAN's.

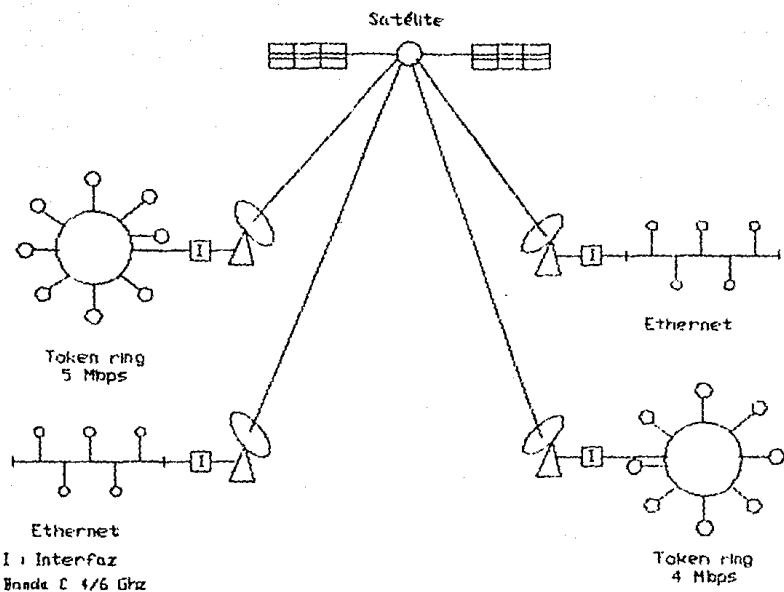


Figura 19. Estructura de una aplicación de la interconexión de redes de área local empleando la tecnología vía satélite.

### Capítulo III. Análisis del rendimiento de la interconexión de redes de área local.

En este capítulo se analiza el rendimiento de la interconexión de redes de área local. El análisis se refiere específicamente a una interconexión de dos Ethernet empleando puentes. Se ha dividido en dos partes principalmente: el rendimiento de LAN's aplicado a Ethernet cuando opera aisladamente y el comportamiento cuando se enlazan dos Ethernet con puentes. En este último, se presenta el desarrollo de la extensión efectuada al estudio de Lazaros F. Merakos [18]. Los resultados de rendimiento obtenidos son válidos bajo los conceptos y consideraciones hechos en cada parte. Estos resultados no reflejan el comportamiento real de Ethernet y de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes, pero dan una buena aproximación del mismo.

### 3.1. Definición de rendimiento.

El rendimiento de una red de área local o bien de una interconexión de LAN's se refiere a su desempeño o comportamiento. Este rendimiento depende tanto de sus elementos de diseño básicos como son : topología, medio de transmisión, protocolo de acceso al medio, tasa de transmisión y en el caso de interconexión de LAN's se incluyen las interfaces utilizadas; así como, los dispositivos conectados, de estos su carga de entrada y la carga ofrecida total, principalmente. Esta cuestión de rendimiento concierne al diseño, selección y operación de redes de área local e interconexión de LAN's para aplicaciones específicas [11,14,15].

### 3.2. Rendimiento de redes de área local Ethernet.

El rendimiento de redes de área local aplicados a Ethernet se trata en forma analítica y gráfica. Se dan las medidas de rendimiento de LAN's comunmente usadas: el retardo, la eficiencia de LAN y la utilización del medio de LAN. Se analiza el rendimiento tanto de LAN como de su medio de transmisión. Al final, se muestra la utilización del protocolo de acceso al medio CSMA/CD que es el empleado en Ethernet. Cabe aclarar, que los resultados obtenidos son una buena aproximación del comportamiento de Ethernet y son validos bajo los conceptos y consideraciones hechos en cada caso.

### 3.2.1. Medidas de rendimiento de LAN's.

Para determinar el rendimiento de redes de área local son comunmente usadas las medidas: el retardo ( $R$ ), la eficiencia de LAN ( $E$ ) y la utilización del medio de LAN ( $U$ ). Estas medidas son validas bajo las consideraciones con las cuales se obtienen. Las medidas se definen de la siguiente manera [18]:

- \* *El retardo ( $R$ )* comprendido desde que un paquete o trama de un nodo esta listo para transmitirse hasta su completa emisión.
- \* *La eficiencia de LAN ( $E$ )* que es la tasa total de datos transmitidos entre dos nodos.
- \* *La utilización del medio de LAN ( $U$ )*, siendo la fracción de la capacidad de LAN (tasa de transmisión) que se usa.

La medida  $E$  se normaliza a menudo al valor de uno y se expresa como una fracción de la capacidad de LAN. Por ejemplo, si en una determinada LAN Ethernet en un período de un segundo, la suma de las tranferencias de datos sucesivas entre nodos fue de 1 Mbps en un medio de transmisión de 10 Mbps, entonces  $E=0.1$ , es decir, el 10% de los 10 Mbps.

Resultados de las medidas  $R$  y  $E$  son generalmente graficados como una función de la carga ofrecida ( $CO$ ), osea de la carga actual o demanda de tráfico presentada en LAN.  $E$  y  $CO$  difieren,  $E$  es una tasa normalizada de datos transmitidos sucesivamente, mientras  $CO$  es la tasa total de datos presentados en LAN para su transmisión.

### 3.2.2. Eficiencia ideal del medio de transmisión de LAN's.

La eficiencia ideal del medio de transmisión de LAN's se muestra en la figura 20. La eficiencia ideal consiste en que la tasa de datos presentados en LAN sea igual a la tasa de datos transmitidos en el medio, es decir, carga ofrecida igual a eficiencia. La representación de  $CO-E$  es razonable desde el punto de vista de red, muestra el comportamiento de LAN basado en la carga actual. Pero, desde el punto de vista del usuario o dispositivo conectado, esto es extraño porque la carga ofrecida no incluye solamente transmisiones de datos, sino también reconocimientos y en el caso de errores o colisiones, retransmisiones [16].

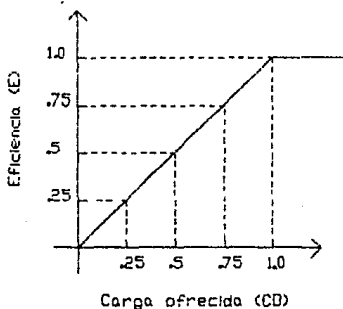


Figura 20. Eficiencia ideal del medio de transmisión de LAN's.



### 3.2.3. Relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.

En la tabla tres se muestra de manera simple las relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada ( $CE$ ). Antes de mencionar las relaciones, cabe decir que la carga de entrada se define como la tasa de datos generada por las estaciones conectadas a LAN. Se considera una LAN con una capacidad  $C=1,000$  tramas/segundo. Por simplicidad  $CE$ ,  $CO$  y  $E$  son expresadas en tramas/segundo. Se asume que el 1% de todas las tramas transmitidas son perdidas y deben ser retransmitidas. Así, con una carga de entrada  $CE=100$  tramas/segundo, una trama por segundo será repetida, por tanto  $CO=101$  y  $E=100$  (se considera que la carga de entrada que se presenta es una solamente por segundo), lo cual lleva en promedio con  $CE=100$  un retardo  $R=0.0505$  segundos. La utilización se define como  $E/\text{capacidad} = 0.1$  ( $100/1,000 = 0.1$ ), es decir, el 10% de la capacidad del sistema.

Las siguientes dos entradas son fáciles de observar que son correctas. Para  $CE=990$ , la capacidad del sistema esta siendo usada ( $CO=1,000$ ). Si  $CE$  se incrementa más allá de este punto, LAN no se mantiene; solo 1,000 tramas/segundo serán transmitidas. Así  $E$  permanece en 990 y  $U$  en 0.99 (99%), pero  $CO$  y  $R$  crecen fuera del límite [16].

CE	CO	E	R	U
100	101	100	0.0505	0.1
500	505	500	0.2425	0.5
990	1,000	990	0.5	0.99
2,000	-	990	-	0.99

Notas:

- Capacidad: 1,000 tramas/seg.
- CE: carga de entrada (tramas/seg.)
- CO: carga ofrecida (tramas/seg.)
- E : eficiencia (tramas/seg.)
- R : retardo (seg.)
- U : utilización (fracción de capacidad;  $U = E/\text{Capacidad}$ ).

Tabla 3. Ejemplo de relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.

#### 3.2.4. Utilización de redes de área local en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión.

A continuación se presenta el desarrollo para poner la utilización de LAN's en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión. Para iniciar es conveniente caracterizar a una LAN por el producto de la tasa de datos o banda ancha ( $B$ ) y la ruta de comunicaciones ( $d$ ). Este término  $B \times d$  o similares es un parámetro importante para determinar el rendimiento de LAN's. De acuerdo a  $B \times d$  el rendimiento de distintas LAN's será el mismo, por ejemplo: para una LAN con topología bus a una tasa de datos de 50 Mbps y con  $d = 1$  km da su producto  $B \times d = 50,000$  Mbps x m y para otra LAN con la misma topología pero a una tasa de 50 Gbps y con  $d = 1$  m da

también 50,000 Mbps x m.

Ahora bien, si  $B \times d$  se divide entre la velocidad de propagación del medio ( $V$ ) da como resultado la longitud del medio de transmisión en bits. La velocidad de propagación para el par trenzado y el cable coaxial es una constante casi igual. Una buena aproximación para la velocidad de propagación de estos medios es  $2/3$  de la velocidad de la luz o sea  $2 \times 10^8$  m/s. Un análisis dimensional de  $(B \times d) / V$  muestra que es igual a la longitud del medio de transmisión en bits, es decir, al número de bits que pueden estar en transición entre dos nodos al mismo tiempo. Una LAN Ethernet a una tasa de transmisión de 10 Mbps y con  $d = 500$  m tiene una longitud del medio en bits de 25; una LAN a una tasa de datos de 50 Mbps y  $d = 1$  km tiene una longitud del medio en bits de 250 [16].

Las redes de área local tienen regularmente una longitud del medio de transmisión en bits más corta que la trama típica. La comparación entre la longitud de la ruta de datos y la trama típica se denota usualmente por " $\alpha$ ":

$$\alpha = \frac{\text{longitud del medio de transmisión (en bits)}}{\text{longitud de trama (L)}} \quad (1)$$

Manipulando la ecuación (1):

$$\alpha = \frac{(B \times d) / V}{L} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{d / V}{L / B} \quad (3)$$

Donde:

$d / V$  es el tiempo de propagación en el medio (peor de los casos).

$L / B$  es el tiempo de transmisión, es decir el tiempo que toma un transmisor para poner una trama en el medio.

Se obtiene:

$$\alpha = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}} \quad (4)$$

El parámetro "α" en términos generales es mejor cuando se aproxima a cero porque significa que el tiempo de propagación en el medio es más pequeño que el tiempo de transmisión. Valores típicos de "α" para LAN's con topología bus están en el rango de 0.01 a 0.1 y son mostrados en la tabla cuatro [16].

Una buena aproximación del cálculo de la utilización posible máxima de LAN's consiste en expresarla como la razón de la eficiencia total de LAN entre su capacidad o ancho de banda:

$$U = \frac{\text{eficiencia total}}{B} \quad (5)$$

$$U = \frac{L / (\text{tiempo de propagación} + \text{tiempo de transmisión})}{B} \quad (6)$$

$$U = \frac{L / (d/V + L/B)}{B} = \frac{L}{(Bd/V) + L} = \frac{L}{(Bd + VL) / V}$$

Tasa de transmisión (R) (Mbps)	Longitud del medio(d) (km)	$\frac{B \times d}{V}$ (bits)	Tamaño de trama o paquete(L) (bits)	d/V (useq)	L/B (useq)	$\alpha = \frac{d/V}{L/B}$	Valores típicos
1	1	5	100	5	100	0.05	*
1	10	50	1,000	50	1,000	0.05	*
1	10	50	100	50	100	0.5	
10	1	50	100	5	10	0.5	
10	1	50	1,000	5	100	0.05	*
10	10	500	1,000	50	100	0.5	
10	10	500	10,000	50	1,000	0.05	*
50	1	250	10,000	5	200	0.025	*
50	1	250	100	5	2	2.5	

Velocidad de propagación(V)=  $2 \times 10^8$  m/seg.

Tabla 4. Valores típicos de "α" para LAN's con topología bus  
están en el rango de 0.01 a 0.1.

$$U = \frac{VL}{Bd + VL} \rightarrow \frac{1}{U} = \frac{Bd + VL}{VL} = \frac{Bd}{VL} + 1$$

De acuerdo a la ecuación (3) se obtiene que:  $\alpha = Bd/VL$ , por tanto:

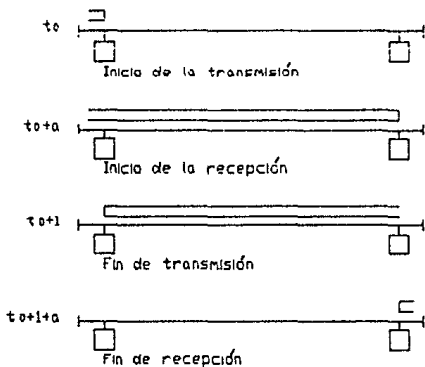
$$\frac{1}{U} = \alpha + 1 \rightarrow U = \frac{1}{1 + \alpha} \quad (7)$$

Como lo determina la ecuación (7) la utilización de LAN's varía inversamente con respecto a "α". En la figura 21 se muestra el efecto de "α" en la utilización para dos casos: cuando el tiempo de propagación = α < 1 y cuando este tiempo es igual α > 1. El efecto de "α" se efectúa en una LAN con sistema de transmisión banda base bus con dos estaciones tan apartadas como sea posible (peor de los casos) que toman turnos enviando tramas. El tiempo de transmisión de trama se normaliza a uno, la secuencia de eventos es:

1. Una estación inicia su transmisión en to.
2. La recepción se inicia en to + α.
3. La transmisión se completa en to + 1.
4. La recepción finaliza en to + 1 + α.
5. La otra estación inicia su transmisión.

