

Contenido:

1 Introducción.....	4
2 Desarrollo	5
2.1 Ethernet.....	5
2.1.1 Identificadores abreviados del IEEE	6
2.1.2 Diferencias entre DIX Ethernet e IEEE 802.3	7
2.1.3 Colisiones en Ethernet	7
2.2 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)	8
2.3 Desde Ethernet Gruesa hasta Ethernet por Fibra Óptica	9
2.3.1 Ethernet Gruesa (10Base5).....	9
2.3.2 Ethernet Delgada (10Base2)	10
2.3.3 Ethernet por Par Trenzado (10Base-T)	11
2.3.4 Ethernet de Fibra Óptica (10Base-F).....	12
2.4 Directrices de Cableado.....	13
2.4.1 Cálculos de temporización en Ethernet.....	16
2.4.2 Identificación de la ruta del peor caso.....	17
2.4.3 Cálculo del tiempo de retardo de ida y vuelta	18
2.4.4 Cálculo de la contracción del espacio entre tramas	20
2.4.5 Más allá de las especificaciones de cableado de Ethernet	21
2.5 La trama Ethernet.....	22
2.5.1 La trama IEEE 802.3	22
2.5.2 La trama Ethernet II.....	24
2.5.3 Estructura y funciones del LLC.....	25
2.6 Operación Full-Duplex en Ethernet.....	27
2.6.1 Requisitos y control de flujo.....	27
2.6.2 Aplicaciones prácticas.....	28
3 Conclusión.....	29
4 Referencias Bibliográficas.....	30

Índice de figuras:

Figura 01. Cable de Ethernet gruesa.....	10
Figura 02. Cable de Ethernet Delgada	11
Figura 03. Topología en estrella de una red 10Base-T mediante concentrador	12
Figura 04. Red Ethernet coaxial con repetidores y segmentos de mezcla	15
Figura 05. Red 10Base-T con múltiples centros poblados y segmentos de enlace.....	16
Figura 06. Ruta del peor caso en red 10Base-T con varios concentradores en cascada.....	17
Figura 07. Ruta con múltiples medios físicos en red Ethernet mixta (10BaseT y 10BaseFL).....	18
Figura 08. Valores de retardo de ida y vuelta para tipos de cable Ethernet (en tiempos de bits)19	
Figura 09. Valores de retardo para longitudes máximas de segmento Ethernet	20
Figura 10. Contracción del espacio entre tramas según tipo de cable Ethernet.....	21
Figura 11. Formato de trama Ethernet IEEE 802.3 con sus campos y longitudes.....	22

1 Introducción

En el mundo de las redes de computadoras, Ethernet se ha consolidado como la tecnología de red local (LAN) más utilizada desde su creación en la década de 1970. Su evolución constante, combinada con su sencillez, escalabilidad y eficiencia, ha permitido que se mantenga vigente como un estándar fundamental en la comunicación de datos. Esta monografía tiene como propósito explorar los principios básicos del funcionamiento de Ethernet, su estructura, normas y protocolos asociados, tal como se presentan en el libro *Redes: Manual de referencia* de Craig Zacker.

A lo largo del trabajo se abordarán aspectos esenciales como el acceso al medio, el formato de las tramas, los métodos de transmisión y los estándares más relevantes definidos por el IEEE. Con ello, se busca ofrecer una comprensión clara de cómo Ethernet permite la interconexión de dispositivos y garantiza una comunicación confiable y eficiente en entornos de red. Este análisis no solo destaca la importancia histórica y técnica de Ethernet, sino que también pone en contexto su aplicación en las redes modernas.

2 Desarrollo

2.1 Ethernet

Ethernet es el protocolo del nivel de enlace de datos utilizado por la mayor parte de las redes de área local que operan en la actualidad. Todas las variantes de Ethernet trabajan utilizando los mismos principios básicos y puesto que las tecnologías de Ethernet de alta velocidad se han diseñado pensando en su compatibilidad hacia atrás, el paso de una red estándar de 10 Mbps a 100 Mbps o más suele resultar relativamente sencillo. En esta monografía examinaremos los mecanismos fundamentales de Ethernet y la forma en que proporcionan una interfaz unificada entre el nivel físico del modelo de referencia OS/ y varios protocolos operando en el nivel de red.

Como se mencionó anteriormente, Ethernet proporciona una interfaz unificada al medio de red, la misma permite a un sistema operativo transmitir y recibir varios protocolos del nivel de red de forma simultánea. En términos técnicos, Ethernet no está orientado a conexión y no es fiable. Esta tecnología se basa en el principio de acceso compartido a un medio físico común, permitiendo que diversos equipos intercambien información de manera eficiente a través de paquetes o tramas de datos.

Para que una red Ethernet funcione correctamente, es necesario contar con varios elementos esenciales:

- **Especificaciones físicas:** Determinan los tipos de cableado (coaxial, par trenzado, fibra óptica), longitudes máximas y métodos de señalización.
- **Formato de trama:** Define cómo se estructuran los bits que componen un paquete de datos.
- **Protocolo MAC (Control de acceso al medio):** CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), regula cuándo y cómo los dispositivos pueden transmitir.
- **Tarjetas de red (NIC):** Adaptadores que permiten a los dispositivos conectarse a la red.
- **Controladores:** Software que actúa como interfaz entre la NIC y el sistema operativo.
- **Dispositivos de interconexión:** Como hubs y switches, que facilitan la comunicación entre dispositivos.

- **Compatibilidad de estándares:** Todos los elementos deben operar bajo las mismas normas para garantizar la interoperabilidad.

2.1.1 Identificadores abreviados del IEEE

El IEEE también es responsable de los identificadores abreviados que se utilizan habitualmente cuando se hace referencia a implementaciones de Ethernet específicas del nivel físico, como **10Base5** para una red Thick Ethernet. En dicho identificador, el *10* hace referencia a la velocidad de la red, que es 10 Mbps. Todos los identificadores del Ethernet comienzan por 10, 100 o 1000.

Base hace referencia al hecho de que la red utiliza transmisión de banda base. Una red en banda base es aquella en la cual el medio de red solamente transporta una señal en un momento determinado, por oposición de una red de banda ancha (la cual puede transportar muchas señales simultáneamente).

El *5* hace referencia a la longitud máxima posible de un segmento de cable de Thick Ethernet, que es de 500 metros. La mayor parte de las variantes de Ethernet utilizan una o varias iniciales en lugar de un número en esta posición, lo que suele indicar el tipo de medio que utiliza la red.

