

B. JERARQUIA DIGITAL ETHERNET

En el momento que apareció por primera vez el estándar Ethernet (802.3), los 10 Mbps de tasa de transferencia que ofrecía eran más que suficientes para poder satisfacer las necesidades de los clientes de esa época. A medida que fue transcurriendo el tiempo, se fueron haciendo computadores más poderosos, y las necesidades de tasa de transferencia fueron aumentando para poder transferir imágenes, videos y sonido.

Llegó un momento en el que ya 10 Mbps no lograba satisfacer la necesidad de toda la red, y en base a esta necesidad surgió en 1995 un estándar llamado Fast Ethernet, en el cual la tasa de transferencia ya no era de 10 Mbps sino de 100 Mbps. Este ancho de banda fue suficiente por un tiempo pero llegó un momento en que ya no lograba satisfacer las necesidades de la red. A raíz de esto, en 1996 se empezó a hablar sobre imponer un estándar de Ethernet que permitiera una tasa de transferencia de 1000 Mbps.

En 1997 la IEEE decidió designar un grupo de trabajo al alcance de este estándar, el cual fue aprobado en Junio de 1998 bajo el nombre IEEE 802.3z (Gigabit Ethernet) y en el año 2002 fue aprobado el estándar IEEE 802.3ae (10 Gigabit Ethernet) que eleva la velocidad de las redes hasta 10 Gigabits por segundo.

1. ESPECIFICACIONES IEEE 802.3 A 10 MBPS (ETHERNET)

Ethernet nació en 1972 ideado por Robert Metcalfe y otros investigadores de Xerox, en Palo Alto, California Research Center. Este estándar (también conocido como Ethernet II o IEEE 802.3) es el estándar más popular para las LAN que se utiliza actualmente.

Este estándar emplea una topología lógica de bus y una topología física de estrella o de bus. La velocidad de transmisión es de 10 Mbps.

1.1. ARQUITECTURA

Esta norma está organizada en una arquitectura que separa el sistema en dos grandes partes: el subnivel de Control de Acceso al Medio (MAC) de la Capa de Enlace de Datos y la Capa Física. Estas capas tienen la intención de corresponder estrechamente a las capas más bajas del modelo OSI. La subcapa de Control de Enlace Lógico (LLC) y la subcapa MAC conjuntamente abarcan las funciones definidas para la Capa de Enlace de Datos en el modelo de OSI.

La organización del estándar en una arquitectura tiene las siguientes grandes ventajas:

- **Claridad.** Una división general del diseño en una arquitectura permite que el estándar sea muy claro.
- **Flexibilidad.** La encapsulación de aspectos dependientes del medio en la Capa Física permite que las subcapas LLC y MAC sean aplicables a diferentes familias de medios de transmisión.

Separando la capa de Enlace de Datos se permite que varios medios de comunicación accedan a los métodos del estándar.

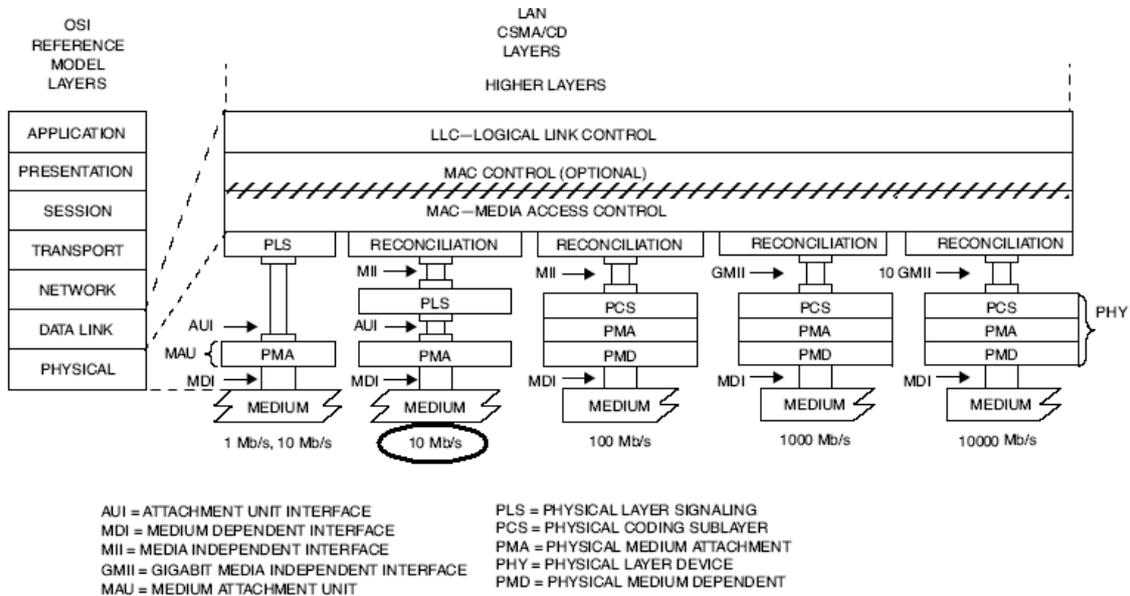


Figura B. 1. Arquitectura de Ethernet

- **Control de Acceso al Medio (MAC).** El nivel de control de acceso al medio provee una conexión lógica entre un cliente MAC y una estación par. Su principal función es inicializar, controlar, y gestionar la conexión de las dos estaciones.
- **Nivel de Reconciliación.** El nivel de reconciliación actúa como un traductor de comandos. Este nivel mapea la terminología y los comandos utilizados en el nivel MAC a un formato eléctrico apropiado para las entidades del nivel físico.
- **PCS (Physical Coding Sublayer).** El subnivel PCS es el responsable de codificar los flujos de datos que entran y salen del nivel MAC. Todavía no se ha definido una técnica de codificación por defecto.
- **PMA (Physical Medium Attachment).** El subnivel PMA es el encargado de serializar un grupo de códigos en flujos de bits apropiados para dispositivos físicos seriales y viceversa. La sincronización también es realizada en este nivel.
- **PMD (Physical Medium Dependent).** El subnivel PMD es el responsable de la transmisión de la señal. Entre las funciones del PMD se encuentran la amplificación y modulación de la señal. Diferentes dispositivos PMD pueden soportar diferentes medios de transmisión.

El modelo de la arquitectura está basado en un conjunto de interfaces, las cuales tienen como objetivo principal asegurar la compatibilidad de las diferentes implementaciones del modelo.

Se han definido cinco importantes interfaces de compatibilidad:

- **Medium Dependent Interface (MDI).** MDI hace referencia a los conectores. Este define diferentes tipos de conectores para diferentes medios físicos y dispositivos PMD o PMA.
- **Attachment Unit Interface (AUI).** Una segunda interfaz de compatibilidad es definida para aquellos casos en los cuales la Medium Attachment Unit (MAU) está distanciada del Equipo Terminal de Datos (ETD). Aunque no es estrictamente necesaria la presencia de esta interfaz para asegurar la comunicación, es muy recomendable, para obtener una mayor flexibilidad entre las MAUs y ETDs. El AUI puede ser opcional o no especificado para algunas implementaciones de este estándar en las cuales se espera que se conecte directamente al medio o no utilice una MAU separada, lo cual significaría que el PLS y PMA hacen parte de un solo elemento, y no se requiere la implementación de una interfaz AUI.
- **Media Independent Interface (MII).** La MII provee una interconexión entre la subcapa de Control de Acceso al Medio y las entidades del Nivel Físico (PHY). La interfaz MII es capaz de soportar tasas de datos de 10 Mbps y 100 Mbps.
- **Gigabit Media Independent Interface (GMII).** La GMII provee una interconexión entre la subcapa de Control de Acceso al Medio y las entidades del Nivel Físico Gigabit (Gigabit PHY). La interfaz GMII es capaz de soportar tasas de datos de 1000 Mbps.
- **10 Gigabit Media Independent Interface (10GMII).** 10 GMII provee una interfaz estándar entre el nivel MAC y el nivel físico. Esta interfaz separa el nivel MAC del nivel físico, permitiendo que la capa MAC pueda ser utilizada con varias implementaciones del nivel físico. La interfaz 10 GMII es capaz de soportar tasas de datos de 10.000 Mbps.

1.2. NIVEL FISICO

Las alternativas definidas son:

- 10BASE5
- 10BASE2
- 10BASE-T (“T” indica par trenzado)
- 10BASE-F (“F” indica fibra óptica)

Existe también la opción 1BASE-T, que define un sistema de par trenzado a 1 Mbps usando una topología en estrella, pero no se profundizará en ella, ya que está obsoleta.

1.2.1. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10BASE5

10BASE5 es la especificación del medio original en 802.3 y se basa directamente en Ethernet. 10BASE5 especifica el uso de cable coaxial de 50 ohmios y señalización digital Manchester. La longitud máxima del segmento de cable es de 500 metros, pero puede extenderse utilizando repetidores.

1.2.2. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10BASE2

10BASE2 se introdujo con el fin de proporcionar un sistema menos costoso que 10BASE5 para redes LAN de computadores personales. Al igual que en 10BASE5, ésta especificación utiliza cable coaxial de 50 ohmios y señalización Manchester.

La principal diferencia es que 10BASE2 emplea un cable más fino, que admite tomas de conexión para distancias más cortas que el cable de 10BASE5.

1.2.3. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10BASE-T

Disminuyendo un poco la separación máxima entre dos estaciones cualesquiera, se puede desarrollar una LAN a 10 Mbps haciendo uso de par trenzado no apantallado.

Este tipo de cable está instalado en edificios corporativos y de negocios como cable para uso telefónico, por lo que puede usarse para redes LAN. Esta aproximación se establece en la especificación 10BASE-T, en la que se define una topología en estrella.

Debido a la alta velocidad y pobre calidad de la transmisión en el par trenzado no apantallado, la longitud máxima de un enlace está limitada a 100 metros. Como alternativa, se puede utilizar un enlace de fibra óptica, en cuyo caso la longitud máxima es de 500 metros.

1.2.4. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10BASE-F

La especificación del medio 10BASE-F permite al usuario aprovechar las excelentes propiedades de distancia y de transmisión proporcionadas por la fibra óptica.

El estándar contiene realmente tres especificaciones:

- **10-BASE-FP (PASIVA)**

Topología en estrella pasiva para interconectar estaciones y repetidores con 1 Km. por segmento como máximo. Esencialmente, una estrella pasiva es un divisor de señales: existe una estrella pasiva central, a la que están conectadas un máximo de 33 estaciones, que consiste en un dispositivo de fibra óptica que toma la señal de una de las líneas de entrada y la transmite por todas las líneas de salida sin retardo.

- **10-BASE-FL (ENLACE)**
Define un enlace punto a punto que se puede usar para conectar estaciones o repetidores a una distancia máxima de 2 km.
- **10-BASE-FB (TRONCAL)**
Define un enlace punto a punto que puede usarse para conectar repetidores a 2 Km. como máximo.

Estas tres especificaciones utilizan un par de fibras para cada enlace de transmisión, cada una de las cuales se emplea para transmitir en un sentido. En todos los casos, el esquema de señalización hace uso de la codificación Manchester. Cada elemento de señal Manchester se transforma en un elemento de la señal óptica, interpretándose la presencia de luz como estado alto, y la ausencia de ésta como estado en bajo. Así, una secuencia de bits Manchester a 10 Mbps necesita realmente 20 Mbps de la fibra.

