

Ethernet: Su origen, funcionamiento y rendimiento

José Márquez Díaz*, Katherine Pardo Sánchez**,
Sisely Pizarro Valencia***

Resumen

Este artículo pretende dar a conocer algunos aspectos no muy conocidos de Ethernet. En primera instancia se habla de sus orígenes y evolución y luego continúa con características del funcionamiento, y por último conceptos relacionados con su nivel de rendimiento.

Palabras claves: Señal Jam, Tiempo Gap, Retroceso Exponencial Binario, colisión, CSMA/CD.

Abstract

This article seeks to give to know some aspects very not well-known of Ethernet. In first instance it is spoken of their origins and evolution and then it continues with characteristic of the operation and lastly concepts related with their performance level.

Key words: Jam Signal, Interframe Gap, Binary Exponential Backoff, Collision, Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect.

Fecha de recepción: 14 de febrero de 2001

INTRODUCCIÓN

El sistema de red Ethernet fue originalmente creado por Xerox pero desarro-

llado conjuntamente como una norma en 1980 por *Digital Equipment Corporation, Intel y Xerox*. Esta norma se conoció como DIX Ethernet, haciendo referencia a los nombres de quienes lo habían desarrollado. La norma 802.3 del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, *Institute of Electrical and Electronic Engineering*) define una red similar, aunque ligeramente diferente, que utiliza un formato alternativo de trama (una trama constituye la estructura de codificación de un flujo de bits transmitidos a través de un enlace). Puesto que la norma 802.3 del IEEE ha sido adoptada por la Organización

* Ingeniero de Sistemas de la Universidad del Norte; aspirante al título de la Maestría en Ciencias Computacionales Convenio UNAB - ITESM; profesor e investigador del Departamento de Sistemas de la Universidad del Norte.

(e-mail: jmarquez@uninorte.edu.co)

** Ingeniera de Sistemas de la Universidad del Norte. Proyecto de grado: «Análisis de Tráfico en Redes de Área Local: Ethernet y Token Ring», 2000. (e-mail: kpardo@starmedia.com.)

*** Ingeniera de Sistemas de la Universidad del Norte. Proyecto de grado: «Análisis de Tráfico en Redes de Área Local: Ethernet y Token Ring», 2000. (e-mail: siselypp@yahoo.com)

Internacional de Normalización (ISO, *International Organization for Standardization*), Ethernet presenta un rendimiento de 10 Mbits/seg, y utiliza un método de acceso sensible a la señal portadora, mediante el cual las estaciones de trabajo comparten un cable de red, pero sólo una de ellas puede utilizarlo en un momento dado. El método de Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones (CSMA/CD, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) se utiliza para arbitrar el cable. El comité 802.3 del IEEE es el responsable de la definición del nivel físico en la pila de protocolos OSI (*Open System Interconnection*). Este nivel se divide en dos subniveles denominados subnivel de Control de Acceso al Medio (MAC, *Media Access Control*) y subnivel de Base de Enlace de Datos (*Data-Link*). Las redes CSMA / CD, en anillo con testigo y en bus con testigo pueden «conectarse» al nivel MAC, actuando el nivel de enlace de datos como puente para transferir paquetes entre redes, si es necesario. Todas las adaptaciones de la norma 802.3 del IEEE presentan una velocidad de 10 Mbits/seg., con la excepción de la 1 Base-5, que permite la transmisión a 1 Mbit/seg. Pueden conectarse hasta 8.000 estaciones de trabajo en una única red de área local (LAN, *Local Area Network*). Se debe tener en cuenta que el primer número del nombre se refiere a la velocidad en Mbits/seg., y el último a los metros que admite un segmento (multiplicados por 100). Base hace referencia a banda base y Broad a banda ancha.

1. ¿Cómo surgió Ethernet?¹

Cuando la ARPANET llevaba sólo unos pocos meses de haber entrado en funcionamiento (1970), un equipo de la Universidad de Hawaii, dirigido por Norman Abramson, comenzó a experimentar en el laboratorio cómo lograr crear una red que interconectara terminales ubicadas en las islas de Kauai, Maui y Hawaii, teniendo una computadora central en Oahu. Una alternativa era utilizar enlaces telefónicos, pero el costo elevado y la baja calidad hicieron descartar esta posibilidad.

