

## 8. Capítulo 8: Normas de Comunicación LAN: Protocolo Ethernet

IEEE 802 es un proyecto del Institute of Electrical and Electronics Engineers (más conocido por sus siglas, IEEE). Se identifica también con las siglas LMSC (LAN/MAN Standards Committee). Su misión se centra en desarrollar estándares de redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN), principalmente en las dos capas inferiores del modelo OSI.

IEEE 802 fue un proyecto creado en febrero de 1980 paralelamente al diseño del Modelo OSI. Se desarrolló con el fin de crear estándares para que diferentes tipos de tecnologías pudieran integrarse y trabajar juntas. El proyecto 802 define aspectos relacionados con el cableado físico y la transmisión de datos.

IEEE genera protocolos estándar, entre otras cosas, sobre redes de computadoras. Concretamente y según su propia definición sobre redes de área local (LAN) y redes de área metropolitana (MAN). También se usa el nombre IEEE 802 para referirse a los estándares que proponen, algunos de los cuales son muy conocidos: Ethernet (IEEE 802.3), o Wi-Fi (IEEE 802.11). Está, incluso, intentando estandarizar Bluetooth en el 802.15 (IEEE 802.15).

Desde que fue creado, el grupo de trabajo IEEE 802, ha producido un gran número de estándar y tiene propuestos otros tantos. El proyecto 802 al día de hoy está conformado por los siguientes grupos de trabajo:

### **IEEE 802.1 (Protocolos superiores de redes de área local)**

La IEEE 802.1X es una norma de la IEEE para Control de Admisión de Red basada en puertos. Es parte del grupo de protocolos IEEE 802 (IEEE 802.1). Permite la autenticación de dispositivos conectados a un puerto LAN, estableciendo una conexión punto a punto o previniendo el acceso por ese puerto si la autenticación falla. Es utilizado en algunos puntos de acceso inalámbricos cerrados y se basa en protocolo de autenticación extensible (EAP– RFC 2284). El RFC 2284 ha sido declarado obsoleto en favor del RFC 3748

### **IEEE 802.2 (Control de enlace lógico)**

Control de enlace lógico LLC ("Logical Link Control") define la forma en que los datos son transferidos sobre el medio físico, proporcionando servicio a las capas superiores.

Las funciones de esta subcapa son:

- Agrupar los bits a transmitir en forma de tramas (enmarcar)
- Se ocupa de los errores de transmisión.
- Regula el flujo de las tramas (control de flujo).
- Administra la capa de enlaces (gestión).

**IEEE 802.3 (Ethernet)**

IEEE 802.3 Ethernet fue adoptado por la organización internacional de estandarización (ISO), haciendo de él un estándar de redes internacional.

El nombre correcto para esta tecnología es IEEE 802.3 CSMA/CD, pero casi siempre es referido como Ethernet (La divergencia más significativa entre la tecnología Ethernet original y el estándar IEEE 802.3 es la diferencia entre los formatos de sus tramas. Esta diferencia es lo suficientemente significativa como para hacer a las dos versiones incompatibles). En el presente capítulo se desarrollarán conceptos acerca de la norma de comunicación más usada en el mundo: Ethernet.

**IEEE 802.4 CARACTERÍSTICAS (Normas IEEE 802.4 TOKEN BUS):**

Bus de banda ancha. Cable coaxial de 75 Ohmios. Velocidad de transmisión de 1,5 ó 10 Mbps. Se trata de una configuración en bus física, pero funcionando como un anillo lógico. Todas las estaciones están conectadas a un bus común, sin embargo, funcionan como si estuviesen conectadas como un anillo.

**IEEE 802.5 (Token Ring)**

Este estándar define una red con topología de anillo la cual usa token (paquete de datos) para transmitir información a otra. En una estación de trabajo la cual envía un mensaje lo sitúa dentro de un token y lo direcciona específicamente a un destino, la estación destino copia el mensaje y lo envía a un token de regreso a la estación origen la cual borra el mensaje y pasa el token a la siguiente estación.

**IEEE 802.6 REDES DE ÁREA METROPOLITANA**

El comité IEEE 802 ha desarrollado el estándar para redes de área metropolitana públicas tratando de conjugar las ventajas de redes de área local (LAN) y redes de área extensa (WAN), proporcionando además de los clásicos servicios de las LAN's, la posibilidad de canalizar voz y vídeo digitalizados.

**IEEE 802.7 (Grupo de asesoría Técnica sobre banda ancha)**

Un estándar de IEEE para una red de área local de banda ancha (LAN) que usa el cable coaxial. Este estándar fue desarrollado para las compañías del Internet del cable. Especificaciones de redes con mayores anchos de banda con la posibilidad de transmitir datos, sonido e imágenes.

**Características**

Específicamente este estándar trata de las normas que debe cumplir una red LAN de Banda Ancha, tomando en cuenta ciertas características específicas que presentan este tipo de redes tales como:

- Transmisión de información en forma analógica.
- Transmitir varias señales por el cable.
- Se modula la señal (AM ó FM).

- Dividir el ancho de banda para enviar diferentes señales, para obtener canales de transmisión.

### **IEEE 802.8 (Grupo de Asesoría Técnica sobre fibra óptica)**

Comité de asesoramiento en redes con fibras ópticas. ANSI X3T9.5 tiene a su cargo la normalización de FDDI.

Definición de FDDI: Las redes FDDI (Fiber Distributed Data Interface - Interfaz de Datos Distribuida por Fibra) surgieron a mediados de los años ochenta para dar soporte a las estaciones de trabajo de alta velocidad, que habían llevado las capacidades de las tecnologías Ethernet y Token Ring existentes hasta el límite de sus posibilidades.

FDDI define una topología de red local en doble anillo y con soporte físico de fibra óptica. Puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 100Mbps y utiliza un método de acceso al medio basado en paso de testigo (token passing). Con relación al modelo de referencia OSI, FDDI define una serie de protocolos que abarcan las capas físicas y de enlace.

### **IEEE 802.09**

Estándar que pretende integrar servicios de voz y datos en una misma red. Los trabajos a cargo del grupo de trabajo IEEE 802.9 son los siguientes:

- Desarrollar un sistema integrado de voz/datos y la interfaz entre el servicio de control de acceso al medio (MAC) y las capas físicas que sean compatibles con otras normas IEEE 802 y las normas RDSI.
- Desarrollar una interfaz que opere independientemente de la red troncal.
- Concentrarse en el uso de par trenzado no apantallado (UTP) como medio de distribución primaria. Este punto es especialmente importante debido a la capacidad de interferencias cercanas en UTP, el ancho de banda y el exceso de capacidad que está presente normalmente en UTP utilizado en aplicaciones tales como la voz.

### **IEEE 802.10**

Es un estándar para las funciones de la seguridad que se podía utilizar en las redes de área local y las redes de la zona metropolitana basadas en IEEE 802.x.

802.10 contiene especificaciones para el gerenciamiento de la seguridad, así como control de acceso, secreto de los datos e integridad de datos.

El IEEE 802.10 estándares fue retirado en enero de 2004. La seguridad para las redes inalámbricas se está desarrollando en 802.11i.

El protocolo Inter-Switch de Cisco (ISL) para VLANs en Ethernet y tecnologías similares del LAN fue basado en IEEE 802.10; en este uso 802.10 ha sido substituido en gran parte por IEEE 802.1Q.

**IEEE 802.11 (Red Local Inalámbrica también conocido como WI-FI)**

El protocolo IEEE 802.11 o WI-FI es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capa física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local.

En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación “b”, “g”, “n” y “ac”.

**IEEE 802.12 (Prioridad de Demanda)**

Estándar IEEE para LAN que especifica la capa física y la subcapa MAC de la capa de enlace de datos. IEEE 802.12 emplea el esquema de acceso al medio con prioridad de demanda a 100 Mbps sobre una serie de medios físicos.

Se utiliza para la operación de una Ethernet de 100Mbps que utiliza un Método de Acceso de Prioridad de Demanda conocido comúnmente como 100VG-AnyLAN. Éste utiliza un diseño de cableado de topología de estrella y reconoce cableado de fibra óptica (62.5/125µm) multimodo y 4-pares 100Ω UTP.

El empleo de diseño de cableado de topología de estrella permite un sistema de cableado estructurado que cumple con la norma TIA/EIA-568-A para soportar completamente la operación de 100VG-AnyLAN.

**IEEE 802.14 (Cable módems, es decir módems para tv por cable)**

El grupo de estándar de la IEEE 802.14 define el protocolo de capa física y control de acceso medio (MAC) de redes usando cables Híbridos Fibra Óptica/Coaxial (HFC).

Esta se caracteriza por crear estándares para transportar información sobre el cable tradicional de redes de TV.

La arquitectura especifica un Híbrido Fibra Óptica/Coaxial que puede abarcar un radio de 80 kilómetros desde la cabecera.

**IEEE 802.15 (Red de Área personal inalámbrica, que viene a ser bluetooth)**

El Estándar IEEE 802.15 se enfoca básicamente en el desarrollo de estándares para redes tipo WPAN o redes inalámbricas de corta distancia. Al igual que Bluetooth, el 802.15 permite que dispositivos inalámbricos portátiles como PCs, PDAs, teléfonos, dispositivos de IoT (Internet de las Cosas), entre otros, puedan comunicarse e ínter operar uno con el otro. Debido a que Bluetooth no puede coexistir con una red inalámbrica 802.11x, de alguna manera, la IEEE definió este estándar para permitir la interoperabilidad de las redes inalámbricas LAN con las redes tipo PAN.

Bluetooth es la norma que define un Standard global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales.

### **IEEE 802.16 (Acceso inalámbrico de Banda Ancha, también llamada WiMAX)**

WiMAX es una implementación del estándar 802.16 de la IEEE. Provee conectividad fija en áreas metropolitanas y a velocidades de hasta 75Mb/sec. Los sistemas WiMAX pueden ser utilizados para transmitir señales en distancias tan lejanas como 30 millas. Sin embargo, en promedio, un punto de acceso WiMAX cubrirá probablemente entre 3 a 5 millas.

#### **Características de WiMAX**

- Mayor productividad a rangos más distantes (hasta 50 kms)
- Mejor tasa de bits/segundo/HZ en distancias largas
- Sistema escalable
- Fácil adición de canales: maximiza las capacidades de las células.
- Anchos de banda flexibles que permiten usar espectros licenciados y exentos de licencia.
- Cobertura
- Soporte de mallas basadas en estándares y antenas inteligentes
- Modulación adaptativa que permite sacrificar ancho de banda a cambio de mayor rango de alcance.
- QoS (Quality of Service / Calidad de Servicio)
- Grant/Request MAC permite vídeo y voz
- Servicios de nivel diferenciados: E1/T1 para negocios, mejor esfuerzo para uso doméstico.

### **IEEE 802.17**

Resilient Packet Ring (RPR), también conocido como IEEE 802.17, es un estándar diseñado para el transporte óptimo de datos en redes de anillo de fibra óptica. Está diseñada para proporcionar la resistencia encontrada en redes SONET/SDH (50 ms protección) pero, en lugar de establecer conexiones de circuitos orientados, proporciona una transmisión basada en paquetes, para incrementar la eficiencia de Ethernet y servicios IP.

RPR trabaja con el concepto de un doble anillo giratorio llamado rizo. Estos anillos se crean mediante la creación de estaciones RPR en los nodos donde se supone que el tráfico debe caer, por flujo (un flujo es la entrada y salida del tráfico de datos). RPR usa el protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC) para dirigir

el tráfico, que puede usar cada rizo del anillo. Los nodos negocian el ancho de banda entre sí usando un algoritmo de equidad, evitando la congestión y los tramos fallidos

### **IEEE 802.18**

El estándar IEEE 802.18 está siendo desarrollado por el "RR-TAG" (Radio Regulatory Technical Advisory Group, del inglés grupo asesor técnico de regulación de radio). Este grupo de trabajo tiene asignados 6 proyectos sobre estándares para sistemas basados en radio:

- IEEE 802.11 (Red inalámbrica de área local- WLAN)
- IEEE 802.15 (Red inalámbrica de área personal - WPAN)
- IEEE 802.16 (Red inalámbrica de área metropolitana- WMAN)
- IEEE 802.20 (Movilidad sin cables)
- IEEE 802.21 (Rechazo/interoperabilidad entre redes)
- IEEE 802.22 (Red inalámbrica de área regional - WRAN).

El RR-TAG supervisa alrededor de 6 proyectos, a niveles tanto nacionales como internacionales, y también hacen comentarios y recomiendan políticas a los reguladores, para así equilibrar los intereses de todos los proyectos inalámbricos.

### **IEEE 802.19**

Es el Grupo Técnico Asesor (GTA) para Coexistencia Inalámbrica (Wireless Coexistence) en el IEEE 802 LAN / MAN Comité de Normas. El GTA se ocupa de la coexistencia entre redes inalámbricas sin licencia. Muchos de los estándares inalámbricos IEEE 802 usan el espectro sin licencia y por lo tanto existe la necesidad de abordar la cuestión de la coexistencia. Estos dispositivos inalámbricos sin licencia pueden funcionar en la misma banda de frecuencias sin licencia en la misma ubicación. Esto puede conducir a interferencia entre estas dos redes inalámbricas.

### **IEEE 802.20**

O también conocido como Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) es una especificación de la asociación estándar del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) para redes de acceso a Internet para redes móviles. El estándar fue publicado en 2008.1 Actualmente, MBWA ha dejado de desarrollarse.

### **IEEE 802.21**

Es un estándar de la IEEE publicado en el 2008. El estándar define mecanismos independientes del método o modo de acceso que posibilita la optimización del

handover <sup>1</sup>ya sea entre redes del mismo tipo, de las distintas redes 802 o entre redes móviles. El estándar proporciona la información para permitir la transferencia del servicio entre las redes de una estación base a otra, donde pueden incluir celdas de diferentes tamaños de los distintos tipos de red tales como 802.3, 802.11, 802.15, 802.16, 3GPP y 3GPP2 a través de diferentes mecanismos y con solapamiento de cobertura.

El grupo de trabajo de la IEEE 802.21 inició su labor en marzo de 2004, donde gradualmente más de 30 empresas se han ido uniendo. El grupo elaboró su primer borrador del estándar en mayo de 2005 que incluía la definición del protocolo. Fue publicado en enero de 2009.

## IEEE 802.22

Es un estándar para la Wireless Regional Area Network (WRAN) que utiliza espacios blancos en el espectro de frecuencia de los canales de TV. El desarrollo del estándar IEEE 802.22 WRAN está enfocado al empleo de técnicas de Radio Cognitiva (CR) para permitir el uso compartido del espectro geográfico no utilizado, asignado al servicio de difusión de televisión. La idea es utilizar ese espectro de frecuencia, en base de no-interferencia, para ofrecer acceso de banda ancha a zonas en las que difícilmente se podría proporcionar este servicio, como, por ejemplo, zonas de baja densidad de población, ambientes rurales, entre otros. Por tanto, tiene un gran potencial y una amplia aplicación en todo el mundo. Es el primer esfuerzo a nivel mundial para definir una interfaz de aire estándar basado en las técnicas de CR para el uso oportunista de las bandas de TV en una base no-interferencia.