1.2.5. CODIFICACIÓN

En Ethernet, como en todas las redes locales, la transmisión se realiza de manera asíncrona, es decir, sin la existencia de un reloj maestro. Por este motivo se utiliza un sincronismo embebido en los propios datos mediante el uso de códigos que incorporan cierto nivel de redundancia. Por ejemplo a 10 Mbps, Ethernet emplea el código Manchester, que utiliza dos voltajes (concretamente +0,85 y -0,85 voltios en 10BASE5) e identifica el bit 0 como una transición alto-bajo y el 1 como una transición bajo-alto. Según cual sea la secuencia de bits a transmitir habrá o no otra transición además entre los bits; ésta carece de importancia a la hora de interpretar la información transmitida pero es la que permite mantener sincronizados los equipos. El código Manchester tiene el inconveniente de que su aprovechamiento frecuencial es muy pobre, duplicando la frecuencia de funcionamiento, el emisor debe poder generar doble número de pulsos de lo que haría falta con un código binario simple como por ejemplo NRZ (Non Return to Zero). Dicho de otro modo, en Manchester se transmiten 20 Mbaudios para enviar 10 Mbps de información útil. Como consecuencia de esto la señal transmitida por el cable es también de una frecuencia doble de lo que sería necesario con un código binario simple. La frecuencia fundamental de la señal en Ethernet oscila entre 5 MHz (para la secuencia 010101...) y 10 MHz (para las secuencias 1111... o 0000...).

El código Manchester es poco eficiente, tiene un overhead del 100% (el número de baudios es doble que el número de bits por segundo), pero resulta sencillo y por tanto barato de implementar. Su mayor inconveniente estriba en la elevada frecuencia de la señal, que requiere un cable de mejores prestaciones. Pero esto no preocupaba a los diseñadores originales de Ethernet que utilizaban cable coaxial, que transmite frecuencias elevadas sin problemas. El uso de código Manchester complicó bastante las cosas cuando se adaptó Ethernet para cable no apantallado; entonces habría sido preferible otro código más eficiente que utilizará una frecuencia menor, pero la arquitectura de Ethernet a 10 Mbps obliga a utilizar código Manchester en todos los medios físicos en que se implemente. Esto se debe a que en Ethernet a 10 Mbps la codificación se realiza en el controlador y no el transceptor. Dicho de otro modo, el código Manchester ya está presente en el conector AUI, por lo que se ha de emplear independientemente del medio físico utilizado.

1.3. NIVEL MAC

Para regular el acceso de los dispositivos a un medio compartido se utiliza la técnica CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection).

El subnivel LLC y el subnivel MAC juntos han pretendido tener la misma función así como está descrito en el modelo OSI para únicamente el nivel de enlace de datos. En una red de broadcast, el concepto de un enlace de datos entre dos entidades de red no corresponde directamente a una conexión física distinta. No obstante la división de funciones presentada en este estándar requiere dos funciones principales generalmente asociadas con un procedimiento de control de enlace de datos para ser desempeñadas en el subnivel MAC. Ellas son las siguientes:

- **Encapsulación de Datos** (transmite y recibe)
 1. Entramado (sincronización de trama)
 2. Direccionamiento (Manejo de direcciones fuente y destino)
 3. Detección de errores (Detección de errores de transmisión del medio físico)

- **Gestión de acceso al medio**
 1. Adjudicación del medio (evasión de colisiones)
 2. Resolución de contención (Manipulación de colisiones)

Este estándar provee dos modos de operación del subnivel MAC:

1.3.1. MODO HALF DUPLEX

En el modo Half Duplex, las estaciones comparten un medio de transmisión común gracias al método de acceso al medio CSMA/CD. Para transmitir, las estaciones esperan un periodo en el cual el medio este desocupado (es decir, que ninguna otra estación esté transmitiendo) y entonces envía el mensaje en forma de bits seriales. Si, después de comenzar una transmisión, el mensaje colisiona con otro mensaje de otra estación, entonces cada estación transmisora sigue transmitiendo por un periodo de tiempo predefinido adicional para asegurar que la colisión se propague a lo largo del sistema. Las estaciones permanecen calladas por un periodo de tiempo aleatorio (backoff) antes de intentar transmitir de nuevo.

La operación Half Duplex es posible sobre todos los medios soportados; es requerida en esos medios que son incapaces de soportar transmisión y recepción simultanea sin interferencia, por ejemplo 10BASE2 y 100BASE-T4.

1.3.2. MODO FULL DUPLEX

Una red Ethernet puede funcionar en modo Full Duplex si se dan las tres condiciones siguientes:

- Que el medio físico permita transmisión Full Duplex; esto se cumple en todos los casos habituales excepto 10BASE5, 10BASE2 y 100BASE-T4.
- Que solo haya dos equipos conectados entre sí (por ejemplo conmutador-conmutador, conmutador-host o host-host).

- Que los controladores y transceivers de ambos equipos soporten el funcionamiento en modo Full Duplex.

El funcionamiento Full Duplex se aprovecha de la existencia de sólo dos estaciones en la red y de un canal de comunicación en cada sentido entre ambas para inhibir el protocolo MAC CSMA/CD; de ésta forma se maneja el medio físico como si se tratara de un enlace punto a punto Full Duplex de la velocidad de la red. Al no haber colisiones éstas no han de detectarse, por lo que en Full Duplex no rige la limitación de distancia impuesta por el tiempo de ida y vuelta de la Ethernet 'tradicional'. La restricción la impone únicamente la atenuación de la señal según el medio físico utilizado. Por ejemplo en 100BASE-FX, que tiene una distancia máxima en Half Duplex de 412m, se llega en Full Duplex a 2 Km.

Si una estación se configura en modo Full Duplex sin que se den las tres condiciones antes mencionadas su rendimiento decae de forma espectacular, ya que no será capaz de detectar las colisiones que sin duda se producirán.

Cuando se utiliza modo Full Duplex en Gigabit Ethernet no se utilizan la extensión de portadora y las ráfagas de tramas, puesto que son innecesarias. Por tanto las ventajas de rendimiento en Gigabit Ethernet Full Duplex son aun mayores que las obtenidas en Ethernet o Fast Ethernet. Hasta tal punto presenta ventajas Gigabit Ethernet Full Duplex que la utilización de Gigabit Ethernet Half Duplex resulta dudosa.

Para permitir el funcionamiento Full Duplex en Gigabit Ethernet sin tener que recurrir a la conmutación por puerto, que podría resultar excesivamente cara en algunas situaciones, se han ideado unos dispositivos nuevos denominados 'buffered repeaters', también llamados 'buffered distributor', 'Full Duplex repeater' o 'Full Duplex distributor', que son algo intermedio entre los concentradores y los conmutadores. Un 'buffered repeater' es un conmutador que carece de tabla de direcciones MAC, por lo que cualquier trama que recibe es replicada en todas sus interfaces por inundación, actuando de la misma forma que lo hace un conmutador con una trama dirigida a una estación que no aparece en sus tablas. Por tanto desde este punto de vista un buffered repeater actúa como un concentrador. Sin embargo a diferencia del concentrador, que reproduce la trama bit a bit, el buffered repeater la almacena en su totalidad en su buffer antes de reenviarla; esto le permite actuar como una estación y funcionar en modo Full Duplex, con lo que no sufre las severas limitaciones de distancia del Half Duplex; tampoco tiene que detectar colisiones o generar extensiones de portadora. Se espera que el buffered repeater sea bastante más barato de fabricar que un conmutador de Gigabit Ethernet, ya que debido a su funcionamiento el tráfico total agregado de un buffered repeater está limitado a 1 Gbps, lo cual simplifica el diseño respecto a un conmutador normal, que en principio debe poder soportar un tráfico total agregado igual a la suma del de todas sus interfaces. Estrictamente hablando los buffered repeaters no son parte del estándar Gigabit Ethernet; dado que su funcionamiento se basa en el de los conmutadores, es decir en el de los puentes transparentes, corresponden al estándar 802.1D.

1.3.3. METODO DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (CSMA/CD)

De manera esquemática el procedimiento seguido por las estaciones que siguen esta técnica es el siguiente. Antes de transmitir, una estación monitoriza el medio para

escuchar si alguna otra estación está transmitiendo. Si se detecta una transmisión, la estación espera un tiempo aleatorio antes de volver a intentar la transmisión, escuchando de nuevo el medio en primer lugar. Si no detecta ninguna transmisión sobre el medio físico, la estación comienza su transmisión.

Durante la transmisión de una trama la estación monitoriza el medio continuamente y si no detecta la transmisión de ninguna otra estación, continúa su transmisión hasta completar la trama. Una vez que se completa la transmisión de la trama, la estación espera un intervalo de 9,6 ms (intervalo entre tramas) antes de volver a efectuar ninguna transmisión. Este intervalo se aprovecha para una comprobación.

Después de pasar los primeros 0,6 ms del intervalo entre tramas, el transceptor dispone de 1,4 ms para probar su circuitería de detección de colisiones (SQE Test). Durante este tiempo la estación verá la señal de test SQE (Signal Quality Error), que le informa de que la circuitería de detección de colisión del transceptor funciona y si se produjera una colisión esta sería notificada.

Debido a los retrasos en la propagación en el medio es posible que dos estaciones transmitan simultáneamente si encuentran el medio físico libre. Cuando sus transmisiones se encuentran en el cable se produce una colisión. Las estaciones que están transmitiendo y monitorizando el medio detectarán que se ha producido una colisión cuando la lectura del medio físico proporcione una tensión anormal. En esta situación interrumpirán inmediatamente la transmisión de una secuencia de “jam”, que consiste en cualquier combinación de valores que no sea un CRC válido para la trama que fue interrumpida por la colisión (y que se denomina habitualmente “runt”) y que habitualmente es una secuencia de 32 unos. El propósito de esta secuencia de jam es inundar el medio de transmisión evitando que ningún otro dispositivo transmita.

1.3.4. CONTROL DE FLUJO

Además de aumentar el rendimiento y permitir distancias mayores el uso de Full Duplex simplifica el funcionamiento, puesto que se suprime el protocolo MAC. El aumento en el rendimiento obtenido por la transmisión Full Duplex normalmente sólo es significativo en conexiones conmutador-conmutador o conmutador-servidor. En un equipo monousuario el Full Duplex supone una mejora marginal ya que las aplicaciones casi siempre están diseñadas para dialogar de forma Half Duplex.

El funcionamiento Full Duplex se introdujo inicialmente como una extensión no estándar por parte de varios fabricantes. En 1997 el subcomité 802.3x estandarizó el funcionamiento Full Duplex y además incluyó una nueva funcionalidad, el control de flujo. El control de flujo en Ethernet se implementa mediante el comando PAUSE. El receptor puede en cualquier momento enviar al emisor un comando PAUSE indicándole por cuanto tiempo debe dejar de enviarle datos. Durante la pausa el receptor puede enviar nuevos comandos PAUSE prolongando, reduciendo o suprimiendo la pausa inicialmente anunciada (es decir, puede anunciar un tiempo mayor, menor o cero). De ésta forma se evita el desbordamiento de los buffers del receptor con el consiguiente descarte de tramas, lo cual causaría males mayores. El control de flujo está especialmente indicado en el caso de conmutadores, sobre todo si forman parte del backbone de una red. Puede establecerse de forma asimétrica, por ejemplo en una

conexión conmutador-host puede que se considere conveniente dar al conmutador la potestad de parar al host, pero no en sentido opuesto.

Desde el punto de vista de Ethernet el control de flujo se implementa como un nuevo tipo de protocolo de red. Para que funcione correctamente es fundamental que las tramas de control de flujo sean rápidamente reconocidas por los conmutadores, por lo que esta función se implementa normalmente en hardware. Para esto se vio que era más eficiente utilizar la trama en formato DIX, ya que permitía poner el campo *tipo* en la cabecera MAC. Se propuso pues un nuevo formato de trama, que coincidía precisamente con el formato DIX. El comité 802.3 decidió aceptar la propuesta y estandarizó el nuevo formato de trama para todos los tipos de protocolos de Ethernet, no solo para el control de flujo. Como consecuencia de esto desde 1997 los dos formatos de trama: el 802.2 y el DIX son 'legales' según el estándar 802.3; la distinción entre ambos se hace según el valor del campo tipo/longitud, cosa que ya era habitual en todas las implementaciones.