Entonces Abramson con su equipo consiguieron varios transmisores de radio de taxis viejos con los que lograron poner en marcha una red de radio enlaces entre las islas; para esto utilizaron *modems* hechos artesanalmente. En lugar de asignar un canal distinto para la comunicación hacia y desde cualquier isla hasta Oahu (eran necesarios 6), asignaron solamente dos: uno a 413.475 Mhz para la transmisión de Oahu a Kauai, Maui y Hawaii, y otro a 407.350 Mhz para el proceso inverso. De esta forma, cada canal podía tener un ancho de banda mayor (100Khz) y, por tanto, más capacidad (9.6 Kbps) que si se hubieran establecido 6 canales. El canal de Oahu no planteaba problemas, pues sólo tenía un emisor, sin embargo, el canal de retorno era compartido por las tres islas, por lo que se hizo necesario establecer reglas que permitieran resol-

¹ <http://www.rediris.es/rediris/boletin/46-47/ponencia9.html>

ver el problema que se producía cuando dos emisores querían enviar al mismo tiempo información, es decir, si se producía colisión. Se requería un protocolo MAC (*Media Access Control*).

La red inventada por este grupo de investigadores se llamó ALOHANET y el protocolo MAC utilizado se llamó ALOHA. Su principio de funcionamiento era: Cuando un emisor quiere transmitir una trama la envía, sin preocuparse si el canal está libre; una vez ha terminado, se queda escuchando hasta recibir el asentimiento de que la información ha sido recibida correctamente por la estación destino. Si ha pasado un tiempo razonable y el asentimiento no ha llegado, la estación emisora supone que hubo colisión, espera un tiempo aleatorio y retransmite la trama.

Como es de esperarse, la eficiencia de este protocolo ALOHA es baja, ya que se basa en el caos. Cuando el nivel de utilización de canal crece y el número de estaciones aumenta, la red puede llegar a colapsarse, es decir, se satura, por lo cual deja de enviar información útil. Hoy en día este protocolo es muy poco utilizado, pues el protocolo Ethernet ofrece mucha más eficiencia.

1.1. *Nació la Ethernet*

En el mismo año 1970, cuando Abramson montaba ALOHANET, un estudiante del MIT, llamado Robert Metcalfe, experimentaba con la recién estrenada ARPANET y conectaba entre sí ordenadores en un laboratorio. Metcalfe estu-

dió la red de Abramson y empezó ese mismo año una tesis doctoral en Harvard, que terminaría en 1973, en la que, desde un punto de vista teórico, planteaba mejoras que se podrían introducir al protocolo ALOHA para aumentar su rendimiento. La idea básica era muy simple: las estaciones antes de transmitir deberían detectar si el canal ya estaba en uso (es decir, si ya había 'portadora'), en cuyo caso esperarían a que la estación activa terminara antes de transmitir. Además, cada estación, mientras transmitiera, estaría continuamente vigilando el medio físico por si se producía alguna colisión, en cuyo caso pararía y transmitiría más tarde. Años después, este protocolo MAC recibiría la denominación de Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones, o más brevemente, CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*).

En 1972 Metcalfe se mudó a California para trabajar en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto, llamado Xerox PARC (*Palo Alto Research Center*). Allí se diseñaba lo que se consideraba la 'oficina del futuro', y encontró un ambiente perfecto para desarrollar sus inquietudes. Se estaban probando unos ordenadores denominados «Alto», que disponían de capacidades gráficas y ratón, y son considerados los primeros ordenadores personales. También se estaban fabricando las primeras impresoras láser. Se quería conectar los ordenadores entre sí para compartir ficheros y las impresoras. La comunicación tenía que ser de muy alta velocidad,

del orden de megabits por segundo, ya que la cantidad de información que se debía enviar a las impresoras era enorme (tenían una resolución y velocidad comparables a una impresora láser actual). Estas ideas que hoy parecen obvias eran completamente revolucionarias en 1973.

A Metcalfe, el especialista en comunicaciones del equipo con 27 años de edad, se le encomendó la tarea de diseñar y construir la red que uniera todo aquello. Contaba para ello con la ayuda de un estudiante de doctorado de Stanford llamado David Boggs. Las primeras experiencias de la red, que denominaron «Alto Aloha Network», las llevaron a cabo en 1972. Fueron mejorando gradualmente el prototipo hasta que el 22 de mayo de 1973 Metcalfe escribió un memorando interno en el que informaba de la nueva red. Para evitar que se pudiera pensar que sólo servía para conectar ordenadores, Alto cambió el nombre inicial por el de Ethernet, que hacía referencia a la teoría de la física, hoy ya abandonada, según la cual las ondas electromagnéticas viajaban por un fluido denominado éter que se suponía llenaba todo el espacio (Metcalfe llamaba «éter» al cable coaxial por el que iba la portadora). Los dos ordenadores Alto utilizados para las primeras pruebas fueron rebautizados entonces con los nombres Michelson y Morley, en alusión a los dos físicos que demostraron en 1887 la inexistencia del éter mediante el experimento que lleva su nombre.