En la figura 21 se representan dos efectos de "α" de suma importancia: cuando α > 1, es decir cuando el tiempo de propagación es mayor al tiempo de transmisión el evento dos ocurre después del evento tres y el otro efecto consiste en que en ambos casos el tiempo de uso del bus es 1 + α, pero el tiempo de transmisión es solamente uno, para una utilización

Tiempo de propagación =  $\alpha l$       Tiempo de transmisión = 1



$$a = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}}$$

Tiempo de transmisión de paquete = 1

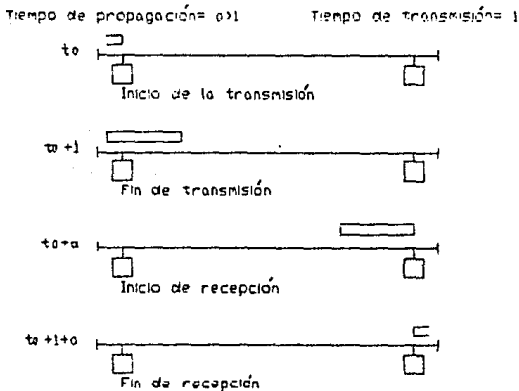
Tiempo de uso del bus =  $1+a$

Utilización =  $1/(1+a)$

Figura 21.a. Efecto de "a" en la utilización para una LAN con sistema de transmisión banda base bus ( $\alpha < 1$ ).

de  $1 / 1+a$  [16,17].

La utilización de LAN en función de "a" se muestra en la figura 22 y el efecto de "a" en la eficiencia del medio de transmisión en la figura 23. Tanto la utilización de LAN como la eficiencia del medio de transmisión decrecen de acuerdo como se incrementa "a". Cuando "a" es proxima a cero la



$$a = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}}$$

Tiempo de transmisión de paquete = 1

Tiempo de uso del bus =  $1+a$

Utilización =  $1/(1+a)$

Figura 21.b. Efecto de 'a' en la utilización para una LAN con sistema de transmisión banda base bus ( a ) | ).

utilización y la eficiencia tiende a uno, es decir al 100%, pero cuando "a" tome valores altos  $U$  y  $E$  se aproximan a cero. Cabe decir, que los bits de cabecera atribuidos a un protocolo de acceso al medio desperdician la banda ancha y por tanto reducen la utilización y eficiencia efectiva.



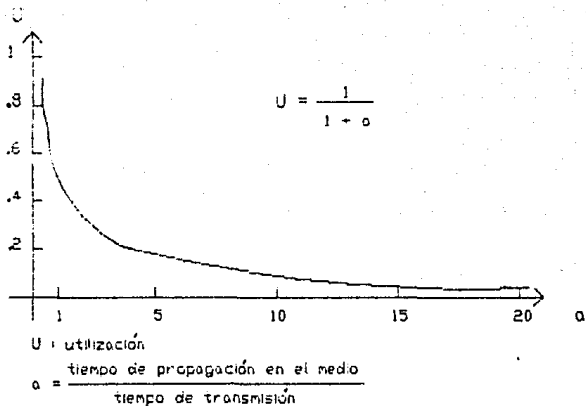


Figura 22. Utilización de LAN en función de 'a'.

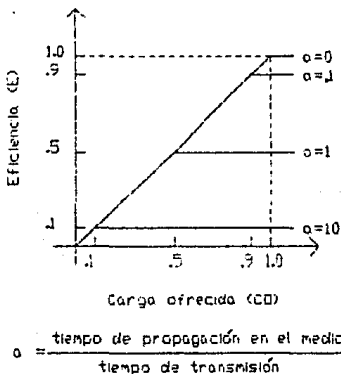


Figura 23. Efecto de 'a' en la eficiencia del medio de transmisión.

En algunos casos, será deseable mantener " $\alpha$ " tan baja como sea posible. De acuerdo a la formula  $\alpha = \text{longitud del medio de transmisión} / \text{longitud de trama (L)}$ , puede ser reducida " $\alpha$ " incrementando el tamaño de la trama. Esto solamente será usado si la longitud del mensaje producido por una estación es múltiplo del tamaño de la trama (excluyendo los bits de cabecera). De otra manera, las tramas largas son un fuerte desperdicio; más aún, una trama larga incrementa el retardo para las otras estaciones.

### 3.2.5. Número de terminales máximo de la eficiencia total de LAN's basado en su carga ofrecida.

En LAN's hay tres regiones de operación basadas en la magnitud de la carga ofrecida. Estas regiones son la de bajo retardo, de alto retardo y la de retardo fuera de límite. Se definen a continuación las regiones [16]:

- \* La *región de bajo retardo* es aquella donde la capacidad de LAN es mayor a la que se necesita para manejar la carga ofrecida.
- \* La *región de alto retardo* se localiza donde LAN alcanza su saturación. En esta región, el tiempo empleado para controlar el acceso al medio de LAN es mayor al tiempo de transmisión de datos.
- \* La *región de retardo fuera de límite* es donde la carga ofrecida excede la capacidad de LAN.

La región de retardo fuera de límite se identifica fácilmente. Por ejemplo, considerese una LAN con una capacidad de 1 Mbps, 1,000 estaciones

conectadas y un tamaño de trama = 1,000 bits. Si cada estación genera datos arriba de una trama por segundo, la carga ofrecida excede la capacidad de 1 Mbps y como consecuencia el retardo en cada estación será mayor.

De acuerdo a lo anterior, una LAN debe evitar la región de retardo fuera de límite. LAN trata también de evitar la región de alto orden porque implica un uso ineficiente; más aún, un inesperado surgimiento de datos en esta segunda región causará un retardo alto. Con lo que respecta, a la región de bajo retardo no alcanzará su saturación LAN.

LAN's deben operar abajo del límite de la región de bajo retardo con respecto a la región de alto retardo. Si LAN opera abajo de este límite no causará saturación de transmisión de datos. Si opera arriba del límite, provocará saturación y retardos en las transmisiones de las diferentes estaciones.

A continuación, la eficiencia de LAN's se determina de acuerdo a la carga ofrecida del número de estaciones, no considerando por el momento el protocolo de acceso al medio. Para tal efecto se necesitan tres parámetros:

\*  $T_{libre}$  = tiempo promedio que una estación esta libre entre intentos de transmisión (la estación no tiene mensajes para transmitir).

\*  $T_{msj}$  = tiempo requerido para transmitir un mensaje al medio de transmisión.

\*  $E_{total}$  = eficiencia total promedio de mensajes por unidad de tiempo para LAN.

Para la carga ofrecida se asume que hay  $N$  estaciones activas, cada una con los mismos requerimientos de generación de carga. Para encontrar un limite superior de eficiencia total de LAN's se considera el caso ideal en cual no hay retardo de espera, es decir, cada estación alterna entre libre y transmisión con una eficiencia de  $1 / (T_{libre} + T_{msj})$ . La eficiencia total de LAN's máxima es ahora la sumatoria de las eficiencias de todas las  $N$  estaciones:

$$E_{total} \leq \frac{N}{T_{libre} + T_{msj}} \quad (8)$$

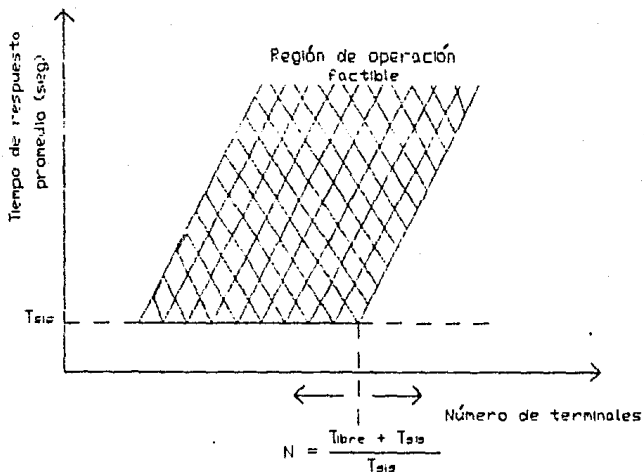
Este limite superior se encuentra como  $N$  aumenta, pero es solamente razonable abajo de la capacidad de LAN, la cual se expresa como:

$$E_{total} \leq \frac{1}{T_{msj}} \quad (9)$$

El número de estaciones máximo a punto de ruptura ocurre en:

$$\frac{N}{T_{libre} + T_{msj}} = \frac{1}{T_{msj}} \quad (10)$$

$$N = \frac{T_{libre} + T_{msj}}{T_{msj}} \quad (11)$$



N : número de terminales

Tsis: sustituye a Tmsj

Figura 24. Región de operación factible de LAN's  
(no se consideran bits de cabecera).

Este punto de ruptura define dos regiones de operación de LAN's. Con el número de estaciones abajo del punto de ruptura, LAN no genera la bastante carga para utilizar completamente su capacidad de LAN. Sin embargo, arriba del punto de ruptura, LAN se satura ocasionando su completa utilización y no puede satisfacer las demandas de las estaciones conectadas (figura 24).

El punto de ruptura se observa razonablemente si se considera que la capacidad de LAN es  $1/T_{\text{mej}}$ . Por ejemplo, si el tiempo de transmisión de un mensaje toma  $1\mu\text{seg}$  entonces la tasa de transmisión es  $10^6$  mensajes por segundo. Si la cantidad de tráfico generada por las  $N$  estaciones  $N / (T_{\text{libre}} + T_{\text{mej}})$  excede la capacidad de LAN los mensajes obtendrán atrasos e incrementos de retardo. El tráfico se incrementa por el aumento del número de estaciones ( $N$ ) o por el incremento de la tasa de mensajes de las estaciones, que también ocasiona la reducción de  $T_{\text{libre}}$ .

El uso de la ecuación (11) se clarifica con el siguiente ejemplo. Considere una estación de trabajo conectada a una LAN de 1 Mbps que genera en promedio tres mensajes por minuto con una longitud promedio de 500 bits y un tiempo de transmisión de mensaje igual a 500  $\mu\text{seg}$ , el tiempo libre promedio es 19.8 seg. El número de estaciones máximo o punto de ruptura es aproximadamente:

$$N = \frac{19.8 + (500 \times 10^{-6})}{500 \times 10^{-6}} = \frac{20}{500 \times 10^{-6}}$$

= 40,000 estaciones

Si el número de estaciones es menor que 40,000, por ejemplo 1,000 la congestión no será un problema. Sin embargo, si es mayor, tal el caso de 100,000 la congestión tiende a ser un problema fuerte.

Los calculos anteriores estan basados en un sistema que no tiene bits de cabecera. Ellos dan limites para LAN's con un comportamiento perfecto. Un camino para justificar los bits de cabecera es reemplazar  $T_{msj}$  por  $T_{sis}$ , donde  $T_{sis}$  incluye un estimado de los bits de cabecera por paquete ( $T_{msj}$  se sustituye por  $T_{sis}$  en la figura 24).

### 3.2.6. Utilización del protocolo de acceso al medio CSMA/CD.

A continuación se trata la utilización del protocolo de acceso al medio CSMA/CD (*Ucsma/cd*). La utilización máxima se analiza en función del parámetro "a" y N estaciones, además se dan los resultados de un análisis realizado por el comite IEEE 802 acerca de este protocolo de acceso. Se considera una LAN con N estaciones y en cada caso cuantas estaciones estan activas, es decir, listas para transmitir mensajes.

Para el protocolo de acceso al medio CSMA/CD se considera el tiempo del medio organizado en "slots" con una longitud de dos veces el retardo de propagación de fin a fin. El tiempo de "slot" es el tiempo requerido para detectar una colisión desde que se inicia una transmisión. Se asume una generación de carga igual por cada una de las N estaciones activas de LAN. La carga se expresa como la probabilidad que una estación tiene para transmitir una trama durante algún "slot" [16].

El tiempo en el medio consiste de dos tipos de intervalos. Un intervalo de transmisión con duración de  $1/2$  a "slots" y un intervalo de contención con duración de una secuencia de "slots" con entrada a una colisión o no transmisión en cada "slot". La utilización de CSMA/CD es ahora la proporción del tiempo empleado en los intervalos de transmisión [16].

Antes de determinar la longitud promedio de un intervalo de contención, iniciamos por el cálculo de  $A$ , la probabilidad exacta de una estación al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio. Esto es una probabilidad binomial en que alguna estación intenta transmitir y las otra no [16]:

$$A = \binom{N}{1} P (1 - P)^{N-1} \quad (12)$$

$$= N P (1 - P)^{N-1} \quad (13)$$

Donde:

$N$  : número de estaciones

$P$  : probabilidad

Esta función toma su máximo sobre  $p$  cuando  $P=1/N$ :

$$A = (1 - 1/N)^{N-1} \quad (14)$$

La utilización máxima de CSMA/CD será alcanzada si maximizamos la probabilidad del tamaño sucesivo del medio. Lo anterior se alcanza forzando la



siguiente regla: durante periodos de uso pesado, una estación debe contener su carga ofrecida a 1/N. Cabe aclarar, que durante periodos de tráfico ligero, la utilización máxima no puede ser alcanzada porque la carga ofrecida total es baja.

La longitud promedio de un intervalo de contención ( $y$ ) en "slots" se estima de la siguiente manera [17]:

$$E[y] = \sum_{x=1}^{\infty} x \cdot \text{Pr} [x \text{ "slots" comprendido por una colisión o no transmisión seguida por un "slot" con una transmisión}] \quad (15)$$

$$= \sum_{x=1}^{\infty} x (1-A)^x A \quad (16)$$

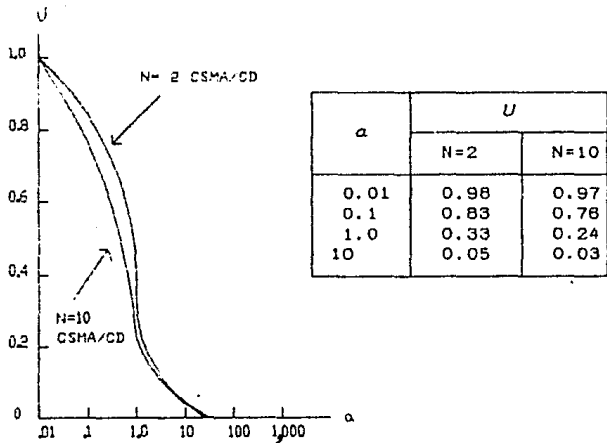
La sumatoria converge en  $E[y] = (1-A) / A \quad (17)$

La utilización máxima de CSMA/CD se determina como una proporción de la longitud de un intervalo de transmisión con respecto a un ciclo comprendido por un intervalo de transmisión y uno de contención [16,17].

$$U_{CSMA/CD} = \frac{1/2 \alpha}{1/2 \alpha + (1-A)/A} = \frac{1}{1+2\alpha (1-A)/A} \quad (18)$$

El comportamiento de la utilización normalizada de CSMA/CD como una función de " $\alpha$ " para dos valores de N se muestra en la figura 25. La utilización de CSMA/CD decrece como " $\alpha$ " se incrementa. Cuando

$\alpha=0.01$ , la utilización se aproxima a uno (100%), mientras que cuando  $\alpha=10$  tiende la utilización a cero, es decir al 0 % .