- IEEE 802.3a-1985 Ethernet delgada 10Base2.
- IEEE 802.3c-1985 Especificaciones de repetidor a 10 Mbps.
- IEEE 802.3d-1987 Enlace entre repetidores por fibra óptica (FOIRL, Fiber- Optic Inter-Repeater Link).
- IEEE 802.3i-1990 Ethernet de par trenzado 10Base-T
- IEEE 802.3j-1993 Ethernet de fibra óptica 10Base-F.
- IEEE 802.3u-1995 Fast Ethernet (Ethernet Rápida). 100Base-T y Autonegociación
- IEEE 802.3x-1997 Ethernet Full Duplex.
- IEEE 802.3z-1998 Gigabit Ethernet 1000Base-X.
- IEEE 802.3ab-1999 Gigabit Ethernet 1000Base-T (par trenzado)

2.1.2 Diferencias entre DIX Ethernet e IEEE 802.3

Una diferencia clave entre Ethernet II (DIX) e IEEE 802.3 radica en la manera en que estructuran el nivel de enlace de datos:

- **Ethernet II (DIX):** Considera el enlace como una unidad indivisible.
- **IEEE 802.3:** Divide el nivel en dos subcapas:
 - **LLC (Logical Link Control):** Define cómo se gestionan los enlaces lógicos entre dispositivos.
 - **MAC (Media Access Control):** Controla el acceso al medio físico y la detección de colisiones.

El estándar IEEE añadió soporte para nuevos medios físicos como el par trenzado y la fibra óptica, descartando gradualmente el cable coaxial. El uso de cable UTP (Unshielded Twisted Pair) permitió mayor facilidad de instalación, flexibilidad y menor costo, mientras que la fibra óptica trajo ventajas de alcance y resistencia a interferencias electromagnéticas.

2.1.3 Colisiones en Ethernet

Una colisión ocurre cuando dos dispositivos intentan transmitir simultáneamente en el mismo canal, provocando la interferencia de sus señales. Estas situaciones son comunes en redes que comparten un medio de transmisión, especialmente en configuraciones half-dúplex.

Existen distintos tipos de colisiones:

- **Normales:** Cuando dos nodos transmiten casi al mismo tiempo.
- **Tardías:** Cuando un nodo se transmite después de que el otro ya ha terminado, sin detectar la transmisión anterior, generando una colisión indetectable.
- **Efecto captura:** Un nodo logra monopolizar el canal durante múltiples transmisiones consecutivas, dejando a otros nodos sin oportunidad de emitir.

2.2 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)

Este protocolo regula el acceso al medio compartido y permite detectar conflictos durante la transmisión. El funcionamiento básico se puede describir así:

1. **Carrier Sense (Escucha de portadora):** Antes de transmitir, un nodo verifica si el medio está libre.
2. **Multiple Access (Acceso múltiple):** Si el medio está libre, puede transmitir.
3. **Collision Detection (Detección de colisiones):** Si ocurre una colisión, los dispositivos lo detectan y detienen su transmisión.

Tras una colisión, se emite una señal de interferencia (jam signal) y se inicia un proceso de espera aleatoria antes de reintentar, conocido como **backoff exponencial**. Si tras 16 intentos sigue fallando, el paquete es descartado.

Este método fue efectivo en redes Ethernet tempranas, pero con el advenimiento de switches y redes full-dúplex, su uso ha disminuido, ya que en full-dúplex no existe el concepto de colisión.

2.3 Desde Ethernet Gruesa hasta Ethernet por Fibra Óptica: Evolución del Nivel Físico en Redes Ethernet de 10 Mbps

La tecnología Ethernet, definida por el estándar IEEE 802.3, ha evolucionado desde sus primeras implementaciones físicas, adaptándose a los avances tecnológicos y a las demandas crecientes de capacidad, facilidad de instalación y fiabilidad. En este apartado se aborda la evolución de las opciones de nivel físico para Ethernet de 10 Mbps, desde las primeras variantes con cable coaxial grueso hasta las implementaciones más avanzadas con fibra óptica.

2.3.1 Ethernet Gruesa (10Base5)

La **Ethernet gruesa**, conocida también como *Thick Ethernet* o *10Base5*, fue una de las primeras implementaciones comerciales de Ethernet. Utiliza cable coaxial RG-8 y adopta una topología en bus, donde múltiples nodos comparten un único medio de transmisión. Cada segmento puede alcanzar hasta **500 metros** y conectar **100 nodos**. El tipo de conector utilizado es el **N**, y se requiere un dispositivo adicional denominado **MAU** (*Medium Attachment Unit*) conectado a la tarjeta de red mediante un **cable AUI** (de 15 pines).

Ventajas:

- Gran alcance por segmento (500 m).
- Alta inmunidad al ruido gracias al grosor del cable.

Desventajas:

- Rigidez y dificultad de instalación.
- Costos elevados.
- Limitación a 10 Mbps.
- Necesidad de perforar el aislamiento del cable para conectar los dispositivos, mediante el uso del llamado "conector vampiro".

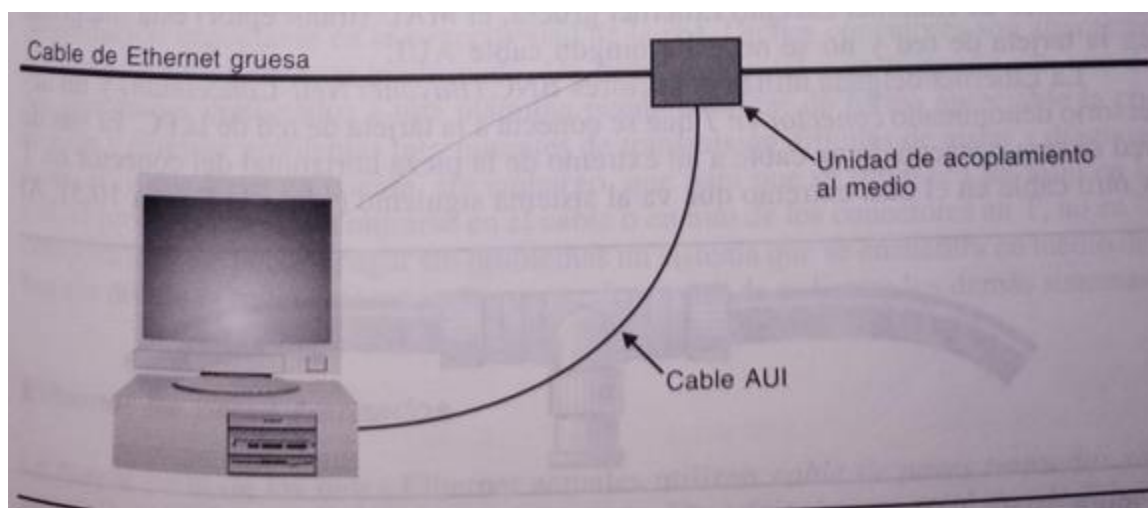


Figura 01. Cable de Ethernet gruesa

Aunque hoy en día está en desuso, Ethernet gruesa fue fundamental en los inicios de las redes locales, sobre todo en entornos académicos y corporativos.