La red de 1973 ya tenía todas las

características esenciales de la Ethernet actual. Empleaba CSMA/CD para minimizar la probabilidad de colisión, y en caso de que ésta se produjera ponía en marcha el mecanismo de retroceso exponencial binario para reducir gradualmente la 'agresividad' del emisor, con lo que éste se autoadaptaba a situaciones de muy diverso nivel de tráfico. Tenía topología de bus y funcionaba a 2,94 Mbps sobre un segmento de cable coaxial de 1,6 Km de longitud. Las direcciones eran de 8 bits y el CRC de las tramas de 16 bits. El protocolo utilizado a nivel de red era el PUP (*Parc Universal Packet*), que luego evolucionaría hasta convertirse en el actual XNS (*Xerox Network System*).

En vez de utilizar cable coaxial de 75W, más habitual por ser el utilizado en redes de televisión por cable, se optó por emplear cable de 50W, que producía menos reflexiones de la señal, a las cuales Ethernet era muy sensible por transmitir la señal en banda base (es decir, sin modulación). Las reflexiones se producen en cada empalme del cable y en cada empalme vampiro (*transceiver*). En la práctica, el número máximo de empalmes vampiro y, por tanto, el número máximo de estaciones en un segmento 10BASE5 están limitados por la máxima intensidad de señal reflejada tolerable. En 1975 Metcalfe y Boggs describieron Ethernet en un artículo que enviaron a *Communications of the ACM (Association for Computing Machinery)*, que fue publicado en 1976 [5]. En él ya describían el uso de repetidores para aumentar el alcance de la red. En 1977 Metcalfe,

Boggs y otros dos ingenieros de *Xerox* recibieron una patente por la tecnología básica de Ethernet, y en 1978 Metcalfe y Boggs recibieron otra por el repetidor. En esa época todo el sistema Ethernet era propiedad de *Xerox*.

Aunque no relacionado con Ethernet, vale la pena mencionar que David Boggs construyó en 1975 en el Xerox PARC el primer *router* y el primer servidor de nombres de la Internet.²

Cronología de Ethernet hasta ser aprobado el estándar

1970	Primeras experiencias de redes broadcast en Hawaii: ALOHANET. Protocolos MAC: ALOHA puro y Ranurado.
22/5/1973	Robert Metcalfe y David Boggs conectan dos ordenadores Alto con cable coaxial a 2,94 Mbps en el <i>Xerox Palo Alto Research Center</i> , mediante una red denominada Ethernet.
Mayo 1975	Metcalfe y Boggs escriben un artículo en el que describen a Ethernet, y lo envían para su publicación a <i>Communications of the ACM</i> .
1976	<i>Xerox</i> crea SSD, una división para el desarrollo de los ordenadores personales y la red X-wire (nuevo nombre de Ethernet).
1979	Se constituye la alianza DIX (DEC-Intel-Xerox) para impulsar el desarrollo técnico y comercial de la red. Se vuelve al nombre original de Ethernet. Metcalfe abandona <i>Xerox</i> y crea 3Com.
Febrero 1980	El IEEE crea el proyecto 802.
Abril 1980	DIX anuncia al IEEE 802 que está desarrollando una tecnología de red local que pretende estandarizar.
Septiembre 1980	DIX publica Ethernet (libro azul) versión 1.0. Velocidad 10 Mbps.
1982	DIX publica Ethernet (libro azul) versión 2.0. 3Com produce las primeras tarjetas 10BASE2 para PC.
24/6/1983	IEEE aprueba el estándar 802.3, que coincide casi completamente con DIX Ethernet. El único medio físico soportado es 10BASE5.
1/1/1984	AT&T se subdivide en AT&T Long Lines y 23 BOCs (<i>Bell Operating Companies</i>). Los tendidos de cable telefónico internos de los edificios pasan a ser gestionados por los usuarios.
1984	DEC comercializa los primeros puentes transparentes
21/12/1984	ANSI ³ aprueba el estándar IEEE 802.3.

² *Ibid.*, p. 3.

³ Ver terminología.

1.2. Estandarización

Durante los años setenta, paralelamente al desarrollo de Ethernet en otras universidades y centros de investigación se estaban realizando experimentos con respecto a redes de área local utilizando otras topologías como anillo, estrella o bus.

Ante tal situación, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) puso en funcionamiento un proyecto llamado «comité 802», por el año y mes en que fue desarrollado. Esto con el fin de estandarizar una tecnología que permitiera incorporar los diferentes productos comerciales disponibles en redes locales hasta ese momento. De este modo se lograría establecer una libre competencia, bajar los precios y así beneficiar a los usuarios.