Donde:

$U$  : utilización de CSMA/CD

$\alpha = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}}$

$N$  : número de estaciones activas

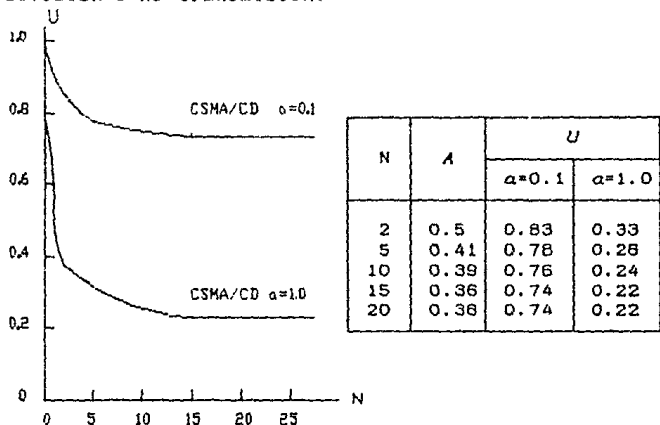
$A$  : probabilidad de una estación al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio.

$A = (1 - (1/N))^{N-1}$  ;  $A_{N=2} = 0.5$  ;  $A_{N=10} = 0.39$

$$U_{\text{CSMA/CD}} = \frac{1}{1 + 2\alpha \frac{1-A}{A}}$$

Figura 25. Utilización de CSMA/CD en función de " $\alpha$ ".

La figura 26 muestra la utilización normalizada de CSMA/CD como una función de N estaciones activas. La utilización decrece de acuerdo al aumento de estaciones, porque se incrementa la probabilidad de colisión o no transmisión.



Donde:

U : utilización de CSMA/CD

N : número de estaciones activas

$\alpha = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}}$

A : probabilidad de una estación al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio.

$$A = (1 - (1/N))^{N-1}$$

$$U_{\text{CSMA/CD}} = \frac{1}{1 + 2\alpha \frac{1-A}{A}}$$

Figura 26. Utilización de CSMA/CD en función de N.

Se muestra en [16,17] que el límite  
 $\lim_{N \rightarrow \infty} (1 - 1/N)^{N-1} = 1/e$ , por tanto:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} UCSMA/CD = \frac{1}{1 + 3.44 \alpha} \quad (19)$$

El retardo para CSMA/CD es más difícil de expresarse. En general, se puede decir que el retardo crece fuera de límite cuando LAN alcanza su saturación. Cuando N se incrementa hay más colisiones e intervalos de contención más largos y por tanto tramas individuales deben hacer más intentos para alcanzar su transmisión.

Los siguientes resultados del análisis realizado por el comité IEEE 802 muestran también que la utilización de CSMA/CD decrece como " $\alpha$ " y N aumentan, además de otros resultados de interés [16,17]. Este análisis considera una LAN con un bus de 2 km, 100 estaciones, longitudes de paquetes de 500 y 2,000 bits y segundos momentos de retardo. Dos casos son tratados en LAN, cuando una estación está activa de las 100 estaciones y para la congestión de LAN cuando 100 estaciones están activas. Las gráficas de los resultados de los casos se muestran en la figura 27. En las gráficas, el eje de las abscisas es la tasa de transmisión, notece que de acuerdo a la tabla 5 el parámetro " $\alpha$ " se incrementa como la tasa de transmisión aumenta, los valores de " $\alpha$ " son más pequeños y mejores para una longitud de paquete de 2,000 bits que para 500 bits; el eje de las ordenadas

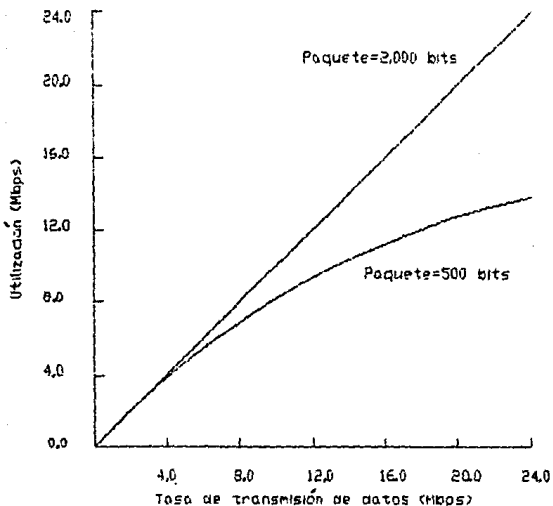


Figura 27.a. Utilización de CSMA/CD (Mbps) en función de la tasa de transmisión (longitudes de paquetes 500 y 2,000 bits) 1 estación activa de 100 estaciones.

es la utilización de CSMA/CD en Mbps.

Quando una estación esta activa se considera que siempre tiene mensajes para transmitir (figura 27.a). En este caso, la utilización de CSMA/CD decrece ligeramente de acuerdo a los aumentos de la tasa de transmisión y el comportamiento de CSMA/CD es mejor para una longitud de paquete de 2,000 bits que

para 500 bits, puesto que sus valores de "a" son mejores. Cabe aclarar, que una estación puede proveer la suficiente carga para la utilización completa de LAN.

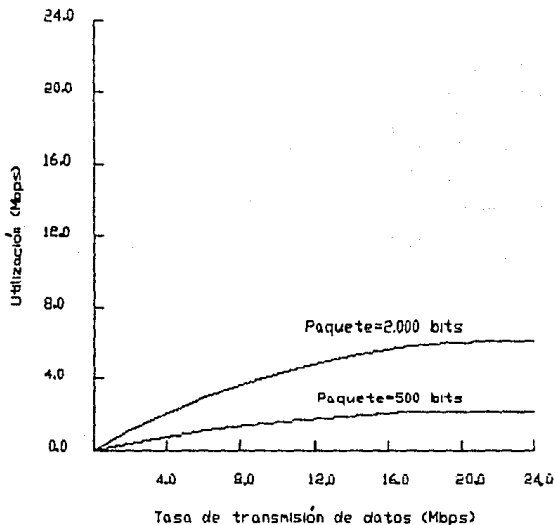


Figura 27.b. Utilización de CSMA/CD (Mbps) en función de la tasa de transmisión (longitudes de paquetes 500 y 2,000 bits); 100 estaciones activas de 100 estaciones.

Cuando 100 estaciones tienen mensajes para transmitir representa la congestión de LAN. Se observa de la figura 27.b que la utilización de CSMA/CD decrece drásticamente como la tasa de transmisión aumenta y es mejor para una longitud de paquete de 2,000 bits. Un fenómeno de interés para el tamaño de paquete de 500 bits es que para la tasa de transmisión de 5 Mbps, la utilización máxima de CSMA/CD es 0.75 Mbps, pero si la carga alcanzará 2 Mbps la tasa de transmisión debería incrementarse a 10 o 20 Mbps.

Tasa de transmisión(B) (Mbps)	Longitud del medio(en bits) $\frac{B \times d}{V}$	$\alpha$	
		L = 500 bits	L = 2,000 bits
4	40	0.08	0.02
8	80	0.16	0.04
12	120	0.24	0.08
16	160	0.32	0.08
20	200	0.4	0.1
24	240	0.48	0.12

$d=2$  km;  $V= 2 \times 10^8$  m/n;  $L=$  longitud de paquete;

$$\alpha = \frac{\text{Longitud del medio (en bits)}}{\text{Longitud del paquete}}$$

Tabla 5. Cálculo de "α" para diferentes tasas de transmisión y longitudes de paquetes de 500 y 2,000 bits.

### 3.3. Rendimiento de la interconexión de dos redes de área local Ethernet empleando puentes.

A continuación se presenta el análisis desarrollado como resultado de una extensión del trabajo de Lazaros F. Merakos [18] para determinar el rendimiento de la interconexión de dos LAN's Ethernet con sistema de transmisión banda base empleando puentes. Para la interconexión de dos Ethernet se muestra su modelo conceptual, se analiza su estabilidad y rendimiento y se dan las características del retardo promedio de paquete. Este análisis da una buena aproximación del comportamiento de la interconexión de dos Ethernet.

En la interconexión de dos redes de área local Ethernet empleando puentes se considera que se conectan a cada LAN una gran cantidad de usuarios utilizando desde luego el protocolo CSMA/CD. Las comunicaciones de interconexión de LAN's son llevadas a cabo por medio de un enlace punto a punto, llamado *enlace puente* que conecta a dos puentes. En cada LAN, un puente recibe de sus usuarios locales los paquetes con destino en la otra LAN llamados paquetes "inter-LAN" y los trasmite hacia la otra LAN vía el enlace punto a punto; en el puente de la LAN destino hacen cola los paquetes "inter-LAN" para su emisión a estos usuarios locales.



Las funciones principales de los puentes son:

- \* Estar listo para todas las transmisiones de paquetes de su propia LAN y aceptar aquellos con destino en la otra LAN.
- \* Retransmitir paquetes "inter-LAN" para el puente de la otra LAN usando el enlace puente.
- \* Emitir paquetes "inter-LAN" recibidos desde el otro puente para los usuarios de su propia LAN (usuarios locales).

En el canal de enlace puente se asume una multicanalización por división de frecuencia o tiempo. La multicanalización permite tener dos caminos de comunicación entre los puentes. Las transmisiones en el enlace puente no interfieren con las emisiones en los canales de transmisión de LAN's.

En los medios de transmisión de LAN's se tienen transmisiones de usuarios locales y del puente que son emisiones de los usuarios de la otra LAN. Las dos transmisiones son coordinadas bajo el protocolo de acceso al medio CSMA/CD.

El rendimiento de la interconexión de dos LAN's empleando puentes depende de la cantidad de tráfico "inter-LAN" y de su disponibilidad de recursos (medios de transmisión de LAN's y el canal de enlace puente). Debido al tráfico "inter-LAN", el cual presenta una carga adicional en cada uno de los medios de transmisión, el rendimiento de LAN en la interconexión de LAN's será menor que cuando esta opera aisladamente.

### 3.3.1. Modelo de la interconexión de dos Ethernet.

Se usa la letra  $i$  ( $i=1,2$ ) como un subíndice para denotar cantidades asociadas de LAN $i$  y la letra  $j$  para referir cantidades de la otra LAN, por ejemplo: si  $i=1$  entonces  $j=2$  y si  $i=2$  luego  $j=1$ .

En LAN $i$ , los procesos de generación de paquetes acumulativos se aplican de acuerdo a un proceso de Poisson independiente con intensidad de  $\lambda_i$  paquetes por segundo. Los paquetes tienen una longitud constante igual a  $b_i$  bits.

Para los medios de transmisión se define:

$W_i$  : banda ancha disponible del medio en LAN $i$  en bits por segundo (bps).

$R_i$  : retardo de propagación máximo entre cualquiera de dos usuarios en LAN $i$ , en segundos.

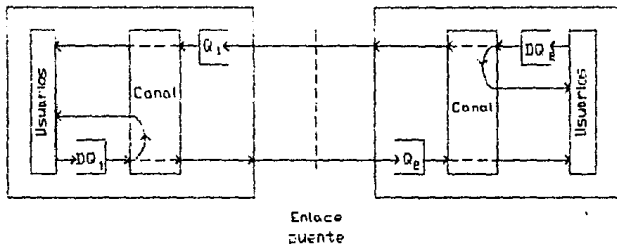
En LAN $i$ ,  $W_i$  se particiona unicamente para fines del análisis. Un ancho de banda  $Z_i W_i$  bps se asigna a los usuarios locales de LAN $i$  y un ancho de banda  $(1-Z_i)W_i$  bps para el tráfico "inter-LAN", donde  $0 < Z_i < 1$ ;  $Z_i$  es un parámetro para ser optimizado para alcanzar un rendimiento máximo.

Se asume que un paquete generado en LAN $i$  es un paquete "inter-LAN" con probabilidad  $P_i$ , independientemente de cualquier cosa en la interconexión de dos Ethernet. Un paquete no "inter-LAN" se llama "local", este tiene su destino final en la LAN en cual fue generado, por tanto tal

paquete deja la interconexión de dos Ethernet después de que ha sido transmitido sucesivamente dentro de los usuarios locales. Un paquete "inter-LAN" generado en LAN 1(2) tiene su destino final en LAN 2(1), por tanto tal paquete deja la interconexión de dos Ethernet después de que ha sido transmitido en ambas LAN's. Esto se lleva a cabo en tres pasos: transmisión a los usuarios locales (primer paso), el paquete "inter-LAN" se emite desde el puente de LAN 1(2) hacia la LAN destino vía el enlace puente (segundo paso) y el puente de LAN destino recibe el paquete y lo transmite para los usuarios locales vía el medio de transmisión de esta LAN (tercer paso).

Los paquetes generados en LAN pueden llegar al puente más rápido de que puedan ser transmitidos, por tanto el puente debe contener un buffer (también llamado comunmente cola) suficientemente grande en el cual los paquetes esten haciendo cola. De hecho, dos colas deben existir: la *cola de enlace* donde hacen cola los paquetes para ser emitidos hacia el otro puente por medio del enlace puente y la *cola local* en la cual hacen cola los paquetes para ser transmitidos para los usuarios locales. Por simplicidad, será asumido que el tiempo de transmisión de un paquete sobre el enlace puente es menor que en el medio de transmisión de los usuarios locales y por tanto la cola de enlace será ignorada. Para la cola local será asumido un buffer infinito y una disciplina de servicio conocida como "primero en entrar primero en

salir" (FIFO, de sus siglas en inglés first input first output). También, el retardo de propagación del enlace puente y los retardos de procesamiento en los puentes serán ignorados.



- $Q_1$  : cola del puente 1 de LAN1
- $Q_2$  : cola del puente 2 de LAN2
- $DQ_1$  : cola local de LAN1
- $DQ_2$  : cola local de LAN2

Figura 28. Modelo de la Interconexión de dos LAN's Ethernet empleando puentes (flujo de paquetes).