2.3.2 Ethernet Delgada (10Base2)

La **Ethernet delgada** o *Thin Ethernet* (10Base2), también denominada *ThinNet*, representa una solución más económica y flexible frente a su antecesora. Emplea cable coaxial RG-58, de menor diámetro, y permite conexiones de hasta **185 metros** por segmento, con un máximo de **30 nodos**.

Utiliza **conectores BNC** y una pieza en “T” para acoplar la tarjeta de red al bus. La terminación del cable en ambos extremos con resistencias de **50 ohmios** sigue siendo obligatoria para evitar reflexiones de señal.

Ventajas:

- Más flexible y económico que 10Base5.
- Fácil de instalar en pequeñas redes.

Desventajas:

- Menor alcance y capacidad.
- Alta susceptibilidad a interferencias.
- Cualquier desconexión o corte interrumpe toda la red (topología en bus).
- Requiere que los cables sean manipulados con precisión para evitar fallos intermitentes.

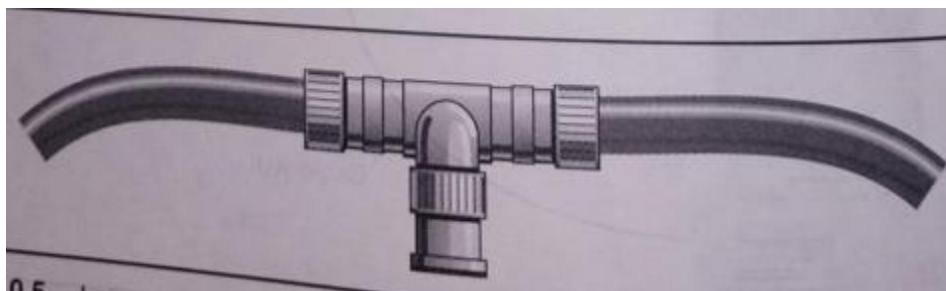


Figura 02. Cable de Ethernet Delgada

Este tipo de red fue muy popular en la década de 1990 en oficinas pequeñas, pero también cayó en desuso debido a su fragilidad estructural.

2.3.3 Ethernet por Par Trenzado (10Base-T)

El estándar 10Base-T marcó un cambio significativo, al reemplazar la topología en bus por una topología en estrella, donde cada nodo se conecta individualmente a un concentrador (hub) mediante cable UTP (Unshielded Twisted Pair) de Categoría 3 y con conectores RJ-45.

La distancia máxima por segmento es de 100 metros, pero al incluir un concentrador que repita la señal, es posible alcanzar los 200 metros. Se utilizan dos pares del cable UTP para la transmisión (TD+/TD-) y recepción (RD+/RD-), según la asignación de pines establecida en la tabla 10.3 del estándar.

2.3.4 Ethernet de Fibra Óptica (10Base-F)

La implementación de Ethernet sobre fibra óptica supuso una revolución en cuanto a rendimiento y fiabilidad. A diferencia de los cables de cobre, la fibra óptica transmite datos mediante pulsos de luz a través de hilos de fibra multimodo 62.5/125 μm , lo que la hace inmune a interferencias electromagnéticas y permite alcances mucho mayores.

Los principales estándares definidos para Ethernet de 10 Mbps sobre fibra óptica son:

- **FOIRL** (*Fiber Optic Inter-Repeater Link*): permite enlaces de hasta **1.000 metros** entre repetidores.
- **10Base-FL**: mejora al FOIRL, con compatibilidad retroactiva y alcance de 2.000 metros entre nodos.
- **10Base-FB**: diseñado para enlaces sincronizados entre concentradores, manteniendo activa la señal entre paquetes. Permite usar hasta 12 concentradores en una red backbone.
- **10Base-FP**: propone una red pasiva en estrella para hasta 33 nodos y 500 m, pero nunca fue adoptado comercialmente.

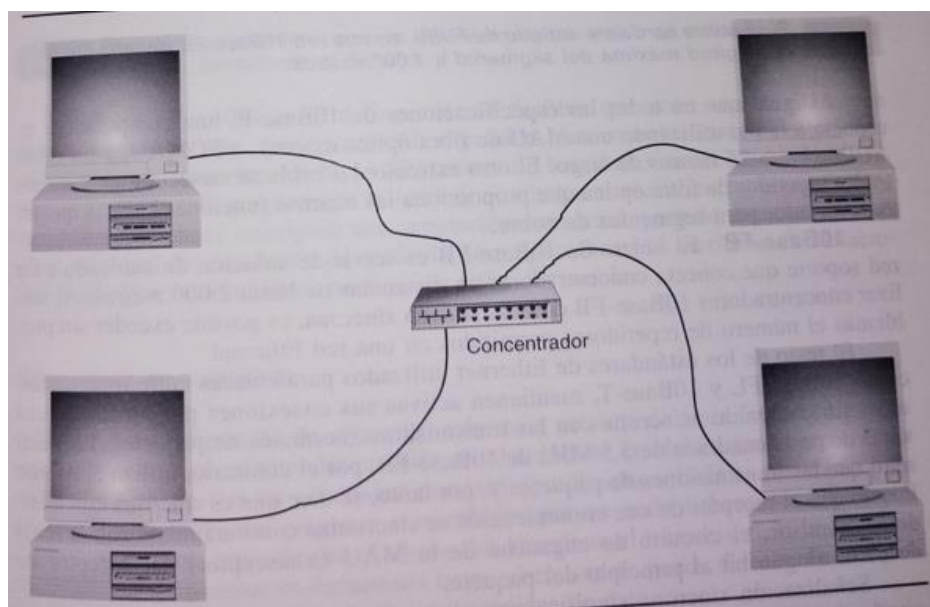


Figura 03. Topología en estrella de una red 10Base-T mediante concentrador

2.4 Directrices de Cableado

Además de las restricciones sobre las longitudes mínimas y máximas de los segmentos de cable para distintos medios Ethernet, las normas también establecen un límite en la cantidad de repetidores permitidos dentro de un único dominio de colisión. Esta limitación es esencial para asegurar que cualquier trama transmitida comience a propagarse por la red antes de que el transmisor finalice su envío, lo que permite la detección confiable de colisiones y previene la pérdida de datos.

El estándar IEEE 802.3 define dos tipos de segmentos de cableado:

- **Segmentos de enlace (link segments):** conectan exclusivamente dos dispositivos.
- **Segmentos de mezcla (mixing segments):** permiten la conexión de más de dos dispositivos.