Más del 90% de las redes de área local cableadas en todo el mundo basan su operación en el estándar IEEE 802.3, y comúnmente se conoce como Ethernet. Ethernet comenzó como un sistema experimental de 3 Mbps basado en bus. El primer desarrollo de Ethernet comercialmente disponible y la primera versión de IEEE 802.3 eran sistemas basados en bus operando a 10 Mbps. A medida que la tecnología avanzó, Ethernet pasó de estar basado en un bus (concentrador) a basarse en conmutadores, y la velocidad de datos ha aumentado periódicamente en una medida. Actualmente, los sistemas Ethernet están disponibles a velocidades de hasta 100 Gbps. La Figura 8.1, basada en datos de Gartner Group, muestra los porcentajes de mercado de transceptores de fibra óptica para conectar a velocidades que van de 1 a 100 GbE. Se observa que para el 2020 estaba previsto que el 90% de los transceptores ópticos conecten enlaces de 10 GbE o más.

---

<sup>1</sup> Mecanismo de transferencia del servicio inalámbrico desde una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

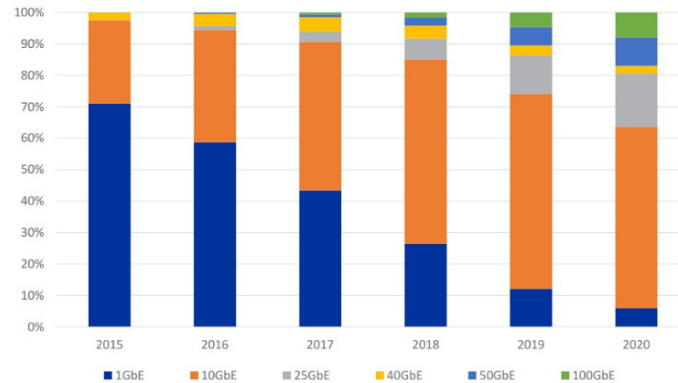


Figura 8.1: Mercado de transceptores ópticos (Fuente Gartner Group)

Comenzamos este capítulo con una descripción general del sistema de 10 Mbps y la capa básica de control de acceso medio (MAC) definida para Ethernet de 10 Mbps. Luego se describirán las generaciones posteriores de Ethernet, hasta la versión de 400 Gbps, tanto en la capa física como en la capa MAC. Por último, se desarrollará el estándar IEEE 802.1Q VLAN.

## 8.1. Ethernet Tradicional

Al igual que sucede con otros estándares de redes LAN, existe una capa de control de acceso al medio y una capa física. Comenzará el presente desarrollo con una descripción de la capa MAC en IEEE 802.3.

### 8.1.1. Control de Acceso al Medio IEEE 802.3

La técnica CSMA/CD y sus precursoras pueden ser denominadas de acceso aleatorio o de contención. Se denominan de acceso aleatorio en el sentido de que no existe un tiempo preestablecido o predecible para que las estaciones transmitan, sino que las transmisiones se organizan aleatoriamente. Son de contención en el sentido de que las estaciones compiten para conseguir el acceso al medio.

La primera de estas técnicas, conocida como ALOHA, se desarrolló para redes de paquetes de radio, siendo, a pesar de ello, aplicable a cualquier medio de transmisión compartido. ALOHA, o ALOHA puro, como también es denominado algunas veces, permite que una estación transmita una trama siempre que lo necesite. A continuación, la estación pasa a escuchar el medio durante un tiempo igual al máximo retardo de propagación posible de ida y vuelta a través de la red (igual a dos veces el tiempo de propagación de una trama entre las dos estaciones más separadas) más un pequeño incremento fijo de tiempo. Se considerará que todo ha ido bien si durante este intervalo de escucha la estación oye una confirmación; en caso contrario, retransmitirá la trama. La estación desistirá si no recibe una confirmación después de varias



retransmisiones. Una estación receptora determina si una trama recibida es correcta examinando el campo de la secuencia de comprobación de la trama, al igual que se hace en HDLC. Si la trama es válida y la dirección de destino en la cabecera de la trama coincide con la de la receptora, la estación devuelve inmediatamente una confirmación. La trama puede ser incorrecta debido a la presencia de ruido en el canal o debido a que otra estación transmitiera una trama casi al mismo tiempo. En este último caso, las dos tramas pueden interferir entre sí en el receptor, de modo que no se acepte ninguna; esto se conoce como colisión. Si se decide que la trama recibida no es válida, la estación receptora simplemente ignorará la trama.

ALOHA es una técnica extremadamente sencilla, debido a lo cual presenta algunos puntos débiles. Dado que el número de colisiones crece rápidamente cuando aumenta la carga, la utilización máxima del canal es sólo del 18 por ciento.

Con objeto de mejorar la eficiencia se desarrolló una modificación sobre ALOHA, conocida como ALOHA ranurado. En este esquema el tiempo del canal se hace discreto, considerando ranuras uniformes de duración igual al tiempo de transmisión de una trama. Para este fin es necesario el uso de un reloj central u otra técnica que permita sincronizar todas las estaciones. La transmisión sólo se permite en los instantes de tiempo que coincidan con el comienzo de una ranura. Así, las tramas que se solapan lo harán completamente, lo que incrementa la utilización máxima del sistema hasta el 37 por ciento aproximadamente.

Tanto ALOHA como ALOHA ranurado presentan una utilización baja del canal. Ninguna de las dos técnicas aprovecha una de las propiedades más importantes en las redes de paquetes de radio y redes LAN, consistente en que el retardo de propagación entre las estaciones es generalmente muy pequeño en comparación con el tiempo de transmisión de las tramas. Consideremos las siguientes observaciones:

- ✓ Si el tiempo de propagación entre estaciones fuese grande en comparación con el tiempo de transmisión, entonces, tras la transmisión de una trama deberá transcurrir mucho tiempo antes de que otras estaciones constaten este hecho. Una de las otras estaciones puede transmitir una trama durante ese intervalo de tiempo, de modo que las dos tramas pueden interferir entre sí y no se aceptará ninguna de ellas. De hecho, si las distancias son suficientemente grandes, pueden comenzar a transmitir varias estaciones una tras otra, y ninguna de sus tramas resultará ilesa.
- ✓ Supongamos, sin embargo, que el tiempo de propagación es pequeño comparado con el de transmisión. En este caso, cuando una estación transmite una trama, el resto de estaciones lo sabrá casi inmediatamente. De esta manera, si pueden constatar esta circunstancia de algún modo, no intentarán transmitir hasta que lo haya hecho la primera. Las colisiones no serán habituales, ya que sólo ocurrirán cuando dos estaciones comiencen a transmitir casi simultáneamente.
- ✓ Otra forma de verlo es que un tiempo de retardo pequeño proporciona a las estaciones una mejor realimentación sobre el estado de la red; esta información se puede usar para mejorar la eficiencia.

Estas observaciones condujeron al desarrollo de la técnica de acceso múltiple con detección de portadora (CSMA, Carrier Sense Multiple Access). Con

CSMA, una estación que desee transmitir escuchará primero el medio para determinar si existe alguna otra transmisión en curso (detección de portadora). Si el medio está siendo usado, la estación deberá esperar. En cambio, si éste se encuentra libre, la estación podrá transmitir. Puede suceder que dos o más estaciones intenten transmitir aproximadamente al mismo tiempo, en cuyo caso se producirá colisión: los datos de ambas transmisiones interferirán y no se recibirán con éxito. Para solucionar esto, las estaciones aguardan una cantidad de tiempo razonable después de transmitir en espera de una confirmación, teniendo en consideración el retardo de propagación máximo del trayecto de ida y vuelta y el hecho de que la estación que confirma debe competir también por conseguir el medio para responder. Si no llega la confirmación, la estación supone que se ha producido una colisión y retransmite.

Podemos ver cómo esta estrategia resulta efectiva para redes en las que el tiempo de transmisión de trama es mucho mayor que el de propagación. Las colisiones sólo se producirán en el caso de que más de un usuario comience a transmitir dentro del mismo intervalo de tiempo (igual al periodo de propagación). Si una estación comienza a transmitir una trama y no existen colisiones durante el tiempo de propagación que transcurre desde el inicio de la transmisión del paquete hasta que alcanza a la estación más lejana, no se producirá colisión para esta trama dado que ahora todas las estaciones están al tanto de la transmisión.

La utilización máxima que se puede conseguir haciendo uso de CSMA puede superar con mucho la de ALOHA ranurado. La utilización máxima depende de la longitud de la trama y del tiempo de propagación; cuanto mayor sea la longitud de las tramas o cuanto menor sea el tiempo de propagación, mayor será la utilización.

En CSMA se precisa de un algoritmo que determine qué debe hacer una estación si encuentra el medio ocupado. Tres enfoques para resolver este problema se describen en la Figura 8.1.1.1. En el primero de ellos, denominado CSMA no persistente, una estación que desee transmitir escuchará el medio y procederá según las siguientes reglas:

1. Si el medio se encuentra libre, transmite; en otro caso se aplica el paso 2.
2. Si el medio se encuentra ocupado, espera una cierta cantidad de tiempo obtenida de una distribución de probabilidad (retardo de retransmisión) y repite el paso 1.

El uso de retardos aleatorios reduce la probabilidad de las colisiones. Para ver esto mejor, considérese que dos estaciones se encuentran listas para transmitir aproximadamente al mismo tiempo, mientras que otra transmisión se encuentra en curso. Si ambas estaciones esperan la misma cantidad de tiempo antes de intentarlo de nuevo, las dos intentarán transmitir aproximadamente al mismo tiempo. Un problema de CSMA no persistente es que se desaprovecha la capacidad debido a que el medio permanecerá libre justo tras el fin de una transmisión incluso si una o más estaciones se encuentran listas para transmitir.

Para evitar los intervalos en los que el medio se encuentra libre se puede utilizar el protocolo CSMA 1-persistente. Una estación que desee transmitir escuchará el medio y actuará de acuerdo con las siguientes reglas:

1. Si el medio se encuentra libre, transmite; en otro caso se aplica el paso 2.
2. Si el medio está ocupado, continúa escuchando hasta que el canal se detecte libre, momento en el cual se transmite inmediatamente.

Mientras que con CSMA no persistente una estación actúa de un modo más deferente, en el caso de CSMA 1-persistente el comportamiento es más egoísta. Si dos o más estaciones desean transmitir, se garantiza que se producirá una colisión. La técnica sólo toma medidas tras la colisión.

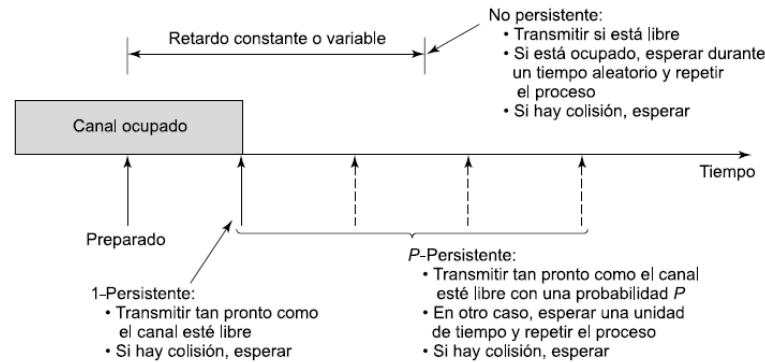


Figura 8.1.1.1: Persistencia y espera en CSMA

La técnica CSMA p-persistente representa un compromiso entre reducir el número de colisiones, como en el caso de no persistente, y reducir el tiempo de desocupación del canal, como en 1-persistente. Las reglas que se aplican son las siguientes:

1. Si el medio se encuentra libre, entonces se transmite con una probabilidad  $p$  y se espera una unidad de tiempo con una probabilidad  $(1-p)$ . La unidad de tiempo es generalmente igual al retardo máximo de propagación.
2. Si el medio está ocupado, se continúa escuchando hasta que se detecte libre y se repite el paso 1.
3. Si la transmisión se ha retardado una unidad de tiempo, se repite el paso 1.

La cuestión que se plantea es la de cuál es un valor efectivo para “ $p$ ”. El principal problema que se debe evitar es el de la inestabilidad en condiciones de carga elevada. Considérese el caso en el que “ $n$ ” estaciones disponen de tramas para enviar mientras que se está produciendo una transmisión. Cuando ésta termine, el número esperado de estaciones que intentarán transmitir es igual a “ $n$ ” veces la probabilidad de transmitir, siendo “ $n$ ” el número de estaciones que se encuentran listas para transmitir; esto es, “ $n$ ” x “ $p$ ”. Si “ $n$ ” x “ $p$ ” es mayor que 1, existirán, en término medio, varias estaciones que intentarán transmitir y se producirá una colisión. Lo que, es más, tan pronto como estas estaciones se percaten de que su transmisión ha sufrido una colisión, volverán a intentarlo, casi garantizando así más colisiones. Otro hecho que agrava esta situación es que todos estos reintentos deberán competir con nuevas transmisiones realizadas por otras estaciones, lo que incrementa aún más la probabilidad de colisión. Eventualmente, todas

las estaciones estarán intentando enviar, causando colisiones de forma continua y haciendo así que el rendimiento decaiga hasta cero. Para evitar esta catástrofe, “ $n$ ” x “ $p$ ” debe ser menor que 1 para los picos esperados de “ $n$ ”. Por tanto, si es de esperar que las condiciones de alta carga se den con cierta regularidad, “ $p$ ” debe ser pequeño. Sin embargo, a medida que “ $p$ ” se hace pequeño, las estaciones esperarán más tiempo hasta intentar transmitir de nuevo. En condiciones de baja carga esto conducirá a retardos muy elevados. Por ejemplo, si sólo una estación deseara transmitir, el número esperado de iteraciones del paso 1 es de  $1/p$ . Así, para  $p=0,1$  y en condiciones de baja carga, una estación esperará una media de 9 unidades de tiempo antes de transmitir sobre un medio libre.

### Descripción de CSMA/CD

CSMA, aunque más eficiente que ALOHA y que ALOHA ranurado, presenta también una ineficiencia manifiesta. Cuando dos tramas colisionan, el medio permanece inutilizable mientras dure la transmisión de ambas tramas dañadas. En el caso de que la longitud de las tramas sea elevada en comparación con el tiempo de propagación, la cantidad de tiempo desaprovechado puede ser considerable. Este desaprovechamiento de la capacidad puede reducirse si una estación continúa escuchando el medio mientras dure la transmisión. La inclusión de esta característica conduce a las siguientes reglas para CSMA/CD:

1. Si el medio se encuentra libre, transmite; en otro caso se aplica el paso 2.
2. Si el medio se encuentra ocupado, continúa escuchando hasta que el canal se libere, en cuyo caso transmite inmediatamente.
3. Si se detecta una colisión durante la transmisión, se transmite una pequeña señal de interferencia para asegurarse de que todas las estaciones constaten la colisión. A continuación, se deja de transmitir.
4. Tras la emisión de la señal de interferencia, la estación espera una cantidad aleatoria de tiempo conocida como espera (backoff), intentando transmitir de nuevo a continuación (volviendo al paso 1).

La Figura 8.1.1.2 ilustra esta técnica para un bus en banda base. En  $t_0$ , la estación A comienza a transmitir un paquete destinado a D. En  $t_1$ , tanto B como C están listos para transmitir. B detecta una transmisión en curso y pospone la suya. C, sin embargo, aún no se ha percatado de la transmisión de A (porque el primer bit de la transmisión de A todavía no ha alcanzado el punto en el que se encuentra C) y comienza a transmitir. Cuando la transmisión de A alcanza C en  $t_2$ , C detecta la colisión y cesa de transmitir. El efecto de la colisión se propaga hasta A, punto en el que es detectado en un instante posterior,  $t_3$ , siendo en ese momento cuando A deja de transmitir.