El flujo de paquetes del modelo de la interconexión de dos LAN's Ethernet empleando puentes (5) se muestra en un diagrama de bloques en la figura 28. La cola  $DQ_i$  se considera distribuida y como un dispositivo de almacenamiento "abstracto" conteniendo todos los paquetes generados en LAN $_i$ ,

pero ahora no transmitidos sucesivamente sobre el medio de transmisión local. La cola  $Q_i$  es la cola del puente  $i$  de LAN $i$ . Un paquete generado en LAN $i$  se almacena en la cola  $DQ_i$  durante su emisión sucesiva en su medio de transmisión y el paquete se envía de  $DQ_i$  vía el enlace puente a la cola  $Q_i$ , siempre y cuando el paquete sea "inter-LAN".

Como se observa de la figura 28, la interconexión de dos LAN's Ethernet consiste de cuatro colas interactuando,  $S=(DQ_1, Q_2, DQ_2, Q_1)$ . Regularmente, las fracciones de banda ancha  $Z_1$  y  $Z_2$  son fijas y  $S$  se descompone en dos subsistemas de colas  $S_1=(DQ_1, Q_2)$  y  $S_2=(DQ_2, Q_1)$ , los cuales se tratan en forma independiente.

### 3.3.2. Estabilidad de la interconexión de dos Ethernet.

Se representa a  $Q$  como alguna de las cuatro colas de la interconexión de dos Ethernet y a  $X_n$  como el retardo del paquete arribado  $n$  en  $Q$  ( $X_n$  es el tiempo desde el arribo del paquete  $n$  en  $Q$  hasta su completo envío de  $Q$ ). La cola  $Q$  tiene un estado fijo si  $X_n$  converge a una variable aleatoria "X" cuando  $n \rightarrow \infty$ . "X" será referida como el retardo de estado fijo de la cola. Se define a la cola  $Q$  como estable si tiene un estado fijo y el retardo del estado fijo es finito con probabilidad uno. La interconexión de dos Ethernet o bien uno de sus subsistemas es estable si sus colas constitutivas son estables. Por lo

tanto, el subsistema  $S_i$  tiene una eficiencia máxima de  $\bar{n}_i$  paquetes por segundo si este es estable para toda  $\bar{\lambda}_i < \bar{n}_i$  y no estable para toda  $\bar{\lambda}_i > \bar{n}_i$ . Por definición, la interconexión de dos Ethernet  $S$  es estable para todo par de tráfico de entrada  $(\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2)$ , tal que  $\bar{\lambda}_1 < \bar{n}_1$  y  $\bar{\lambda}_2 < \bar{n}_2$ .

### 3.3.2.1. Estabilidad de la cola $DQ_i$ .

La cola  $DQ_i$  es una cola distribuida conceptualmente para la banda ancha de los usuarios locales en LAN $_i$ . La estabilidad de  $DQ_i$  depende del algoritmo CSMA/CD.

Se asume que el algoritmo CSMA/CD usado en LAN $_i$  es estable.  $DQ_i$  es estable si y solo si la siguiente condición se mantiene:

$$\lambda_i^* < E_i \quad (20)$$

Donde:

$\lambda_i^*$ : tasa de entrada en LAN $_i$  en paquetes por tiempo de transmisión de paquete.

$E_i$ : eficiencia del algoritmo CSMA/CD en paquetes por tiempo de transmisión de paquete.

La eficiencia del algoritmo CSMA/CD depende de:

$\alpha_i$ : razón del retardo de propagación máximo del medio con respecto al tiempo de transmisión de paquete.

$\beta_i$ : razón del tiempo de conflicto en el tiempo de transmisión de paquete.

Así,  $E_i$  es una función de los parámetros anteriores:

$$E_i = E_i(\alpha_i, \beta_i) \quad (21)$$

La variable de diseño  $Z_i$ , la cual especifica el ancho de banda ( $Z_i W_i$ ) de los usuarios locales en LAN $_i$  afecta los parámetros  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  y por tanto la estabilidad de  $DQ_i$ .  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  se pueden expresar en función de  $Z_i$ :

$$\alpha_i(Z_i) = T_i / T_i(Z_i) \quad (22)$$

$$\beta_i(Z_i) = \beta_i(Z_i) / T_i(Z_i) \quad (23)$$

Donde:

$T_i(Z_i)$  : tiempo de transmisión de paquete (en segundos).

$\beta_i(Z_i)$  : tiempo de conflicto (en segundos) en LAN $_i$  para los usuarios locales.

Puesto que, los paquetes tienen una longitud de  $b_i$  bits se puede expresar  $T_i(Z_i)$  como:

$$T_i(Z_i) = \frac{b_i}{Z_i W_i} \quad (24)$$

Como muestra Lazaros F. Merakos [19] para el protocolo de acceso CSMA/CD que los parámetros  $\alpha_i(Z_i)$  y  $\beta_i(Z_i)$  pueden ser expresados en forma normalizada de  $\alpha_i(1)$  y  $\beta_i(1)$ . Estos parámetros de LAN $_i$ , cuando operan solos se expresan como:

$$\alpha_i(Z_i) = Z_i \alpha_i(1), \quad \alpha_i(1) < 1 \quad (25.a)$$

$$\beta_i(Z_i) = \beta_i(1) - (1-Z_i)\alpha_i(1) \quad (25.b)$$

El tráfico de entrada en LAN<sub>i</sub> en paquetes por tiempo de transmisión de paquete ( $\lambda_i^*$ ) es por sí solo una función de  $Z_i$ .  $\lambda_i^*$  también es igual a  $\bar{\lambda}_i T_i(Z_i)$ , donde  $\bar{\lambda}_i$  es la intensidad de paquetes por segundo de un proceso de Poisson. Por uniformidad de datos normalizados, el tráfico de entrada en LAN<sub>i</sub> será medido en paquetes por  $T_i(1)$  segundos y será denotado por  $\lambda_i$  independientemente de  $Z_i$  usado. Notece que  $\lambda_i = \bar{\lambda}_i T_i(1) = \lambda_i^* Z_i$  y por tanto la ecuación 20 llega a ser:

$$\lambda_i < Z_i E_i(\alpha_i(Z_i), \beta_i(Z_i)) \quad (26)$$

Donde:

$\alpha_i(Z_i)$  y  $\beta_i(Z_i)$  vienen dadas por la ecuación (25).

La figura 29 muestra como la eficiencia de CSMA/CD  $Z_i E_i(\alpha_i(Z_i), \beta_i(Z_i))$  varia con respecto al parámetro  $Z_i$  (fracción del ancho de banda), para varios valores de  $\alpha_i(1)$  y  $\beta_i(1) = 2\alpha_i(1)$ . La eficiencia de CSMA/CD tiende a ser uno, es decir al 100% cuando los parámetros  $\alpha_i(1)$  y  $\beta_i(1)$  son proximos a cero, mientras que la eficiencia de CSMA/CD converge a cero cuando  $\alpha_i(1)$  y  $\beta_i(1)$  aumentan.

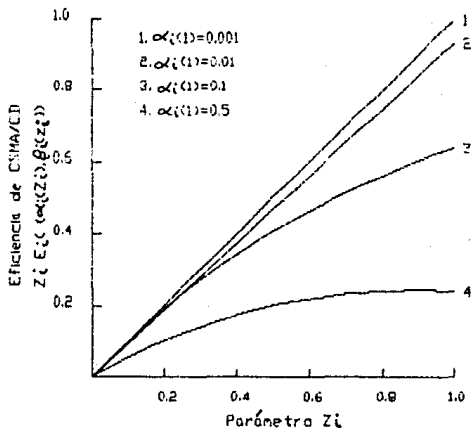
### 3.3.2.2. Estabilidad de la cola $Q_j$ .

En la cola  $Q_j$  en el subsistema  $S_i$  se define:

$a_j$ : tasa de arribo promedio en  $Q_i$ , en paquetes por  $T_i(1)$  segundos.

$TS_j$ : tasa de servicio promedio (por ejemplo: el reciproco del tiempo promedio para transmitir un paquete) en  $Q_j$ , en paquetes por  $T_i(1)$  segundos.





$Z_i$  : fracción de ancho de banda de LAN*i*  
 $\beta_i = 2 \alpha_i(1)$

Figura 29. Eficiencia de CSMA/CD  $Z_i E_i(\alpha_i(Z_i), \beta_i(Z_i))$  en función del parámetro  $Z_i$ .

Muestra Lazaros F. Merakos [19] para el protocolo de acceso al medio CSMA/CD que la siguiente condición es necesaria y suficiente para la estabilidad de  $Q_j$ .

$$a_j < TS_j \quad (27)$$

Un paquete "inter-LAN" con probabilidad  $P_i$  se transmite desde la cola  $DQ_i$  hacia la cola  $Q_j$ . El proceso de arribo de paquetes en  $Q_j$  se obtiene desde

la emisión de  $DQ_i$  y un experimento de Bernoulli independiente con probabilidad  $P_i$  [19]. Si  $\lambda_i$  satisface la ecuación 26 entonces  $DQ_i$  es estable y la tasa de envío promedio desde  $DQ_i$  es igual a  $\lambda_i$ , así:

$$a_j = P_i \lambda_i \quad (28)$$

Un paquete en  $Q_j$  tiene una longitud de  $b_i$  bits y se envía sobre el medio de transmisión de los usuarios locales de LAN $_j$ ; cabe decir que para el tráfico "inter-LAN" se tiene un ancho de banda de  $(1-Z_j)W_j$  bps. Así, el tiempo para transmitir un paquete es igual a  $b_i / ((1-Z_j)W_j)$  segundos; por tanto la tasa de servicio en  $Q_j$  es igual a  $(1-Z_j)W_j / (b_i / T_i(1))$  paquetes por  $T_i(1)$  segundos y  $W_i = b_i / T_i(1)$ .

$$TS_j = (1-Z_j)W_j / W_i \quad (29)$$

De acuerdo a la ecuación  $\lambda_i < Z_i E_i ( \alpha_i(Z_i), \beta_i(Z_i) )$  y la condición  $a_j = P_i \lambda_i$  se obtiene la expresión final de la condición necesaria y suficiente de la estabilidad de la cola  $Q_j$ .

$$P_i \lambda_i < (1-Z_j)W_j / W_i \quad (30)$$

### 3.3.3. Eficiencia máxima de la interconexión de dos Ethernet.

Ambas colas  $DQ_i$  y  $Q_j$  son estables, si y solo si, las ecuaciones (26) y (30) se mantienen. Por lo

anterior, el subsistema  $S_i$  es estable, si y solo si:

$$\lambda_i < n_i \quad (31)$$

Donde:

$$n_i = \text{mínima} [Z_i E_i(\alpha_i(Z_i), \beta_i(Z_i)), (1-Z_j)W_j / P_i W_i] \quad (32)$$

La eficiencia máxima del subsistema  $S_i$  es igual a  $n_i$  paquetes por  $T_i(1)$  segundos o bien  $\bar{n}_i = n_i T_i(1)$  paquetes por segundo.

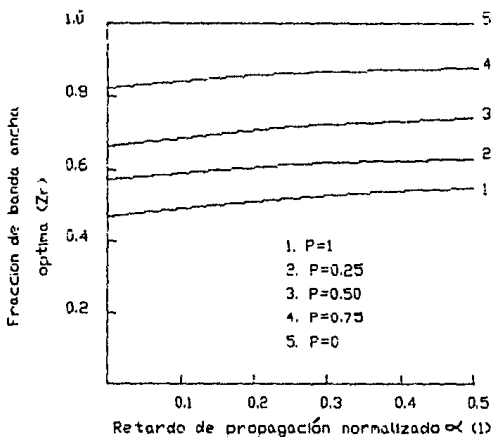
De acuerdo a lo anterior, la interconexión de dos Ethernet es estable, si y solo si, la ecuación (31) se mantiene para  $i=1,2$  y la eficiencia máxima de la interconexión de dos Ethernet es  $n_1$  para el subsistema  $S_1 = (DQ_1, Q_2)$  y  $n_2$  para  $S_2 = (DQ_2, Q_1)$ .

Ahora bien, considerese el caso especial de la interconexión de dos LAN's Ethernet idénticas. Para esta interconexión de LAN's se establece  $W_1=W_2$ ,  $E_i(\alpha_i, \beta_i)$ ,  $Z_i=Z$ ,  $P_i=P$ ,  $\alpha_i=\alpha$ ,  $\beta_i=\beta$  y  $\lambda_i=\lambda$  para  $i=1,2$ . A partir de la ecuación (32) se obtiene:

$$n_1 = n_2 = \text{mínima} ( Z E (\alpha(Z), \beta(Z)), (1-Z)P ) = n(Z) \quad (33)$$

La eficiencia máxima  $n(Z)$  de la ecuación (33) ocurre si  $Z=Z_r$  es la solución de la siguiente ecuación:

$$Z E (\alpha(Z), \beta(Z)) = (1-Z) / P \quad (34)$$

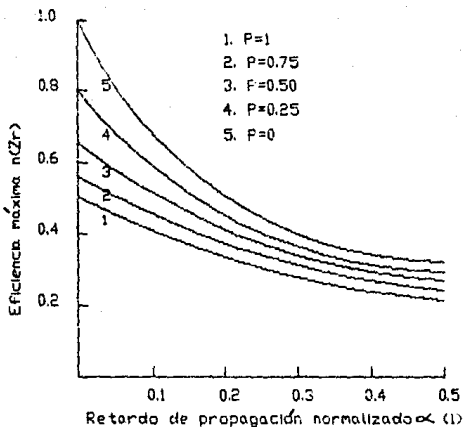


$P$  : probabilidad del paquete 'inter-LAN'

$\beta(1)$

Figura 30. Fracción de banda ancha óptima  $Z_r$  en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$  para la interconexión de dos LAN's Ethernet idénticas empleando puentes.