En implementaciones actuales, esta distinción es prácticamente irrelevante, ya que la mayoría de las redes Ethernet modernas —como las basadas en par trenzado o fibra óptica— utilizan únicamente segmentos de enlace. Esto incluye tecnologías como 10Base-FL y 10Base-FB, en las que cada nodo se conecta de manera directa al concentrador mediante un cable dedicado.

Los únicos medios que todavía emplean segmentos de mezcla son los sistemas coaxiales (Thick Ethernet y Thin Ethernet) y 10Base-FP, que incorpora un concentrador pasivo sin funciones de repetición. Sin embargo, estas configuraciones son consideradas obsoletas y solo persisten en entornos heredados, por lo que se puede asumir que la mayoría de las redes Ethernet actuales emplean exclusivamente segmentos de enlace.

Regla 5-4-3: El estándar Ethernet establece que, dentro de un único dominio de colisión, el trayecto entre dos estaciones no debe atravesar más de cinco segmentos de cable interconectados por cuatro repetidores, y solo tres de estos segmentos pueden ser de mezcla. Esta especificación, conocida como la regla 5-4-3 de Ethernet, se aplica de forma distinta dependiendo del tipo de medio físico utilizado.

En redes coaxiales, ya sean Thick Ethernet (10Base5) o Thin Ethernet (10Base2), es posible implementar hasta cinco segmentos de cable conectados mediante cuatro repetidores. Estos repetidores son dispositivos de dos puertos cuya única función es amplificar la señal a medida que viaja por el cable. Cada segmento se define como la longitud de cable entre dos repetidores.

En el caso de Thin Ethernet, un segmento puede estar compuesto por múltiples tramos de cable conectados.

Aplicando esta regla, el diámetro máximo del dominio de colisión es de:

- 2.500 metros para Thick Ethernet (500 m por segmento \times 5 segmentos).
- 925 metros para Thin Ethernet (185 m por segmento \times 5 segmentos).

Sin embargo, solo tres de los cinco segmentos pueden ser segmentos de mezcla, es decir, permitir la conexión de nodos (estaciones). Los otros dos deben ser segmentos de enlace, usados únicamente para interconectar segmentos de mezcla distantes, sin permitir conexiones de dispositivos finales.

En redes UTP (par trenzado), la topología cambia. Los repetidores son en realidad concentradores multipuerto, y cada conexión entre un nodo y el concentrador se considera un segmento de enlace. Se pueden conectar hasta cuatro concentradores en cadena dentro del mismo dominio de colisión, y cada uno puede admitir múltiples nodos, manteniéndose dentro de las especificaciones del estándar, ya que todos los segmentos son de enlace y el número de repetidores no supera el límite.

Una situación particular ocurre cuando se utilizan conectores BNC en concentradores 10Base-T para interconectarlos mediante cable coaxial Thin Ethernet. Si se conectan más de dos concentradores a través de un mismo segmento coaxial, ese tramo se convierte en un segmento de mezcla, el cual debe contabilizarse dentro del límite de tres segmentos de mezcla permitido por la regla 5-4-3.

En configuraciones donde el cable coaxial se utiliza solo para interconectar concentradores 10Base-T, esto no representa un problema, ya que con cuatro concentradores como máximo no se excede el límite de un segmento de mezcla. No obstante, si en otras partes de la red se usan segmentos coaxiales (Thick o Thin) para conectar directamente nodos, el bus que enlaza los concentradores también debe contarse como uno de los tres segmentos de mezcla permitidos por el estándar.

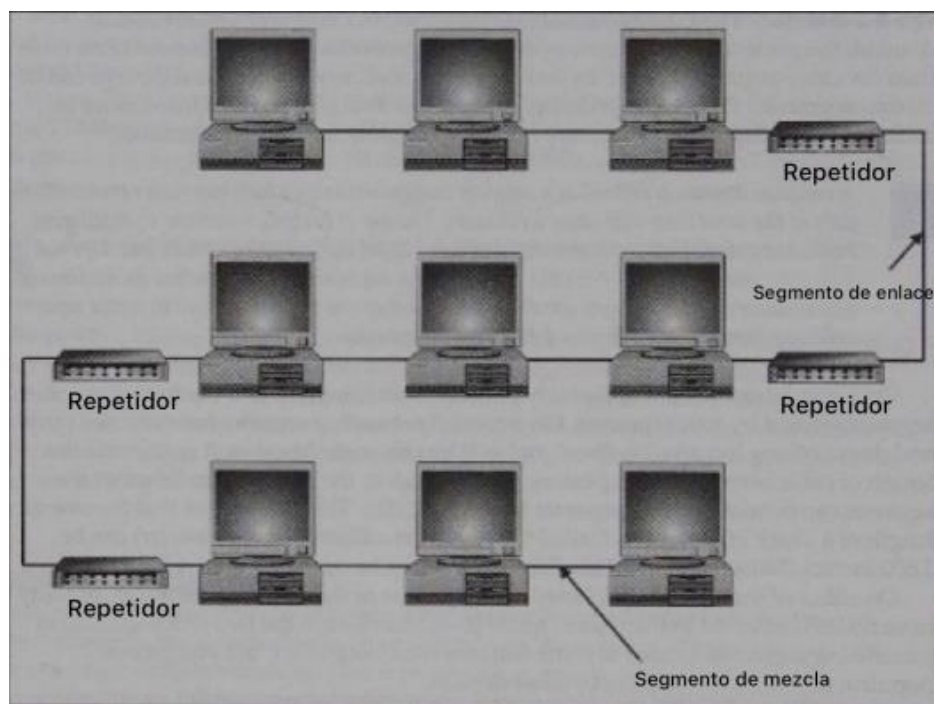


Figura 04. Red Ethernet coaxial con repetidores y segmentos de mezcla

Las especificaciones para 10Base-F introducen modificaciones específicas a la regla 5-4-3, particularmente en cuanto a longitudes máximas de los segmentos en función del número de repetidores y segmentos presentes:

- En redes con cinco segmentos de cable conectados por cuatro repetidores, los segmentos FOIRL, 10Base-FL y 10Base-FB no deben superar los 500 metros, mientras que los segmentos 10Base-FP se limitan a 300 metros.
- Si la red tiene cuatro segmentos y tres repetidores, entonces las longitudes máximas se amplían a 1.000 metros para FOIRL, 10Base-FL y 10Base-FB, y a 700 metros para 10Base-FP.
- Los cables que conectan directamente un nodo a un repetidor tienen también restricciones: 400 metros para 10Base-FL y 300 metros para 10Base-FP.
- En configuraciones que solo incluyen cuatro segmentos de cable en total, no se impone un límite al número de segmentos de mezcla.