Dos meses después de haberse dado a conocer este comité (abril de 1980), *DIX* le informó que su producto ya estaba en la etapa final (la Ethernet) y que cuando estuviera terminado lo propondría para estandarización. Después de la propuesta de *DIX*, el «comité 802» también recibió otra de *General Motors* con su red llamada *Token Bus*, que utilizaba un protocolo basado en Paso de Testigo. Algo más tarde también recibió la de *IBM*, llamada *Token Ring*.

Finalmente, el IEEE, viendo que no era posible satisfacer todos los productos con un único estándar y que tampoco era posible descartar alguna de las tres tecnologías propuestas, decidió aceptar

las tres propuestas y crear un subcomité para cada una:

- 802.3 para Ethernet (protocolo CSMA /CD)
- 802.4 para Token Bus (protocolo de Paso de Testigo en Bus)
- 802.5 para Token Ring (protocolo de Paso de Testigo en Anillo)

El «comité 802» pasó varios meses reunido reesumiendo el estándar Ethernet e introdujo diversos cambios, que fueron realizados y finalmente resueltos por *Xerox*, para evitar el problema de incompatibilidad con el producto original.

2. ¿Cómo funciona Ethernet?³

El protocolo CSMA/CD incorpora dos mejoras que aumentan el rendimiento en una red: en primer lugar, no se transmite si hay otra estación hablando, y en segundo, si mientras se está transmitiendo detecta que otra estación transmite (es decir, se produce una colisión), la estación se calla, en lugar de seguir transmitiendo inútilmente al final de la trama.

Se produce una «colisión» cuando dos o más estaciones empiezan a transmitir simultáneamente o con una separación en el tiempo de propagación que las separa⁴. Por ejemplo, en una red donde el tiempo de ida y vuelta es igual

³ <http://www.rediris.es/rediris/boletin/49/enfoque3.html>.

⁴ Este tiempo, también llamado t_p , es el que tarda la señal eléctrica en viajar de una estación a otra.

a 5.06 ms se producirá una colisión siempre que dos nodos⁸ transmitan con una separación en el tiempo menor de 2.53 ms. Si la separación es mayor que 2.53ms, no se producirá colisión, ya que el segundo detectará el medio ocupado cuando vaya a transmitir; en ese caso esperará a que el primero termine y transmitirá inmediatamente a continuación, respetando el tiempo del hueco entre tramas (Tiempo GAP, que para una red de 10Mb tiene un valor de 9,6 ms). Aunque transcurridos t ms ya no puede ocurrir colisión, desde el punto de vista de la estación emisora, la garantía de no colisión sólo se tiene pasado 2t ms.

Supongamos que los dos nodos intentan transmitir con una separación en el tiempo menor de 2.53 ms. Al detectar la colisión ambos dejan de transmitir, y a partir de ese momento dividen el tiempo en intervalos de 51.2 ms⁵. Entonces esperan 0 o 1 intervalos para reintentar (la elección entre 0 y 1 la hace cada uno independientemente de forma aleatoria, por lo que la probabilidad de colisión es 0.5); si se produce una segunda colisión, cada estación espera aleatoriamente 0, 1, 2 o 3 intervalos para reintentar, con lo que la probabilidad de colisión baja a 0.25. Si siguen colisionando, el número de intervalos se duplica en cada intento sucesivo, de manera que la probabilidad de colisión decrece exponencialmente, hasta que eventualmente ambos eligen intervalos distintos, momen-

to en el cual el que elige el intervalo más bajo transmite primero, el segundo lo hará más tarde, cuando llegue su intervalo elegido, siempre y cuando el primero ya haya terminado de transmitir. El cómputo del tiempo, a efecto del cálculo de intervalo, discurre independientemente de que el medio físico se encuentre libre u ocupado. Este mecanismo se conoce con el nombre de «Retroceso Exponencial Binario».

Supongamos ahora que una estación ha sufrido una primera colisión, por lo que se encuentra en su segundo intento, aquí elegirá uno de dos posibles intervalos (0 y 1). Si elige el primero, transmitirá inmediatamente, mientras que si elige el segundo esperará 51.2 ms. Por tanto, el primer reintento introduce un retardo de 25.6 ms. Si se produce una segunda colisión, la estación tendrá que iniciar un tercer intento, eligiendo esta vez entre cuatro posibles intervalos (0, 1, 2, 3), lo cual introducirá un retardo medio adicional de 76.8 ms ($0 + 51.2 + 102.4 + 153.6 = 307.2 / 4 = 76.8$). Como este segundo retardo se sumará al ya sufrido en el primer intento, podemos estimar que el retardo acumulado en este segundo intento es de $25.6 + 76.8 = 102.4$ ms.