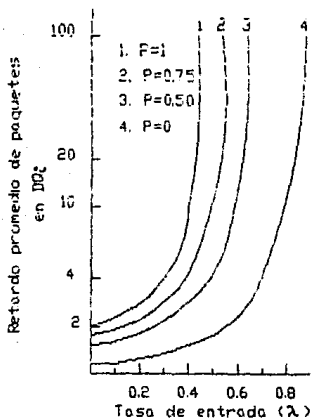
Para la interconexión de dos LAN's Ethernet idénticas empleando puentes se muestra en la figura 30 y 31 su fracción de banda ancha óptima  $Z_r$  y su eficiencia máxima  $n(Z_r)$  como una función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$ . En la figura 30 se gráfica  $Z_r$  en función de  $\alpha(1)$ ,  $\beta(1)$  y para diferentes valores de la probabilidad ( $P$ ) del paquete "inter-LAN". Se observa que  $Z_r$  se incrementa



$P$  : probabilidad de paquete 'inter-LAN'

Figura 31. Eficiencia máxima  $n(Zr)$  en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$  para la interconexión de dos LAN's Ethernet Identicas empleando puentes.

tendiendo a la unidad cuando  $P$  decrece a cero. En la figura 31 da la eficiencia máxima  $n(Zr)$  en función de  $\alpha(1)$ ; se muestra que  $n(Zr)$  decrece cuando  $P$  se incrementa pero no uniformemente; para valores de  $\alpha(1)$  largos la reducción de la eficiencia  $n(Zr)$  es menor que para valores de  $\alpha(1)$  cortos. Así, en la interconexión de LAN's con retardo de propagación largos, las comunicaciones "inter-LAN" son previstas por un deterioro de eficiencia pequeño.

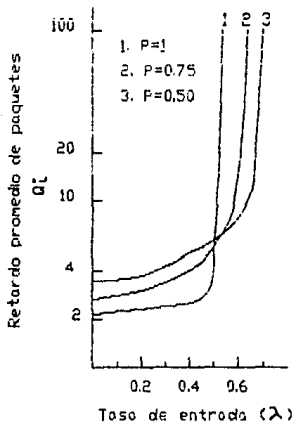


$P$  : probabilidad de paquete 'inter-LAN'

Figura 32. Retardo promedio de paquetes en DQI en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes 'inter-LAN'  $P$ .

### 3.3.4. Características de retardo promedio de paquetes.

Para la interconexión de dos LAN's Ethernet idénticas empleando puentes se muestran en las figuras 32 y 33 los resultados obtenidos por Lazaros F. Merakos [18] para el retardo promedio de paquetes en DQI y en QI. Ambas figuras se refieren con  $\alpha_1(1)=\alpha_2(1)=\beta_1(1)=\beta_2(1)=0.05$ ,  $P_1=P_2=P$ ,  $\lambda_1=\lambda_2=\lambda$  y  $Z_1=Z_2=Z_r$  (de acuerdo a la ecuación 34). En la figura 32 se observa que cuando la probabilidad de paquete "inter-LAN"  $P$  se incrementa, el retardo promedio de



P : probabilidad de paquete 'inter-LAN'

Figura 33. Retardo promedio de paquete en  $Q_i$  en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes 'inter-LAN' P.

paquete en  $DQ_i$  aumenta para todas las tasas de entrada  $\lambda$ . Así, cuando P tiende a uno se necesita más banda ancha para acomodar el tráfico "inter-LAN" y por lo tanto queda menos banda ancha disponible para los usuarios locales. Respecto a la figura 33, se muestra que el comportamiento del retardo promedio de paquete en  $Q_i$  en función de la tasa de entrada  $\lambda$  es igual que en  $DQ_i$ . Puesto que,  $Z_r$  satisface a la ecuación 34 las colas  $DQ_i$  y  $Q_i$  llegan a ser inestables cuando  $\lambda$  se aproxima a la eficiencia máxima del subsistema.

#### Capítulo IV. Planeación de un programa computacional para mostrar el rendimiento.

A continuación se presenta la planeación del programa para mostrar el rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes. Se dan sus características. El programa contiene tres menús que pueden ser operados de manera independiente o bien llevar una relación de parámetros y medidas de rendimiento del primero al último. En el menú principal: rendimiento de la interconexión de redes de área local se efectúa la estructura de Ethernet 1 y 2, así como de su interconexión empleando puentes. En el menú: rendimiento de Ethernet's se capturan parámetros adicionales de las Ethernet's y el programa calculará y graficará las medidas de rendimiento de acuerdo a los conceptos y consideraciones realizadas en su respectivo inciso del capítulo tres. En el menú: rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes tan solo se muestran los resultados obtenidos del



capítulo tres acerca de las condiciones de estabilidad de la interconexión de dos Ethernet; así como para el caso especial de la interconexión de dos Ethernet idénticas: condiciones para la eficiencia máxima, gráficas de fracción de banda ancha óptima y eficiencia máxima en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$ , y gráficas de retardo promedio de paquetes. Si los parámetros de la interconexión de dos Ethernet llevan relación en los tres menús, debe darse en la capacidad de cada Ethernet su fracción de banda ancha óptima. Los resultados obtenidos son una buena aproximación del rendimiento, pero no reflejan el comportamiento real de la interconexión.

#### 4.1. Características del programa.

El programa computacional para mostrar el rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes será desarrollado en un ambiente de LAN's. Sus características importantes son:

- \* Lenguaje turbo C para "correr" en LAN's con sistema operativo UNIX o bien el lenguaje correspondiente a las LAN's donde se instale.
- \* Su ejecución en tiempo real, es decir, que los resultados que arroje sean inmediatos de acuerdo al comportamiento de la interconexión de dos Ethernet en cuestión.
- \* Su programación será empleando una técnica estructurada.

#### 4.2. Menú principal: rendimiento de la interconexión de redes de área local.

La función del menú principal es conformar la estructura de Ethernet 1 y 2, así como ser el enlace para el menú: rendimiento de Ethernet's y de su interconexión empleando puentes(figura 34). En la estructura de Ethernet 1 y 2 se capturarán sus parámetros de diseño y se mostrarán graficamente automáticamente, de acuerdo a la figura 35 y 36 (estas figuras tienen ejemplos de LAN's). En la estructura de la interconexión de dos Ethernet se dará su conformación completa con los puentes (figura 37 con un ejemplo).

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Menú principal:  
Rendimiento de la interconexión de redes de área  
local

<sup>4</sup>R0000

1. Estructura de Ethernet 1.
2. Estructura de Ethernet 2.
3. Estructura de la interconexión de dos Ethernet.
4. Rendimiento de Ethernet's.
5. Rendimiento de la interconexión de dos Ethernet  
empleando puentes.

Teclee la opción deseada: \_\_\_

Figura 34. Menú principal: rendimiento de la  
interconexión de redes de área local.

<sup>1</sup> Clave asociada a cada formato de pantalla:

RXXXXX

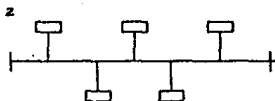
- Letra utilizada cuando una opción tiene más de una pantalla.
- Número de la opción del menú.
- Número consecutivo de menú.
- Rendimiento.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Estructura de Ethernet 1

R0001

Topología:	<u>bus</u>
<sup>1</sup> Medio de transmisión:	<sup>2</sup> <u>cable coaxial</u>
<sup>4</sup> Longitud del medio (d):	<u>1 km</u>
Protocolo de acceso:	<u>CSMA/CD</u>
<sup>3</sup> Capacidad (C):	<u>10 Mbps</u>
<sup>4</sup> Dispositivos de comunicación (N):	<u>5</u>
<sup>4</sup> Carga de entrada (CE):	<u>6 Mbps</u>



Teclée <enter> para aceptar parámetros y continuar.

Figura 35. Estructura de Ethernet 1.

<sup>1</sup> Parámetros a capturar.

<sup>2</sup> Gráfica por el programa.

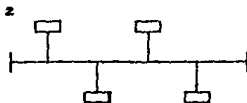
<sup>3</sup> Cable coaxial o par trenzado.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Estructura de Ethernet 2

R0002

Topología:	<u>bus</u>
<sup>1</sup> Medio de transmisión:	<u><sup>2</sup>cable coaxial</u>
<sup>1</sup> Longitud del medio(d):	<u>1 km</u>
Protocolo de acceso:	<u>CSMA/CD</u>
<sup>1</sup> Capacidad(C):	<u>5 Mbps</u>
<sup>1</sup> Dispositivos de comunicación(N):	<u>4</u>
<sup>1</sup> Carga de entrada(CE):	<u>3 Mbps</u>



Teclée <enter> para aceptar parámetros y continuar.

Figura 36. Estructura de Ethernet 2.

<sup>1</sup> Parámetros a capturar.

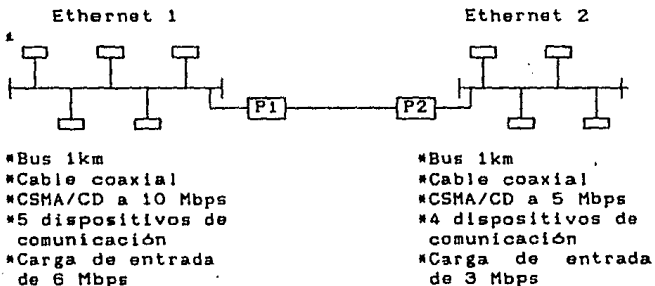
<sup>2</sup> Gráfica por el programa.

<sup>3</sup> Cable coaxial o par trenzado.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Estructura de la interconexión de dos Ethernet

R0003



P:puente

Teclée <enter> para continuar.

Figura 37. Estructura de la interconexión de dos Ethernet.

<sup>1</sup> Estructura trazada por el programa a partir de la figura 35 y 36.

#### 4.3. Menú: rendimiento de Ethernet's.

En este menú: rendimiento de Ethernet's se determina el comportamiento de Ethernet 1 y 2, además se consultan sus calculos finales (figura 38). En las primeras opciones de este menú, al inicio se piden datos adicionales de Ethernet y después se muestran sus calculos de las medidas de rendimiento y gráficas respectivas. Lo anterior, va acorde con su correspondiente inciso del capítulo tres y con sus consideraciones y conceptos realizados. Cabe aclarar, que se pueden dar parámetros de otras Ethernet para observar su rendimiento y después si así se quiere cambiar los datos de Ethernet 1 y 2, esto ayuda para la selección y diseño de LAN's. A continuación de este menú, se da el formato de las pantallas para cada una de sus opciones.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Menú:  
Rendimiento de Ethernet's

R0100

Selección de Ethernet(1,2, otras): \_\_\_\_\_

Rendimiento de Ethernet

1. Relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.
2. Utilización de Ethernet en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión.
3. Número de terminales máximo de la eficiencia total de Ethernet basado en su carga ofrecida.
4. Utilización del protocolo de acceso al medio CSMA/CD.

Consultas

5. Rendimiento de Ethernet 1.
6. Rendimiento de Ethernet 2.

Teclee la opción deseada: \_\_\_\_\_

Figura 38. Menú: rendimiento de Ethernet's.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Relaciones entre las medidas de rendimiento de  
LAN's y la carga ofrecida y de entrada

R0101

<sup>1</sup>Capacidad(C): \_\_\_\_\_ tramas/seg.

<sup>4</sup>Tramas perdidas(Tper): \_\_\_\_\_ %

<sup>1</sup> Carga de entrada(CE) (tramas/seg)	<sup>2</sup> Carga ofrecida(CO) (tramas/seg)	<sup>2</sup> Eficiencia (E) (tramas/seg)	<sup>2</sup> Utilización (U) (U=E/C)
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Teclee <enter> para continuar.

Figura 39. Pantalla: relaciones entre las medidas de rendimiento de LAN's y la carga ofrecida y de entrada.

<sup>1</sup>Parámetros a capturar.

<sup>2</sup>Medidas a calcular por el programa.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Utilización de Ethernet en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión

R0102A

tiempo de propagación en el medio  
(d/V)

A. Calculo de:  $\alpha = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio (d/V)}}{\text{tiempo de transmisión (L/B)}}$

<sup>1</sup> Tasa de transmisión (B) (Mbps)	Longitud del medio(d) <sup>1</sup> (km)	$\frac{B \times d}{V}$ (bits)	<sup>1</sup> Tamaño de trama o paquete(L) (bits)
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

<sup>2</sup> d/V (useg)	<sup>2</sup> L/B (useg)	<sup>2</sup> $\alpha = \frac{d/V}{L/B}$	<sup>B</sup> Valores típicos
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Velocidad de propagación (V) =  $2 \times 10^8$  m/seg.

Teclee <enter> para continuar.

Figura 40. Pantalla: A. Calculo del parámetro "α".

<sup>1</sup> Parámetros a capturar.

<sup>2</sup> Medidas a calcular por el programa.

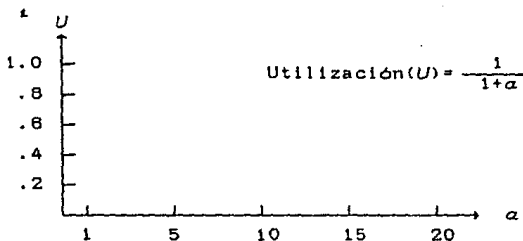
<sup>B</sup> Se determina si el valor es típico o no (0.01 ≤ α ≤ 0.1).

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Utilización de Ethernet en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión

R0102B

B. Utilización de Ethernet en función de "α".



Teclée <enter> para continuar.

Figura 41. Pantalla :B. utilización de Ethernet en función de "α".

<sup>1</sup> Gráfica trazada por el programa a partir de los cálculos de la figura 40.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Número de terminales máximo (N) de la  
eficiencia total de Ethernet basado en su  
carga ofrecida

R0103

<sup>1</sup>Tlibre = \_\_\_\_\_ useg.

<sup>1</sup>Tala = \_\_\_\_\_ useg.

<sup>2</sup>Capacidad o Etotal(1/Tala) = \_\_\_\_\_ mensajes/seg.

$${}^2N = \frac{Tlibre + Tala}{Tala} = \text{_____ máxima}$$

- Tlibre = tiempo promedio que una estación esta libre.
- Tala = tiempo requerido para transmitir un mensaje al medio de transmisión, considerando bits de cabecera.
- Etotal = eficiencia total promedio de mensajes por unidad de tiempo para Ethernet.

Teclee <enter> para continuar.

Figura 42. Pantalla: número de terminales  
máximo(N) de la eficiencia total de Ethernet  
basado en su carga ofrecida.

<sup>1</sup> Parámetros a capturar.

<sup>2</sup> Medidas a calcular por el programa.