Aprovechando la supresión de la restricción en distancia debida al CSMA/CD algunos fabricantes suministran transceivers láser que utilizando fibra monomodo en tercera ventana permiten llegar en Ethernet a distancias de más de 100 Km, a cualquiera de las velocidades habituales (10, 100 o 1000 Mbps). Mediante dispositivos regeneradores de la señal de bajo costo es posible extender este alcance en principio indefinidamente, habiéndose hecho pruebas en distancias de hasta 800 Km. De esta forma Ethernet se convierte en una alternativa interesante en redes de área extensa.

Aunque un enlace Full Duplex no tiene más limitación en la distancia que la impuesta por la atenuación de la señal, hay dos factores que se ven afectados por la longitud del enlace: el retardo y, en caso de que se realice control de flujo, el espacio necesario para buffers:

- El retardo es debido a la velocidad con que viaja la onda electromagnética en el medio físico (200.000 Km/s aproximadamente en el caso de cobre o fibra óptica). Por ejemplo para una distancia de 40 Km el tiempo de propagación de la señal es de 200 ms aproximadamente, lo cual da un tiempo de ida y vuelta de 400 ms. Si se utilizan dispositivos regeneradores de la señal o repetidores estos también pueden influir en un aumento del retardo.
- Cuando se implementa control de flujo es preciso reservar en cada equipo espacio en buffers suficiente para aceptar todo el tráfico proveniente del otro extremo en el caso de que se envíe un comando PAUSE. Dicho espacio ha de ser como mínimo igual a la cantidad de datos que se pueden transmitir durante el tiempo de ida y vuelta, ya que mientras el comando PAUSE viaja hacia el emisor éste continúa enviando datos. Dicho de otro modo, hay que reservar un espacio igual al doble de lo que 'cabe' en el cable. Por ejemplo en una conexión 1000BASE-LX Full Duplex de 5 Km cada equipo deberá disponer de 50 Kbits (6,25 KBytes) para buffers.

1.3.5. ESTRUCTURA DE LA TRAMA ETHERNET

La estructura de trama 802.3 es la siguiente:

Campo	Tamaño (Bytes)
Preámbulo	7
Delimitador inicio de trama	1
Dirección de destino	6
Dirección de origen	6
Longitud	2
Datos	0-1500
Relleno	0-46
Secuencia de comprobación (CRC)	4

Figura B. 2. Estructura de la trama Ethernet

Entre dos tramas siempre existe un período de tiempo en el que no se transmite nada, de duración equivalente a 12 bytes (por ejemplo 96 ns a 10 Mbps) y cuya función es separar las tramas consecutivas entre sí. Este hueco entre tramas es el único mecanismo fiable para detectar cuando termina una trama, ya que el campo longitud puede no existir (dependiendo del estándar utilizado) y aunque exista no se utilizará en tiempo de captura para averiguar cuándo termina la trama. El intervalo entre tramas sirve también para dar un respiro al receptor, que puede necesitar un cierto tiempo al final de una trama para realizar diversas tareas de mantenimiento (transvase de buffers de la interfaz de red al host, interrupciones a la CPU, etc.) antes de volver a la escucha. Para asegurar que se respete el hueco el estándar establece que siempre que una estación vaya a enviar una trama deberá esperar el tiempo equivalente a 12 bytes antes de empezar a transmitir el preámbulo.

El preámbulo está formado por la secuencia 10101010 repetida siete veces, y el delimitador de inicio por la secuencia 10101011. Esto al ser transmitido con codificación Manchester genera una onda cuadrada de 10 MHz durante 5,6 ms, lo cual permite a los demás ordenadores sincronizar sus relojes con el emisor. El delimitador de inicio de trama marca el final del preámbulo y el comienzo de ésta.

Los campos dirección contienen las direcciones de origen y destino utilizando el formato de direcciones IEEE de 6 bytes.

El campo longitud indica la longitud del campo de datos. Este campo, en el estándar Ethernet se denomina "Tipo" e indica el protocolo que ha generado esta trama.

El campo datos puede tener una longitud variable entre 0 y 1500 bytes. El estándar 802.3 establece que la trama (entendiendo por trama la parte que va desde dirección de destino hasta el checksum, ambos inclusive) debe tener una longitud mínima de 64 bytes; en caso de que el campo datos sea menor de 64 bytes se utiliza el campo relleno para asegurar que este requisito se cumpla. A efectos de medir la longitud de la trama, el

preámbulo y el delimitador de inicio de trama no se consideran parte de la misma. La longitud máxima de una trama 802.3 es 1518 bytes.

La secuencia de comprobación es un CRC de 32 bits basado en un generador polinómico de grado 32.

La longitud mínima de una trama Ethernet fija el diámetro de la red, ya que para el correcto funcionamiento del protocolo CSMA/CD es preciso que el tiempo de ida y vuelta no sea nunca superior a lo que tarda en emitirse una trama del tamaño mínimo. De haber mantenido la trama mínima de 64 bytes en Gigabit Ethernet el diámetro máximo habría sido de unos 45 m, inaceptable en la mayoría de situaciones. Para evitar esto la trama Gigabit Ethernet incorpora un segundo relleno denominado 'extensión de portadora' que se añade al final de la trama para garantizar que la longitud mínima nunca sea inferior a 512 bytes (4096 bits). De esta forma el tiempo de ida y vuelta máximo es de 4,096 ms y el diámetro puede ser de 330 m. Este segundo relleno no es formalmente parte de la trama Ethernet, por lo que solo existirá mientras la trama viaje por Gigabit Ethernet. En el caso de que una trama con extensión de portadora sea transmitida a una red de 100 o 10 Mbps la extensión de portadora se eliminará, e inversamente, si una trama menor de 512 bytes llega a una red Gigabit Ethernet desde Fast Ethernet o Ethernet el conmutador correspondiente añadirá la extensión de portadora necesaria para que la longitud sea de 512 bytes.

El uso de extensión de portadora supone una pérdida de eficiencia en el caso de tramas pequeñas, y un mayor riesgo de colisiones. Para reducir en lo posible estos problemas se prevé la posibilidad de que una estación que quiera enviar varias tramas pequeñas seguidas lo haga como una ráfaga sin necesidad de 'envolver' cada una en una extensión de portadora independiente (sin embargo si aún así la ráfaga es menor de 512 bytes seguirá generándose una extensión de portadora).

La longitud máxima de una trama Ethernet es de 1518 bytes (1500 bytes de datos más cabeceras). Un tamaño mayor permitiría mejorar la eficiencia, ya que se transmitirían menos tramas y se enviarían menos cabeceras; también se reducirían los recursos de procesador empleados en procesar las tramas (en la mayoría de las implementaciones actuales el procesamiento de cada trama provoca una interrupción en la CPU). Por contra un tamaño mayor supondría que una estación pudiera monopolizar la red por más tiempo (1518 bytes suponen 1,214 ms a 10 Mbps). El tamaño máximo de trama condiciona también la cantidad de memoria para buffers que debe tener la interfaz de red; cuando se diseñaba Ethernet (1979-1980) 1500 bytes de datos se consideró un compromiso razonable entre costo y eficiencia a la vista de los precios de memoria entonces vigentes.

Actualmente, con costos mucho menores y redes más rápidas estos mismos argumentos aconsejarían el uso de tramas mayores, por lo que de vez en cuando surge la propuesta de ampliar el tamaño máximo de trama de Ethernet implementando lo que se conoce como 'jumbo-frames'. Pero no parece factible que esta idea prospere en un futuro próximo, ya que requiere importantes modificaciones al estándar. Por otro lado parece que buena parte de la mejora en eficiencia que podría obtenerse con tramas mayores (la relativa al tiempo de proceso y las interrupciones a la CPU) puede conseguirse con pequeñas mejoras en los controladores de red (poniendo algunas puertas lógicas más, es

decir un poco más de silicio, en la tarjeta), con lo que los beneficios de utilizar tramas mayores serían menores de lo que a primera vista podría pensarse.

2. ESPECIFICACIONES IEEE 802.3u A 100 MBPS (FAST ETHERNET)

Fast Ethernet definido por la especificación IEEE 802.3 es simplemente el mismo Ethernet 10BASE-T, pero 10 veces más rápido. Al igual que la evolución natural de Ethernet, Fast Ethernet preserva su método de acceso al medio CSMA/CD y las diversas variantes de fabricación. También protege las inversiones existentes en herramientas administrativas, personales, de entrenamiento e infraestructura de la red.

2.1. ARQUITECTURA

El estándar 100BaseT (IEEE 802.3u) está compuesto de cinco especificaciones de componentes. Estos definen la subcapa MAC (Media Access Control), el MII (Media Independent Interface), y tres capas físicas (100BaseTX, 100BaseT4 y 100BaseFX).

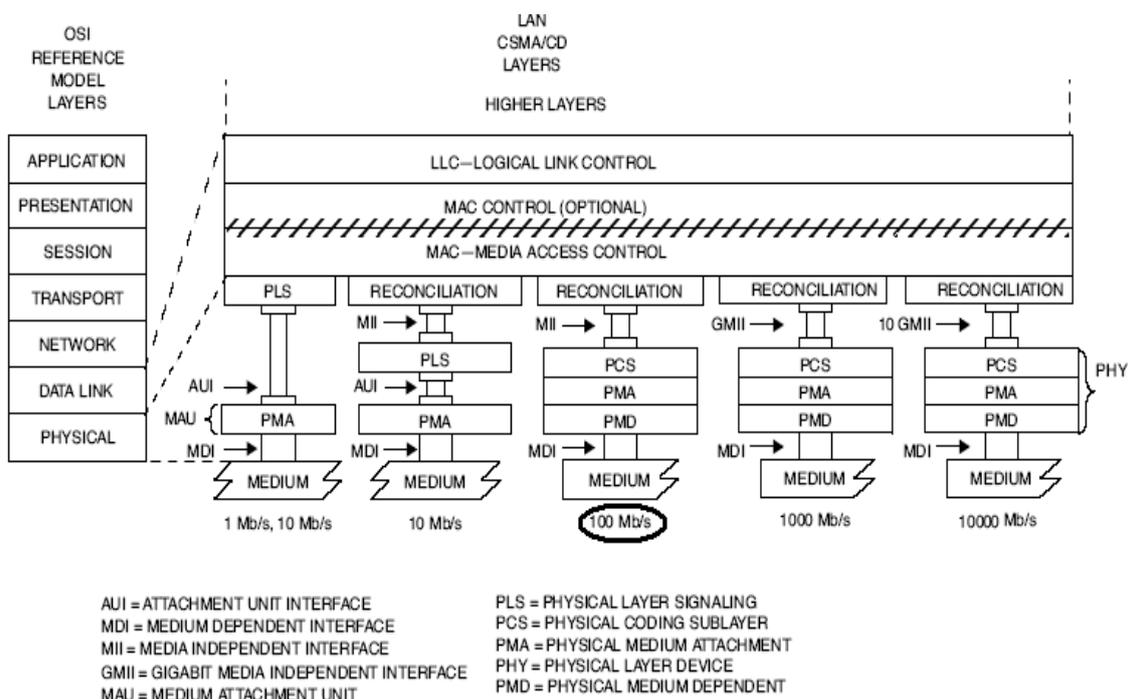


Figura B. 3. Arquitectura de Fast Ethernet

2.2. NIVEL FISICO

Fast Ethernet puede correr a través de la misma variedad de medios que 10BaseT (UTP, STP y fibra), pero no soporta cable coaxial.

La especificación define 3 tipos de medios con una subcapa física separada para cada tipo de medio:

2.2.1. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 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).