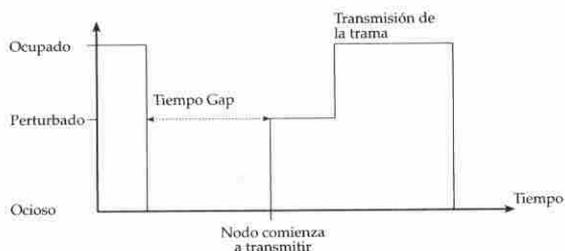


Figura 1. Transmisión Exitosa

⁸ Ver terminología.

⁵ Este es el valor de 2t máximo permitido en una red Ethernet a 10 Mbps.

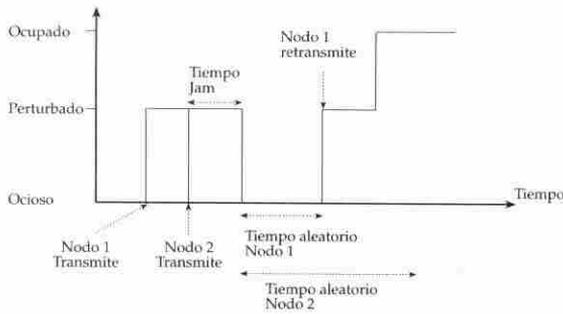


Figura 2. Escenario de Colisión

Las figuras 1 y 2 muestran los dos posibles estados de transmisión de datos en Ethernet. Si el medio está ocupado, el intento de transmisión será diferido hasta que éste se desocupe, más un retraso de tiempo igual al tiempo Gap. Si el medio está ocioso, entonces el intento de transmisión puede realizarse inmediatamente (figura 1).

Si otros nodos intentan transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión. El medio es agolpado durante el tiempo Jam para alertar a todas las estaciones que ha ocurrido un episodio de colisión. Las estaciones que colisionan entran a *Backoff* para que su reintento de transmisión sea planeado. Note que dos o más tramas pueden colisionar en un mismo episodio (figura 2).

2.1. Algoritmo Exponencial en Backoff (binario)

En definitiva, el protocolo MAC de Ethernet (CSMA/CD) especifica que un nodo con un paquete que se va a transmitir debe proceder como sigue:

1. Esperar que el canal esté aislado (libre)
2. Transmitir y escuchar al mismo tiempo
3. En caso de colisión, detener la transmisión del paquete, transmitir una señal Jam, esperar un tiempo aleatorio y volver al punto 1.

El protocolo abandona la transmisión después de 16 colisiones sucesivas. El tiempo aleatorio hasta el reintento se selecciona usando el algoritmo Exponencial en Backoff.

- *Algoritmo*⁶:

Si el paquete ha colisionado $n < 16$ veces seguidas, el nodo selecciona un número aleatorio k con igual probabilidad del conjunto $\{0, 1, 2, 3, \dots, 2^m - 1\}$, donde $m = \lceil \log_2 n \rceil$. El nodo espera $512 - k$ tiempos de bit (a 10 Mbps, 1 tiempo de bit es 10^{-7} segundos).

- Tras la primera colisión, espera un tiempo aleatorio elegido al azar del conjunto $\{0 \text{ o } 512\}$ con igual probabilidad.
- Tras dos colisiones sucesivas, espera un tiempo aleatorio elegido al azar del conjunto $\{0, 512, 1024 \text{ o } 1536\}$ equiprobablemente.
- Tras tres colisiones sucesivas, espera un tiempo aleatorio elegido al azar del conjunto $\{0, 512, 1024, \dots, 3584\}$ equiprobablemente.

⁶ <http://www.pchardware.org>

Este algoritmo reduce rápidamente la probabilidad de colisiones repetidas al ir separando los posibles valores de los tiempos de espera. Si dos nodos han colisionado tres veces sucesivas, la probabilidad de que elijan el mismo retraso hasta el cuarto reintento es $1/8$. Además, si dos nodos eligen diferentes múltiplos de 512, el que elige el más pequeño transmitirá con éxito. Por tanto, el tiempo de propagación entre dos nodos cualesquiera debe ser menor que 512 bit veces, y así la señal desde el nodo con menor retraso alcanzará al otro antes de que este segundo intente retransmitir.

El Retroceso Exponencial Binario tiene la propiedad de ser autoadaptativo, ya que a medida que crece el tráfico aumenta la probabilidad de colisión, lo cual introduce un retardo creciente en las estaciones emisoras, con la consiguiente disminución del tráfico. Para evitar introducir retardos excesivos, el número de intervalos deja de duplicarse cuando una estación sufre 10 colisiones sucesivas. A partir de ese momento se intenta transmitir la trama 6 veces más, pero manteniendo constante el número de intervalos. Si la colisión no se resuelve en 16 intentos, el protocolo MAC descarta la trama y reporta el fallo al nivel de red.