Con CSMA/CD, la cantidad de tiempo desaprovechado se reduce al tiempo que se necesita para detectar una colisión. La pregunta es, por supuesto, cuánto tiempo lleva esto. Consideremos el caso de un bus en banda base y dos estaciones tan separadas como sea posible. Por ejemplo, en la Figura 8.1.1.2, supongamos que la estación A comienza a transmitir y que, justo antes de que la transmisión alcance a D,

éste se encuentra listo para transmitir. Puesto que D no es todavía consciente de la transmisión de A, aquél comenzará a transmitir. La colisión se producirá casi inmediatamente y así será reconocida por D. Sin embargo, la colisión deberá propagarse por todo el medio hasta alcanzar a A antes de que éste se percate. Siguiendo este razonamiento podemos concluir que la cantidad de tiempo involucrada en detectar una colisión no es mayor que dos veces el retardo de propagación extremo a extremo.

Una regla importante aplicada en la mayor parte de los sistemas CSMA/CD, incluyendo las normalizaciones IEEE, consiste en que la trama debe ser lo suficientemente larga como para permitir la detección de la colisión antes de que finalice la transmisión. Si se usan tramas más cortas, no se produce la detección de la colisión, presentando la técnica CSMA/CD las mismas prestaciones que el protocolo CSMA menos eficiente.

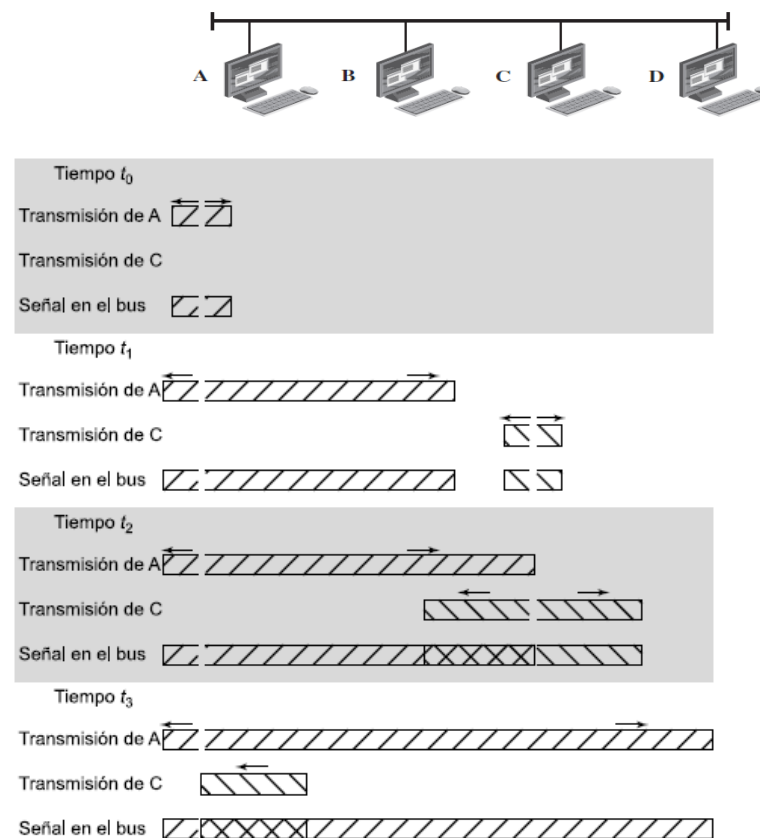


Figura 8.1.1.2: Funcionamiento de CSMA/CD

En una red LAN CSMA/CD se plantea la cuestión de qué algoritmo de persistencia utilizar. Podría parecer sorprendente el hecho de que el algoritmo usado en el estándar IEEE 802.3 es el 1-persistente. Recuérdesse que tanto el modo no persistente como el p-persistente presentan problemas de rendimiento. En el caso del no persistente, la capacidad se desaprovecha porque el medio permanece generalmente desocupado tras el fin de una transmisión, incluso si hay estaciones esperando para transmitir. En el caso del algoritmo p-persistente, el parámetro p debe ser lo suficientemente bajo como para

evitar la inestabilidad, resultando ocasionalmente en retardos enormes en condiciones de carga elevada. El algoritmo 1-persistente, que implica, después de todo, hacer  $p=1$ , parece ser incluso más inestable que el  $p$ -persistente debido a la avaricia de las estaciones. El punto a su favor es que el tiempo desaprovechado debido a las colisiones es muy pequeño (si las tramas son largas en comparación al retardo de propagación) y, considerando un tiempo de espera aleatorio, no es probable que las dos estaciones involucradas en una colisión vuelvan a estarlo en sus siguientes reintentos. Con objeto de asegurar que la espera mantenga la estabilidad, las redes IEEE 802.3 y Ethernet usan una técnica conocida como espera exponencial binaria (binary exponential backoff). En esta técnica, la estación intentará transmitir cada vez que colisione. Durante los primeros 10 intentos de retransmisión, el valor medio del tiempo de espera se dobla cada vez. A partir de ahí, este valor permanece igual durante 6 intentos adicionales. Después de 16 intentos sin éxito, la estación abandona e informa de un error. De esta forma, a medida que la congestión crece, las estaciones esperan para transmitir periodos de tiempo cada vez más largos, reduciendo así la probabilidad de una colisión.

La elegancia del algoritmo 1-persistente con espera exponencial binaria viene dada por su eficiencia frente a un amplio rango de condiciones de carga. En condiciones de baja carga, garantiza que una estación puede usar el canal tan pronto como éste se libere, en contraposición a los esquemas de no persistencia y  $p$ -persistencia. En condiciones de alta carga es, al menos, tan estable como las otras técnicas. No obstante, un desafortunado efecto del algoritmo de espera es que provoca un efecto de último-en-llegar, primero-en-salir: las estaciones sin colisiones o con muy pocas, tendrán una oportunidad de transmitir antes de aquellas que llevan esperando más tiempo.

En buses en banda base, una colisión implicará la aparición de niveles de tensión superiores a los que cabría esperar en el caso de una transmisión sin colisiones. Consecuentemente, el estándar IEEE dicta que el transmisor detectará una colisión si la señal presente en el cable en el punto de conexión es mayor que el máximo nivel que se podría producir si se tratara de una única transmisión. Debido a que la señal se atenúa con la distancia, aparece un problema potencial: si dos estaciones muy distantes están transmitiendo, la señal que reciban la una de la otra estará muy atenuada. La energía de la señal recibida podría ser tan pequeña que, una vez sumada a la señal transmitida en el punto de conexión, pudiera ocurrir que la señal combinada no superara el umbral de continua (DC) preestablecido. Esta razón, entre otras, es la que ha justificado que el estándar de IEEE restrinja la longitud máxima del cable coaxial a 500 m en el 10BASE5 y a 200 m en el 10BASE2.

En la topología en estrella con pares trenzados es posible utilizar un esquema de detección de colisiones mucho más sencillo. En este caso, la detección de colisiones se basa en magnitudes lógicas en lugar de utilizar niveles de tensión. Se determina que hay colisión si en cualquiera de los concentradores (hubs) hay actividad (señal) en más de una entrada, generándose en este caso una señal especial denominada señal de presencia de colisión. Esta señal se genera y se envía mientras se detecte actividad en cualquiera de las líneas de entrada y es interpretada por todos los nodos como la ocurrencia de una colisión.

Cualquiera fuera la topología, a partir el funcionamiento de CSMA/CD, se define el concepto de “Dominio de Colisiones” como sigue: un dominio de colisión es un segmento físico de una red de computadores donde es posible que las tramas puedan "colisionar" (interferir) con otros. Estas colisiones se dan particularmente en el protocolo de red Ethernet.

### 8.1.2. Trama MAC

La Figura 8.1.2.1 muestra el formato de la trama del protocolo 802.3. Ésta consta de los siguientes campos:

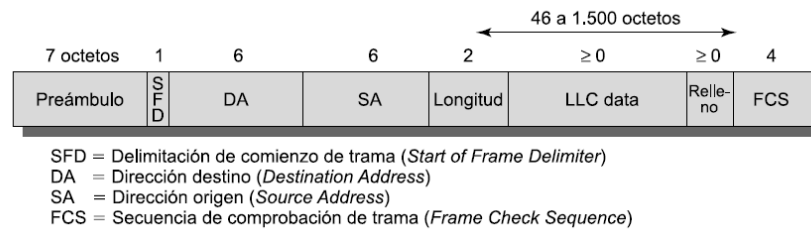


Figura 8.1.2.1: Formato trama 802.3 / Ethernet

**Preámbulo:** el receptor usa 7 octetos de bits ceros y unos alternados para establecer la sincronización entre el emisor y el receptor.

**Delimitador del comienzo de la trama (SFD, Start Frame Delimiter):** consiste en la secuencia de bits 10101011, que indica el comienzo real de la trama y posibilita que el receptor pueda localizar el primer bit del resto de la trama.

**Dirección de destino (DA, Destination Address):** especifica la estación o estaciones a las que va dirigida la trama. Puede tratarse de una única dirección física, una dirección de grupo o una dirección global. Es del tipo Dirección MAC.

**Dirección de origen (SA, Source Address):** especifica la estación que envió la trama. Es del tipo Dirección MAC

**Longitud/Tipo:** contiene la longitud del campo de datos LLC expresado en octetos, o el campo Tipo de Ethernet, dependiendo de que la trama siga la norma IEEE 802.3 o la especificación primitiva de Ethernet. En cualquier caso, el tamaño máximo de la trama, excluyendo el preámbulo y el SFD, es de 1518 octetos.

**Datos LLC:** unidad de datos proporcionada por el LLC.

**Relleno:** octetos añadidos para asegurar que la trama sea lo suficientemente larga como para que la técnica de detección de colisiones (CD) funcione correctamente.

**Secuencia de Comprobación de Trama (FCS, Frame Check Sequence):** comprobación de redundancia cíclica de 32 bits, calculada teniendo en cuenta todos los campos excepto el preámbulo, el SFD y el FCS.

## Dirección MAC (MAC Address)

Las direcciones MAC son un número de hardware único de 48 bits (Figura 8.1.2.2) de una computadora, que está integrado en la tarjeta de red (conocida como tarjeta de interfaz de red) durante el tiempo de fabricación. La dirección MAC también se conoce como dirección física de un dispositivo de red. La dirección MAC es utilizada por la subcapa Control de acceso al medio (MAC) de la capa de enlace de datos. La dirección MAC es única en todo el mundo, ya que existen millones de dispositivos de red y es necesario identificarlos de manera única.

La dirección MAC es un número hexadecimal de 12 dígitos (número binario de 6 bytes), que está representado principalmente por notación hexadecimal de dos puntos. Los primeros 6 dígitos (digamos 00:40:96) de la Dirección MAC identifican al fabricante, llamado OUI (Identificador Único Organizacional). El Comité de la Autoridad de Registro de IEEE asigna estos prefijos MAC a sus proveedores registrados.

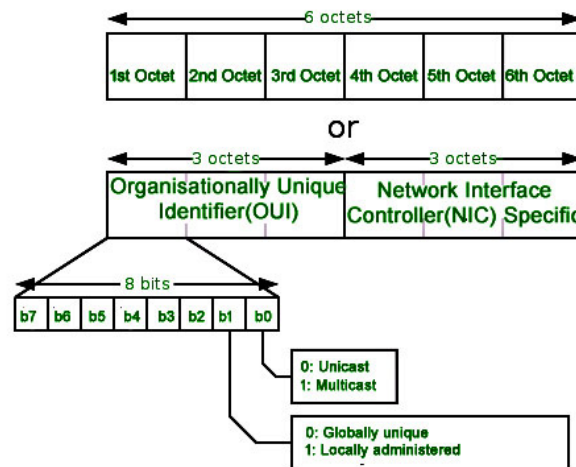


Figura 8.1.2.2: Dirección MAC

A continuación, se muestran los valores de los tres primeros octetos (OUI) de algunos fabricantes conocidos:

CC:46:D6 - Cisco

3C:5A:B4 - Google, Inc.

3C:D9:2B - Hewlett Packard

00:9A:CD - Huawei Technologies CO.,LTD

Los seis dígitos más a la derecha representan el controlador de interfaz de red, que es asignado directamente por el fabricante.

### Bit X: Universal frente a local (bit U / L)

Las direcciones pueden ser direcciones administradas universalmente (UAA, Universal Administered Address) o direcciones administradas localmente (LAA, Local Administered Address). Una dirección administrada universalmente se asigna de



forma única a un dispositivo por su fabricante. Los primeros tres octetos (en orden de transmisión) identifican a la organización que emitió el identificador y se conocen como el identificador único organizativo (OUI, organizationally unique identifier). El resto de la dirección (tres octetos), son asignados por esa organización de casi cualquier manera que deseen, sujeto a la restricción de unicidad. Una dirección administrada localmente se asigna a un dispositivo mediante software o un administrador de red, anulando la dirección grabada para dispositivos físicos.

Las direcciones administradas localmente se distinguen de las administradas universalmente asignando el valor 1 al segundo bit menos significativo del primer octeto de la dirección. Este bit también se conoce como bit U / L, abreviatura de Universal / Local, que identifica cómo se administra la dirección. Si el bit es 0, la dirección se administra universalmente, por lo que este bit es 0 en todos los OUI. Si es 1, la dirección se administra localmente. En la dirección de ejemplo 06-00-00-00-00-00, el primer octeto es 06 (hexadecimal), cuya forma binaria es 00000110, donde el segundo bit menos significativo es 1. Por lo tanto, es un código administrado localmente. dirección.

#### **Bit M: Unicast vs. multicast (I/G bit)**

El bit menos significativo del primer octeto de una dirección se denomina bit I / G, o Individual / Grupo. Cuando este bit es 0 (cero), la trama está destinada a alcanzar solo una placa de red receptora. Este tipo de transmisión se llama unidifusión. Una trama de unidifusión se transmite a todos los nodos dentro del dominio de colisión. En un entorno cableado moderno, el dominio de colisión suele ser la longitud del cable Ethernet entre dos tarjetas de red. En un entorno inalámbrico, el dominio de colisión son todos los receptores que pueden detectar una señal inalámbrica determinada. Si un conmutador no sabe qué puerto conduce a una dirección MAC determinada, el conmutador reenviará una trama de unidifusión a todos sus puertos (excepto al puerto de origen), una acción conocida como inundación de unidifusión. Solo el nodo con la dirección MAC de hardware coincidente aceptará la trama. Las tramas de red con direcciones MAC que no coinciden, se ignoran, a menos que el dispositivo esté en modo promiscuo.

Si el bit menos significativo del primer octeto se establece en 1 (es decir, el segundo dígito hexadecimal es impar), la trama se enviará solo una vez; sin embargo, las tarjetas de red elegirán aceptarlo basándose en criterios distintos a la coincidencia de una dirección MAC: por ejemplo, en función de una lista configurable de direcciones MAC de multidifusión aceptadas. Esto se denomina direccionamiento de multidifusión.

### **8.1.3. Especificaciones IEEE 802.3, 10 Mbps (Ethernet)**

El comité IEEE 802.3 ha sido el más activo en la definición de distintas configuraciones físicas alternativas. Esta proliferación tiene sus ventajas e inconvenientes. Lo positivo es que la normalización responde a la evolución de la tecnología, mientras que el aspecto negativo es que el consumidor, por no mencionar al potencial proveedor, se encuentra con una gran variedad de opciones.

Sin embargo, el comité ha trabajado mucho para asegurar que las distintas opciones puedan ser integradas fácilmente en una configuración que satisfaga un gran número de necesidades. Así, el usuario que tiene un conjunto complejo de requisitos puede encontrar una ventaja en la flexibilidad y en la variedad del estándar 802.3.