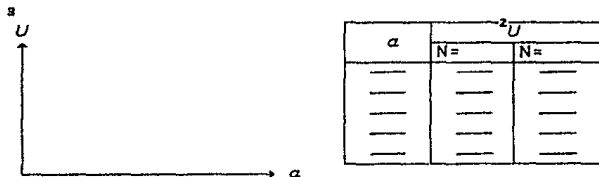
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Utilización del protocolo de acceso al medio  
CSMA/CD

R0104A

A.Utilización de CSMA/CD en función de "α".

<sup>1</sup>α = \_\_\_\_\_ <sup>1</sup>Núm.terminales (N): \_\_\_\_\_



U = utilización de CSMA/CD.

α =  $\frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}}$

A = probabilidad de una terminal al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio (  $A = 1 - (1-N)^{N-1}$  ).

$$U_{\text{CSMA/CD}} = \frac{1}{1 + 2\alpha \frac{1-A}{A}}$$

Teclee <enter> para continuar.

Figura 43. Pantalla: A. utilización de CSMA/CD en función de "α".

<sup>1</sup> Parámetros a capturar.

<sup>2</sup> Medidas a calcular por el programa.

<sup>3</sup> Gráfica por el programa.

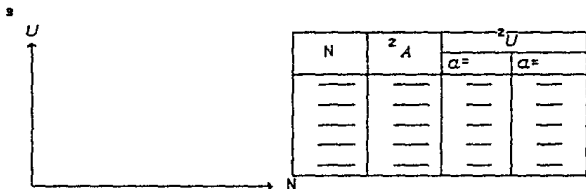
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Utilización del protocolo de acceso al medio  
CSMA/CD

R0104B

B. Utilización de CSMA/CD en función de N.

<sup>1</sup>a : \_\_\_\_\_ <sup>1</sup>Núm. terminales (N): \_\_\_\_\_



U = utilización de CSMA/CD.

$\alpha = \frac{\text{tiempo de propagación en el medio}}{\text{tiempo de transmisión}}$

A = probabilidad de una terminal al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio ( $A = 1 - (1 - N)^{N-1}$ ).

$$U_{\text{CSMA/CD}} = \frac{1}{1 + 2\alpha \frac{1-A}{A}}$$

Teclee <Enter> para continuar.

Figura 44. Pantalla: B. utilización de CSMA/CD en función de N.

<sup>1</sup> Parámetros a capturar.

<sup>2</sup> Medidas a calcular por el programa.

<sup>3</sup> Gráfica por el programa.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

A. Consulta de rendimiento de <sup>1</sup>XXXXXXXXXX

R0105A R0106A

\* Relaciones entre las medidas de rendimiento de

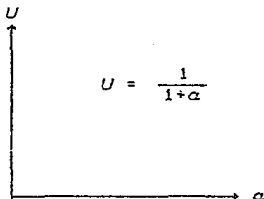
LAN's , CO y CE

C= \_\_\_\_\_ tramas/seg. Tper= \_\_\_\_\_ %

CE (tramas/seg)	CO (tramas/seg)	E (tramas/seg)	$U = \frac{E}{C}$
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

\* Utilización de Ethernet en función del retardo de propagación y la tasa de transmisión

B = \_\_\_\_\_ Mbps  
d = \_\_\_\_\_ km; \_\_\_\_\_ bits  
L = \_\_\_\_\_ bits  
V =  $2 \times 10^8$  m/seg  
d/V = \_\_\_\_\_ useg.  
L/B = \_\_\_\_\_ useg  
a = \_\_\_\_\_



Valor típico de "a": si/no

Teclee <enter> para continuar.

<ALT-A> Simbología de rendimiento de Ethernet's.

Figura 45. Pantalla A: consulta de rendimiento de Ethernet 1 o 2.

<sup>1</sup> Ethernet 1 o bien Ethernet 2.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

B. Consulta de rendimiento de <sup>1</sup>XXXXXXXXXX

R0105B R0106B

- Número de terminales máximo(N) de la eficiencia total de Ethernet basado en su carga ofrecida

Tlibre = \_\_\_\_\_ useg. Tala = \_\_\_\_\_ useg.

C o Etotal(1/Tala) = \_\_\_\_\_ mensajes/seg.

N = \_\_\_\_\_ máxima

- Utilización del protocolo de acceso al medio CSMA/CD

$\alpha$  = \_\_\_\_\_ Terminales conectadas(N) = \_\_\_\_\_

$U_{CSMA/CD}$



$$U_{CSMA/CD} = \frac{1}{1 + 2\alpha \frac{1-d}{A}}$$

$U_{CSMA/CD}$



$$A = 1 - (1-N)^{H-1}$$

Tecllee <enter> para continuar.

<ALT-A> Simbología de rendimiento de Ethernet's.

Figura 46. Pantalla B: consulta de rendimiento de Ethernet 1 o 2.

<sup>1</sup> Ethernet 1 o bien Ethernet 2.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Simbología de rendimiento de Ethernet's

R0105C

- a* :  $[(dV)/(L/B)]$  comparación del tiempo de propagación en el medio con el tiempo de transmisión
- A* : probabilidad de una terminal al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio.
- B* : tasa de transmisión.
- C* : capacidad.
- CE* : carga de entrada.
- CO* : carga ofrecida.
- d* : longitud del medio.
- dV* : tiempo de propagación en el medio.
- E* : eficiencia.
- Etotal* : eficiencia total promedio de mensajes por unidad de tiempo para Ethernet.
- L* : tamaño de trama o paquete.
- N* : número de terminales.
- Tlibre* : tiempo promedio que una estación esta libre.
- Tper* : tramas perdidas.
- Treq* : tiempo requerido para transmitir un mensaje al medio de transmisión, considerando bits de cabecera.
- U* : utilización.
- V* : velocidad de propagación.

Teclée <enter> para continuar.

Figura 47. Simbología de rendimiento de Ethernet's.

#### 4.4. Menú rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.

Las opciones de este menú muestran por pantalla los resultados obtenidos del capítulo tres punto 3.3. rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes. Se presenta su modelo conceptual y condiciones de estabilidad para la interconexión de dos Ethernet, además para el caso especial de dos Ethernet idénticas: condiciones para la eficiencia máxima, fracción de banda ancha óptima  $Z_r$  y eficiencia máxima  $nZ_r$  en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(i)$ , y retardo promedio de paquetes en  $DQ_i$ ,  $Q_i$  en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para distintos valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN". Cabe decir, que las gráficas muestran una buena aproximación del comportamiento de la interconexión de dos Ethernet idénticas cuando se utiliza una fracción de banda ancha óptima  $Z_r$ .

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Menú:

Rendimiento de la interconexión de dos Ethernet  
empleando puentes

RO200

1. Modelo de la interconexión de dos Ethernet.
2. Condiciones de estabilidad de la interconexión de dos Ethernet.

Interconexión de dos Ethernet idénticas  
empleando puentes

3. Condiciones para la eficiencia máxima.
4. Fracción de banda ancha óptima  $Z_r$  en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$ .
5. Eficiencia máxima  $\eta(Z_r)$  en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$ .
6. Retardo promedio de paquetes en  $DQ_i$  en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN"  $P$ .
7. Retardo promedio de paquetes en  $Q_i$  en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN"  $P$ .

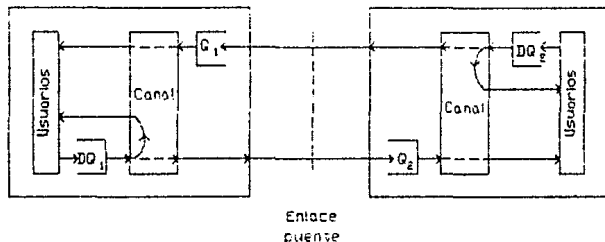
Teclée <enter> para continuar.

Figura 48. Menú: rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Modelo de la interconexión de dos Ethernet (S)

R0201A



$Q_1$  : cola del puente 1 de LAN1  
 $Q_2$  : cola del puente 2 de LAN2  
 $DQ_1$  : cola local de LAN1  
 $DQ_2$  : cola local de LAN2

$S = (DQ_1, Q_2, DQ_2, Q_1)$

Subsistemas

$S = (DQ_1, Q_2)$

$S = (DQ_2, Q_1)$

Fracciones de banda ancha

$Z_1, Z_2$  fijas

Teclas <enter> para continuar

<ALT-A> Consideraciones importantes del modelo.

Figura 49. Pantalla: modelo de la interconexión de dos Ethernet.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Consideraciones importantes del modelo

RO201B

- \*  $i:(i=1,2)$  subíndice para denotar cantidades asociadas con LAN $i$ .  
 $j:(j=2,1)$  subíndice para referir cantidades con la otra LAN.
- \* A cada LAN se conectan una gran cantidad de usuarios.
- \* CSMA/CD coordina las transmisiones de paquetes locales e "inter-LAN".  
 $W_i$ : banda ancha disponible del medio en LAN $i$  en bps.  
 $R_i$ : retardo de propagación máximo entre cualquiera de dos usuarios en LAN $i$ , en segundos.
- \*  $Z_i W_i$  bps para usuarios locales de LAN $i$ .  
 $(1-Z_i) W_i$  bps para el tráfico "inter-LAN".  
 $0 < Z_i < 1$
- \*  $P_i$ : probabilidad de un paquete "inter-LAN".

Teclée <enter> para continuar.

Figura 50. Pantalla: consideraciones importantes del modelo.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Condiciones de estabilidad de la interconexión de  
dos Ethernet

R0202

\* Estabilidad

$$\lambda_1 < n_1 \quad n_1: \text{mínima } [Z_1 E_1 (\alpha_1(Z_1), \beta_1(Z_1)), \\ (1-Z_2) W_2 / P_1 W_1]$$

$$\lambda_2 < n_2 \quad n_2: \text{mínima } [Z_2 E_2 (\alpha_2(Z_2), \beta_2(Z_2)), \\ (1-Z_1) W_1 / P_2 W_2]$$

\* Eficiencia máxima de la interconexión de  
dos Ethernet

$$n_1 \text{ para } S_1 = (DQ_1, Q_2)$$

$$n_2 \text{ para } S_2 = (DQ_2, Q_1)$$

$\lambda_i$ : tasa de entrada en LAN $_i$  en paquetes por tiempo de transmisión de paquete ( $T_i(1)$ ), independientemente de  $Z_i$  usado.

$n_i$ : eficiencia máxima de  $S_i$  en paquetes por tiempo de transmisión de paquete ( $T_i(1)$ ).

$\alpha_i(Z_i) = T_i / T_i(Z_i)$ ;  
 $T_i(Z_i)$  tiempo de transmisión de paquete (en segundos) de acuerdo a  $Z_i$ .

$\beta_i(Z_i) = \beta_i(Z_i) T_i(Z_i)$ ;  
 $\beta_i(Z_i)$  tiempo de conflicto (en segundos) en LAN $_i$  para los usuarios locales, de acuerdo a  $Z_i$ .

Teclee <enter> para continuar.

Figura 51. Pantalla: condiciones de estabilidad de la interconexión de dos Ethernet.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Condiciones para la eficiencia máxima

R0203

Se establece

$$W_1 = W_2$$

$E_i(\alpha_i, \beta_i)$ ,  $Z_i = Z$ ,  $P_i = P$ ,  $\alpha_i = \alpha$ ,  $\beta_i = \beta$  y  $\lambda_i = \lambda$  para  $i=1, 2$ .

$$n_1 = n_2 = \text{mínima } (Z E(\alpha(Z), \beta(Z)), (1-Z)/P) = n(Z)$$

Eficiencia máxima de  $n(Z)$

Ocurre si  $Z = Z_r$  es la solución de

$$Z E(\alpha(Z), \beta(Z)) = (1-Z)/P$$

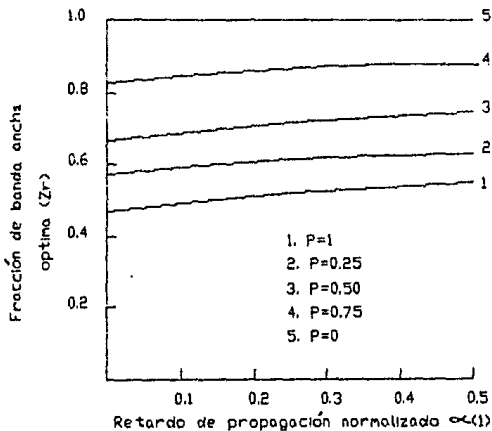
Teclée <enter> para continuar.

Figura 52. Pantalla: condiciones para la eficiencia máxima.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Fracción de banda ancha optima  $Z_r$  en función del  
retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$

R0204



$P$  : probabilidad del paquete 'Inter-LAN'

$\beta(1)$

Teclee <enter> para continuar.

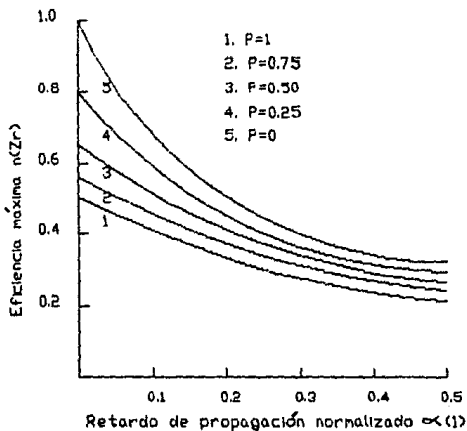
Figura 53. Pantalla: fracción de banda ancha optima  $Z_r$   
en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$ .



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Eficiencia máxima  $n(Zr)$  en función del  
retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$

R0205



$P$  : probabilidad de paquete 'inter-LAN'

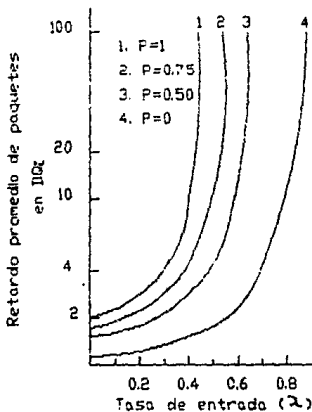
Teclée <enter> para continuar.

Figura 54. Pantalla: eficiencia máxima  $n(Zr)$   
en función del retardo de propagación normalizado  $\alpha(1)$ .