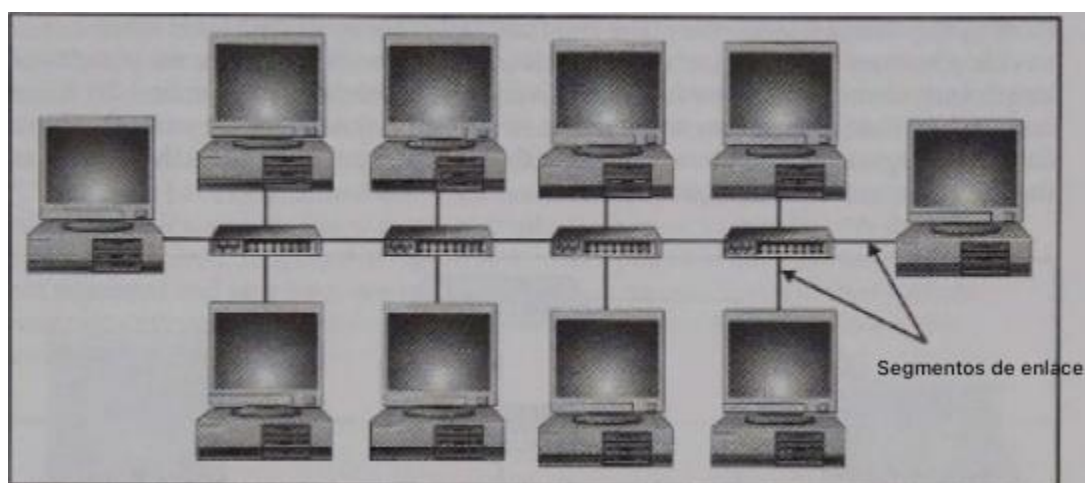


Figura 05. Red 10Base-T con múltiples centros poblados y segmentos de enlace

2.4.1 Cálculos de temporización en Ethernet

Aunque la regla 5-4-3 proporciona una pauta general adecuada para asegurar el funcionamiento correcto de una red Ethernet, existen métodos más precisos para verificar la conformidad mediante dos métricas clave:

1. Tiempo de retardo de ida y vuelta (RTD): mide el tiempo total que tarda un bit en viajar desde el nodo emisor al nodo receptor más distante y volver.
2. Contracción del espacio entre tramas: cuantifica la reducción del intervalo estándar de 96 bits entre tramas Ethernet, causada por factores como el retardo introducido por repetidores al reconstruir y reenviar señales.

En la mayoría de las redes convencionales, estos cálculos no son necesarios siempre que se cumpla la regla 5-4-3. Sin embargo, si se planea una expansión que lleve la red más allá de los límites establecidos, realizar estos cálculos puede evitar problemas de colisiones tardías que podrían requerir actualizaciones costosas.

2.4.2 Identificación de la ruta del peor caso

La ruta del peor caso es aquella que representa el trayecto más largo y con mayor número de repetidores entre dos nodos. Para identificarla en redes simples, basta con seleccionar los dos nodos ubicados en los extremos más alejados del sistema, ya sea por longitud de cable (segmentos de enlace largos) o por su ubicación en los extremos del bus coaxial.

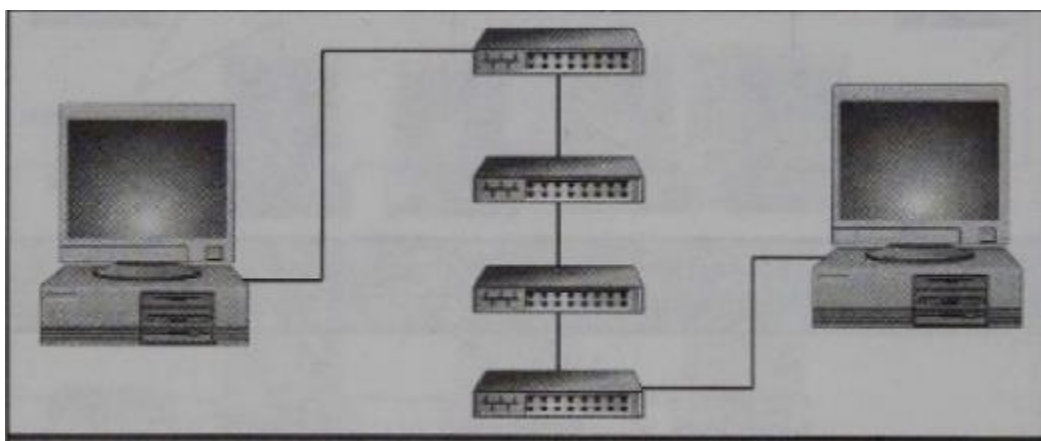


Figura 06. Ruta del peor caso en red 10Base-T con varios concentradores en cascada

En redes Ethernet complejas que integran múltiples tipos de segmentos de cable, puede ser necesario analizar varias rutas para verificar la conformidad con los estándares. Es fundamental considerar no solo las distancias de los segmentos principales, sino también la longitud adicional introducida por cables AUI y las diferencias en los tipos de medios utilizados en los extremos izquierdo y derecho de cada ruta evaluada.

Una red bien documentada debe contar con un esquema preciso que incluya las longitudes reales de todos los tramos de cable, lo cual es esencial para realizar cálculos confiables. En ausencia de esta documentación, determinar esas longitudes se vuelve uno de los pasos más difíciles del proceso.

El método más preciso para medir la longitud de un cable es utilizar un probador de cables con tecnología TDR (Reflectometría en el Dominio del Tiempo). Esta técnica funciona de manera similar al radar: el dispositivo envía una señal por el cable, mide el tiempo que tarda en reflejarse desde el extremo opuesto y calcula la distancia basándose en esa medición. Si no se dispone de un equipo con TDR, es posible estimar las distancias de forma manual, pero esto puede ser impreciso —especialmente si los cables están ocultos en paredes, techos o canalizaciones—. En

esos casos, se recomienda aplicar un margen adicional de seguridad para compensar posibles errores. Como alternativa, se pueden asumir las longitudes máximas permitidas por el estándar Ethernet, siempre que haya certeza de que no se han excedido.

Una vez identificada la ruta del peor caso (o rutas), es recomendable diagramarla indicando claramente las longitudes de cada segmento involucrado. Estas rutas incluirán un segmento izquierdo, un segmento derecho, y eventualmente uno o más segmentos intermedios.