El comité ha desarrollado una notación concisa con el fin de distinguir las diferentes implementaciones disponibles:

<velocidad de transmisión en Mbps><método de señalización><longitud máxima del segmento en centenas de metros>

Las alternativas definidas son:

- 10BASE5: especifica el uso de cable coaxial de 50 ohmios y señalización digital Manchester2. La longitud máxima del segmento de cable se fija a 500 metros. Esta longitud se puede extender mediante la utilización de repetidores. Un repetidor es transparente al nivel MAC y, dado que no gestiona memoria temporal, no aísla un segmento de otro. Así, por ejemplo, si dos estaciones en diferentes segmentos intentan transmitir al mismo tiempo, sus transmisiones colisionarán. Para evitar la aparición de bucles sólo se permite un único camino formado por segmentos y repetidores entre cualesquiera dos estaciones. La normalización permite un máximo de cuatro repetidores en el camino entre cualesquiera dos estaciones, ampliándose así la longitud efectiva del medio hasta 2,5 km.
- 10BASE2: es similar a 10BASE5, excepto por el uso de un cable coaxil más fino que admite tomas de conexión para distancias más cortas que el cable de 10BASE5. Se trata de una alternativa menos costosa a aquél.
- 10BASE-T: utiliza par trenzado no apantallado en una topología en estrella. Dada la alta velocidad y la baja calidad de las transmisiones sobre este tipo de cable, la longitud de cada enlace se restringe a 100 m. Como alternativa se puede utilizar un enlace de fibra óptica, en cuyo caso la longitud máxima es de 500 m.
- 10BASE-F: contiene tres especificaciones: una topología en estrella pasiva para la interconexión de estaciones y repetidores con segmentos de hasta 1 km de longitud; un enlace punto a punto que puede ser usado para conectar estaciones o repetidores separados hasta 2 km; y un enlace punto a punto que puede usarse para conectar repetidores a una distancia máxima de 2 km.

Obsérvese que 10BASE-T y 10BASE-F no siguen la notación: “T” se usa para par trenzado y “F” para fibra óptica. Además de estas alternativas, existen varias versiones que funcionan a 100 Mbps, 1 Gbps, 10, 40, 100, 200 y Gbps, que serán estudiadas más adelante en esta sección.

## 8.2. LAN de alta velocidad

Además de la norma 802.3, la cual permite conexiones de dispositivos a 10 Mbps, existen varias versiones que funcionan a 100 Mbps, 1 Gbps, 10, 40, 100, 200 y Gbps. Todas estas serán estudiadas a continuación.

### 8.2.1. Especificaciones Ethernet 100 Mbps (Fast Ethernet, 802.3u)

Fast Ethernet es un conjunto de especificaciones desarrolladas por el comité IEEE 802.3 con el fin de proporcionar una red LAN de bajo coste compatible con Ethernet que funcione a 100 Mbps. La designación genérica para estos estándares es 100BASE-T. El comité definió varias alternativas para diferentes medios de transmisión (Tabla 8.2.1.1).

Todas las opciones 100BASE-T usan el protocolo MAC y el formato de la trama IEEE 802.3. 100BASE-X identifica al conjunto de opciones que usan las especificaciones del medio físico definidas originalmente para FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Todos los esquemas 100BASE-X emplean dos enlaces físicos entre los nodos, uno para transmisión y otro para recepción. 100BASE-X hace uso de pares trenzado apantallados (STP) o pares trenzados no apantallados (UTP) de alta calidad (categoría 5), mientras que 100BASE-FX hace uso de fibra óptica.

En muchos edificios, cualquiera de las opciones 100BASE-X requiere la instalación de nuevo cableado. En estos casos, 100BASE-T4 define una alternativa menos costosa que puede utilizar UTP de voz de categoría 3 además de UTP de categoría 5 de alta calidad. Para alcanzar los 100 Mbps en cables de baja calidad, 100BASE-T4 especifica el uso de 4 líneas de par trenzado entre los nodos, de los cuales tres se usan simultáneamente para la transmisión de datos en una dirección.

#### **100BASE-X**

En todos los medios de transmisión especificados en 100BASE-X, los 100 Mbps se consiguen en un solo sentido utilizando un único enlace (par trenzado individual, fibra óptica individual). Para tal fin, en todos los medios se necesita un esquema de codificación de señal que sea efectivo y eficiente. El esquema elegido se definió originalmente para FDDI y se denomina 4B/5B-NRZI. Este esquema se modifica y particulariza en cada opción.

El esquema 100BASE-X incluye dos especificaciones para el medio físico, una para par trenzado, conocida como 100BASE-TX, y otra para fibra óptica, denominada 100BASE-FX.

100BASE-TX utiliza dos pares de cable de par trenzado, uno para transmisión y otro para recepción. Se permiten tanto STP como UTP de categoría 5, y se usa el esquema de señalización MLT-3.

100BASE-FX utiliza dos fibras ópticas, una para transmitir y otra para recibir. En 100BASE-FX es necesario el uso de algún método para convertir la secuencia de grupos de código 4B/5B-NRZI en señales ópticas. Esta conversión se denomina modulación en intensidad. Un “1” binario se representa por un haz o pulso de luz, mientras que un “0” binario se representa por la ausencia de pulso de luz o por uno de muy baja intensidad.

### 100BASE-T4

100BASE-T4 está pensado para ofrecer una velocidad de transmisión de datos de 100 Mbps a través de cable de categoría 3 de baja calidad, siguiendo la idea de poder reutilizar las instalaciones existentes de este tipo de cable en edificios de oficinas. La especificación también permite el uso opcional de cable de categoría 5. 100BASE-T4 no transmite una señal continua entre paquetes, lo que lo hace útil para sistemas alimentados por baterías.

Tabla 8.2.1.1: Alternativas para 802.3 en 100 Mbps

	100BASE-TX		100BASE-FX	100BASE-T4
Medio de transmisión	2 pares, STP	2 pares, UTP categoría 5	2 fibras ópticas	4 pares, UTP categoría 3, 4 o 5
Técnica de señalización	MLT-3	MLT-3	4B5B, NRZI	8B6T, NRZ
Velocidad de transmisión	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Longitud máxima del segmento	100 m	100 m	100 m	100 m
Cobertura de la red	200 m	200 m	400 m	200 m

En 100BASE-T4, al utilizar cable de tipo 3 para voz, no es de esperar que los 100 Mbps se obtengan utilizando un único par trenzado. Por el contrario, 100BASE-T4 especifica que la secuencia de datos a transmitir se divida en tres secuencias distintas, cada una de las cuales se transmitirá a una velocidad de transmisión efectiva de 33,3 Mbps. Se usan cuatro pares trenzados, de modo que los datos se transmiten haciendo uso de tres pares y se reciben a través de otros tres. Por tanto, dos de los pares deben configurarse para una transmisión bidireccional.

Como en el caso de 100BASE-X, en 100BASE-T4 no se emplea un esquema de codificación NRZ. Esto requeriría una velocidad de transmisión de datos de 33 Mbps a través de cada par trenzado y no proporcionaría sincronización. En su lugar, se usa un esquema de señalización ternario conocido como 8B6T.

### Funcionamiento full-duplex

Una red Ethernet tradicional es semi-duplex: una estación puede transmitir una trama o recibirla, pero no ambas cosas simultáneamente. En el modo de funcionamiento full-duplex, una estación puede transmitir y recibir al mismo tiempo, de manera que una Ethernet a 100 Mbps en full-duplex alcanzaría, teóricamente, una velocidad de 200 Mbps.

Es preciso introducir algunos cambios para funcionar en modo full-duplex. Las estaciones conectadas deben tener tarjetas adaptadoras full-duplex en lugar de las semi-duplex tradicionales. El punto central en la topología en estrella no puede ser simplemente un repetidor multipuesto, sino un concentrador conmutado (switch). En este caso, cada estación constituye un dominio de colisión separado. De hecho, las colisiones no se producen y el algoritmo CSMA/CD no es necesario. Se sigue utilizando, sin embargo, el mismo formato de trama MAC 802.3 y las estaciones pueden continuar ejecutando el algoritmo CSMA/CD a pesar de que jamás se detectará una colisión.

### 8.2.2. Especificaciones Ethernet de 1 Gbps (Giga Ethernet, 802.3z)

A finales del año 1995, el comité IEEE 802.3 formó el grupo de trabajo de alta velocidad con el fin de investigar estrategias para transmitir paquetes con formato Ethernet a velocidades del orden de Gigabits por segundo. Desde entonces se han especificado un conjunto de estándares a 1.000 Mbps.

La estrategia seguida en Gigabit Ethernet es la misma que la adoptada en Fast Ethernet. A pesar de que se define un nuevo medio y una especificación para la transmisión, se sigue adoptando tanto el protocolo CSMA/CD como el formato de trama de sus predecesores Ethernet a 10 Mbps y 100 Mbps. Es compatible con 100BASE-T y 10BASE-T, facilitando la migración.

#### Capa de acceso al medio

La especificación a 1.000 Mbps utiliza el mismo formato para las tramas y protocolos que el CSMA/CD usado en las versiones de IEEE 802.3 a 10 Mbps y 100 Mbps. Para poder operar con concentradores (prácticamente no existen en el mercado), se han introducido dos mejoras respecto al esquema CSMA/CD básico:

- Extensión de la portadora: esta mejora consiste en añadir una serie de símbolos al final de una trama MAC corta, de tal manera que el bloque resultante tenga una duración equivalente a 4.096 bits, mucho mayor que los 512 exigidos en el estándar a 10 y 100 Mbps. El objetivo es que la longitud de la trama, es decir, el tiempo de transmisión, sea mayor que el tiempo de propagación a 1 Gbps.
- Ráfagas de tramas: esta funcionalidad permite que se transmitan de forma consecutiva varias tramas cortas (sin superar un límite) sin necesidad de dejar el control del CSMA/CD. Las ráfagas de tramas evitan la redundancia y gasto que conlleva la técnica de la extensión de la portadora, en el caso de que una estación tenga preparadas para transmitir varias tramas pequeñas.

En el conmutador (switch), que facilita un acceso al medio dedicado, no son necesarias las técnicas de extensión de la portadora ni la de ráfagas de tramas. Esto se debe a que una estación puede transmitir y recibir simultáneamente sin interferencias y sin necesidad de competir para acceder al medio compartido.

## Capa física

La especificación actual de IEEE 802.3 a 1 Gbps define las siguientes alternativas (véase Figura 8.2.2.1):

- 1000BASE-SX: esta opción, en la que se usan longitudes de onda pequeñas, proporciona enlaces dúplex de 275 m usando fibras multimodo de 62,5  $\mu\text{m}$  o hasta 550 m con fibras multimodo de 50  $\mu\text{m}$ . Las longitudes de onda están en el intervalo comprendido entre 770 y 860 nm.
- 1000BASE-LX: esta alternativa, en la que se utilizan longitudes de onda mayores, proporciona enlaces dúplex de 550 m con fibras multimodo de 62,5  $\mu\text{m}$  o 50  $\mu\text{m}$ , o de 5 km con fibras monomodo de 10  $\mu\text{m}$ . Las longitudes de onda están entre los 1.270 y los 1.355 nm.
- 1000BASE-CX: esta opción proporciona enlaces de 1 Gbps entre dispositivos localizados dentro de una habitación (o armario de conexiones) utilizando “patch cords” o cable de conexión de 0,60 m, 1,20 m y 2,40 m (en general son cables de pares trenzados de menos de 25 m con un apantallamiento especial). Cada enlace consiste en dos pares trenzados apantallados, cada uno de los cuales se usa en un sentido.
- 1000BASE-T: esta opción utiliza cuatro pares no apantallados tipo 5 para conectar dispositivos separados hasta 1.000 m.

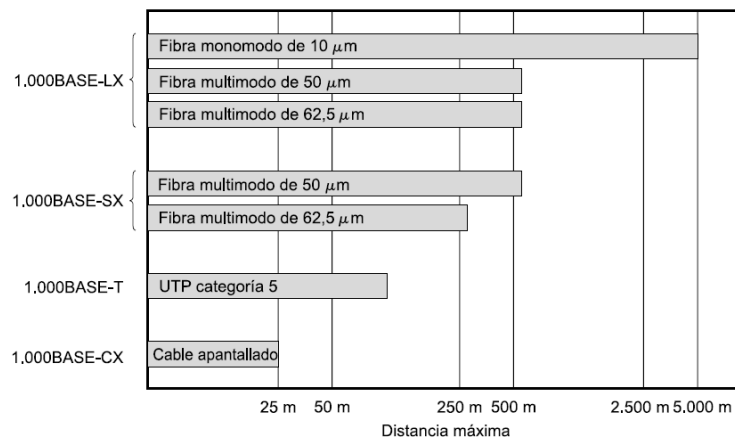


Figura 8.2.2.1: Opciones de medios en 802.3 Gigabit Ethernet

El esquema de codificación de señal que se usa para las tres primeras opciones de Gigabit Ethernet es 8B/10B. En el caso de 1000BASE-T se usa 4D-PAM5, una técnica relativamente complicada cuya descripción queda fuera de este contexto.

### 8.2.3. Especificaciones Ethernet de 10 Gbps (10 Giga Ethernet, 802.3ae)

Con los productos gigabit todavía muy usados, el mundo de las redes está moviéndose hacia Ethernet con capacidad de 10 Gbps. El principal requisito que ha

motivado este interés ha sido el incremento en el tráfico de internet e intranets. Este incremento espectacular se ha debido a una serie de factores:

- Incremento en el número de conexiones de red.
- Incremento en la velocidad de conexión de cada estación final (por ejemplo, usuarios de 10/100 Mbps migrando hacia 1 Gbps, usuarios de líneas analógicas de 56 kbps migrando hacia soluciones DSL<sup>2</sup> de 15/50 Mbps y soluciones de fibra óptica en el hogar hasta 100 Mbps).
- Incremento en el despliegue de aplicaciones demandantes de ancho de banda, como el vídeo de alta calidad.
- Incremento en el hospedaje de web y el tráfico de las aplicaciones de hospedaje.

En principio, los administradores de red podrán usar Ethernet de 10 Gbps para construir redes troncales locales de alta velocidad que proporcionarán interconexión a conmutadores de alta capacidad. A medida que la demanda de ancho de banda crezca, Ethernet de 10 Gbps podrá ser desplegada a lo largo de toda la red, interconectando grupos de servidores centralizados, redes troncales y proporcionando cobertura para toda un área. Esta tecnología permite que los proveedores de servicios de Internet (ISP, Internet Service Provider) y los proveedores de servicios de red (NSP, Network Service Providers) puedan ofrecer enlaces de alta velocidad a un costo reducido entre routers y switches adyacentes.