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Retardo promedio de paquetes en DGE en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes 'inter-LAN' P

R0206



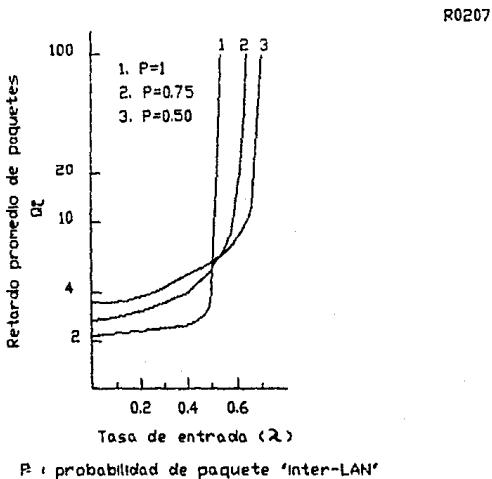
P : probabilidad de paquete 'inter-LAN'

Teclee <enter> para continuar.

Figura 55. Pantalla: retardo promedio de paquetes en DGE en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes 'inter-LAN' P.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Retardo promedio de paquetes en  $Q\bar{c}$  en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes 'inter-LAN' P



Teclee <enter> para continuar.

Figura 56. Pantalla: retardo promedio de paquetes en  $Q\bar{c}$  en función de la tasa de entrada ( $\lambda$ ) para diferentes valores de probabilidad de paquetes 'inter-LAN' P.

#### 4.5. Cronograma de actividades del programa.

El cronograma de actividades del programa esta dirigido a un becario del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que haya terminado sus estudios de licenciatura en una rama de computación. Las dos primeras actividades se refieren al estudio del rendimiento de Ethernet y de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes, es decir, del capítulo tres de esta tesis complementado con otras lecturas afines a este tema. La cuarta actividad es la conceptualización del programa que se encuentra en este capítulo. Las siguientes tres actividades consisten en la programación de los tres menús, considerando para un programa de captura de parámetros y calculo, así como el graficado de las medidas de rendimiento tres días y para un programa de consulta, es decir, aquellos que solo muestran datos, dos días; además se le adiciona del 10% al 15% de tiempo de holgura a estas actividades por cualquier imprevisto. La última actividad es para elaborar el manual técnico y el del usuario.

Tiempo Actividades	1990																																								
	Meses				1				2				3				4				5				6																
	Semanas				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4													
1. Estudio del rendimiento de Ethernet.	P	■																																							
	R																																								
	%																																								
2. Estudio del rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.	P					■																																			
	R																																								
	%																																								
3. Conceptualización global del programa.	P									■																															
	R																																								
	%																																								
4. Programación del menú principal rendimiento de la interconexión de redes de área local.	P									■																															
	R																																								
	%																																								
5. Programación del menú rendimiento de Ethernet's.	P													■																											
	R																																								
	%																																								
6. Programación del menú rendimiento de la interconexión de dos Ethernet con puentes.	P																	■																							
	R																																								
	%																																								
7. Manual técnico y del usuario del programa.	P																					■																			
	R																																								
	%																																								

P: proyectada, R: real y %: porcentaje de avance.

Figura 57. Cronograma de actividades para el desarrollo del programa computacional para mostrar el rendimiento de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes.

## Conclusiones.

La tecnología de la interconexión de dos Ethernet's empleando puentes se esta desarrollando rapidamente. Esto se debe a los beneficios que ofrecen: el costo de los requerimientos de conexiones es menor al costo del equipo en sí, los dispositivos de comunicaciones que se conectan pueden ser de diferentes fabricantes, el enlace para los usuarios de las Ethernet's es transparente y los recursos caros y la información se comparten.

El rendimiento de Ethernet o bien de la interconexión de dos Ethernet's empleando puentes se refiere a su comportamiento. Medidas de rendimiento para LAN's fueron aplicadas a Ethernet analíticamente y en algunos casos también gráficamente, obteniéndose: relaciones entre  $CE-CO-E$  y  $U=E/C$ ,  
 $U_{Ethernet} = \frac{1}{1 + \alpha}$ ,  $N_{máxima} = \frac{T_{libre} + T_{sis}}{T_{sis}}$  y  
 $U_{CSMA/CD} = \frac{1}{1 + 2\alpha((1-A)/A)}$ . La extensión desarrollada al trabajo de Lazaros F. Merakos [18] para determinar el rendimiento de la interconexión de dos Ethernet's empleando puentes muestra que de

acuerdo a su modelo  $S=(DQ_1, Q_2, DQ_2, Q_1)$  su condición de estabilidad es  $\lambda i < n_i$  donde  $n_i$ : mínima  $(Z_i E(\alpha(Z_i), \beta(Z_i)), (1-Z_j)W_j/P_iW_i)$  para  $i=1, 2$ ,  $j=2, 1$  y su eficiencia máxima es  $n_1$  para  $S_1=(DQ_1, Q_2)$  y  $n_2$  para  $S_2=(DQ_2, Q_1)$ . Para el caso especial de la interconexión de dos Ethernet's idénticas su eficiencia máxima  $n(Z)$  ocurre si  $Z=Z_r$  es la solución de  $Z E(\alpha(Z), \beta(Z)) = (1-Z)/P$ , sus gráficas de  $Z_r-\alpha(1), \beta(1)$  y  $n(Z_r)-\alpha(1)$  para diferentes valores de probabilidad de paquetes "inter-LAN"  $P$  muestran que  $Z_r, n(Z_r)$  decrecen de acuerdo a los incrementos de  $\alpha(1)$  y  $P$ ; con lo que respecta a las gráficas de retardo promedio de paquetes en  $DQ_i, Q_i$  en función de  $\lambda$  para distintos valores de  $P$  se observa que el retardo de paquetes en  $DQ_i$  y  $Q_i$  aumenta drásticamente como  $\lambda$  y  $P$  van siendo más grandes. Los anteriores resultados obtenidos son válidos bajo las consideraciones y conceptos hechos en cada caso y dan una buena aproximación del comportamiento de Ethernet y de la interconexión de dos Ethernet's.

*La planeación del programa computacional para mostrar el rendimiento de la interconexión de dos Ethernet's empleando puentes* esta basada en los resultados obtenidos acerca del mismo. El programa se desarrollará en un ambiente LAN's. El diseño del programa comprende tres menús a operar independientemente o bien llevar una relación de parámetros, medidas y gráficas de rendimiento de inicio a fin. En el primer menú se llevará a cabo la

estructura de Ethernet 1 y 2 y automáticamente su gráfica de interconexión empleando puentes. En el segundo menú se darán parámetros adicionales a cada Ethernet y el programa calculará y en algunos casos también graficará sus medidas de rendimiento, esto ayuda para el diseño, operación y evaluación de Ethernet's. En el tercer menú tan solo se muestran las condiciones de estabilidad y eficiencia máxima de acuerdo al modelo  $S = (DQ_1, Q_2, DQ_2, Q_1)$  de la interconexión de dos Ethernet's y para el caso especial cuando son dos Ethernet's idénticas sus condiciones para la eficiencia máxima, sus gráficas:  $Z_r - \alpha(1)$ ,  $\beta(1)$ ,  $n(Z_r) - \alpha(1)$ , retardo promedio de paquetes en  $DQ_i$   $Q_i$  en función de  $\lambda$ , todas las gráficas para diferentes valores de P. Se observa del cronograma de actividades que el programa se desarrollará en cinco meses y una semana.

*Interesantes temas de investigación* se dislumbran a partir de los resultados obtenidos de este trabajo. El análisis y desarrollo del modelo matemático  $n_t$  tomando como base *Uethernet* y *UcsmA/cb*. Un programa computacional que tome directamente de la interconexión los parámetros de diseño, así como  $\lambda$  y tráfico de paquetes "inter-LAN", para calcular, graficar y ajustar los parámetros necesarios para obtener óptimo rendimiento de la interconexión de dos cualesquiera Ethernet's, mostrando los resultados a su administrador.



Referencias bibliograficas.

- [1] STALLINGS, WILLIAM. Tutorial: computer communications: architectures, protocols, and standards. 2nd. ed. Washington, D.C.: Computer Society Press of the IEEE, 1987. pp. 144-166
- [2] KUMMERLE, KARL., TOBAGI, FOUAD A., [y] LIMB, JOHN O. Frontiers in communications, advances in local area networks. New York, NY: The IEEE Communications Society [por] the IEEE Press, 1987. pp. 2-24
- [3] STALLINGS, WILLIAM. Tutorial: local network technology. 3ra. ed. Washington, D.C.: Computer Society of the IEEE, 1988. pp. 1-42
- [4] STALLINGS, WILLIAM. Local networks, an introduction. New York, NY: Macmillan Publishing Company, 1984. pp. 74-97
- [5] STALLINGS, WILLIAM. Tutorial: computer communications: architectures, protocols, and standards. op. cit., pp. 19-38

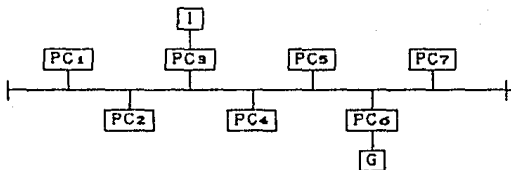
- [6] DUBOIS, ROLAND., [y] BRESTILLON, CHRISTINE. "Las redes de ordenadores". En: Mundo científico; la recherche, versión en castellano. (No. 87, enero 1987) pp. 88-97
- [7] FEELY, WILLIAM. y coautores. "Using OSI standards". En: Communications international (Noviembre, 1987) p. 50
- [8] STALLINGS, WILLIAM. Tutorial: local network technology. op. cit., p. 416
- [9] KUMMERLE, KARL. op. cit., pp. 517-530
- [10] STALLINGS, WILLIAM. Tutorial: local network technology. op. cit., pp. 414-418
- [11] KUMMERLE, KARL. op. cit., pp. 481-495
- [12] SCHWARTZ, MISCHA. Information transmission, modulation, and noise. 3ra. ed. Japón, Tokio.: McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, 1980. pp. 292-298
- [13] VAZQUEZ HERNANDEZ, JAVIER. "Capítulo 1. Introducción a los sistemas de comunicaciones por satélite". En: Diseño y construcción de un demodulador de audio prototipo para ser empleado en estaciones terrenas únicamente receptoras de televisión. México, D.F.: Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Aragón", UNAM, 1988. pp. 1-20 (Tesis de licenciatura).
- [14] KUMMERLE, KARL. op.cit., p. 301
- [15] BUX, WERMER. "Performance issues in local-area networks". En: IBM systems journal. (No. 4, Vol.23, 1984)pp. 351-374

- [16] STALLINGS, WILLIAM. Local networks, an introduction. op. cit., pp. 233-269
- [17] STALLINGS, WILLIAM. "Local network performance". En: IEEE communication magazine (No.2, Vol.22, febrero 1984)pp. 27-36
- [18] MERAKOS, LAZAROS F., EXLEY, GERARD M., [y] BISDIKIAN, CHATSCHIK. "Interconnection of two CSMA local area networks via a bridge: throughput-delay characteristics". En: IEEE international conference on communications '87: communications-sound to light proceedings. (Vol. 2, 7-10 junio 1987; Nueva York, USA: IEEE, 1987)pp. 987-991
- [19] MERAKOS, LAZAROS F., EXLEY, GERARD M., [y] BISDIKIAN, CHATSCHIK. "Interconnection of CSMA local area networks: the frequency division approach". Communications & DSP Laboratory Electrical & Comp. Eng. Dept. Northeastern University Boston, MA, USA. (Reporte 101; diciembre, 1986).
- [20] CHIANESE, A., [y] SANTO, M. DE. "Methodology for LAN design". Dipartimento Informatica e Sistemistica, Naples, Italy. (Reporte; s.a.).
- [21] STALLINGS, WILLIAM. "Glossary". En: Local networks, an introduction. op. cit., pp. 351-357
- [22] STALLINGS, WILLIAM. "Section 7. Glossary". En: Tutorial: computer communications: architectures, protocols, and standards. op. cit., pp. 425-427

## **Apéndice A. Diseño de la red de Área local del Departamento de Comunicaciones.**

A continuación se presenta una propuesta inicial de la red de área local del Departamento de Comunicaciones. Se empleó la metodología para diseño de LAN de Chianese y M De Santo [20]. Una LAN Ethernet fue elegida. se presenta su estructura, ventajas adicionales de Ethernet, software básico a instalar y consideraciones para la implantación, prueba y mantenimiento.

## Estructura de la Ethernet.



PC: Computadora personal.

I: Impresora.

G: Graficador.

- \* Bus.
- \* Cable coaxial.
- \* CSMA/CD a 10 Mbps.
- \* Equipo existente en el Departamento.

-7 Computadoras personales.

2 Olivetti M 290.

2 Olivetti M 280.

1 Olivetti M 240.

2 Televideo.

- 1 Impresora.

- 1 Gráficoador.

### Ventajas adicionales al escoger Ethernet.

- \* Grado alto de expansibilidad, flexibilidad y confiabilidad.
- \* Posibilidad de no interrupción de servicios al conectar una nueva estación.
- \* Facilidad de interconectarla con la Ethernet del IIE puesto que ambas son Ethernet con el protocolo de acceso al medio CSMA/CD.

### Software básico a instalar.

- \* Sistema operativo para Ethernet (por ejemplo: Novell Netware, IBM-PC/LAN y Network-OS).
- \* Sistema de administración de información.
- \* Servidor de bases de datos.
- \* Servidor de impresora.
- \* Diseño gráfico.
- \* Procesador de textos.
- \* Correo electrónico.

Consideraciones de implantación , prueba y mantenimiento.

\* Implantación.

-Hardware.

Tarjetas Ethernet.

Cable "transceiver" (transmisor/receptor).

"Transceiver" (transmisor/receptor).

Cable coaxial.

Tomas eléctricas para alimentación.

Ubicación de todo el equipo.

-Software.

Instalar software básico antes mencionado.

\* Pruebas.

-Verificación a todo el hardware.

-Transferencia de información a lo largo de toda la Ethernet.

-Consulta de bases de datos.

\* Mantenimiento.

-Mantenimiento correctivo al hardware.

-Chequeo a todo el software.

Apéndice B. Glosario [21,22].