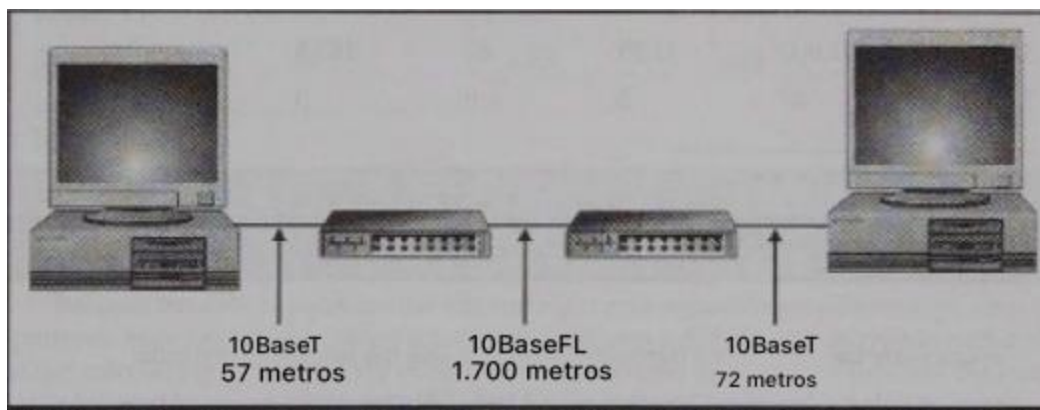


Figura 07. Ruta con múltiples medios físicos en red Ethernet mixta (10BaseT y 10BaseFL)

2.4.3 Cálculo del tiempo de retardo de ida y vuelta

El objetivo de este cálculo es verificar si los nodos más distantes pueden detectar colisiones a tiempo. Se calcula el retardo total sumando los valores individuales de retardo correspondientes a cada tipo de segmento en la ruta.

Para esto se utilizan los datos de la Tabla 10-4, que proporciona los valores de retardo mínimo y máximo por bit para los distintos tipos de cable Ethernet. Se aplican valores diferenciados para los segmentos en los extremos izquierdo y derecho, mientras que todos los segmentos intermedios usan un valor uniforme.

El bit de tiempo es la unidad de medida que representa el tiempo necesario para que un solo bit de datos atraviese la red.

Tipo de cable	Máximo Largura (metros)	Extremo izquierdo Base	Medio Segmento Base	Extremo derecho Base	Redondo Demorar/ Metro	Viaje Metro
10Base5	500	11.75	46.5	169.5	0.0866	
10Base2	185	11.75	46.5	169.5	0.1026	
10Base-T	100	15.25	42	165	0.113	
FOIRL	1,000	7.75	29	152	0.1	
10Base-FL	2,000	12.25	33.5	156.5	0.1	
10Base-FB	2,000	*	24	*	0.1	
10Base-FP	1,000	11.25	61	183.5	0.1	
Exceso de AUI	48	0	0	0	0.1026	

* Conexiones finales no compatibles

Figura 08. Valores de retardo de ida y vuelta para tipos de cable Ethernet (en tiempos de bits)

Para verificar la conformidad de una red Ethernet con respecto al tiempo de detección de colisiones, se calcula el retardo total de ida y vuelta a lo largo de la ruta del peor caso. Este se determina aplicando la fórmula:

$$\text{Retardo del segmento} = (\text{longitud del segmento} \times \text{retardo/metro}) + \text{retardo base}$$

Por ejemplo, un segmento 10Base-T de 50 metros ubicado en el extremo izquierdo tendría un retardo de:

$$(50 \times 0,113) + 15,25 = 20,9 \text{ bits de tiempo}$$

En lugar de medir físicamente los segmentos, puede optarse por utilizar los valores predefinidos para longitudes máximas permitidas, que se encuentran en la Tabla 10-5.

Una vez calculado el retardo de cada segmento, estos se suman y se añaden 5 bits de tiempo como margen de error. El total no debe superar 575 bits de tiempo, que corresponde al tamaño máximo de trama (512 bits), más el preámbulo (64 bits) y 1 bit adicional de margen. Cumplir este valor asegura que una colisión será detectada antes de que se haya transmitido más de 511 bits de la trama.

Tipo de cable	Máximo Longitud (metros)	Extremo izquierdo Máximo	Segmento Medio Máximo	Extremo derecho Máximo
10Base5	500	55.05	89.8	212.8
10Base2	185	30.731	65.48	188.48
10Base-T	100	26.55	53.3	176.3
FOIRL	1,000	107.75	129	252
10Base-FL	2,000	212.25	233.5	356.5
10Base-FB	2,000	*	224	*
10Base-FP	1,000	111.25	161	284
AUI externa	48	4.88	4.88	4.88
*No compatible				

Tabla 10-5: Valores de retardo de ida y vuelta para longitudes máximas de segmento Ethernet

Figura 09. Valores de retardo para longitudes máximas de segmento Ethernet

Cuando los extremos de la ruta utilizan tipos de cable distintos, debe realizarse el cálculo dos veces —invirtiendo la dirección— para evaluar el retardo en ambas direcciones.

Si la red incluye cables AUI (como en redes Thick Ethernet o 10Base-F), estos deben integrarse al cálculo. Los valores estándar ya contemplan 2 metros de AUI interno; sin embargo, si hay AUI externos, se deben sumar usando los valores indicados en la fila correspondiente de la Tabla 10-5.

2.4.4 Cálculo de la contracción del espacio entre tramas

Esta prueba evalúa si el espaciado entre tramas Ethernet es suficiente para que las NICs (interfaces de red) puedan alternar entre transmisión y recepción. Si el espacio se reduce demasiado por los retrasos acumulados en los repetidores y los tiempos de reconstrucción de señal, puede producirse una sobresaturación de la interfaz receptora.

Se usa la misma ruta del peor caso que en el cálculo anterior, pero solo se consideran el segmento de transmisión y los intermedios. El segmento final hacia el nodo receptor no contribuye a la contracción, ya que comienza después del último repetidor.

Tipo de cable	Segmento transmisor	Segmento Medio
10Base5, 10Base2	16	11
10Base-T, FOIRL, 10Base-FL	10.5	8
10Base-FB	Conexiones finales no compatibles	2
10Base-FP	11	8

Figura 10. Contracción del espacio entre tramas según tipo de cable Ethernet

Los valores de contracción por tipo de cable para transmisión e intermedios están definidos en la Tabla 10-6. El total de contracción es la suma de:

- El valor del segmento transmisor
- Más los valores de todos los segmentos intermedios

Si el resultado es menor a 49 bits de tiempo, la red aprueba esta prueba.

En rutas con tipos de cable diferentes en ambos extremos, deben realizarse dos cálculos (uno por cada dirección). El valor más alto se toma como la contracción total válida para la red.