Esta tecnología permite también la construcción de redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan Area Network) y de área amplia (WAN, Wide Area Network) que conecten redes LAN geográficamente dispersas entre distintos puntos de presencia. Ethernet comienza así a competir con ATM y otras tecnologías de transmisión de área amplia. En la mayoría de los casos en los que los requisitos del cliente son el transporte de datos y de TCP/IP, Ethernet a 10 Gbps proporciona un valor añadido sustancial sobre el transporte ofrecido por ATM, tanto para los usuarios finales de la red como para los proveedores del servicio:

- No se requiere una conversión costosa y demandante de ancho de banda entre paquetes Ethernet y celdas ATM. La red es Ethernet extremo a extremo.
- La combinación de IP y Ethernet ofrece calidad de servicio y capacidades para establecer políticas de tráfico que se aproximan a las que brinda ATM, de manera que tanto usuarios como proveedores tienen a su disposición una tecnología de ingeniería de tráfico avanzada.
- Ethernet de 10 Gigabits recoge un amplio abanico de interfaces ópticas estándares (longitudes de onda y distancias), optimizando tanto su funcionamiento como su coste para aplicaciones

---

<sup>2</sup> La línea de abonado digital o línea de suscriptor digital, Digital Subscriber Line (DSL), es una familia de tecnologías que proporcionan el acceso a Internet mediante la transmisión de datos digitales a través del par trenzado de hilos de cobre convencionales de la red telefónica básica o conmutada.

## LAN, MAN o WAN

El estándar 10 Gigabit Ethernet contiene siete tipos de medios para LAN, MAN y WAN. Ha sido especificado en el estándar suplementario IEEE 802.3ae, y será incluido en una futura revisión del estándar IEEE 802.3.

Hay diferentes estándares para el nivel físico (PHY). La letra “X” significa codificación 8B/10B y se usa para interfaces de cobre. La variedad óptica más común se denomina “LAN PHY”, usada para conectar routers y switches entre sí. Aunque se denomine como LAN se puede usar con 10GBase-LR y 10GBase-ER en distancias de hasta 80 km. “LAN PHY” usa una velocidad de línea de 10.3 Gbit/s y codificación 66B (1 transición cada 66 bits al menos). “WAN PHY” (marcada con una W) encapsula las tramas Ethernet para la transmisión sobre un canal SDH/SONET STS-192c.

Las distancias máximas de los enlaces cubren un intervalo de aplicaciones, desde 300 m hasta 40 km. Los enlaces funcionan exclusivamente en modo full-duplex, usando diversos medios físicos de cobre y fibra óptica.

Han sido definidas distintas opciones para la capa física en Ethernet de 10 Gbps, Figura 8.2.3.1:

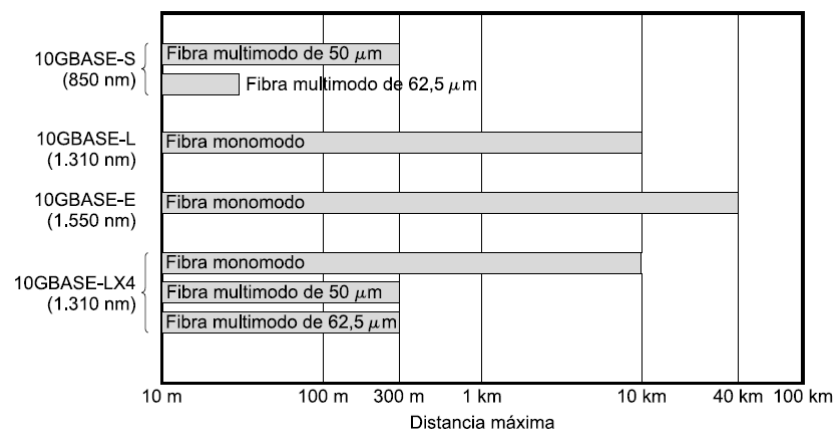


Figura 8.2.3.1: Velocidad y opciones de distancia en 10 Gbps Ethernet

- ✓ 10GBASE-SR (Short Range, corto alcance). Diseñada para funcionar en distancias cortas sobre cableado de fibra óptica multimodo, permite una distancia entre 26 y 82 m dependiendo del tipo de cable. También admite una distancia de 300 m sobre una nueva fibra óptica multimodo de 2000 MHz/km (usando longitud de onda de 850nm).
- ✓ 10GBASE-CX4. Interfaz de cobre que usa cables InfiniBand<sup>3</sup> CX4 y conectores InfiniBand 4x para aplicaciones de corto alcance (máximo 15 m), tales como

<sup>3</sup> InfiniBand es un bus de comunicaciones serie de alta velocidad, baja latencia y de baja sobrecarga de CPU, diseñado tanto para conexiones internas como externas.



conectar un conmutador a un enrutador. Es la interfaz de menor costo, pero también el de menor alcance.

- ✓ 10GBASE-LX4. Usa multiplexión por división de longitud de onda (WDM) para distancias entre 240 m y 300 m sobre fibra óptica multimodo. También admite hasta 10 km sobre fibra monomodo. Usa longitudes de onda alrededor de los 1310 nm.
- ✓ 10GBASE-LR (Long Range, largo alcance). Este estándar permite distancias de hasta 10 km sobre fibra monomodo (usando longitudes de onda de 1310nm).
- ✓ 10GBASE-ER (Extended Range, alcance extendido). Este estándar permite distancias de hasta 40 km sobre fibra monomodo (usando longitudes de onda de 1550nm). Algunos fabricantes han introducido módulos SFP (Small Form Factor) que permiten conectar backbone de fibra de hasta 80 km.
- ✓ 10GBASE-LRM. Descripto en el estándar 802.3aq representa una propuesta de enlace a una velocidad de 10 Gbit/s sobre cable de FDDI- de 62.5  $\mu$ m.
- ✓ 10GBASE-SW, 10GBASE-LW y 10GBASE-EW. Estas variantes usan las especificaciones “WAN PHY”, las cuales están diseñadas para operar con equipos OC-192/STM-64 SONET/SDH<sup>4</sup> usando una trama ligera SDH/SONET. Se corresponden en el nivel físico con 10GBASE-SR, 10GBASE-LR y 10GBASE-ER respectivamente, y por ello usan los mismos tipos de fibra y permiten las mismas distancias. No hay un estándar WAN PHY que corresponda al 10GBASE-LX4.
- ✓ 10GBASE-T. Descripto en el estándar 802.3an del año 2007, diseñado para la implementación con cable UTP-6 o UTP-7 en una distancia de hasta 100 m., usando codificación PAM-16

#### 8.2.4. Especificaciones Ethernet de 100 Gbps

La popularidad de las tecnologías Ethernet (desarrolladas en párrafos precedentes) se debe a la relación costo/beneficio, a la confiabilidad, interoperabilidad y a la variedad de proveedores. El desarrollo de comunicaciones convergentes y unificadas, la evolución de masivas granjas de servidores y la continua expansión de VoIP, TVoIP y Web 2.0, han impulsado la necesidad de conmutadores Ethernet cada vez más rápidos. Los siguientes, son los impulsores del mercado para la evolución hacia la Ethernet de 100 Gbps:

- Centro de datos / proveedores de medios de Internet: para respaldar el crecimiento del contenido de la Internet multimedia y las aplicaciones web. Los proveedores de contenido han expandido los datacenters, llevando Ethernet de 10 Gbps a sus límites.

---

<sup>4</sup> SONET/SDH son estándar para el transporte de datos en redes WAN, OC

- Proveedores de video / servicio de Metro: el video a pedido ha impulsado un gran desarrollo de la generación de 10 Gbps Ethernet metropolitana. Estas redes necesitarán aumentar sus prestaciones en el corto y mediano plazo.
- LAN empresariales: crecimiento continuo en la convergencia de voz / video / datos y en comunicaciones unificadas está aumentando la demanda de conmutadores de red. Sin embargo, la mayoría de las empresas aún dependen de 1 Gbps o una combinación de Ethernet de 1 Gbps y 10 Gbps, y es probable que la adopción de Ethernet de 100 Gbps sea lenta.
- Intercambios de Internet / enrutamiento central de ISP (Internet Service Provider): con la gran cantidad de tráfico que fluye a través de estos nodos, es probable que estos operadores sean los primeros en adoptar Ethernet de 100 Gbps (de hecho, los más importantes ya lo han implementado, sobre todo en regiones de Europa, América del Norte, y en algunos países de Asia (Japón, China, Corea, entre otros).

En 2007, el grupo de trabajo IEEE 802.3 autorizó el IEEE P802.3ba 40Gb/s y 100Gb/s a la Ethernet Task Force. La solicitud de autorización del proyecto 802.3ba citaba una serie de ejemplos de aplicaciones que requieren una mayor capacidad de velocidad de datos que el ofrecido por Ethernet de 10 Gbps, incluidos intercambios de Internet, computación de alto rendimiento y entrega de video a pedido. La solicitud de autorización justificaba la necesidad de dos velocidades de datos diferentes en el nuevo estándar (40 Gbps y 100 Gbps) al reconocer que los requisitos de red agregados y los requisitos de la estación final están aumentando a diferentes tasas.

Los primeros productos en esta categoría aparecieron en 2009, y el IEEE 802.3ba. El estándar se finalizó en 2010.

Un ejemplo de la aplicación de Ethernet de 100 Gbps se muestra en la Figura 8.2.4.1. La tendencia en grandes centros de datos, equipados con grupos de servidores blade<sup>5</sup>, es la implementación de puertos de 10 Gbps en servidores individuales para manejar el tráfico multimedia masivo proporcionado por estos servidores. Tales arreglos están haciendo hincapié en los conmutadores in situ necesarios para interconectar grandes cantidades de servidores. Se propuso una velocidad de 100 GbE para facilitar el ancho de banda requerido, para administrar en forma eficiente el aumento de la carga de tráfico. Se recomienda implementar 100 GbE en los enlaces ascendentes del switch del datacenter, además de proporcionar conexiones interedificios, intercampus, MAN y WAN para redes empresariales.

El éxito de Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y Ethernet de 10 Gbps está basada en que la compatibilidad que ofrecen fue ampliamente valorada por los administradores de red. Siguiendo la misma estrategia, las especificaciones Ethernet de 40 Gbps y 100 Gbps ofrecen compatibilidad con LAN instaladas, software de administración de red y aplicaciones existentes. Esta la compatibilidad ha explicado la

---

<sup>5</sup> Un servidor Blade es una arquitectura de servidor que aloja múltiples módulos de servidor ("blades") en un solo chasis. Es ampliamente utilizado en centros de datos para ahorrar espacio y mejorar la administración del sistema.

supervivencia de la tecnología de 30 años en la actualidad entorno de red en rápida evolución.

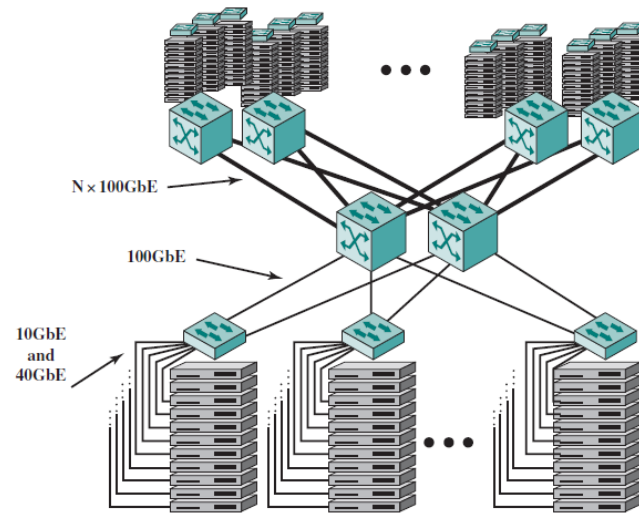


Figura 8.2.4.1: Uso de 100 GbE para interconectar servidores de datacenters [1]

### Distribución de carriles múltiples

El estándar 802.3ba utiliza una técnica conocida como varios carriles de distribución para lograr las velocidades de datos requeridas. Hay dos conceptos separados que se deben abordar: distribución de carriles múltiples y carriles virtuales.

La idea general de la distribución de carriles múltiples es que, para acomodar las velocidades de datos muy altas de 40 y 100 Gbps, el enlace físico entre una estación extremo y un conmutador Ethernet o el enlace físico entre dos conmutadores puede implementarse como múltiples canales paralelos. Estos canales paralelos podrían ser cables físicos separados, como el uso de cuatro enlaces paralelos de par trenzado entre los nodos. Alternativamente, los canales paralelos pueden ser canales de frecuencia separados, tal como lo proporciona la multiplexación por división de longitud de onda sobre un único enlace de fibra óptica.

Por simplicidad y facilidad de fabricación, se va a especificar una estructura multilínea específica, en la subcapa física eléctrica del dispositivo, conocida como “*Physical Medium Attachment*” (PMA). Los carriles producidos son referidos como carriles virtuales. Si se usa un número diferente de carriles en el enlace eléctrico u óptico, entonces los carriles virtuales se distribuyen en el número apropiado de carriles físicos en la subcapa física dependiente del medio físico, “*Physical Medium Dependent*” (PMD). Esta es una forma de multiplexación inversa.

La figura 8.2.1.6 muestra el esquema de carril virtual en el transmisor. Los datos del usuario se codifican usando 64B / 66B, que también se usa en Ethernet de 10 Gbps. Los datos se distribuyen en los carriles virtuales dividiéndolos en palabras de 66 bits usando un esquema de Round Robin (primera palabra al primer carril, segunda palabra al segundo carril, etc.). Un único bloque alineado de 66 bits se agrega a cada carril

virtual periódicamente. El alineamiento de los bloques se utiliza para identificar y reordenar los carriles virtuales y así reconstruir el flujo de datos agregado.

Los carriles virtuales se transmiten a través de carriles físicos. Si el número de los carriles físicos es más pequeño que el número de carriles virtuales, luego la multiplexación a nivel de bits se usa para transmitir el tráfico de carril virtual. El número de carriles virtuales debe ser un entero múltiplo (1 o más) del número de carriles físicos.

La figura 8.2.4.2 muestra un ejemplo de transmisión sobre 20 carriles virtuales, los cuales colapsan internamente en 10 líneas eléctricas internas en el transceptor. Éste a su vez transmite sobre un enlace óptico que define 4 líneas ópticas.

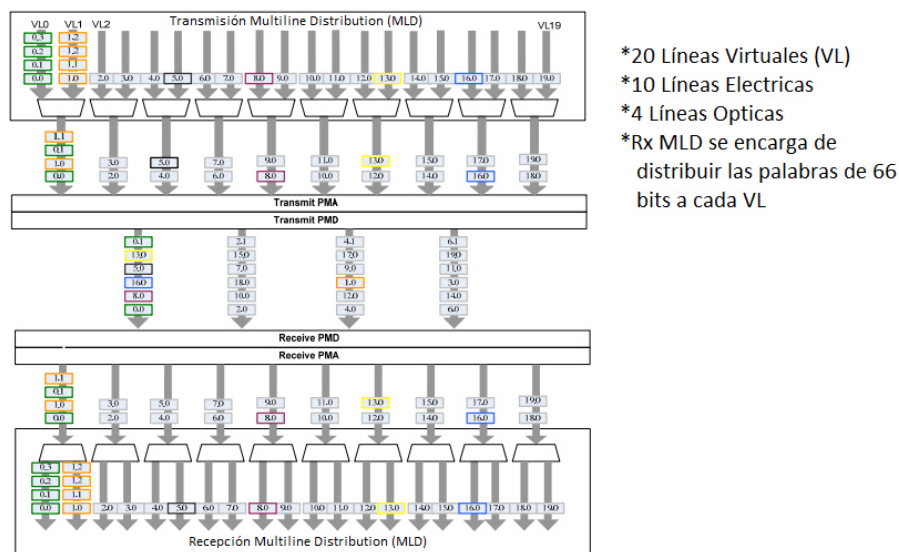


Figura 8.2.4.2: Transmisión multilinea en 100 GbE

## Capa Física

IEEE 802.3ba especifica tres tipos de medios de transmisión (Tabla 8.2.4.3): cobre sobre el backplane, twinaxial (un tipo de cable similar al cable coaxial), y fibra óptica. Para medios de cobre, se especifican cuatro carriles físicos separados. Por fibra óptica, se especifican 4 o 10 carriles de longitud de onda, dependiendo de la velocidad de datos y distancia.