$a = \{(dV) / (L/B)\}$  comparación del tiempo de propagación en el medio con el tiempo de transmisión.<sup>1</sup>

A. Probabilidad de una estación al intentar una transmisión en un "slot" y por tanto adquirir el medio.<sup>1</sup>

$$A = (1 - 1/N)^{N-1}$$

Anillo. Topología que consiste en el enlace de repetidores punto a punto, hasta formar entre ellos un círculo imaginario y a cada uno de ellos se conectan los dispositivos.

B. La tasa de transmisión es la máxima emisión de información por unidad de tiempo.

Banda ancha. Término referido a algún canal que tiene una amplitud mayor que un canal de voz (4 kilohertz).

bí. Longitud de paquete en bits.<sup>1</sup>

Bus/árbol. Topología caracterizada por el uso de un medio de transmisión de acceso múltiple. Los dispositivos comparten el medio y solo un dispositivo puede transmitir a la vez.

C. La capacidad es la máxima información que se transmite por unidad de tiempo.



*Cable coaxial.* Un medio de transmisión electromagnético consistiendo de un conductor en el centro y uno concéntrico externo.

*CATV* (de sus siglas en inglés, community antenna television). Cable CATV se usa regularmente para LAN's con sistema de banda ancha.

*CE.* Carga de entrada se define como la tasa de datos generada por las estaciones conectadas a LAN.<sup>1</sup>

*CO.* Carga ofrecida se refiere al tráfico presentado en LAN.<sup>1</sup>

*Compuerta.* Interfaz que permite la interconexión entre dos LAN's. Las compuertas operan en el nivel de red de acuerdo al modelo OSI o bien al IEEE 802.

*CSMA/CD* (de sus siglas en inglés, carrier sense multiple access with collision detection). Protocolo donde una estación que quiere transmitir lo hace cuando el medio de transmisión está libre, puede suceder que más de una estación intenten transmitir a la vez provocando una "colisión", en tal caso a todas las estaciones se les avisa por medio de una breve señal llamada "jamming" la cual es una señal de interferencia.

*d.* Longitud del medio de transmisión.<sup>1</sup>

*DQI.* Cola considerada distribuida y como un dispositivo de almacenamiento "abstracto" conteniendo todos los paquetes generados en LAN, pero ahora no transmitidos sucesivamente sobre el medio de transmisión local.<sup>1</sup>

*d/V.* Tiempo de propagación en el medio (peor de los casos).<sup>1</sup>

*E.* Eficiencia de LAN que es la tasa total de datos transmitidos entre dos nodos.<sup>1</sup>

*ECMA/CD.* Eficiencia de CSMA/CD.<sup>1</sup>

*Estación terrena.* La conforma una gran cantidad de partes y componentes, tales como: el transmisor, el receptor, el amplificador de bajo ruido y la antena.

*Estrella.* Esta topología consiste de un elemento de cambio central, al cual se le conectan todos los dispositivos de comunicaciones de datos.

*Ethernet.* LAN típica constituida por una topología bus con sistema de transmisión banda base, cable coaxial y protocolo de acceso al medio CSMA/CD.

*Etotd.* Eficiencia total promedio de mensajes por unidad de tiempo para LAN. <sup>1</sup>

*FDM* (de sus siglas en inglés, frequency-division multiplexing). Una técnica para combinar múltiples señales en un circuito separandolas en frecuencia.

*Fibra optica.* Un medio de transmisión de onda de luz. Soporta banda ancha muy grande.

*FSK* (de sus siglas en inglés, frequency-shift keying). Una técnica de modulación analógica a digital en cual dos frecuencias diferentes son usadas para representar unos y ceros.

*i.* ( $i=1,2$ ) subíndice para denotar cantidades asociadas con LAN $i$  y  $j$  ( $j=2,1$ ) subíndice para referir cantidades con la otra LAN. <sup>1</sup>

*IEEE 802.* Un comité de IEEE (de sus siglas en inglés, institute of electrical and electronics engineers) organizado para producir estándares para LAN's.

*Interconexión de LAN's.* Enlace entre dos o más redes de área local con la finalidad de que exista comunicación entre los diferentes dispositivos de las redes.

*L.* Tamaño de trama o paquete. <sup>1</sup>

**LAN** (de sus siglas en inglés, local area network). Es una red de comunicaciones en la cual se interconectan una variedad de dispositivos de comunicaciones de datos, todos ellos distribuidos en una área de dimensión pequeña.

**LAN Broadband bus.** LAN típica consiste de una topología bus con sistema de transmisión banda ancha, cable coaxial y protocolo de acceso al medio token passing.

**LAN token ring.** LAN típica constituida por una topología anillo con sistema de transmisión banda base, con par trenzado y protocolo de acceso token ring.

**L/B.** Tiempo de transmisión, es decir el tiempo que toma un transmisor para poner una trama en el medio. <sup>1</sup>

**Manual del usuario.** Procedimiento que describe los pasos de operación de un programa o aplicación por computadora.

**Manual técnico.** Descripción detallada de los procesos del programa computacional.

**Medio de transmisión.** Ruta física entre transmisores y receptores de la red.

**Menú.** Es una pantalla principal de una aplicación por computadora constituida por una serie de opciones a escoger de los procesos del programa.

**Modelo IEEE 802 para LAN's.** Consiste de nivel de red, subnivel de control de enlace lógico, subnivel de protocolo de acceso al medio y nivel físico.

**Modelo OSI** (de sus siglas en inglés, open systems interconnection). Estructura para definir, desarrollar, y dar validez a normas para sistemas de información distribuidos. Consiste de siete niveles : aplicación, presentación, sesión, transporte, red, enlace de datos y físico.

*N.* Número de terminales.<sup>1</sup>

*n<sub>i</sub>* Eficiencia máxima de Si en paquetes por tiempo de transmisión de paquete (*T<sub>i</sub>(1)*).<sup>1</sup>

*Nivel de aplicación.* Soporta la comunicación inmediata con el proceso y supervisa la información.

*Nivel de enlace de datos.* Reglas de intercambio de información en el medio de transmisión.

*Nivel de presentación.* Se encarga de poner la información en un código entendible.

*Nivel de red.* Control del flujo de información en cada punto de la red.

*Nivel de sesión.* Reglas de sincronización de los participantes en la comunicación, procedimientos que rigen la interrupción y la reanudación de un diálogo.

*Nivel de transporte.* Se encarga del enlace entre la parte inferior y superior del modelo OSI y del fin de la comunicación entre dos procesos.

*Nivel físico.* Trata del mantenimiento, la activación y la desactivación del medio de transmisión, también abarca las características físicas de conexión de los equipos en términos eléctricos y mecánicos.

*N<sub>máxima</sub>.* Número de estaciones máxima.<sup>1</sup>

$$N_{máxima} = (T_{libre} + T_{aie}) / T_{aie}$$

*n(Zr).* Eficiencia máxima.<sup>1</sup>

*Paquete.* Un grupo de bits incluyen datos de direcciones del usuario origen y destino.

*Paquete "inter-LAN".* Grupo de bits generados por un usuario de una LAN con destino hacia otra LAN.<sup>1</sup>

*Par trenzado.* Un medio de transmisión electromagnético constituido por dos alambres aislados arreglados en un patrón espiral regular.

*Pi.* Probabilidad de un paquete "inter-LAN" de LANi. <sup>1</sup>

*Protocolo de acceso al medio.* Método para determinar cual dispositivo de comunicaciones tiene acceso al medio de transmisión en cualquier tiempo.

*Puente.* Interfaz que permite la interconexión de dos redes de área local. Opera dentro del modelo OSI en el nivel de enlace de datos y con respecto al modelo IEEE 802 en el subnivel protocolo de acceso al medio.

*Qi.* Cola del puente i de LANi. <sup>1</sup>

*R.* Retardo comprendido desde que un paquete o trama de un nodo esta listo para transmitirse hasta su completa emisión. <sup>1</sup>

*Rendimiento de LAN y de la interconexión de LAN's.* Se refiere a su desempeño o comportamiento.

*Ri.* Retardo de propagación máximo entre cualquiera de dos usuarios en LANi, en segundos. <sup>1</sup>

*S.* Modelo de la interconexión de dos Ethernet empleando puentes. <sup>1</sup>  
 $S = (DQ_1, Q_2, DQ_2, Q_1)$

*Satélite.* Estación relevadora situada en el espacio. Su función principal es recibir la señal proveniente de la estación terrena transmisora, darle el nivel de potencia adecuado y retransmitirla a la Tierra.

*Segmento espacial.* Comprende al satélite como estación repetidora.

*Segmento terrestre.* Formado por la estación terrena que transmite, así como por la que recibe.

*Sistema de banda ancha.* El uso del cable coaxial para proveer transferencia de datos por medio de señales analógicas de radio frecuencia. Señales digitales son pasadas directamente al modem y transmitidas sobre una de las bandas de frecuencia del cable.

*Sistema banda ancha canal simple.* Aquel que transporta solo una señal analógica simple.

*Sistema banda ancha FDM.* Usan comunmente señales analógicas y permiten tener múltiples canales. En el spectrum de frecuencias del cable se divide en canales o secciones de anchos de banda. Los canales separados pueden soportar tráfico de datos, televisión (TV) y señales de radio. Cabe aclarar que algunos canales de datos pueden transmitir señales digitales.

*Sistema banda base.* Se define como aquel que tiene un canal simple y usa señales digitales. En una red de área local, señales digitales (ceros y unos) son insertadas directamente en el cable como pulsos de voltaje. El spectrum del cable se consume por la señal. Este esquema no acepta FDM.

*Splitters.* Son usados para ramificar el cable, dan una atenuación igual a lo largo de las ramificaciones.

*S1.* Subsistema uno del modelo de la interconexión de dos Ethernet. <sup>1</sup>

$$S_1 = (DQ_1, Q_2)$$

*S2.* Subsistema dos del modelo de la interconexión de dos Ethernet. <sup>1</sup>

$$S_2 = (DQ_2, Q_1)$$

*Taps.* También llamados acopladores direccionales son el medio para dividir una entrada en dos salidas y la combinación de dos entradas en una salida.

*Throughput.* Datos procesados efectivos. <sup>1</sup>

*Ti(Zi)*. Tiempo de transmisión de paquete (en segundos) de acuerdo a  $Z_i$ .<sup>1</sup>

*Tlibre*. Tiempo promedio que una estación esta libre entre intentos de transmisión (la estación no tiene mensajes para transmitir).<sup>1</sup>

*Tmsj*. Tiempo requerido para transmitir un mensaje al medio de transmisión.<sup>1</sup>

*Token bus*. Protocolo de acceso al medio donde las estaciones que estan conectadas al bus llevan un orden lógico que no necesariamente es de acuerdo a su posición física, formando una ruta cerrada. El acceso al canal es regulado por una señal de control llamada "token".

*Token ring*. Protocolo de acceso al medio orientado a una topología anillo. En el medio de transmisión circula una señal de control llamada "token" cuando esta libre una estación puede transmitir poniendole al "token" ocupado, después cuando vuelve a regresar le coloca libre y otra estación puede atrapar el "token" y transmitir.

*Topología*. Estructura que consta de las rutas e interruptores, que proveen las comunicaciones interconectando nodos de la red.

*Tper*. Tramas perdidas.<sup>1</sup>

*Trama*. Un grupo de bits que incluye datos de una o más direcciones de usuarios. Generalmente referido al nivel de enlace de datos del modelo OSI.

*Transferencia de datos digitales*. Tres clases de transferencia son posibles en un cable de banda ancha: dedicado, "switched" y de acceso multiple. En el dedicado se tiene un enlace punto a punto, transmitiendo y recibiendo a la misma frecuencia. En el "switched" los dispositivos se conectan a un modem y de este al medio de transmisión, para una transmisión y una recepción se les asigna una frecuencia a los dispositivos, entre todas las frecuencias que se tengan

(FD..FN). En el acceso múltiple todos están a la misma frecuencia y solo uno puede transmitir a la vez.

*Transponder.* Transmisor-receptor de un satélite es el equipo empleado para recibir la señal de alta frecuencia, amplificarla, cambiarla de frecuencia y retransmitirla a la Tierra.

*Tels.* Tiempo requerido para transmitir un mensaje al medio de transmisión, considerando bits de cabecera. <sup>1</sup>

*U.* Utilización del medio de LAN, siendo la fracción de la capacidad que se usa. <sup>1</sup>

*U<sub>CSMA/CD</sub>.* Utilización del protocolo de acceso CSMA/CD. <sup>1</sup>

$$U_{CSMA/CD} = \frac{1}{1 + 2\alpha(1-A)/A}$$

*U<sub>Ethernet</sub>.* Utilización de Ethernet en función del parámetro "α". <sup>1</sup>

$$U_{Ethernet} = 1/(1+\alpha)$$

*U=E/C.* Utilización de LAN en función de su eficiencia y capacidad. <sup>1</sup>

*V.* Velocidad de propagación del medio de transmisión cable coaxial y par trenzado. <sup>1</sup>

$$V = 2 \times 10^8 \text{ m/seg.}$$

*W<sub>i</sub>.* Banda ancha disponible del medio en LAN<sub>i</sub> en bits por segundo (bps). <sup>1</sup>

*Z<sub>i</sub>.* Fracción de ancho de banda de W<sub>i</sub>. <sup>1</sup>

*Z<sub>r</sub>.* Fracción de banda ancha óptima. <sup>1</sup>

*α<sub>i</sub>.* Razón del retardo de propagación máximo del medio con respecto al tiempo de transmisión de paquete. <sup>1</sup>

*α(1).* Retardo de propagación normalizado. <sup>1</sup>



$\beta_i$ . Razón del tiempo de conflicto en el tiempo de transmisión de paquete.<sup>1</sup>

$\beta_i(Z_i)$ . Tiempo de conflicto (en segundos) en LAN<sub>i</sub> para los usuarios locales.<sup>1</sup>

$\lambda_i$ . Tasa de entrada en LAN<sub>i</sub> en paquetes por tiempo de transmisión de paquete ( $T_i(C_i)$ ), independientemente de  $Z_i$  usado.<sup>1</sup>

$\lambda_i$ . Intensidad de paquetes por segundo de un proceso de Poisson.<sup>1</sup>

$\lambda_i^H$ . Tasa de entrada en LAN<sub>i</sub> en paquetes por tiempo de transmisión de paquete.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Términos definidos y considerados específicamente para el análisis del rendimiento de Ethernet's y de su interconexión de dos de ellas en este trabajo.