2.4.5 Más allá de las especificaciones de cableado de Ethernet

Ethernet incluye cierto grado de libertad en sus especificaciones, lo que permite que las limitaciones en el cableado puedan ser excedidas sin que se produzcan colisiones tardías. Unos repetidores demás o cables un poco más largos no harán que el sistema no funcione, al menos que se supere por mucho las especificaciones.

Respecto al intervalo de retardo de señal de ida y vuelta, las especificaciones son dos veces más estrictas de lo necesario para las redes Ethernet gruesa. Para los otros medios de cobre los márgenes son aún mayores. Para una red 10Base-T la especificación es diez veces más estricta de lo necesario.

La temporización de señal no es un factor tan restrictivo en instalaciones Ethernet de 10 Mbps como lo es la fortaleza de la señal.

2.5 La trama Ethernet

Es la secuencia de bits que envuelven los datos generados. Se componen de una cabecera y una cola (es decir, la trama comienza y termina todo paquete Ethernet transmitido).

Contienen las direcciones del sistema que envía el paquete y el sistema que lo recibe, y algunas otras funciones importantes.

2.5.1 La trama IEEE 802.3

El formato básico de trama Ethernet definida por el estándar 802.3 del IEEE se ilustra en la siguiente imagen.

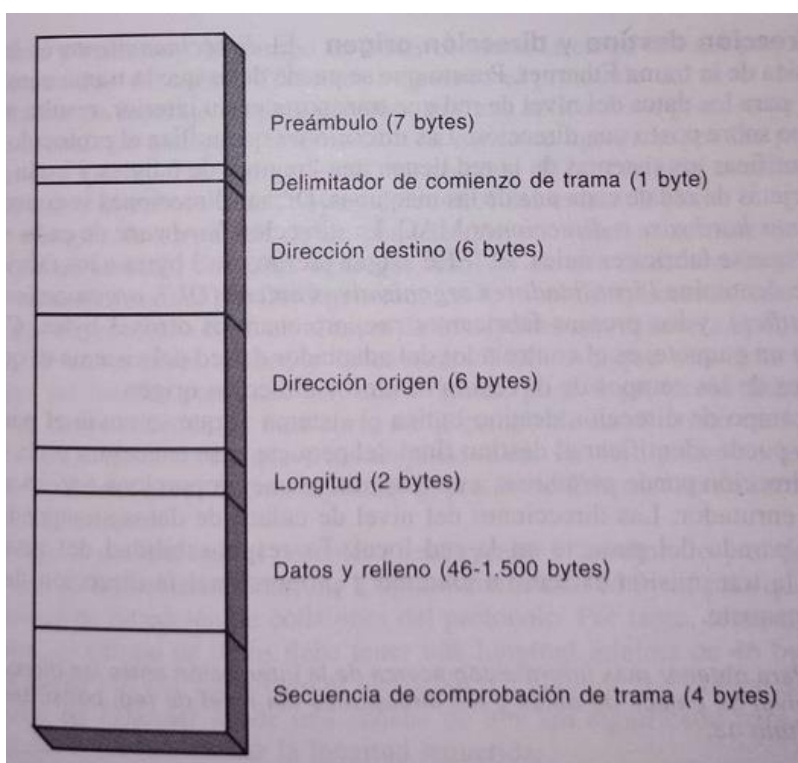


Figura 11. Formato de trama Ethernet IEEE 802.3 con sus campos y longitudes

- Preámbulo y Delimitador de comienzo de trama:

Consta de 7 bytes de 0 y 1 alternados que los sistemas utilizan para sincronizar sus relojes. El esquema de codificación Manchester utilizado por Ethernet requiere que los relojes de los sistemas que se comunican estén sincronizados.

Para cuando terminan de transmitirse los 7 bytes del preámbulo, el sistema receptor ya ha sincronizado su reloj con el del emisor, pero desconoce de cuántos de los 7 bytes se han transmitido antes de lograr la sincronización. Por este motivo existe el delimitador de comienzo de trama, que continúa la alternancia de 0 y 1, excepto por los dos últimos bits, que son dos 1. Esto le indica al receptor que cualquier dato que aparezca a continuación forma parte de un paquete de datos.

- Dirección destino y dirección origen:

Las direcciones que utiliza el protocolo Ethernet para identificar los sistemas de la red tienen una longitud de 6 bytes. El campo de dirección destino indica el sistema al que se envía el paquete. La dirección puede identificar el destino final - si se encuentra en la red local – o a un dispositivo que proporciona acceso a otra red, como un enrutador. Se puede transmitir el paquete como una difusión (broadcast) enviándolo así a todos los sistemas de la red. El software de red del sistema también puede designar ciertas direcciones como multidifusión (multicast).

El campo de dirección de origen contiene la dirección MAC de 6 bytes del sistema que envía el paquete.

- Longitud:

Este campo ocupa 2 bytes e indica cuántos datos transporta la carga útil del paquete. El tamaño máximo de un paquete Ethernet es 1518 bytes, por lo tanto, descartando la trama el valor máximo del campo longitud es 1500 bytes.

- Datos y relleno:

Contiene la carga útil del paquete. El protocolo Ethernet no conoce los datos que contiene la trama.

El paquete debe tener una longitud mínima de 64 bytes para que funcione el mecanismo de detección de colisiones del protocolo, por lo que el campo de datos debe tener una longitud mínima de 46 bytes.

Si la carga útil que ha pasado el protocolo es demasiado corta, Ethernet añade una cadena de bits sin significado para rellenar el campo de datos para alcanzar la longitud mínima.

- Secuencia de comprobación de trama (FCS, Frame Check Sequence):

Los últimos 4 bytes de la trama contienen un valor de suma de comprobación que utiliza el nodo receptor para determinar si el paquete ha llegado intacto. Cuando el paquete llega a su destino, el adaptador de red del sistema receptor lee el contenido de la trama y realiza el mismo cálculo. Si los valores coinciden, el sistema acepta el paquete. El sistema también descarta la trama si el número de bits del paquete no es múltiplo de 8.

2.5.2 La trama Ethernet II

Se diferencia de la trama 802.3 en que esta última usa los 2 bytes que le siguen a la dirección de origen para indicar la longitud de datos y Ethernet II los utiliza para indicar el tipo de trama, denominado Ethertype.

Como la computadora de destino quizá ejecute varios protocolos en el nivel de red de forma simultánea, como IP, NetBEUI e IPX, el campo Ethertype indica al controlador del adaptador de Ethernet cuál de esos protocolos debería recibir los datos.

Cuando un sistema lee la cabecera de un paquete Ethernet, la única forma de distinguir entre una trama Ethernet II y una 802.3 es por medio del valor del campo Ethertype o longitud, según corresponda. Como el valor del campo longitud de 802.3 no puede ser mayor a 1500, Ethernet II usa valores a 1500 para todos los posibles valores de Ethertype.