Tabla 8.2.4.3 (a): Tipos de cables para 40 GbE

Nombre	Estándar	Descripción
40GBaseSR4	802.3ba	Operación de 100 m sobre una nueva fibra óptica multi-modo de 2000 MHz.km
40GBase-LR4	802.3ba	Operación de 10 km sobre fibra unimodal.
40GBase-CR4	802.3ba	Operación de 10 m en montaje de cable de cobre.
40GBase-KR4	802.3ba	Operación de 1 m sobre <a href="#">backplane</a> .

Tabla 8.2.4.3 (b): Tipos de cables para 100 GbE

Nombre	Estándar	Descripción
100GBase-SR10	802.3ba	Operación de 100 m sobre una nueva fibra multi-modo de 2000 MHz.km
100GBase-LR4	802.3ba	Operación de 10 km sobre fibra unimodal.
100GBase-ER4	802.3ba	Operación de 40 km sobre fibra unimodal.
100GBase-CR10	802.3ba	Operación de 10 m en montaje de cable de cobre.

Nomenclatura de nombres:

Cobre: K = cable sobre el backplane; C = cable de cobre de montaje

Óptico: S = corto alcance (100 m); L = largo alcance (10 km); E = extendido largo alcance (40 km)

Esquema de codificación: R = codificación de bloque 64B / 66B

Número final: número de carriles (cables de cobre o longitudes de onda de fibra)

### 8.3. LAN de muy alta velocidad (sólo por un tiempo)

El increíble ritmo de desarrollo de Ethernet ahora ha llegado a 400 Gbps. Desde los 10 Mbps en 1983, pasando por los 100 Mbps de Fast Ethernet, 1 Gbps Ethernet en 1997, a 10 Gbps en 2004, 100 Gbps en 2010, y luego 4 carriles ( $4 \times 25$  Gbps) 100 Gbps en 2014, ha tomado un tiempo para el siguiente paso hasta 400 Gbps. El IEEE ratificó oficialmente su estándar 802.3bs para 200 Gbps y 400 Gbps el 6 de diciembre de 2017. Debido a las demandas del tráfico de Internet cada vez mayor a través de los centros de datos en la nube, siempre habrá una necesidad de más ancho de banda, por lo que se puede esperar que 800 Gbps o 1600 Gbps Ethernet no estarán muy lejos.

#### 802.3bs 400 Gbps y 200 Gbps (TbE, Terabit Ethernet)

Los estándares 400 Gigabit Ethernet (400G, 400GbE) y 200 Gigabit Ethernet (200G, 200GbE) desarrollados por el grupo de trabajo IEEE P802.3bs, utilizan una tecnología muy similar a 100 Gigabit Ethernet. Fueron aprobados el 6 de diciembre.

2017. En 2016, varios proveedores de equipos de red ya ofrecían soluciones patentadas para 200G y 400G. [5]

La hoja de ruta tecnológica de Ethernet Alliance para 2020 espera que velocidades de 800 Gbit / s y 1,6 Tbit / s se conviertan en estándar IEEE después de 2020, posiblemente entre 2023 y 2025. Se espera que se duplique a 800 GbE después de que esté disponible los 112 Gbit / s. El Optical Internetworking Forum (OIF) ya ha anunciado cinco nuevos proyectos a 112 Gbit / s que también harían posibles enlaces de cuarta generación (de un solo carril) de 100 GbE.

Una clave en la limitación de las velocidades de datos actuales ha sido la velocidad en serie de un solo carril que se puede lograr con la tecnología eléctrica actual. La implementación del último estándar Ethernet de 100 Gbps basado en la distribución multilínea, donde se definen cuatro carriles paralelos de 25 Gbps, resultó ser un punto de partida natural para el desarrollo de 400 Gbps. Sin embargo, era muy complejo desarrollar un método para aumentar las velocidades de datos de cada carril a 50 Gbps, y de esta forma llegar a los 400 Gbps.

Hubo varias formas de cumplir los objetivos de 400 Gbps sin dejar de considerar las diversas compensaciones y requisitos de la industria de las redes. Con el estándar de 400 Gbps que limita los medios físicos a solo fibra óptica multimodo y monomodo, es evidente que el número de fibras en un enlace es un tema clave. Se sabe que las fibras paralelas múltiples son una solución aceptable para enlaces de corto alcance de hasta 500 m, pero no para longitudes de cable más largas (2 a 10 km) donde los costos se vuelven excesivos. Sin embargo, una velocidad de datos de 400 Gbps con carriles paralelos de 16 x 25 Gbps requeriría 32 fibras por enlace para transmitir y recibir. Al desarrollar un conjunto de especificaciones para 400 Gbps, el grupo de trabajo IEEE ha empleado una serie de tecnologías y métodos para definir soluciones rentables aceptables tanto para fibra multimodo de corto alcance como para fibra monomodo de largo alcance utilizando una variedad de fibras diferentes. y tarifas de línea. Además, también se especificó un conjunto de estándares de 200 Gbps basados en los estándares de 400 Gbps como una ruta de migración práctica a 400 Gbps.

Con una velocidad de carril de 50 Gbps como base fundamental para alcanzar los 400 Gbps, la primera decisión importante fue cambiar el esquema de codificación de la señal. Hasta ahora, todos los estándares de Ethernet han utilizado un método simple de 2 niveles de no retorno a cero (NRZ) para codificar un flujo de datos binarios en una señal eléctrica transmisible. Para lograr una velocidad de datos de carril más alta, era necesario utilizar un esquema de codificación conocido como modulación de amplitud de pulso de 4 niveles (PAM4), que efectivamente duplica la cantidad de datos transmitidos en la misma cantidad de tiempo.

Si se piensa en datos binarios representados por una señal con dos voltajes, un voltaje para un "0" y el otro voltaje para un "1", esto describe el método de codificación NRZ. Para la codificación PAM4, la señal tiene cuatro niveles de voltaje, que codifica dos bits binarios por nivel de voltaje. Un método conocido como "codificación gris" (Figura 8.3.1) combina los pares de bits más significativos (MSB) y de bits menos significativos (LSB) en un flujo de datos en uno de los cuatro niveles de voltaje. La codificación gris ayuda a reducir los errores de bits en la señal causados por el ruido de

amplitud de voltaje. Es fácil ver cómo con dos bits de datos asignados a un nivel de voltaje, se puede transmitir el doble de información en la misma cantidad de tiempo.

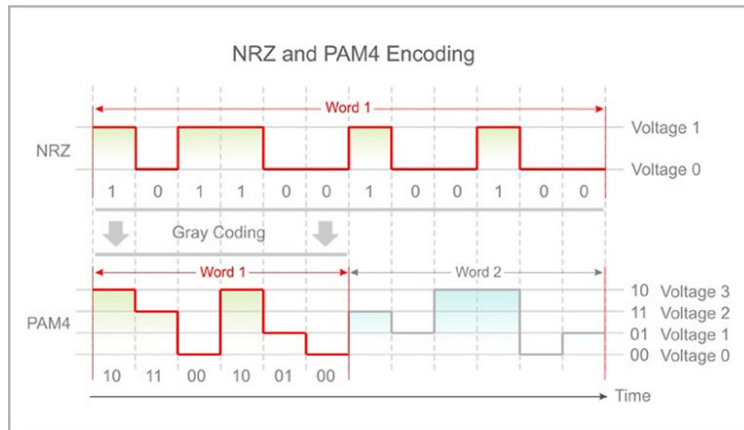


Figura 8.3.1: Codificación PAM4 en 802.3bs

## Capa Física

El IEEE completó su estándar 802.3bs (2017) para 200 Gbps y 400 Gbps Ethernet mediante la implementación de una combinación de codificación PAM4 y múltiples carriles paralelos. Las especificaciones cubren opciones de fibra óptica multimodo y monomodo que van desde 70 m hasta 10 km. La siguiente tabla 8.3.2 resume las variantes de Ethernet PHY para 400 Gbps y 200 Gbps.

Tabla 8.3.2: Estándar 802.3bs

Nombre	Tipo Fibra	Fibras Tx	Carriles	Alcance	Codificación
400GBASE-SR16	MMF	16	16 x 25 Gbps	70 m (OM3) 100 m (OM4)	NRZ
400GBASE-DR4	SMF	4	4 x 100 Gbps	500 m	PAM4
400GBASE-FR8	SMF	1	8 x 50 Gbps (WDM)	2 km	PAM4
400GBASE-LR8	SMF	1	8 x 50 Gbps (WDM)	10 km	PAM4
200GBASE-DR4	SMF	4	4 x 50 Gbps	500 m	PAM4
200GBASE-FR4	SMF	1	4 x 50 Gbps (WDM)	2 km	PAM4
200GBASE-LR4	SMF	1	4 x 50 Gbps (WDM)	10 km	PAM4

## Módulos y Cables

Para implementar equipos que admitan el nuevo estándar Ethernet de 400 Gbps, se requieren nuevos módulos, conectores y cables a conectar. Un puerto 400GBASE-SR16 requiere conectores y cables de 32 fibras, y la variante 400GBASE-DR4 utiliza una velocidad de señalización eléctrica más alta de 56 Gbps.

El conector común QSFP28 de 100 Gbps admite cuatro carriles de 25 Gbps con una velocidad de señalización eléctrica de 28 Gbps. Son ocho fibras para transmitir y recibir, que es compatible con conectores y cables MPO (multi-fibra push-on) de 12 fibras que se utilizan actualmente para 100 Gbps. Así las cosas, los conectores y cables MPO de 12 fibras admitirían las variantes 400GBASE-DR4 y 200GBASE-DR4 en el estándar 802.3bs. Las otras variantes que solo usan dos fibras en un enlace pueden utilizar los conectores y cables dúplex-LC comunes. Eso deja al MPO de 32 fibras como un nuevo desarrollo específicamente para el estándar Ethernet de 400 Gbps.

El conector MPO de 12 fibras organiza las fibras en una sola fila entre dos pines de alineación. Para el MPO de 32 fibras hay dos filas de 16 fibras, lo que hace que el nuevo conector sea incompatible con el MPO de 12 fibras. Por lo tanto, el conector MPO de 32 fibras tiene una clave diferente del MPO de 12 fibras para evitar que los transceptores y los cables se conecten incorrectamente. La Figura 8.3.3 muestra los dos tipos de conectores.

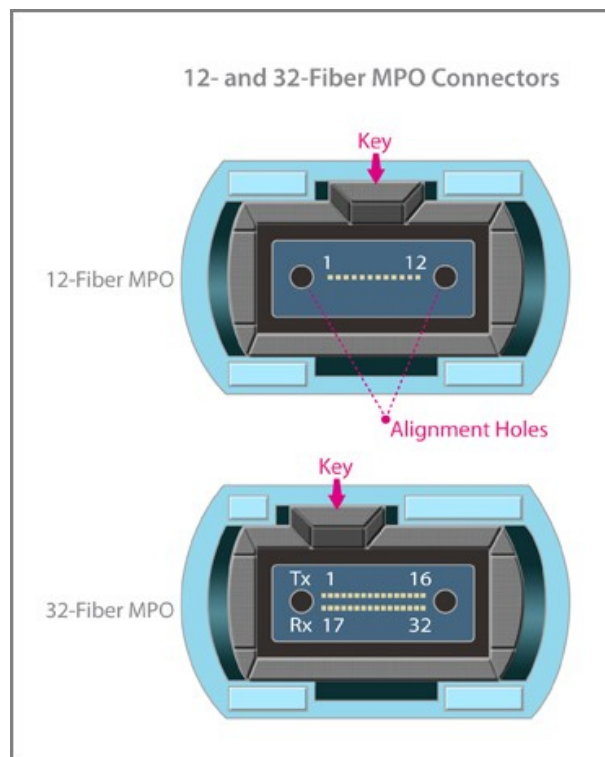


Figura 8.3.3: Conectores MPO de 16 y 32 líneas



Al igual que con los estándares de Ethernet anteriores, han surgido varios factores de forma de transceptor óptico para Ethernet de 400 Gbps (módulos SFP):

- CFP8: factor de forma grande. Baja densidad de puertos. Buen manejo térmico.
- OSFP: diseñado para una señal óptica y un rendimiento térmico. Factor de forma no compatible.
- QSFP-DD - El QSFP de "doble densidad". Compatible con versiones anteriores de 100 Gbps y Ethernet de 40 Gbps. Alta densidad de puertos.
- COBO: módulo óptico incorporado, que no es un transceptor conectable. Mayor densidad de puertos.

## 8.4. LAN Virtuales (VLAN, Virtual LAN)

La figura 8.4.1 muestra un tipo relativamente común de configuración LAN jerárquica. En este ejemplo, los dispositivos en la LAN están organizados en cuatro grupos, cada uno conectado a un switch LAN. Los tres grupos inferiores podrían corresponder a diferentes departamentos, que están físicamente separados, y el grupo superior podría corresponder a una granja de servidores centralizada que utilizan todos los departamentos.

Se considera la transmisión de una única trama MAC desde la estación de trabajo X. Supongamos que la dirección MAC de destino en la trama (ver Figura 8.1.2.1) es la estación de trabajo Y. Esta trama se transmite desde X al conmutador local, que luego dirige la trama a lo largo del enlace a Y. Si X transmite una trama dirigida a Z o W, entonces su switch local enruta la trama MAC a través de los switches apropiados a la estación destino. Todos estos son ejemplos de direccionamiento “unicast” (único), en el que la dirección destino en la trama MAC designa un destino único. Una trama MAC también puede contener una dirección de “broadcast” (difusión), en cuyo caso la dirección MAC de destino indica que todos los dispositivos en la LAN deben recibir una copia del marco. Por lo tanto, si X transmite una trama con una dirección de destino de este tipo, todos los dispositivos en todos los conmutadores en la figura 8.4.1 recibe una copia de la trama. El conjunto de dispositivos que reciben las tramas de difusión se denomina dominio de broadcast. En muchos casos, una trama de difusión se utiliza para propósitos de gestión de la red o la transmisión de algún tipo de alerta, que tiene un nivel relativamente local. Por lo tanto, en la Figura 8.4.1, si una trama de difusión tiene información que solo es útil para un departamento en particular, entonces se desperdicia capacidad de transmisión en las otras porciones de la LAN y en los switches.