Un detalle importante que se debe destacar del Retroceso Exponencial Binario es que cuando una estación consigue finalmente transmitir una trama, su contador de iteraciones se pone a cero, con lo que al transmitir la siguiente empezará el proceso desde el princi-

pio como si nada hubiera pasado.

La «colisión» es el mecanismo previsto en Ethernet para la regulación del tráfico, por lo que una cierta proporción de colisiones es algo completamente normal, especialmente si hay tráfico elevado y se transmiten tramas pequeñas. La denominación «colisión» es desafortunada, ya que hace pensar en un suceso incorrecto e indeseable, que normalmente no debería ocurrir.

3. Tasa de colisiones y rendimiento

Muchos concentradores y equipos de medida incorporan algún indicador de la tasa de colisiones de una red. Podemos definir la tasa de colisiones mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa}_{\text{col}} = N_{\text{col}} / (N_{\text{col}} + N_{\text{trans}}) \text{ donde}$$

Tasa_{col} : Tasa de colisiones

N_{col} : Número de colisiones ocurridas por segundo

N_{trans} : Número de tramas transmitidas correctamente por segundo

A menudo, la tasa de colisiones se especifica en forma porcentual. Por ejemplo, una tasa de colisiones del 20% indica que se produce de media 2 colisiones por cada 18 tramas transmitidas correctamente.

Si se conoce la tasa de colisiones y el tamaño medio de trama de una red (Tr_{med}), se puede realizar un cálculo aproximado del rendimiento o eficiencia de la misma (E_f).

$$E_f = 1 - (Tasa_{col} * 512) / (Tasa_{col} * 512 + (1 - Tasa_{col}) * Tr_{med})$$

Ejemplo: Para una red con una tasa de colisiones del 30% y un tamaño medio de trama de 512 bits, la eficiencia es:

$$E_f = 1 - (30\% * 512 \text{ bits}) / (30\% * 512 \text{ bits} + 70\% * 512 \text{ bits}) = 0.7 = 70\%$$

La trama en una red Ethernet puede variar entre un mínimo de 72 bytes y un máximo de 1.526. De este modo, la máxima tasa de colisiones para una trama Ethernet variará de acuerdo con el tamaño de la trama. Las operaciones en Ethernet necesitan un "tiempo muerto" entre tramas de 9,6 ms. El tiempo por bit para una Ethernet a 10 Mbps es $1/10^{-7}$ o 100 ns. Con base en lo anterior se puede calcular el máximo número de tramas por segundo para tramas de 1.526 bytes:

$$\begin{aligned} &9.6\text{ms} + 1526 \text{ bytes} * 8 \text{ bits/bytes} \text{ o} \\ &9.6 \text{ ms} + 12208 \text{ bits} * 100\text{ns/bit} \text{ o} \\ &1.23 \text{ ms} \end{aligned}$$

Así, en un segundo puede haber un máximo de $1/1.23$ de tiempo por bit u 812 bytes de tamaño máximo de trama. Para un mínimo tamaño de trama, el tiempo por trama es:

$$\begin{aligned} &9.6 \text{ ms} + 72 \text{ bytes} * 8 \text{ bits/bytes} * 100 \text{ ns/} \\ &\quad \text{bit} \text{ o} \\ &67.2 \times 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

De esta forma, en un segundo puede haber un máximo de $1/67.2 \times 10^{-6}$ ms (en tiempo por bit) o 14880 bytes y un tamaño mínimo de trama de 72 bytes.

CONCLUSIONES

Según IDC⁷, a finales de 1997 más del 85% de las conexiones de red instaladas en el mundo eran Ethernet, lo cual representa unos 118 millones de ordenadores. El 17% restante está formado por Token Ring, FDDI, ATM y otras tecnologías. Todos los sistemas operativos y aplicaciones populares son compatibles con Ethernet, así como las pilas de protocolos de niveles superiores, tales como TCP/IP, IPX, NetBEUI y DECnet.

Las previsiones para 1998 eran de que el 86% de las nuevas conexiones LAN fueran Ethernet, lo cual supone más de 48 millones de interfaces de red y otros tantos puertos de concentradores y conmutadores. Las ventas de ATM, FDDI y Token Ring conjuntamente serán de 5 millones de interfaces y 4 millones de puertos, un 10 y un 7% del total, respectivamente. Hoy en día, las tarjetas de red incorporadas a los PC's en su mayoría son Ethernet.