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

- **ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 100BASE-TX**

Utiliza dos pares de cable de par trenzado, uno para transmisión y otro para recepción. Se permiten tanto STP como UTP de clase 3.

- **ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 100BASE-FX**

Utiliza dos fibras ópticas, una para transmitir y otra para recibir. En 100BASE-FX es necesario el uso de algún método para pasar a señales ópticas; esta conversión se denomina modulación en intensidad. Un uno binario se representa por un haz o pulso de luz, mientras que un cero binario se representa por la ausencia de pulso de luz o por uno de muy baja intensidad.

2.2.2. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 100BASE-T4

100BASE-T4 está pensado para ofrecer una velocidad de transmisión de datos de 100 Mbps a través de cable de clase 3 de baja calidad: la idea es poder reutilizar las instalaciones existentes de este tipo de cable en edificios de oficinas. La especificación también permite el uso opcional de cable de clase 5.

En 100BASE-T4, al utilizar cable de clase 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.

Subnivel físico	Especificación del cable	Longitud (metros)
100BaseTX	UTP Categoría 5 , dos pares. STP Tipo 1 y 2, dos pares	100 Half/Full Duplex. 100 Half/Full Duplex
100BaseT4	UTP Categorías 3,4,5, cuatro pares	100 Half/Full Duplex
100BaseFX	62.5/125 Fibra Optica multimodo	412 Half Duplex. 2000 Full Duplex

Tabla B. 1. Especificaciones de medios físicos para Fast Ethernet

2.2.3. CODIFICACION

Los medios 100BASE-FX y 100BASE-TX, conocidos conjuntamente como 100BASE-X, utilizan el código 4B/5B desarrollado originalmente para FDDI que emplea 5 símbolos para enviar 4 bits. De las $2^5 = 32$ combinaciones posibles solo se utilizan 16, lo cual permite evitar las combinaciones con todo ceros o todo unos, que serían nefastas desde el punto de vista del sincronismo, y da una cierta capacidad de detección de errores. Con 4B/5B la señalización para 100 Mbps es de 125 Mbaudios, con lo que la frecuencia fundamental es de 62,5 MHz. Esto permite utilizar cable categoría 5 (especificado hasta 100 MHz).

El medio 100BASE-T4 (que utiliza cable categoría 3) es un caso bastante más complejo. Para bajar la frecuencia se reparte el tráfico entre varios pares. El protocolo CSMA/CD, para poder notificar la presencia de colisiones, requiere que en todo momento exista un par disponible para la transmisión en cada sentido; por tanto los pares 1 y 2 se reservan de forma permanente para la comunicación en sentido de ida y de vuelta. Los pares 3 y 4 se utilizan en uno u otro sentido según lo requiera la transmisión en curso (pero no en ambos de forma simultánea). De esta forma se dispone siempre de tres pares, cada uno de los cuales ha de transmitir por tanto 33,33 Mbps. Para reducir aún más la frecuencia de señalización se utiliza un sistema de codificación ternario: en cada baudio se envían tres símbolos ternarios (uno por cada par de cables) que dan un total de $3^3 = 27$ posibles estados, pudiendo así enviar 4 bits ($2^4 = 16$ estados) con 11 estados sobrantes, lo cual da alguna redundancia para sincronismo y detección de errores; enviando 4 bits en cada terna de símbolos se obtienen los 100 Mbps utilizando una frecuencia de tan sólo 25 Mbaudios (12,5 MHz de frecuencia fundamental). En la práctica la codificación convierte grupos de 8 bits en conjuntos de 6 símbolos ternarios, por lo que se la conoce como 8B/6T (8 bits/6 trits, un trit = señal que puede tener tres valores, o sea tres voltajes). La mayor complejidad de 100BASE-T4 se refleja en el mayor costo de las tarjetas de red.

2.2.4. MEDIA INDEPENDENT INTERFACE (MII)

El MII es una especificación nueva que define una interfaz estándar entre la subcapa MAC y cualquiera de las tres capas físicas (100BaseTX, 100BaseT4, y 100BaseFX). Su función principal es ayudar a la subcapa convergente hacer uso del rango de bits más alto. Es capaz de soportar 10Mbps y 100 Mbps.

Puede ser implementado en un dispositivo de red tanto interna como externamente. Internamente conecta la subcapa MAC directamente a la capa física. Usualmente con adaptadores (NICs).

MII también define un conector de 40 pines que puede soportar transceivers externos. Un uso del transceiver adecuado puede conectar estaciones de trabajo a cualquier tipo de cables instalados, muy parecido a un conector AUI para 10 Mbps Ethernet.

No permite el uso de codificación de reloj debido al alto rango del reloj resultante que violaría el límite establecido para el uso a través de cable UTP.

2.3. NIVEL MAC

La subcapa 100BaseT MAC está basada en el protocolo CSMA/CD como lo está 10 Mbps Ethernet. Sólo se transmite cuando el medio está libre. Si múltiples estaciones comienzan a mandar datos al mismo tiempo, porque todas censaron libre el medio, se detecta una colisión.

Fast Ethernet reduce el tiempo de duración de cada bit que es transmitido en un factor de 10, permitiendo que la velocidad del paquete se incremente de 10 Mbps a 100 Mbps; el formato de trama y longitud es como el 10BaseT. El intervalo interframe es de 0.96, mantiene las funciones de control de errores de Ethernet y no se requiere traducción de protocolo para moverse entre Ethernet y Fast Ethernet.

Por estar basado en el protocolo CSMA/CD, muchas de las características comerciales provistas por Ethernet aún se aplican a Fast Ethernet.

Fast Ethernet conserva la latencia a niveles muy bajos en acceso al medio de la red, al igual que la sencillez de Ethernet. También mantiene la naturaleza no-determinada, debido a que al igual que Ethernet, Fast Ethernet es un medio en el cual la naturaleza de contención de CSMA/CD determina el promedio de desempeño de la red.

No obstante estos aspectos continúan siendo los mismos: incrementar la velocidad de transmisión tiene un precio. El método de acceso CSMA/CD requiere que la longitud de la red no exceda ninguna distancia que pueda prevenir a los nodos más alejados para detectar una colisión antes de completar una transmisión.

2.3.1. TRANSMISIÓN FULL DUPLEX

La tecnología Full Duplex es una característica adicional de fast Ethernet y permite transmisiones a 200 Mbps porque provee comunicación bidireccional a 100 Mbps, además incrementa la distancia máxima que es soportada por las fibras ópticas entre dos dispositivos DTE (Data Terminal Equipment).

La comunicación Full Duplex es implementada deshabilitando la detección de colisiones y las funciones de loopback, las cuales son necesarias para una comunicación eficiente en una red compartida; por lo tanto solo los switches pueden ofrecer Full Duplex, y es más eficiente si esos switches se conectan en la conexión backbone.

La comunicación Full Duplex para 100BaseTX y 100BaseFX es implementada mediante la supresión de la detección de colisiones y funciones de ciclos.

Solamente los switches pueden ofrecer Full Duplex para estaciones de trabajo o servidores conectados directamente.

Hubs compartidos deben operar en Half Duplex para detectar colisiones entre estaciones terminales. Gran desempeño se puede observar cuando Full Duplex de 100BaseT es implementado en una conexión backbone.

2.3.2. AUTONEGOCIACION

Con la aparición de Fast Ethernet varios medios físicos compartían el conector RJ45 (100BASE-TX, 10BASE-T, etc.). Además el funcionamiento Full Duplex que apareció poco después era una opción no disponible en todos los equipos. Había por tanto varias posibilidades de cometer errores al conectar físicamente equipos, lo cual causaba cierta confusión y problemas al usuario final. Para evitarlo se añadió al estándar 802.3 una característica opcional denominada autonegociación, consistente en que cuando dos equipos se conectan intercambian unas señales anunciando sus posibilidades, de acuerdo con un protocolo especial. Esto les permite ‘negociar’ y funcionar de la forma compatible más eficiente posible. La negociación se realiza de acuerdo con el siguiente orden de prioridades:

- **100BASE-T2 Full Duplex**
- **100BASE-T2 Half Duplex**
- **100BASE-TX Full Duplex**
- **100BASE-TX Half Duplex**
- **100BASE-T4 Full Duplex**
- **100BASE-T4 Half Duplex**
- **10BASE-T Full Duplex**
- **10BASE-T Half Duplex**

Por ejemplo, supongamos que conectamos dos equipos, uno de los cuales puede funcionar de todas las maneras posibles y otro únicamente con 100BASE-TX y 10BASE-T Half o Full Duplex; la conexión se establecerá como 100BASE-TX Full Duplex, ya que es el primer sistema en el que ambos coinciden.

La autonegociación puede causar problemas en algunos casos. Por ejemplo, supongamos que conectamos mediante cableado categoría 3 dos equipos que soportan 100BASE-TX y 100BASE-T4; las señales de autonegociación, que tienen unos requerimientos ínfimos en cuanto a la calidad del cableado, se transmiten perfectamente en cableado categoría 3, pero no verifican o miden su categoría (ya que esto sería técnicamente muy costoso). Por tanto la negociación dará como resultado 100BASE-TX. Una conexión 100BASE-TX sobre cableado categoría 3 no funcionará o lo hará con muchísimos errores. En este caso será necesario configurar manualmente los equipos y forzar el uso de 100BASE-T4 para que la red funcione correctamente. Afortunadamente esta situación se da raramente ya que muy pocos equipos implementan 100BASE-T4.

También se puede negociar el uso o no de control de flujo, y si éste se establece con carácter simétrico o asimétrico.

La autonegociación de la velocidad ha simplificado la migración de muchas instalaciones de Ethernet a Fast Ethernet. En fibra óptica no es posible negociar la velocidad, ya que la longitud de onda es diferente a 10 y 100 Mbps (primera y segunda ventana, respectivamente). Los únicos parámetros que se negocian en 10BASE-FL y 100BASE-FX son el funcionamiento Full/Half Duplex y el control de flujo, siempre dentro de la misma velocidad. Probablemente este ha sido, junto al elevado costo, el factor que más ha frenado el desarrollo de Fast Ethernet en fibra. Con 100BASE-SX,

que utiliza primera ventana igual que 10BASE-FX se prevé poder ofrecer negociación 10/100. Esto unido al bajo costo de 100BASE-SX puede suponer un avance de la conectividad en fibra en el puesto del usuario final.

La autonegociación solo es posible en conmutadores y hosts, no en concentradores, ya que estos requieren funcionar a la misma velocidad en todos sus puertos, y siempre en modo Half Duplex. En el mercado existen equipos denominados concentradores con autonegociación 100/10 por puerto; estos equipos en realidad son internamente un conmutador con dos puertos, uno de 10 y uno de 100 Mbps, que tiene un concentrador de 10 y uno de 100 Mbps conectados a cada puerto del conmutador; los puertos físicos se adscriben internamente a uno u otro concentrador en función de la velocidad del equipo que se conecta.

La autonegociación es una característica opcional, que no suele estar presente en los equipos de gama baja; conviene comprobar siempre que se está utilizando el modo más eficiente, configurando manualmente los equipos en caso necesario.

3. ESPECIFICACIONES IEEE 802.3z A 1000 MBPS (GIGABIT ETHERNET)

El estándar IEEE 802.3z, mejor conocido como Gigabit Ethernet, hace referencia a una tecnología de nivel físico y de nivel de control de acceso al medio (MAC), que especifica el nivel de enlace de datos del modelo de referencia OSI de una red de área local trabajando a velocidades de 1000 Mbps, ó 1 Gbps. Técnicamente, el IEEE 802.3z no es un nuevo estándar, sino más bien una adición al ya existente estándar IEEE 802.3, conocido mundialmente como Ethernet, en el cual la LAN alcanza velocidades de 10 Mbps.