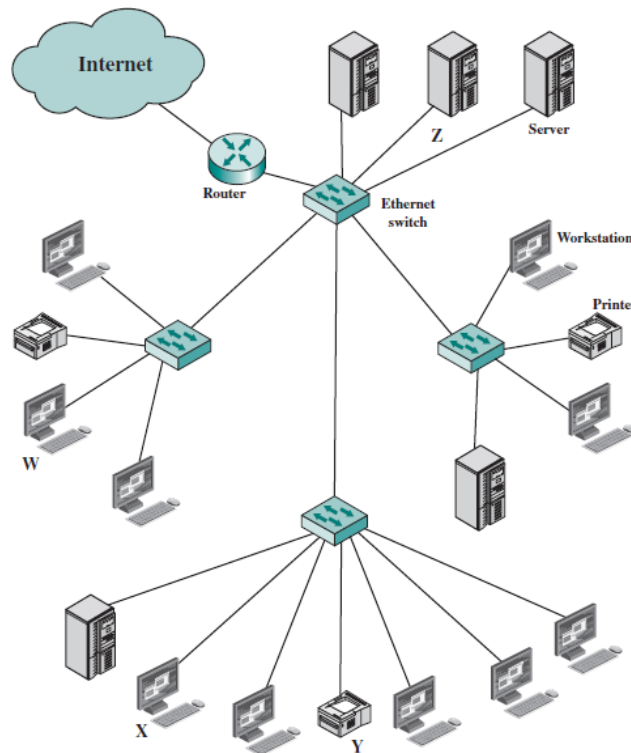


Figura 8.4.1: Configuración LAN típica

Un enfoque simple para mejorar la eficiencia es dividir físicamente la LAN en dominios de broadcast separados, como lo muestra la Figura 8.4.2. Ahora se tiene cuatro LAN separadas conectadas por un enrutador. En este caso, un paquete IP de X destinado para Z se maneja de la siguiente manera. La capa IP en X determina que el próximo salto al destino es a través del enrutador V. Esta información se transmite a la capa MAC de X, que prepara una trama MAC con una dirección MAC de destino del enrutador V. Cuando V recibe la trama, elimina el encabezado MAC, determina el destino y encapsula el paquete IP en una trama MAC con una dirección MAC de destino de Z. Esta trama se envía al conmutador Ethernet apropiado para su entrega. El inconveniente de este enfoque es que el patrón de tráfico puede no corresponder a la distribución física de los dispositivos. Por ejemplo, algunas estaciones de trabajo departamentales pueden generar mucho tráfico con uno de los servidores centrales. Además, en la medida que las redes se expanden, se necesitan más enrutadores para separar a los usuarios en dominios de broadcast y proporcionar conectividad entre ellos. Los enrutadores introducen más latencia que los switches porque el enrutador debe procesar más paquetes para determinar destinos y luego enrutarlos.

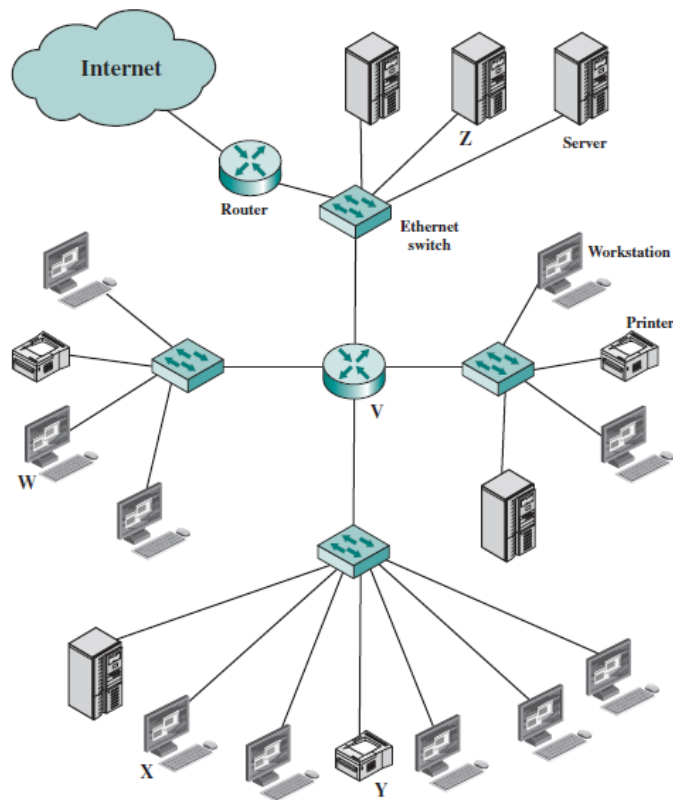


Figura 8.4.2: Red LAN particionada con enrutadores

### El uso de LAN virtuales

Una alternativa más efectiva es la creación de LAN virtuales (VLAN). En esencia, una VLAN es un subgrupo lógico dentro de una LAN que es creado por software en lugar de mover y separar físicamente los dispositivos. De esta forma se pueden combinar estaciones de usuario y dispositivos de red en un solo dominio de difusión, independientemente del segmento físico de LAN al cual estén unidos. Esto permite que el tráfico fluya de forma eficiente entre las porciones de red que se necesitan.

La lógica VLAN se implementa en switches LAN a nivel de capa MAC. Dado que el objetivo fundamental es aislar el tráfico de cada VLAN, si el administrador de red desea comunicar a dispositivos que están en VLAN separadas, va a necesitar un enrutador. Se pueden implementar enrutadores como dispositivos separados para que el tráfico entre una VLAN y la otra se dirija a través del enrutador o se puede implementar como parte de la lógica de un switch LAN de capa 3, como se muestra en la Figura 8.4.3.

Las VLAN proporcionan la capacidad a cualquier organización para dispersarse físicamente en toda la empresa manteniendo su identidad grupal. Por ejemplo, el personal de contabilidad ubicarse en el taller, en el centro de investigación y desarrollo, en la oficina de desembolso de efectivo o en las oficinas corporativas mientras todos los miembros residen en la misma red virtual, compartiendo el tráfico solo entre sí.

En la figura 8.4.3, se definen cinco VLAN. Una transmisión desde la estación de trabajo X al servidor Z está dentro de la misma VLAN, por lo que se conmuta

de manera eficiente en el nivel MAC. Una trama MAC de transmisión desde X se transmite a todos los dispositivos en todas las partes de la misma VLAN. Pero una transmisión de X a la impresora Y va de una VLAN a otra. En consecuencia, la lógica del enrutador a nivel IP es necesaria para mover el paquete IP de X a Y. En la figura 8.4.3, esa lógica está integrada en el switch de capa 3, de modo que este determina si la trama MAC entrante está destinada o no a otro dispositivo en la misma VLAN. De lo contrario, el switch de capa 3 enruta el paquete IP incluido en el nivel IP.

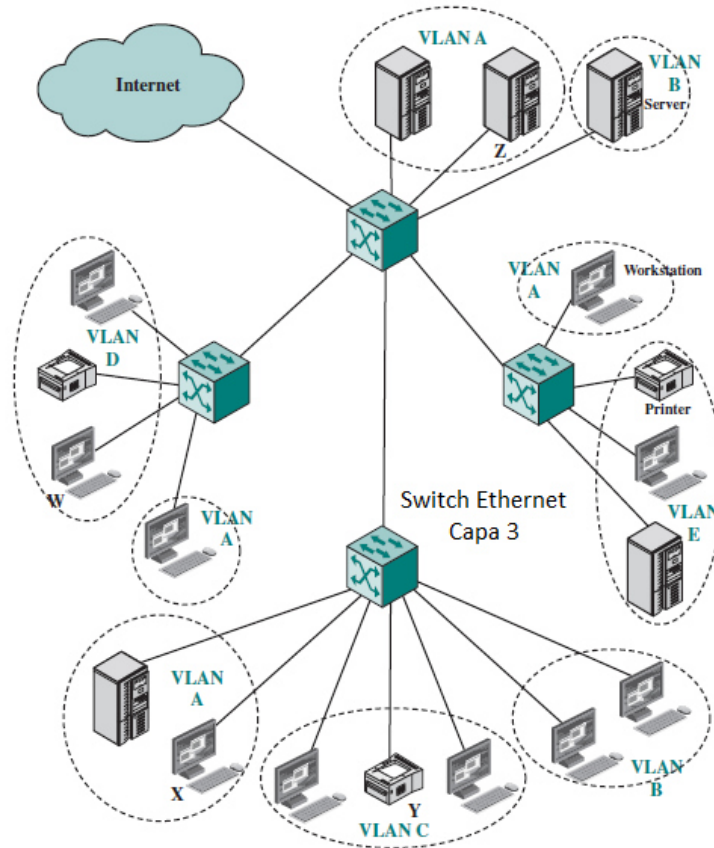


Figura 8.4.3: Red LAN dividida en 5 dominios de broadcast

El uso de VLAN permite obtener las siguientes ventajas a la hora de configurar una gran red LAN:

- **Performance:** Cuando existe gran tráfico de broadcast y multicast. Además, la performance en los switches es mejor que en los routers.
- **Seguridad:** Permite el aislamiento entre grupos de trabajos no-afines. Favorece a la formación de grupos de trabajo virtuales
- **Favorece a la movilidad:** Agrupación de miembros afines (marketing, ventas, desarrollo, etc.) ubicados en diferentes posiciones físicas. Facilita la administración de adición, movimiento y cambio de ubicación de los miembros del grupo.

- Menor costo: los switches son más económicos que los routers

### **Definiendo VLAN's**

Una VLAN es un dominio de difusión que consta de un grupo de estaciones finales, quizás en múltiples segmentos de LAN física, que no están restringidos por su ubicación física y puede comunicarse como si estuvieran en una LAN común. Por lo tanto, algunos medios son necesarios para definir la membresía de VLAN. Una serie de enfoques diferentes se han utilizado para definir las metodologías que se usan para lograr que una estación pertenezca a una determinada VLAN:

- Membresía por grupo de puertos: cada switch en la configuración LAN contiene dos tipos de puertos: un puerto troncal, que conecta dos switches, y un puerto final, que conecta el switch a un sistema final. Una VLAN se puede definir asignando cada puerto final a una VLAN específica. Este enfoque tiene la ventaja que es relativamente fácil de configurar. La desventaja principal es que el administrador de red debe reconfigurar la membresía de VLAN cuando un sistema final se mueve de un puerto a otro.
- Membresía por dirección MAC: dado que las direcciones de capa MAC están “grabadas” en la tarjeta de interfaz de red (NIC) de la estación de trabajo, las VLAN's basadas en las direcciones MAC de los dispositivos, permiten a los administradores de red mover los mismos a diferentes ubicaciones en la red mientras retienen automáticamente su membresía a la VLAN. El principal problema con este método es que la membresía de VLAN debe ser asignado inicialmente. En redes con miles de usuarios, esto no es tarea fácil.
- Membresía basada en información de protocolo: la membresía de VLAN puede ser asignado según la dirección IP, la información del protocolo de transporte o incluso una capa superior. Este es un enfoque bastante flexible, pero requiere que el switch examine partes de la trama MAC, que están por encima de la misma, lo cual puede tener un impacto en el rendimiento.

### **Comunicación entre miembros de una VLAN**

Los switches deben tener una forma de comprender la pertenencia a la VLAN (es decir, qué estaciones pertenecer a qué VLAN) cuando el tráfico de red llega desde otro switches; de lo contrario, las VLAN se limitarían a un solo switch. Una posibilidad es configurar la información manualmente o con algún tipo de protocolo de gestión de red, de forma tal que los switches puedan asociar tramas entrantes con la VLAN apropiada.

Un enfoque más común es el etiquetado de tramas, en el que un encabezado es típicamente insertado en cada trama que viaja en los enlaces troncales entre switches para identificar de forma exclusiva a qué VLAN a la que pertenece un marco de capa MAC particular. El comité IEEE 802 desarrolló un estándar para el etiquetado de cuadros, IEEE 802.1Q, el cual se describe a continuación.

## Estándar IEEE 802.1Q

El estándar IEEE 802.1Q, actualizado por última vez en 2005, define el funcionamiento de la VLAN en puentes switches que permiten la definición, operación y administración de topologías de VLAN dentro de una infraestructura LAN.

Como se mencionó, una VLAN no está limitada a un conmutador, sino que puede abarcar múltiples conmutadores interconectados. En ese caso, el tráfico entre los conmutadores debe indicar la pertenencia a la VLAN. Esto es logrado en 802.1Q insertando una etiqueta con un identificador de VLAN (VID) con un valor en el rango de 1 a 4094. A cada VLAN en una configuración LAN se le asigna un VID (VLAN Id) único a nivel de toda la LAN. Al asignar el mismo VID a los sistemas finales en muchos switches, uno o más dominios de transmisión VLAN pueden extenderse a través de una red grande.

La Figura 8.4.4 muestra la posición y el contenido de la “etiqueta 802.1Q” que tiene una longitud total de 4 bytes u octetos. El denominado TPID (Tag Protocol ID) está compuesto por dos octetos que tienen un valor 8100 hexadecimal, lo que indica que es una trama tipo 802.1Q. Los restantes dos octetos de la “etiqueta 801.Q” se llama TCI (Tag Control ID) y éste está formado por tres campos:

- Prioridad de usuario (3 bits): el nivel de prioridad para esta trama.
- CFI, Indicador de formato canónico (1 bit): siempre se establece en cero para los conmutadores Ethernet. CFI (Canonical Format Indicator) se utiliza para la compatibilidad entre redes de tipo Ethernet y tipo de token ring. Para un switch Ethernet este campo siempre está en cero
- Identificador de VLAN (12 bits): la identificación de la VLAN. De los 4096 posibles VID (VLAN ID), se usa un VID de 0 para identificar que el TCI contiene solo una prioridad valor, y 4095 (FFF) está reservado, por lo que el número máximo posible de VLAN configuraciones es 4094.

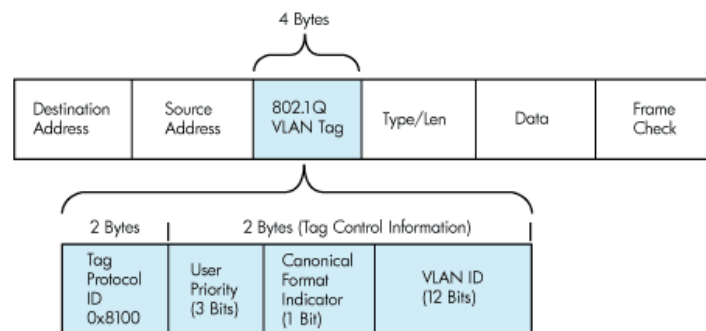


Figura 8.4.4: Formato de la trama 802.1Q

## 8.5. Apéndice A – Codificación en Ethernet de alta velocidad

En el capítulo 6, vimos algunas de las técnicas comunes para codificar datos digitales para transmisión, incluyendo Manchester y Manchester diferencial, que se utilizan en algunos de los estándares LAN. En este apéndice, examinamos algunos esquemas de codificación adicionales a los que se hace referencia en este capítulo.

### 4B/5B-NRZI

Este esquema, que es realmente una combinación de dos algoritmos de codificación, se usa tanto en 100BASE-X como en FDDI. Para comprender el significado de esta elección consideremos primero el sencillo esquema de codificación NRZ (no retorno a cero). Con NRZ, un estado de señal representa un “1” binario y otro estado de señal un “0” binario. El inconveniente de esta aproximación es la ausencia de sincronismo. Dado que las transiciones en el medio resultan impredecibles, no hay forma de que el receptor sincronice su reloj con el del emisor. Una solución a este problema es codificar los datos binarios de forma que se garantice la presencia de transiciones. Por ejemplo, los datos se podrían codificar primero empleando la codificación Manchester. La desventaja de esta aproximación es que la eficiencia es sólo del 50 por ciento. Es decir, debido a que pueden existir nada menos que dos transiciones por intervalo de bit, se necesita una velocidad de señalización de 200 millones de elementos de señal por segundo (200 Mbaudios) para conseguir una velocidad de transmisión de 100 Mbps. Esto representa un coste y una carga técnica innecesarios.

Se puede conseguir una eficiencia superior haciendo uso del código 4B/5B, en el cual la codificación se realiza en cada momento sobre 4 bits. Cada 4 bits de datos se codifican en un símbolo con cinco bits de código, de modo que cada bit de código contiene un único elemento de señal. El bloque de cinco bits de código se llama grupo de código. En efecto, cada grupo de 4 bits se codifica como 5 bits. La eficiencia se incrementa así hasta el 80 por ciento: se consiguen 100 Mbps con 125 Mbaudios.