- El Subnivel de Control de Enlace Lógico (LLC)

En el IEEE, el nivel de enlace de datos se divide en dos subniveles: el Control de Acceso al Medio (MAC) y el Control de Enlace Lógico (LLC). Esta separación mejora la flexibilidad, la transparencia y la eficiencia. El subnivel LLC, establecido por la norma IEEE 802.2, funciona como una interfaz entre el nivel de red y el subnivel MAC, y ofrece servicios que van desde la entrega de datos sin conexión hasta servicios completamente confiables y orientados a conexión.

- Tipos de servicios LLC

LLC ofrece tres tipos de servicios a los protocolos de red:

- Servicio no orientado a conexión sin asentimiento: es sencillo, sin control de errores ni de flujo, ideal para aplicaciones donde la confiabilidad se gestiona en capas superiores.
- Servicio orientado a conexión: garantiza la entrega de datos correcta por medio del establecimiento previo de una conexión, así como también proporciona control de flujo y corrección de errores.
- Servicio no orientado a conexión con asentimiento: proporciona un servicio intermedio, que utiliza mecanismos de confirmación sin antes establecer una conexión.

2.5.3 Estructura y funciones del LLC

Cuando los datos se envían desde el nivel de red, el subnivel LLC los encapsula en un PDU (Unidad de Datos de Protocolo), que luego es enviado al subnivel MAC a ser encapsulados a continuación y pasar a ser una trama Ethernet. La encapsulación tiene una cabecera LLC consistiendo en tres campos principales:

- **DSAP y SSAP**: se refieren a la localización en los búferes memoria del sistema origen y destino, que el IEEE utiliza también para registrar los protocolos específicos.
- **Campo de Control**: describen el servicio que se requiere para la información de la PDU y el tipo de trama. Puede ser de diferentes formas (información, supervisión y no numerado), cada una con propósitos específicas del formato como la transmisión de información, comandos de control o manejo de la conexión.

Los comandos en tramas no numeradas son:

- **UI (Información no numerada)**: Utilizado por el servicio no orientado a conexión sin asentimiento para enviar tramas de datos.
- **XID (Identificación de intercambio)**: Utilizado como comando y como respuesta en los servicios orientado a conexión y no orientado a conexión.

- **TEST**: Utilizado como comando y como respuesta cuando se realiza una prueba de bucle de LLC.
- **FRMR (Rechazo de trama)**: Utilizado como respuesta cuando se produce una violación de protocolo.
- **SABME (Establecer modo asíncrono balanceado extendido)**: Utilizado para pedir que se establezca una conexión.
- **UA (Asentimiento no numerado)**: Utilizado como respuesta positiva al mensaje SABME.
- **DM (Modo de desconexión)**: Utilizado como respuesta negativa al mensaje SABME.
- **DISC (Desconectar)**: Utilizado para pedir la terminación de una conexión; se espera una respuesta UA o DM.

2.6 Operación Full-Duplex en Ethernet

Tradicionalmente, Ethernet funcionaba basado en el medio half-duplex, mediante el protocolo CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), que previene colisiones al permitir que se envíen datos en un sentido a la vez. Sin embargo, con la llegada del modo full-duplex, es posible enviar y recibir al mismo tiempo, y se evitan colisiones y, en efecto, se duplica el ancho de banda.

Este modo se estandarizó como IEEE 802.3x en el año 1997, e implica que:

- No se utiliza CSMA/CD.
- Se eliminan restricciones de distancia causadas por la necesidad de detectar colisiones.
- Se requiere un medio con canales separados y enlaces dedicados, por lo cual solo se admite en redes con conmutadores, no con hubs.

Por ejemplo, una conexión 100Base-FX half-duplex está limitada a 412 metros, mientras que en full-duplex puede alcanzar hasta 2 km, o incluso 20 km con fibra monomodo.

2.6.1 Requisitos y control de flujo

Para operar en full-duplex se requieren:

1. Un medio de red con canales de transmisión y recepción separados.
2. Un enlace dedicado entre cada dos sistemas.
3. Adaptadores de red y conmutadores que admitan la operación full-duplex.

El estándar IEEE 802.3x también define un mecanismo opcional de **control de flujo**, mediante tramas de control MAC. Estas tramas, que se han definido como **PAUSE**, permiten a un equipo pedir al otro que pausen temporalmente las transmisiones para prevenir la congestión del conmutador. El tiempo de pausa se mide en intervalos de unidades de 512 bits, hasta un máximo de 65.535.

2.6.2 Aplicaciones prácticas

Aunque la tecnología full-duplex puede implementarse en Ethernet estándar (como 10Base-T), su aplicación principal se da en redes Fast Ethernet y Gigabit Ethernet. Sus efectos reales sobre el rendimiento varían con el tipo de tráfico: en lugares tales como las estaciones de trabajo, el efecto puede ser marginal, dado que las comunicaciones son básicamente tipo petición-respuesta. Sin embargo, en la red básica, particularmente entre los conmutadores que gestionan altos volúmenes de tráfico, el full-duplex es benéfico en términos de eficiencia y escalabilidad.

3 Conclusión

A lo largo de esta monografía, se ha estudiado a profundidad el funcionamiento, evolución y características esenciales de la tecnología Ethernet, que ha sido y es todavía la piedra angular de las redes área local (LAN). Desde las primeras instancias implementando con cable coaxial grueso, hasta las soluciones contemporáneas basadas en fibra óptica y enlaces full-dúplex, Ethernet ha mostrado una excepcional capacidad de adaptación a los avances tecnológicos y a las creciente demandas de velocidad, confiabilidad y flexibilidad.

Se trataron puntos fundamentales como el enfoque de acceso a los medios (CSMA/CD), la arquitectura de las tramas, la diferenciación entre los estándares Ethernet II y IEEE 802.3, y los variados medios físicos que se han utilizado en todas las generaciones. Además, se describieron los parámetros técnicos necesarios que aseguran la integridad transmisión, como es la regla 5-4-3, el cálculo del tiempo de retraso de ida y vuelta, y la acortación del espacio entre tramas.

Por último, se resaltó el rol del modo de funcionamiento full-dúplex y cómo este afecta la eficiencia en las redes modernas, específicamente en contextos de alto desempeño. Por lo tanto, Ethernet es todavía hoy tecnología activa y en desarrollo, gracias al carácter modular, su gran compatibilidad y a la posibilidad que tiene al ofrecer soluciones escalables a las actuales y futuras necesidades de conectividad a redes informáticas.

4 Referencias Bibliográficas

- [1] C. Zacker, *Redes. Manual de referencia*, McGraw-Hill, 2004.