3.1. ARQUITECTURA

Con el fin de permitir una compatibilidad total con sus antecesores (Ethernet y Fast Ethernet), Gigabit Ethernet conserva la misma forma de Ethernet desde el nivel de enlace de datos hacia arriba. Para acelerar la velocidad de Fast Ethernet de 100 Mbps hasta 1 Gbps, se necesita hacer varios cambios a la interfaz física. El desafío de acelerar una red a 1 Gbps ha sido resuelto al unir dos tecnologías: Ethernet IEEE 802.3 y Canal de Fibra ANSI X3T11. La Figura B.4 muestra como los componentes clave de cada tecnología han sido unidos para formar Gigabit Ethernet.

Unir estas dos tecnologías significa que el estándar toma ventaja de la interfaz física de alta velocidad de la tecnología existente, Canal de Fibra, mientras se mantiene el formato de trama Ethernet IEEE 802.3, al igual que la compatibilidad con los recursos instalados, y el uso de las características Full o Half Duplex.

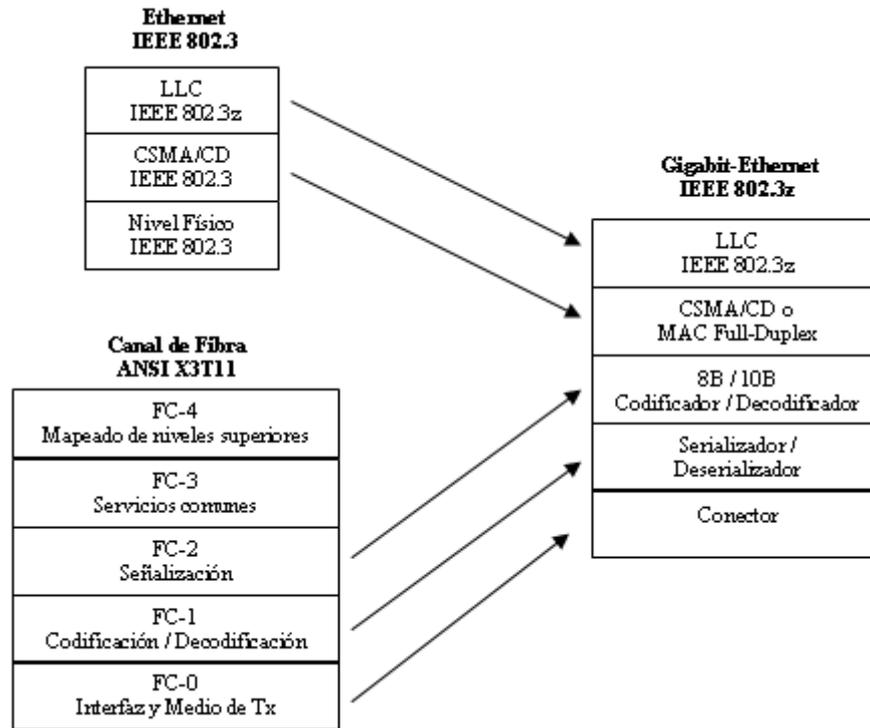


Figura B. 4. Formación del Stack de protocolos Gigabit Ethernet

La arquitectura de Gigabit Ethernet es mostrada en la siguiente figura :

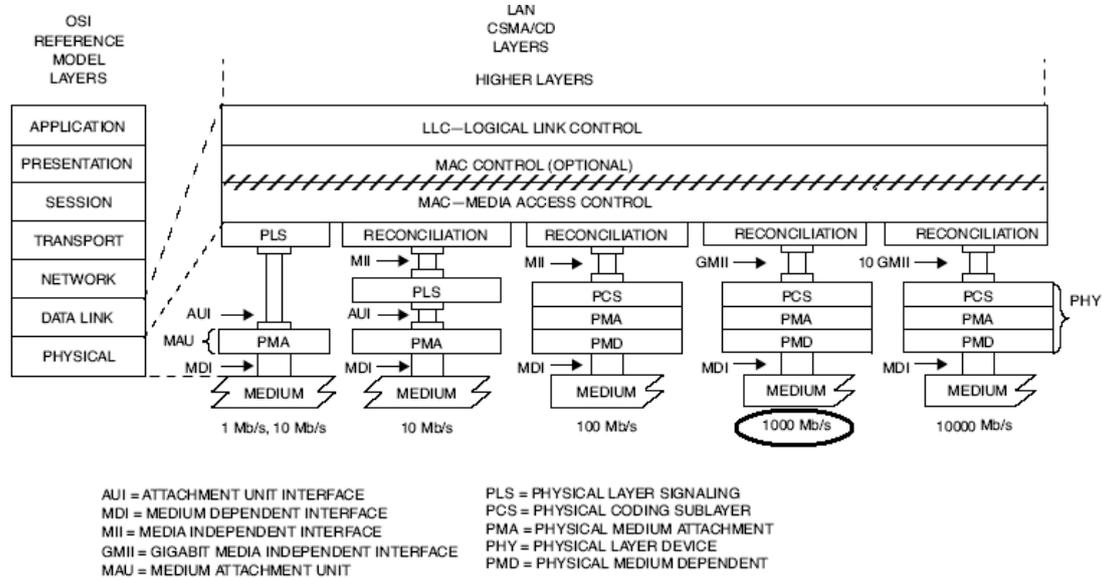


Figura B. 5. Arquitectura de Gigabit Ethernet

3.2. NIVEL FISICO

La especificación de Gigabit Ethernet hace referencia a 4 medios de transmisión: láser de onda larga sobre fibra monomodo y multimodo (1000BaseLX), láser de onda corta sobre fibra multimodo (1000BaseSX), la transmisión sobre cable de cobre de 150 ohmios apantallado y balanceado (1000BaseCX), y la transmisión sobre cable UTP de Categoría 5 (1000BaseT).

La especificación de Canal de Fibra actualmente permite la señalización a 1,062 gigabaudios en Full Duplex, pero Gigabit Ethernet incrementa la señalización a una tasa de 1,25 Gbps. La codificación de 8B/10B permite una tasa de transmisión de datos de 1000 Mbps. El tipo de conector de Canal de Fibra, y por consiguiente de Gigabit Ethernet, es el conector SC tanto para fibra monomodo como multimodo.

3.2.1. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 1000BASE-SX Y 1000BASE-LX.

Dos estándares de láser son soportados sobre fibra: 1000BaseSX (láser de onda corta) y 1000BaseLX (láser de onda larga). Ambos láser pueden ser soportados sobre fibra multimodo, de la cual existen dos tipos de fibra, la de 62.5 μm y la de 50 μm de diámetro. Los láser de onda larga son usados sobre la fibra monomodo porque esta fibra está optimizada para transmisiones de láser de onda larga (la fibra monomodo no se puede usar con láser de onda corta).

Las diferencias claves entre el uso de estos dos tipos de tecnologías láser son costo y distancia. Los láser de onda corta cuestan menos, pero viajan distancias más cortas, en cambio, los láser de onda larga son más costosos pero viajan mayores distancias.

La fibra monomodo ha sido tradicionalmente usada en plantas de cableado de redes para alcanzar grandes distancias, por ejemplo Ethernet con cableado monomodo puede alcanzar hasta 10 kilómetros. En el caso de Gigabit Ethernet, la fibra monomodo de 9 micras de diámetro y un láser de 1300 nanómetros ha demostrado ser la tecnología que alcanza las mayores distancias, gracias al núcleo más pequeño, y el láser de más baja energía que alarga la longitud de onda del láser para permitirle viajar mayores distancias con una menor reducción por el ruido.

Además, Gigabit Ethernet se soporta sobre dos tipos de fibra multimodo: fibras de diámetro de 62.5 μm y 50 μm . La fibra de 62.5 micras se ve generalmente en plantas de cableado de edificios y campus verticales y ha sido usada para tráfico de backbone de Ethernet, Fast Ethernet y FDDI. Este tipo de fibra, sin embargo, tiene un ancho de banda modal menor (la habilidad del cable de transmitir luz), especialmente con láser de onda corta. Esto significa que láser de onda corta con fibra de 62.5 micras serán capaces de viajar distancias menores que láser de onda larga. La fibra de 50 micras tiene mejores características de ancho de banda modal y por lo tanto la luz puede viajar mayores distancias con láser de onda corta en comparación con la fibra de 62.5 micras.

La Tabla B.2 muestra las distancias que se pueden alcanzar con los diferentes tipos de fibra.

ESTÁNDAR	TIPO DE FIBRA	DIÁMETRO (Micras)	ANCHO DE BANDA MODAL (MHz * Km)	DISTANCIA (Metros)
1000Base-SX	Multimodo	62.5	160	220
	Multimodo	62.5	200	275
	Multimodo	50	400	500
	Multimodo	50	500	550
1000Base-LX	Multimodo	62.5	500	550
	Multimodo	50	400	550
	Multimodo	50	500	550
	Monomodo	9	N/ A	5000

Tabla B. 2. Distancias para Fibra Óptica

3.2.2. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 1000BASE-CX.

Para cableados cortos (de 25 metros o menos), Gigabit Ethernet permite la transmisión sobre un cable especial balanceado de 150 Ohms. Este es un nuevo tipo de cable, que no es UTP o IBM tipo I o II. En este tipo de cableado para minimizar las preocupaciones de seguridad e interferencia causadas por diferencias de voltaje, transmisores y receptores comparten una tierra común; y la pérdida de retorno para cada conector (conector tipo DB-9) está limitada a 20 dB para minimizar distorsiones de transmisión.

La aplicación de este tipo de cableado será para interconexiones cortas en centros de datos o conexiones inter/intra centro de cableado (rack). Debido a la limitación de distancia de 25 metros, este cable no funciona para interconectar centros de datos o armarios elevados.

3.2.3. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 1000BASE-T.

Este tipo de cableado no hace parte explícita del estándar IEEE 802.3z, sino más bien es una especificación aparte conocida como IEEE 802.3ab. El objetivo técnico de esta recomendación es permitir el soporte de la tecnología Gigabit Ethernet sobre el cableado UTP categoría 5 heredado, y así impulsar aún más esta tecnología como medio de escalabilidad en redes existentes basadas en UTP. Este cableado alcanza distancias de 100 metros sobre UTP categoría 5, y sobre UTP categoría 5e (mejorado), con conectores RJ45.

La tecnología Fast Ethernet (100Base-TX) alcanza una operación a 100 Mbps enviando símbolos codificados binarios de 3 niveles a través del enlace a 125 Mbaudios (una tasa de símbolos de 125 Mbaudios se necesita porque 100Base-TX usa una codificación 4B5B). Además, 100Base-TX utiliza dos pares: uno para transmitir y uno para recibir. De igual forma, 1000Base-T también utiliza una tasa de símbolos de 125 Mbaudios, pero empleando 4 pares para el enlace y un esquema de codificación de 5 niveles más sofisticado. 1000Base-T también envía y recibe información simultáneamente en cada par. Al combinar la codificación de 5 niveles y los 4 pares, 1000Base-T puede enviar un byte en paralelo por cada pulso de señal, por lo tanto con $125 \text{ M símbolos/segundo} \times 1 \text{ Byte(a través de 4 pares)/símbolo} = 1 \text{ Gbps}$. Por supuesto, esto es un poco más complicado ya que 1000Base-T debe manejar los efectos

de pérdida por inserción y la interferencia inducida en el enlace causada por el eco y crosstalk, lo que lleva a que los usuarios que deseen utilizar el cableado categoría 5 existente para 1000Base-T tengan que llevar a cabo pruebas a cada enlace tanto para pérdidas de retorno, como para Crosstalk de extremo final (pruebas especificadas en la recomendación).