Así pues, la hegemonía en el mundo de las redes locales que Ethernet ha disfrutado desde su debut comercial en 1981 no sólo se mantiene sino que parece ir más lejos. Todos sus competidores han quedado en el camino. ATM, que durante algún tiempo parecía ser el futuro de las redes locales, no sólo no ha conquistado al usuario final sino que al parecer será desplazado rápidamente del *backbone de campus* por Gigabit

⁷ International Data Corporation.

Ethernet. Mas aún, las últimas tendencias en redes de área extensa de muy alta velocidad basadas en DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) estudian la posibilidad de sustituir las tecnologías tradicionales ATM y SONET/SDH como medio de transporte de tráfico IP por una versión de Ethernet que funcionaría a 10 Gbps.

Cuando Ethernet comenzó su andadura comercial a principios de los ochenta, muchos consideraban que 10 Mbps era una velocidad excesiva y que esto encarecía innecesariamente la red; por aquel entonces ningún ordenador era capaz de enviar a esa velocidad. Por ejemplo, en 1983 un mainframe VAX 8600 (considerado en su tiempo una máquina potente) podía transmitir unos 6 Mbps en el mejor de los casos; con los protocolos de transporte habituales los rendimientos eran sensiblemente inferiores.

En 1988 Van Jacobson (probablemente la persona que más ha contribuido a mejorar el rendimiento del TCP) envió un artículo a *Usenet* informando que había conseguido una velocidad de transferencia de 8 Mbps sobre Ethernet entre dos estaciones de trabajo Sun utilizando una versión optimizada de TCP. A partir de ese momento las mejoras en el *hardware* (CPUs, discos, tarjetas controladoras, etc.) y en el *software* (sistemas operativos, protocolos de transporte, etc.) empezaron a hacer cada vez más fácil que un solo equipo saturara una Ethernet.

Entonces la única solución estándar para pasar a velocidades superiores era FDDI (que, por cierto, es un estándar ANSI e ISO, pero no IEEE). Sin embargo, FDDI nunca se mostró como una alternativa interesante para los usuarios de Ethernet. Aunque robusta y fiable, tenía una gestión compleja y permanecía en unos precios inaccesibles para la mayoría de las instalaciones, o sólo asumibles cuando se trataba de la red principal o 'backbone', pero no para el acceso del usuario final. Además, su compatibilidad con Ethernet es reducida, ya que FDDI no es CSMA/CD y utiliza una estructura de trama diferente. Esto complicaba las cosas cuando se quería migrar desde Ethernet, y más aún si habían de coexistir ambas redes.

En un intento por cubrir esta demanda, *Grand Junction* sacó en 1992 una versión de Ethernet que funcionaba a 100 Mbps. Esto tuvo un éxito considerable y provocó la creación, ese mismo año, en el seno del IEEE de un grupo de estudio sobre redes de alta velocidad, con la misión de estudiar la posibilidad de ampliar el estándar a 100 Mbps. Se plantearon dos propuestas:

- Mantener el protocolo CSMA/CD en todos sus aspectos, pero aumentar en un factor 10 la velocidad de la red. Al mantener el tamaño de trama mínimo (64 bytes) se reducía en diez veces el tamaño máximo de la red, lo cual daba un diámetro máximo de unos 400 metros. El uso de CSMA/CD suponía la ya conocida pérdida de eficiencia debida a las colisiones.

- Aprovechar la revisión para crear un nuevo protocolo MAC sin colisiones, más eficiente y con más funcionalidades (más parecido, en cierto modo, a Token Ring), pero manteniendo la misma estructura de trama de Ethernet.

La primera propuesta tenía la ventaja de acelerar el proceso de estandarización y el desarrollo de productos, mientras que la segunda era técnicamente superior. El subcomité 802.3 decidió finalmente adoptar la primera propuesta, que siguió su camino hasta convertirse en lo que hoy conocemos como Fast Ethernet, aprobado en junio de 1995 como el suplemento 802.3u a la norma ya existente. Para acelerar el proceso se utilizaron para el nivel físico buena parte de las especificaciones ya desarrolladas por ANSI para FDDI. Los medios físicos soportados por Fast Ethernet son fibra óptica multimodo, cable UTP categoría 3 y categoría 5 y cable STP (*Shielded Twisted Pair*).