Para asegurar la sincronización se lleva a cabo un segundo paso de codificación: cada bit de código de la secuencia 4B/5B se trata como un valor binario y se codifica usando la técnica de no retorno a cero invertido (NRZI). En este código, un 1 binario se representa como una transición al principio del intervalo de bit y un 0 binario sin transición al comienzo del intervalo de bit; es decir, no hay transiciones. La ventaja de NRZI es que emplea codificación diferencial.

Recordemos que en codificación diferencial la señal se decodifica comparando la polaridad de elementos de señal adyacentes, en lugar del valor absoluto de un elemento de señal. Una ventaja de este esquema es que, en presencia de ruido y distorsión, resulta generalmente más fácil detectar una transición que comparar un valor con un umbral.

Ahora estamos en condiciones de describir el código 4B/5B y de comprender las decisiones tomadas. En la Tabla 8.5.1 se muestra la codificación de

símbolos. Se muestra cada patrón de grupo de código de 5 bits junto con la realización NRZI. Dado que se codifican cuatro bits con un patrón de 5 bits, sólo se necesitan 16 de los 32 patrones posibles para la codificación de los datos. Los códigos seleccionados para representar los 16 bloques de datos de 4 bits son tales que existen al menos dos transiciones para cada código de grupo de 5 bits. No se permiten más de tres ceros en una fila a lo largo de uno o más grupos de código:

El esquema de codificación se puede resumir como sigue:

1. Se rechaza la realización de una simple codificación NRZ dado que no proporciona sincronismo; no aparecen transiciones en una secuencia de unos y ceros.
2. Los datos a transmitir deben ser primero codificados para asegurar la existencia de transiciones. Se elige el código 4B/5B frente a Manchester porque es más eficiente.
3. El código 4B/5B se codifica posteriormente usando NRZI, de modo que la señal diferencial resultante mejorará la fiabilidad en la recepción.
4. Los patrones de 5 bits específicamente elegidos para la codificación de los 16 patrones de datos de 4 bits se seleccionan con el fin de garantizar la existencia de no más de tres ceros en una fila con objeto de conseguir una sincronización adecuada.



Tabla 8.5.1: Grupos de bit 4B/5B

Datos de entrada (4 bits)	Grupo de código (5 bits)	Patrón NRZI	Interpretación
0000	11110		Dato 0
0001	01001		Dato 1
0010	10100		Dato 2
0011	10101		Dato 3
0100	01010		Dato 4
0101	01011		Dato 5
0110	01110		Dato 6
0111	01111		Dato 7
1000	10010		Dato 8
1001	10011		Dato 9
1010	10110		Dato A
1011	10111		Dato B
1100	11010		Dato C
1101	11011		Dato D
1110	11100		Dato E
1111	11101		Dato F
	11111		Libre
	11000		Comienzo de delimitador de secuencia, parte 1
	10001		Comienzo de delimitador de secuencia, parte 2
	01101		Fin de delimitador de secuencia, parte 1
	00111		Fin de delimitador de secuencia, parte 2
	00100		Error de transmisión
	Otro		Códigos no válidos

Los grupos de código no empleados para representar datos se declaran como no válidos o se les asigna un significado especial como símbolos de control. Estas asignaciones se enumeran en la Tabla 8.5.1. Los símbolos de no datos se encuadran en las siguientes categorías:

- Libre: el grupo de código libre se transmite entre secuencias de transmisión de datos. Consiste en un flujo constante de unos binarios, lo que se traduce con NRZI en un cambio continuo entre dos niveles de señal. Este patrón de relleno continuo establece y mantiene la sincronización y se usa en el protocolo CSMA/CD para indicar que el medio compartido se encuentra libre.
- Comienzo de delimitador de secuencia: se utiliza para delimitar el comienzo de una secuencia de transmisión de datos; consta de dos grupos de código diferentes.

- Final de delimitador de secuencia: empleado como fin de las secuencias de transmisión de datos normales; consta de dos grupos de código diferentes.
- Error de transmisión: este grupo de código se interpreta como un error de señalización. El uso normal de este indicador se establece en repetidores con el fin de propagar errores recibidos.

### MLT-3

Aunque 4B/5B es efectivo para fibra óptica, no resulta tan apropiado para par trenzado. El motivo de este hecho es que la energía de la señal se concentra de manera que se producen emisiones de radiación no deseadas desde el cable. MLT-3, que se usa tanto en 100BASE-TX como en la versión de par trenzado de FDDI, está diseñado para solucionar este problema. Se siguen los siguientes pasos:

1. **Conversión NRZI a NRZ.** La señal 4B/5B-NRZI de la 100BASE-X básica se convierte de nuevo a NRZ.
2. **Aleatorización.** Se entremezcla la secuencia de bits para producir una distribución de espectro más uniforme para el siguiente paso.
3. **Codificación.** La secuencia de bits mezclados se codifica usando el esquema conocido como MLT-3.
4. **Controlador.** Se transmite la codificación resultante.

El efecto del esquema MLT-3 es concentrar la mayor parte de la energía en la señal transmitida por debajo de los 30 MHz, lo que reduce las emisiones. Esto disminuye los problemas debidos a interferencias.

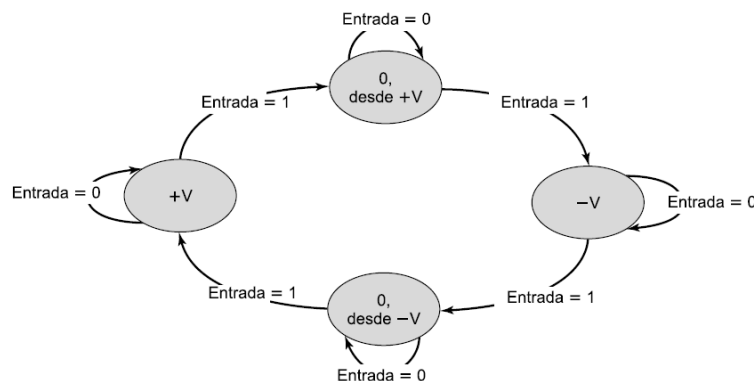


Figura 8.5.2: Diagrama de estados MLT-3

La codificación MLT-3 produce una salida que tiene una transición para cada uno binario y que usa tres niveles: una tensión positiva ( $+V$ ), una negativa ( $-V$ ) y ausencia de ésta ( $0$ ). Las reglas de codificación se explican mejor con ayuda del diagrama de estados del codificador mostrado en la Figura 8.5.2:

1. Si el siguiente bit de entrada es cero, el siguiente valor de salida es el mismo que el valor precedente.

2. Si el siguiente bit de entrada es un uno, el siguiente valor de salida implica una transición:

- Si el valor de salida anterior fue  $+V$  o  $-V$ , el siguiente valor de salida es 0.
- Si el valor de salida precedente fue 0, el siguiente valor de salida es distinto de cero, y de signo opuesto al de la última salida distinta de cero.

En la Figura 8.5.3 se muestra un ejemplo. Cada vez que haya un 1 de entrada, existe una transición. Se alterna la aparición de  $+V$  y  $-V$ .

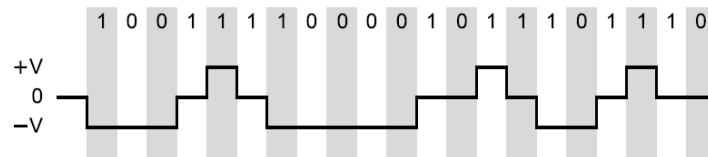


Figura 8.5.3: Ejemplo de codificación MLT-3

## 8B/10B

El esquema de codificación usado en canal de fibra y en Gigabit Ethernet es 8B/10, en el que cada 8 bits de datos se transforman en 10 bits para su transmisión. Este esquema sigue una filosofía similar al esquema 4B/5B empleado en FDDI discutido anteriormente. El esquema 8B/10B se desarrolló y patentó por IBM para su uso en su sistema interconectado ESCON a 200 Mbaudios. Este esquema es más potente que el 4B/5B en términos de características de transmisión y capacidad de detección de errores.

Los diseñadores de este código enumeran las siguientes ventajas:

- Se puede implementar utilizando transceptores relativamente sencillos y fiables de bajo coste.
- Presenta una buena compensación, con mínimas desviaciones en la ocurrencia de un número igual de bits 0 y 1 a lo largo de una secuencia.
- Proporciona una buena densidad de transiciones para una fácil recuperación del sincronismo.
- Proporciona una capacidad útil de detección de errores.

El código 8B/10B es un ejemplo del código más general mBnB, en el que m bits originales se transforman en n bits binarios para la transmisión. Haciendo  $n > m$  se introduce redundancia en el código para proporcionar las características de transmisión deseadas.

El código 8B/10B realmente combina otros dos códigos, un código 5B/6B y otro 3B/4B. El uso de estos dos códigos es simplemente un artificio para simplificar la definición de la transformación y de la implementación: la transformación podía haberse definido directamente como un código 8B/10B. En cualquier caso, se define una transformación que traduce cada uno de los posibles bloques originales de 8 bits en un

bloque de código de 10 bits. También existe una función llamada control de disparidad. Esencialmente, esta función hace un seguimiento del exceso de ceros frente a unos o de unos frente a ceros. La existencia de exceso en un sentido se conoce como disparidad. Si existe disparidad, y si el bloque de código actual aumenta ésta, el bloque de control de disparidad complementa el bloque de código de 10 bits. Esto tiene el efecto de eliminar la disparidad o, al menos, cambiarla de sentido con respecto a la actual.

## **64B / 66B**

El código 8B / 10B da como resultado una sobrecarga del 25%. Para lograr una mayor eficiencia con datos más altos velocidad, el código 64B / 66B mapea un bloque de 64 bits en un bloque de salida de 66 bits, para una sobrecarga de solo el 3%. Este código se usa en Ethernet de 10 Gbps y 100 Gbps. Toda la trama de Ethernet, incluidos los campos de control, se consideran "datos" para este proceso. Además, hay datos llamados "control", y que incluyen los definidos para el código 4B / 5B discutido previamente, además de algunos otros símbolos.

El primer paso en el proceso es codificar un bloque de entrada en un bloque de 64 bits, al cual se le agrega al comienzo un campo de sincronización de 2 bits, como se muestra en la Figura 8.5.4. Si el bloque de entrada consiste enteramente de octetos de datos, entonces el bloque codificado consiste en el valor de campo de sincronización 10 seguido por los 8 octetos de datos sin cambios. De lo contrario, el bloque de entrada consta de 8 octetos de control o una mezcla de octetos de control y octetos de datos. En este caso, el valor de sincronización es 01. Esto se sigue mediante un campo de tipo de control de 8 bits, que define el formato de los 56 bits restantes del bloque.

Input data	s y n c	Data-only field bits								
DDDD DDDD	01	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	

Input data		Type	Data/control field bits								
CCCC CCCC	10	0x1E	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
CCCC ODDD	10	0x2D	C0	C1	C2	C3	O	D5	D6	D7	
CCCC SDDD	10	0x33	C0	C1	C2	C3		D5	D6	D7	
ODDD SDDD	10	0x66	D1	D2	D3	O		D5	D6	D7	
ODDD ODDD	10	0x55	D1	D2	D3	O	O	D5	D6	D7	
SDDD DDDD	10	0x78	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7		
ODDD CCCC	10	0x4B	D1	D2	D3	O	C4	C5	C6	C7	
TCCC CCCC	10	0x87		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
DTCC CCCC	10	0x99	D0		C2	C3	C4	C5	C6	C7	
DDTC CCCC	10	0xAA	D0	D1		C3	C4	C5	C6	C7	
DDDT DDDT	10	0xB4	D0	D1	D2		C4	C5	C6	C7	
DDDD TCCC	10	0xCC	D0	D1	D2	D3		C5	C6	C7	
DDDD DTCC	10	0xD2	D0	D1	D2	D3	D4		C6	C7	
DDDD DDTC	10	0xE1	D0	D1	D2	D3	D4	D5		C7	
DDDD DDDT	10	0xFF	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6		

D = Octeto de datos, C = Octeto de control de entrada

Ci = Campo control de salida de 7 bits

S = Campo de Inicio de trama, T = Campo de final de trama

O = Carácter de control de Orden

Figura 8.5.4: Formato de bloques 64B/66B

Para comprender cómo se forma el bloque de 56 bits, debemos indicar los tipos de octetos de control eso podría incluirse en el bloque de entrada, que incluye lo siguiente:

- Inicio del paquete (S): indica el inicio de una secuencia que incluye una trama MAC 802.3 completa más algunos caracteres de control 64B / 66B. Este octeto está codificado ya sea con 4 bits o 0 bits
- Fin del paquete (T): marca la terminación del paquete. Se codifica usando desde 0 a 7 bits.

Es necesario reducir el número de bits en los caracteres de control de entrada para que el bloque de entrada de 64 bits puede acomodarse en 56 bits. La figura 8.5.4 indica cómo se hace esto. En el bloque de entrada, el carácter de inicio de la trama, siempre está alineado para ser el primer o quinto octeto. Si ocurre en el primer octeto en el bloque de entrada, luego los siete octetos restantes son siempre datos octetos de datos. Para acomodar los siete octetos de datos, el campo S está implícito en el campo de tipo de bloque, pero no ocupa bits en el bloque codificado. Si el carácter S es el quinto octeto de entrada, entonces ocupa 4 bits del bloque codificado. Del mismo modo, se especifica la posición y el tamaño del campo T por el campo de tipo de bloque y varía de 0 bits a 7 bits dependiendo de la mezcla de octetos de control y octetos de datos en el bloque de entrada.

La figura 8.5.5 muestra el esquema general para la transmisión 64B / 66B. Primero, el bloque de entrada está codificado y se agrega el campo de sincronización de 2 bits (total 66 bits). Luego, sobre el bloque de 64 bits se aplica un scrambling (proceso de codificación para el cual se utiliza un registro de desplazamiento) utilizando el polinomio  $1 + X^{39} + X^{58}$ . El campo de sincronización de 2 bits no codificado se antepone al bloque “codificado” de 64 bit, para formar el nuevo bloque de 66 bits. El campo de sincronización proporciona alineación de bloque y un medio de sincronización cuando se envían grandes flujos de bits de bits.

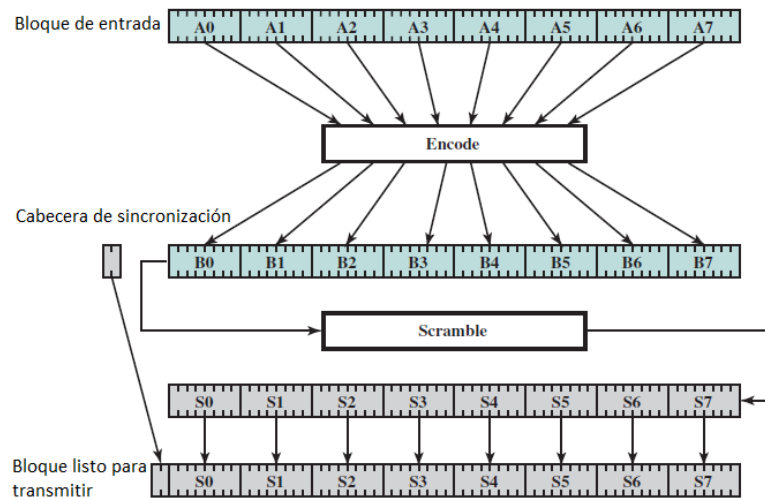


Figura 8.5.5: Proceso de scrambling en 64B/66B