3.2.4. SERIALIZADOR/DESERIALIZADOR.

El subnivel PMA (Physical Media Attachment) de Gigabit Ethernet es idéntico al PMA de la tecnología Canal de Fibra. El serializador/deserializador es responsable de soportar múltiples esquemas de codificación y de permitir la presentación de esos esquemas de codificación a los niveles superiores. Los datos que llegan al nivel físico entrarán a través del PMD y necesitan soportar los esquemas de codificación apropiados para ese medio. El esquema de codificación de Canal de Fibra es 8B/10B, diseñado específicamente para transmisiones por fibra óptica. Este esquema es empleado también por Gigabit Ethernet, pero existen algunas diferencias debido a que la tecnología de Canal de Fibra utiliza una señalización de 1.062 gigabaudios mientras que Gigabit Ethernet usa 1.25 gigabaudios de señalización. Un esquema de codificación diferente es utilizado para la transmisión sobre UTP (1000Base-T).

3.2.5. CODIFICACION 8B/10B.

El nivel FC1 de Canal de Fibra describe la sincronización y el esquema de codificación 8B/10B. El FC1 define el protocolo de transmisión, incluyendo la codificación y decodificación serial a y desde el nivel físico, además de los caracteres especiales y el control de errores. Gigabit Ethernet utiliza la misma codificación/decodificación del nivel FC1 de Canal de Fibra. El esquema utilizado es la codificación 8B/10B. Esta es similar a la codificación 4B/5B usada en FDDI; sin embargo, la codificación 4B/5B fue rechazada para Canal de Fibra debido a la falta de balance DC. La falta de balance DC puede ocasionar un calentamiento de los láser dependiendo de los datos debido a que el transmisor envía más unos que ceros, lo que resulta en tasas de error más altas.

El codificar los datos transmitidos a alta velocidad provee algunas ventajas:

- La codificación limita las características efectivas de transmisión, tales como la proporción de 1s a 0s, en la tasa de error.
- La recuperación de reloj por nivel de bit en el receptor puede mejorarse al usar codificación de los datos.
- La codificación aumenta las posibilidades de que la estación receptora pueda detectar y corregir los errores de transmisión o recepción.
- La codificación puede ayudar a distinguir los bits de datos de los bits de control.

Todas estas características han sido incorporadas en la especificación FC1 de Canal de Fibra.

En Gigabit Ethernet, el nivel FC1 toma los datos decodificados del nivel FC2, en grupos de 8 bits procedentes del subnivel de reconciliación (RS), el cual "puentea" la interfaz física de Canal de Fibra con los niveles superiores de Ethernet IEEE 802.3. La

codificación se hace tomando 8 bits y mapeándolos a caracteres de 10 bits. Los datos decodificados consisten de 8 bits con una variable de control. Esta información es a su vez codificada en caracteres de 10 bits.

La codificación se realiza otorgándole un nombre a cada carácter de transmisión, denotado como $Z_{xx.y}$. Z es la variable de control que puede tomar dos valores: D para datos y K para caracteres especiales. La designación xx es el valor decimal del número binario compuesto de un subconjunto de bits decodificados. La designación y es un valor decimal del número binario de los bits decodificados restantes. Esto implica que hay 256 posibilidades para los datos (designación D) y 256 posibilidades de caracteres especiales (designación K). Sin embargo, sólo 12 valores $K_{xx.y}$ son caracteres de transmisión válidos en Canal de Fibra. Cuando los datos son recibidos, el carácter de transmisión es decodificado en una de las 256 combinaciones de 8 bits.

3.2.6. RETARDO EN MODO DIFERENCIAL

A diferencia de lo que sucede con 10BASE-FL o 100BASE-FX, donde el alcance viene limitado por la atenuación de la señal, en Gigabit Ethernet sobre fibra multimodo el alcance está limitado fundamentalmente por el efecto antes mencionado del retardo en modo diferencial. Descrito de forma muy sencilla éste fenómeno consiste en que cuando el haz láser llega a la fibra, al ser ésta apreciablemente más ancha que el haz éste genera haces de luz secundarios que van ‘rebotando’ por las paredes al avanzar por la fibra. Este rebote no ocurre exactamente por igual para todos los rayos, por lo que unos realizan un trayecto un poco más largo que otros, con lo que el pulso de luz se ensancha ligeramente. El ensanchamiento es mayor cuanto mayor es la distancia recorrida; además a mayor velocidad de transmisión menos ensanchamiento puede tolerarse, ya que un pulso se solaparía con el siguiente; el efecto del retardo en modo diferencial es por tanto proporcional a la distancia e inversamente proporcional a la frecuencia de los pulsos, es decir a la velocidad de transmisión. Existe un parámetro característico de las fibras que mide esta limitación, que se conoce como ancho de banda modal o simplemente ancho de banda, y se mide en $\text{MHz}\cdot\text{Km}$. Por ejemplo con un ancho de banda de $1000 \text{ MHz}\cdot\text{Km}$ podremos enviar como máximo 1 millón de pulsos por segundo a una distancia de 1 Km, o medio millón de pulsos a 2 Km o dos millones a 500 m.

Tres factores principales influyen en el ancho de banda de una fibra:

- **El diámetro del núcleo:** el ancho de banda es menor cuanto mayor es el diámetro del núcleo, ya que el pulso va más ‘ancho’ y rebota más. Por tanto la fibra de 62,5/125 tiene menor ancho de banda que la de 50/125, y el retardo en modo diferencial es despreciable en fibras monomodo (de hecho el parámetro ancho de banda modal no se especifica en las fibras monomodo).
- **La longitud de onda:** el ancho de banda es mayor cuanto mayor es la longitud de onda, ya que el haz viaja más ‘ajustado’ en la fibra. Por tanto una misma fibra suele tener mayor ancho de banda en segunda ventana que en primera.
- **La calidad de la fibra:** Los procesos de fabricación permiten reducir hasta cierto punto la creación de haces secundarios, con lo que el ensanchamiento se

reduce. Por tanto las fibras construidas con mayores controles de calidad tienen un ancho de banda mayor.

Los catálogos de los fabricantes suelen especificar para cada tipo de fibra el ancho de banda para cada ventana. Hoy en día los anchos de banda exigidos por los estándares EIA e ISO son ampliamente superados por las fibras de alta calidad, por lo que en la elección de una fibra que se prevea utilizar en Gigabit Ethernet es conveniente elegir la de mayor ancho de banda posible, no conformándose con que cumpla los estándares habituales. El encarecimiento que esto supone en el costo total de la instalación es normalmente despreciable. Con un ancho de banda mayor tendremos mayores alcances y podremos usar emisores 1000BASE-SX en más situaciones, no teniendo que recurrir a los de segunda ventana (1000BASE-LX) más caros. En la Tabla B.3 se muestra los anchos de banda de fibra multimodo según los estándares EIA/TIA e ISO/IEC, así como los valores garantizados de algunas de las mejores fibras del mercado.

Fibra o estándar	Diámetro (μm)	Ancho de banda 850 nm (MHz*km)	Ancho de banda 1300 nm (MHz*km)
EIA/TIA 568	62,5/125	160 (220m)	500(550 m)
ISO/IEC 11801	62,5/125	200(275 m)	500(550 m)
Alcatel GIGAlite	62,5/125	500	500
BRUGG FG6F	62,5/125	300	1200
ISO/IEC 11801	50/125	200 (275 m)	500 (550 m)
ISO/IEC 11801 (propuesto)	50/125	500 (550 m)	500 (550 m)
ANSI Fibre Channel	50/125	500 (550 m)	500 (550 m)
Alcatel GIGAlite	50/125	700	1200
BRUGG FG5F	50/125	600	1200

Tabla B. 3. Ancho de Banda Fibra Multimodo

Las distancias entre paréntesis corresponden a las máximas permitidas con Gigabit Ethernet. Aunque hay una correlación entre el ancho de banda y la distancia máxima la proporción no es lineal, por lo que resultaría muy arriesgado extrapolar para valores no recogidos en el estándar. Además habría que cuidar de no superar el valor máximo de la atenuación, que ha sido fijado con criterios muy severos. En cualquier caso siempre que se realice una conexión Gigabit Ethernet, además de comprobar que se establece el enlace se debería hacer un seguimiento de la tasa de errores, al menos al principio, para comprobar que funciona correctamente.

En general en el diseño de cualquier instalación en la que se prevea la posibilidad de utilizar Gigabit Ethernet a distancias de más de 200 m se deberían estudiar en detalle las características de la fibra a emplear y las distancias a cubrir, y considerar la posibilidad de emplear fibra de 50/125, que generalmente tiene un ancho de banda mayor en primera ventana, o incluso fibra monomodo que nos permitirá grandes distancias en segunda ventana. Desgraciadamente la fibra 50/125 tiene como ya hemos comentado un

menor alcance en 10BASE-FL y 100BASE-FX, por lo que su instalación puede comprometer el funcionamiento en entornos mixtos donde haya también Ethernet o Fast Ethernet.

3.3. GIGABIT ETHERNET MEDIA INDEPENDENT INTERFACE (GMII).

La interfaz GMII permite que los administradores de red configuren cada puerto Gigabit por aparte para láser de onda corta y larga, así como con interfaces físicas de cobre. Esta configuración permite que los vendedores de switches construyan módulos de conmutación únicos que el usuario puede configurar con la topología de fibra y láser requerida. La Figura B.6 muestra la ubicación de esta interfaz dentro de la tecnología.

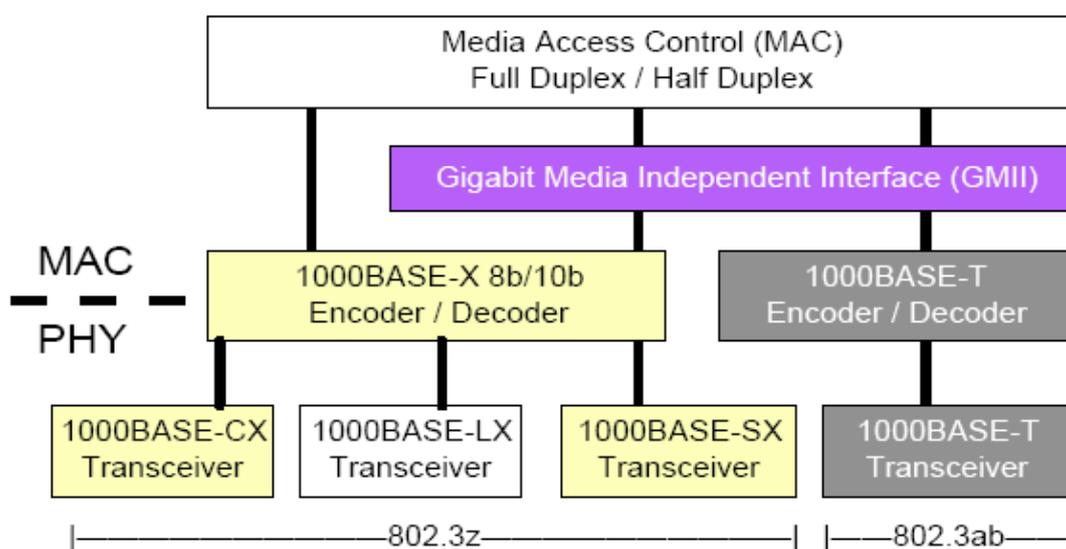


Figura B. 6. Elementos funcionales de Gigabit Ethernet

En contraste, los switches Gigabit Ethernet sin la interfaz GMII no pueden soportar otros láser o necesitan ser ordenados con los tipos de láser requeridos.

3.4. NIVEL MAC

El nivel MAC de Gigabit Ethernet es similar al de los estándares Ethernet y Fast Ethernet, soportando también transmisiones Full y Half Duplex. Las características de Ethernet, detección de colisión, diámetro de red máximo, reglas de repetidores, y demás, son las mismas para Gigabit Ethernet, pero el soporte Half Duplex necesita de ráfagas de tramas y extensión de portadora, dos funciones no encontradas en Ethernet y Fast Ethernet.