Los partidarios de la segunda propuesta, considerando que sus ideas podrían tener cierto interés, decidieron crear otro subcomité del IEEE, el 802.12, que desarrolló la red conocida como 100VG-AnyLAN. Durante cierto tiempo hubo competencia entre ambas redes por conseguir mercado; hoy en día la balanza se inclina ampliamente hacia Fast Ethernet. Algunos fabricantes (notablemente HP, autor de la propuesta) aún mantienen un amplio catálogo de productos para 100VG-AnyLAN. Vale la pena recalcar que 100VG-AnyLAN,

aunque puede funcionar con estructura de trama Ethernet (y también con Token Ring, de ahí la denominación de AnyLAN) no utiliza CSMA/CD, y por tanto no puede denominarse Ethernet. Alguna literatura confunde esta red con la Fast Ethernet.

La red Fast Ethernet se extendió con una rapidez incluso superior a las expectativas más optimistas. Como consecuencia de esto, los precios bajaron y su uso se popularizó hasta el usuario final. Esto generaba un requerimiento de velocidades superiores en el *backbone* que no podían ser satisfechas por otras tecnologías (salvo quizá por ATM a 622 Mbps, pero a precios astronómicos). La experiencia positiva habida con Fast Ethernet animó al subcomité 802.3 a iniciar en 1995 otro grupo de trabajo que estudiara el aumento de velocidad de nuevo en un factor diez, el cual creó lo que se denomina Gigabit Ethernet.

Aunque en 1995, recién aprobado Fast Ethernet, parecía descabellado plantear estas velocidades para redes convencionales, las previsiones de aumento en rendimiento y nivel de integración de los *chips* hacían prever que para 1998 sería factible construir controladores de red para esas velocidades con tecnología convencional a precios asequibles. Siguiendo un calendario similar al empleado en Fast Ethernet y con un grupo de personas muy parecido se inició un proceso que culminó el 29 de junio de 1998 con la aprobación del suplemento 802.3z.

De forma análoga a lo que Fast Ethernet hizo con FDDI para el nivel físico, el grupo que elaboró las especificaciones de Gigabit Ethernet se basó en lo posible en los estándares ANSI de Fiber Channel a 800 Mbps, y aumentó adecuadamente las velocidades. Se pretendía poder utilizar los mismos medios físicos que en Fiber Channel: emisores láser con fibra óptica multimodo y monomodo, cable de par trenzado apantallado y además cable UTP categoría 5. En el caso de la fibra multimodo, se quería llegar a una distancia mayor que en Fiber Channel, lo cual planteó algunos problemas técnicos que retrasaron en unos meses la elaboración del estándar. En el caso de Gigabit Ethernet sobre cable UTP categoría 5, el reto tecnológico era de tal magnitud que en marzo de 1997 se decidió segregar un nuevo grupo de trabajo, el 802.3ab, para desarrollar exclusivamente este caso y no retrasar la aprobación del resto de medios físicos. Se preveía que el suplemento 802.3ab se aprobaría en marzo de 1999.

Referencias

- <http://www.rediris.es/rediris/boletin/46-47/ponencia9.html>
<http://www.rediris.es/rediris/boletin/49/enfoque3.html>
<http://www.pchardware.org>
<http://webopedia.internet.com/TERM/E/Ethernet.html>
<http://webopedia.internet.com/TERM/E/Ethernet.html>
<http://www.cs.bsu.edu/homepages/peb/cs637/ethernet/concepts.htm> (concepts)
<http://www.disc.ua.es/asignaturas/rc/trabajos/100baseT/ether52.html>
<http://www.researchdigital.com/wrl/publications/>

[abstracts/88.4.html](http://www.acm.org/classics/apr96/abstracts/88.4.html)

<http://www.acm.org/classics/apr96/>

TERMINOLOGÍA

- **ANSI** (*American National Standards Institute*): Organización responsable en Estados Unidos de la coordinación de las actividades de estandarización. ANSI es miembro de ISO.
- **BACKOFF**: Algoritmo de Retroceso Exponencial Binario, utilizado para planificar la transmisión de estaciones que colisionan en una red Ethernet.
- **JAM**: En realidad, cuando se produce una colisión, las estaciones Ethernet no paran inmediatamente de transmitir, sino que emiten entonces una señal espacial de 32 bits, denominada «señal de atasco» para asegurarse de que cualquier estación que esté a la escucha sabrá que se ha producido una colisión y descartará lo recibido hasta ese momento.
- **GAP**: Es la cantidad de tiempo intertrama especificada entre la transmisión de tramas de una estación. Los diseñadores de Ethernet arbitrariamente escogieron un tiempo de 96 bits para que se transmitieran tramas de una estación. Este retraso se diseñó con el fin de que al momento de una estación querer transmitir y encontrar el canal ocupado, esperar dicho intervalo antes de transmitir nuevamente. Esto con el fin de mejorar el desempeño normal de una red Ethernet.