3.4.1. TRANSMISIÓN HALF DUPLEX.

Para esta transmisión, CSMA/CD se utiliza para asegurar que las estaciones se pueden comunicar sobre un cable único y que la recuperación de colisión ocurrirá. La

implementación de CSMA/CD para Gigabit Ethernet es la misma para Ethernet y Fast Ethernet y permite la creación de Gigabit Ethernet compartida por medio de hubs o conexiones punto a punto Half Duplex.

Debido a que el protocolo CSMA/CD es sensible al retardo, un buen presupuesto por dominio de colisión debe ser creado. Un dominio de colisión es definido por el tiempo de la transmisión de una trama de mínima longitud válida. Esta transmisión da las pautas para definir la máxima separación entre dos estaciones en un segmento compartido, así a medida que la velocidad de la red aumenta, el tiempo de transmisión de trama disminuye, al igual que el máximo diámetro del dominio de colisión. El presupuesto de bit de un dominio de colisión esta hecho del máximo tiempo de retardo de la señal de los diferentes componentes de red, como repetidores, el nivel MAC de la estación y el mismo medio.

La aceleración de Ethernet a velocidades de gigabit ha creado algunos retos en cuanto a la implementación de CSMA/CD. A velocidades mayores a 100 Mbps, los tamaños de paquete más pequeños son más pequeños que la longitud de una ranura de tiempo en bits (ranura de tiempo se define como la unidad de tiempo necesaria para que el nivel MAC Ethernet maneje las colisiones). Para remediar el problema de la ranura de tiempo, la función de extensión de portadora ha sido agregada a la especificación Ethernet.

3.4.2. EXTENSIÓN DE PORTADORA/CARRIER EXTENSION

Esta mejora consiste en añadir una serie de símbolos al final de la trama MAC de tal manera que el bloque resultante tenga una duración equivalente a 512 bytes (4096 bits), mucho mayor que los 64 bytes (512 bits) exigidos en el estándar a 10 y 100 Mbps.

Esto es porque, la máxima distancia a la que se pueden encontrar 2 máquinas conectadas a través de Ethernet (10 Mbps) era de 2500 m lo que obligaba a que la longitud mínima necesaria de una trama para que el emisor se de cuenta que ocurrió una colisión y pueda tomar las acciones pertinentes (CSMA/CD) fuera de 64 bytes. Luego cuando surgió Fast Ethernet, cuya velocidad era de 100 Mbps obligó a reducir el tamaño entre las 2 máquinas más lejanas a 250 m porque se decidió mantener el tamaño de la trama mínima en 64 bytes. Ahora con Gigabit Ethernet, si se dejara el tamaño del slot igual, la distancia se reduciría a 25 mts., el cual es un valor insuficiente para las exigencias del mundo actual. Entonces se prefirió aumentar el tamaño del slot a 512 bytes. El proceso de “rellenar” una trama para que cumpla con los 512 bytes requeridos se conoce como Carrier Extensión/Extensión de la portadora. 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.

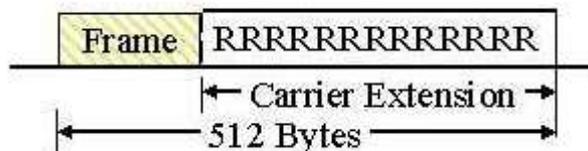


Figura B. 7. Extensión de Portadora

3.4.3. RAFAGAS DE TRAMAS/FRAME BURSTING

El problema que surge al utilizar la extensión de la portadora, es que cuando hay que enviar gran cantidad de tramas pequeñas (< 64 bytes) el rendimiento de la red se degrada hasta ser sólo un poco mejor que Fast Ethernet (Figura B.8), cosa inaceptable dada la amplia superioridad en tasa de transmisión que Gigabit Ethernet posee.

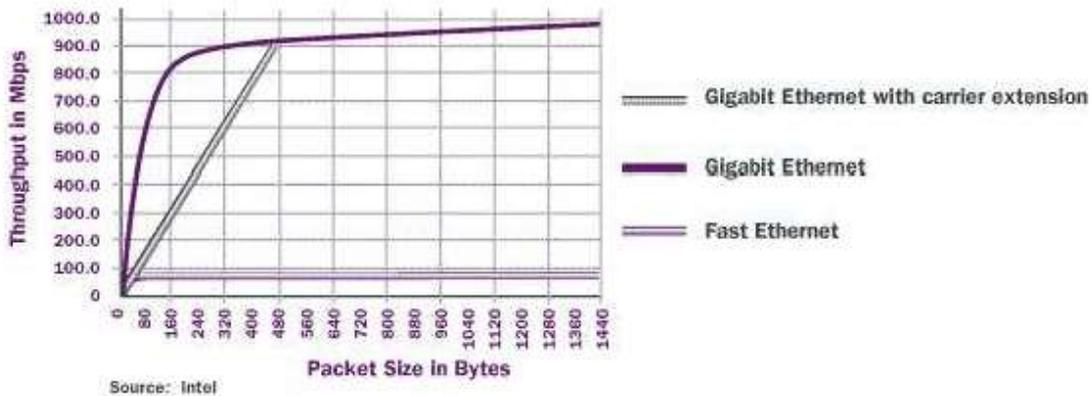


Figura B. 8. Desempeño de Gigabit Ethernet sólo con Extensión de Portadora

Este problema se resuelve con una técnica llamada Frame bursting o envío de 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 de CSMA/CD.

Lo que hace el Frame bursting es establecer un tamaño de ráfaga de 1500 bytes que va a representar la máxima cantidad de información que Gigabit Ethernet puede enviar cada vez que escucha el canal. Por lo tanto si se tiene que enviar una trama que ocupe menos de 512 bytes, él completa (rellena) con la cantidad de bytes que hagan falta para llegar al mínimo, y completa el resto de la ráfaga con otras tramas hasta llegar al máximo (1500 bytes) colocando bytes separadores entre cada una de las tramas. Esto se puede ver en la siguiente figura:

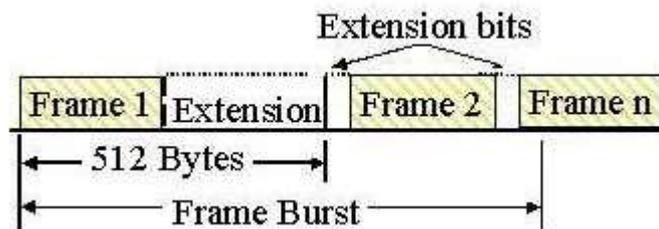


Figura B. 9. Frame Bursting

Lo explicado anteriormente resuelve varios puntos, el primero es la inutilización de la tasa de transmisión cuando las tramas son pequeñas, ya que en vez de tratar de acceder al medio por una sola trama cuyo 80% es basura, hace uso del medio en el peor de los casos por 3 de estas tramas. El segundo es que este método o técnica no crea inanición (creada por uno de los miembros de la red al no ceder control del medio) porque cada entidad tiene un tiempo máximo de control del medio, asociado con el tamaño de ráfaga

antes mencionado. A continuación se presenta un gráfico comparativo de rendimiento entre Gigabit Ethernet con Frame bursting y Fast Ethernet.

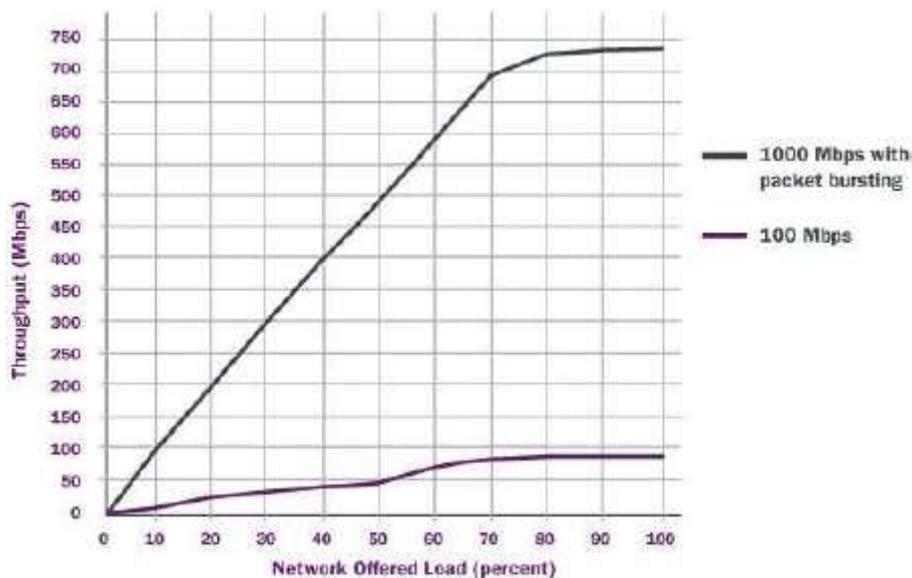


Figura B. 10. Comparación de Gigabit Ethernet con Frame Bursting vs. Fast Ethernet

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, que facilita el 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 luchar para acceder al medio compartido.

Es importante destacar que los asuntos que rodean a Gigabit Ethernet Half Duplex, como la ineficiencia en el tamaño de las tramas (la cual lleva a la necesidad de extensión de portadora) así como el tiempo de ida y vuelta de la señal a velocidades de Gigabit, indican que, en realidad, Half Duplex no es efectivo para Gigabit Ethernet.

3.4.4. TRANSMISIÓN FULL DUPLEX

Full Duplex provee el medio para transmitir y recibir simultáneamente en un único cable, y es usado normalmente entre dos puntos finales, como entre switches, entre switches y servidores, entre switches y routers, etc... Full Duplex ha permitido que el ancho de banda de redes Ethernet y Fast Ethernet sea fácilmente, y con un costo efectivo, doblado de 10 Mbps a 20 Mbps y de 100 Mbps a 200 Mbps, respectivamente.

La transmisión Full Duplex es utilizada en Gigabit Ethernet para incrementar el ancho de banda desde 1 a 2 Gbps para conexiones punto a punto, así como para incrementar las distancias posibles para un medio de transmisión particular. El uso de Ethernet Full

Duplex elimina las colisiones en el cable; y por lo tanto, CSMA/CD no tiene que ser utilizado como un control de flujo o acceso al medio. Sin embargo, un método de control de flujo Full Duplex ha sido dispuesto en el estándar con el control de flujo como una cláusula opcional. El estándar es conocido como IEEE 802.3x, y formaliza la tecnología Full Duplex.

3.4.5. CONTROL DE FLUJO OPCIONAL 802.3x

El mecanismo de control de flujo opcional es configurado entre las dos estaciones en el enlace punto a punto. Si la estación receptora se congestiona, puede enviar una trama llamada trama de pausa al origen en el lado opuesto de la conexión; esta trama le indica a esa estación que pare la transmisión de paquetes por un periodo específico de tiempo. La estación transmisora espera el tiempo requerido antes de enviar más información. La estación receptora puede también enviar una trama al origen con un tiempo de espera de cero e indicando al origen que comience a enviar datos nuevamente.

Este mecanismo de control de flujo fue desarrollado para emparejar el throughput de los equipos transmisor y receptor. Por ejemplo, un servidor puede transmitir a un cliente a una rata de 3000 pps. El cliente, sin embargo, puede no ser capaz de aceptar paquetes a esa rata debido a interrupciones de la CPU, cantidades excesivas de broadcast en la red, o multitarea dentro del mismo sistema. En este caso, el cliente enviaría una trama de pausa pidiendo al servidor detener la transmisión por un periodo de tiempo. Este mecanismo, aunque separado del trabajo del IEEE 802.3z, complementa Gigabit Ethernet permitiendo que los equipos participen de este control de flujo.

3.5. NIVEL DE ENLACE LÓGICO.

Gigabit Ethernet ha sido diseñado para adherirse al formato de trama de Ethernet estándar, con lo cual mantiene la compatibilidad con la base instalada de productos Ethernet y Fast Ethernet no requiriendo una interpretación de la trama.

El nivel LLC define servicios de acceso para protocolos que adoptan el Modelo OSI. Desafortunadamente, muchos protocolos no obedecen las reglas de estos niveles. Por lo tanto, se debe añadir información adicional al LLC para proveer la información relativa a estos protocolos. Los protocolos que entran en esta categoría incluyen IP e IPX.

4. ESPECIFICACIONES IEEE 802.3ae A 10 GBPS (10 GIGABIT ETHERNET)

En los últimos años, Ethernet ha sido la opción tecnológica más popular para las redes de área local LAN. Hay millones de usuarios de Ethernet a escala mundial y aun siguen creciendo. En 1998, se lanzó el estándar para 1 Gigabit Ethernet, el cual incitó mucho la atención de los usuarios, sobre todo en muchos de aquellos que eran renuentes a adoptar la costosa tecnología de ATM para sus LAN. Dentro de unos años, es probable que 1 Gigabit Ethernet domine los mercados de las LANs.

Como la demanda de redes de gran velocidad continúa creciendo, la necesidad de una tecnología de Ethernet más rápida es muy clara. En 1999, se formó un grupo de trabajo IEEE 802.3 Grupo de Estudio de Altas Velocidades (HSSG) para desarrollar un estándar para 10 Gigabit Ethernet. Los objetivos preliminares del grupo de trabajo se listan a continuación:

- Soporte de 10 Gigabit Ethernet.
- Mantener el formato de las tramas Ethernet IEEE 802.3
- Encontrar los requisitos funcionales IEEE 802
- Mantener la compatibilidad con los estándares IEEE 802.x
- Mantener el tamaño mínimo y máximo de la trama Ethernet del estándar IEEE 802.3
- Definición de la Interfaz Independiente del Medio
- Obtener una operación Full Duplex únicamente
- Soporte de las topologías LAN en estrella
- Especificar una familia de nivel físico que soporte una distancia de enlace de por lo menos 200 metros en fibras multimodo (MMF) y de por lo menos 3 kilómetros en fibras monomodo (SMF)
- Soporte de la infraestructura existente de cableado así como la nueva infraestructura.

10 Gigabit Ethernet es básicamente la versión más rápida de Ethernet. Esta puede soportar una tasa de datos de 10 Gbps. Esta tecnología ofrece los mismos beneficios de los estándares anteriores de Ethernet. Sin embargo no soporta el modo de operación Half Duplex. Las posibles aplicaciones y mercados de 10 Gigabit Ethernet son enormes. Existe un amplio grupo de usuarios que demandan 10 Gigabit Ethernet, por ejemplo, empresas, universidades, portadores de telecomunicaciones y proveedores de servicio de Internet, cada mercado con diferentes requisitos.

4.1. ARQUITECTURA

El estándar de 10 Gigabit Ethernet mantiene la arquitectura principal de Ethernet, incluyendo el protocolo de Control de Acceso al Medio (MAC), el formato de la trama Ethernet, y el tamaño mínimo y máximo de la trama. Al igual que Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet continúa con la evolución de Ethernet en velocidad y distancia, mientras mantiene la misma arquitectura utilizada en otras especificaciones de Ethernet, excepto por una característica esencial. Ya que 10 Gigabit Ethernet es una tecnología Full Duplex solamente, no necesita el protocolo de Acceso al Medio por Detección de Portadora con Detección de Colisión (CSMA/CD) utilizado en otras tecnologías Ethernet. En los demás aspectos, 10 Gigabit Ethernet coincide con el modelo original de Ethernet

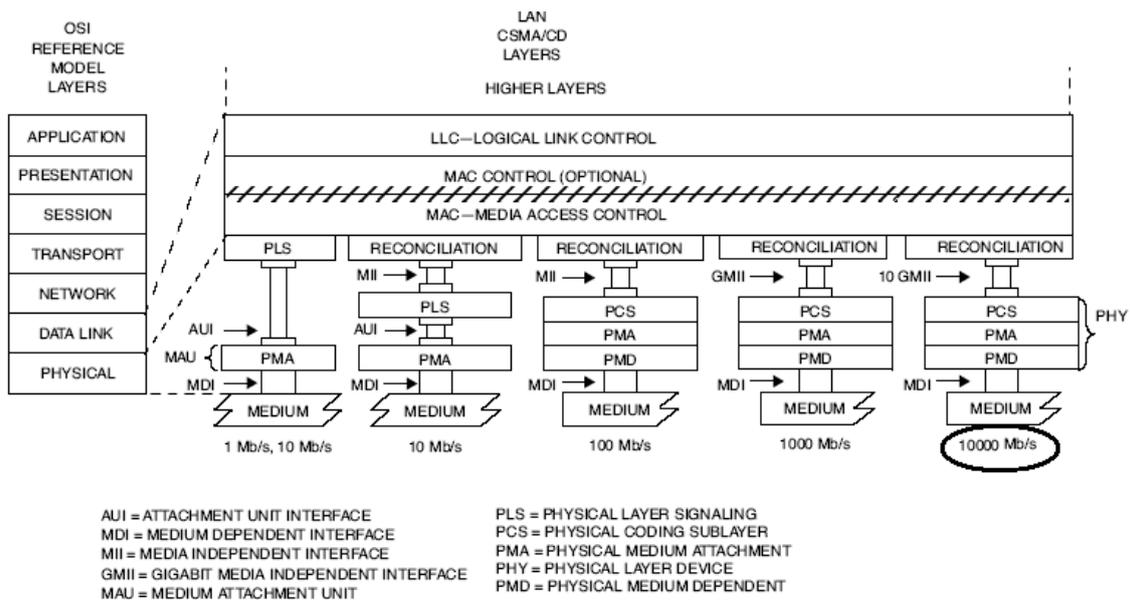


Figura B. 11. Arquitectura de 10 Gigabit Ethernet

4.2. NIVEL FISICO

4.2.1. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10GBASE-SR Y 10GBASE-SW.

10GBASE-SR y 10GBASE-SW están diseñados para utilizarse sobre fibras multimodo de longitud de onda corta (850 nm). Estos medios se usan para cubrir distancias de 2 a 300 metros, dependiendo de la calidad de la fibra multimodo. Se pueden lograr distancias mayores dependiendo de las cualidades del cable de fibra óptica empleado. 10GBASE-SR es utilizado sobre fibra oscura. 10GBASE-SW está diseñado para conectarse a equipos SONET, los cuales son utilizados típicamente para comunicaciones de datos a grandes distancias.

4.2.2. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10GBASE-LR Y 10GBASE-LW.

10GBASE-LR y 10GBASE-LW se utilizan sobre fibras monomodo de longitud de onda larga (1310 nm). Estos medios cubren distancias de 2 metros a 10 kilómetros, dependiendo del tipo y la calidad de la fibra se puede alcanzar distancias mayores. 10GBASE-LR es utilizado sobre fibra oscura, mientras 10GBASE-LW está diseñado para conectarse a equipos SONET.

4.2.3. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10GBASE-ER Y 10GBASE-EW.

10GBASE-ER y 10GBASE-EW se utilizan sobre fibras monomodo de longitud de onda larga (1550 nm). Estos medios cubren distancias de 2 metros hasta 40 kilómetros, dependiendo del tipo y la calidad de la fibra se puede alcanzar distancias mayores. 10GBASE-ER es utilizado sobre fibra oscura, mientras 10GBASE-EW está diseñado para conectarse a equipos SONET.

4.2.4. ESPECIFICACIÓN DEL MEDIO 10GBASE-LX4.

10GBASE-LX4 utiliza la tecnología de multiplexación por división de onda para enviar señales sobre cuatro longitudes de onda de luz transportadas en un par de cables de fibra óptica. El sistema 10GBASE-LX4 está diseñado para operar a 1310 nm en fibras oscuras monomodo o multimodo. Se pueden cubrir distancias de 2 hasta 300 metros con fibras multimodo o de 2 metros hasta 10 kilómetros sobre fibras monomodo, se pueden alcanzar distancias mayores dependiendo del tipo y calidad de la fibra.

Device	8B/10B PCS	64B/66B PCS	WIS	850 nm Serial	1310 nm WDM	1310 nm Serial	1550 nm Serial
10GBASE-SR		■		■			
10GBASE-SW		■	■	■			
10GBASE-LX4	■				■		
10GBASE-LR		■				■	
10GBASE-LW		■	■			■	
10GBASE-ER		■					■
10GBASE-ER		■	■				■

Tabla B. 4. Medios Físicos de 10 Gigabit Ethernet

Existen dos estructuras de implementación del nivel físico de 10 Gigabit Ethernet: la solución serial y la solución paralela. La solución serial utiliza un bloque de circuitos PCS/PMA/PMD de alta velocidad (10 Gbps) y la solución paralela usa múltiples circuitos PCS/PMA/PMD de baja velocidad. Las dos soluciones tienen diferentes ventajas y desventajas que se comentaran a continuación.

4.2.5. IMPLEMENTACIÓN SERIAL.

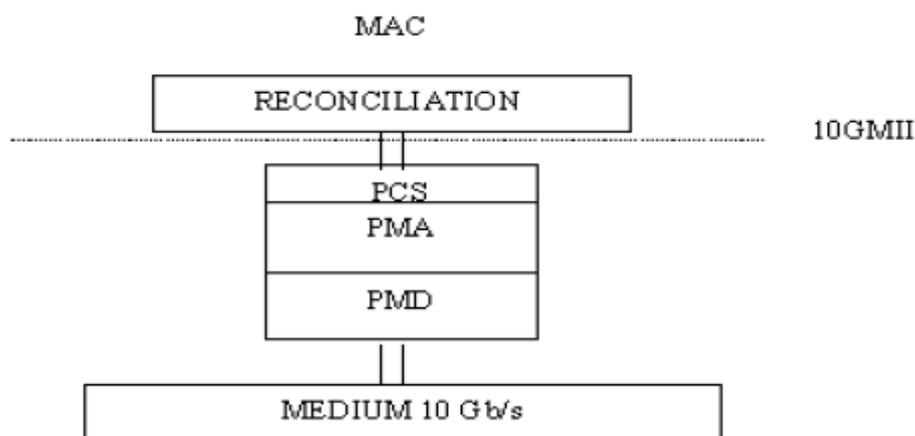


Figura B. 12. Implementación Serial de 10 Gigabit Ethernet

En la implementación serial, hay un canal físico que opera a 10 Gbps como se ve en la Figura B.12. Para el proceso de transmisión, el módulo de reconciliación pasa las señales, correspondientes a los datos del nivel MAC, palabra por palabra al nivel PCS.

El modulo PCS codifica la señal con la técnica de codificación definida previamente y pasa la señal codificada al nivel PMA. El modulo PMA serializa la señal codificada y pasa el flujo al nivel PMD. El nivel PMD transmite la señal sobre la fibra óptica a 10 Gbps. Para la recepción se realiza el proceso contrario.

La principal ventaja de la implementación serial es que las operaciones de transmisión y recepción son sencillas, al no requerir de procesos de multiplexación/demultiplexación necesarios en la solución paralela. También requiere de un solo canal de fibra y un conjunto de equipos de láser. Sin embargo, la principal desventaja es que necesita de circuitos lógicos de alta velocidad, los cuales son una tecnología muy costosa. Técnicas de codificación como PAM-5 o MB810 pueden ser utilizadas para disminuir la tasa de transmisión, para lo cual se necesitarían equipos láser de menor costo.

4.2.6. IMPLEMENTACIÓN PARALELA.

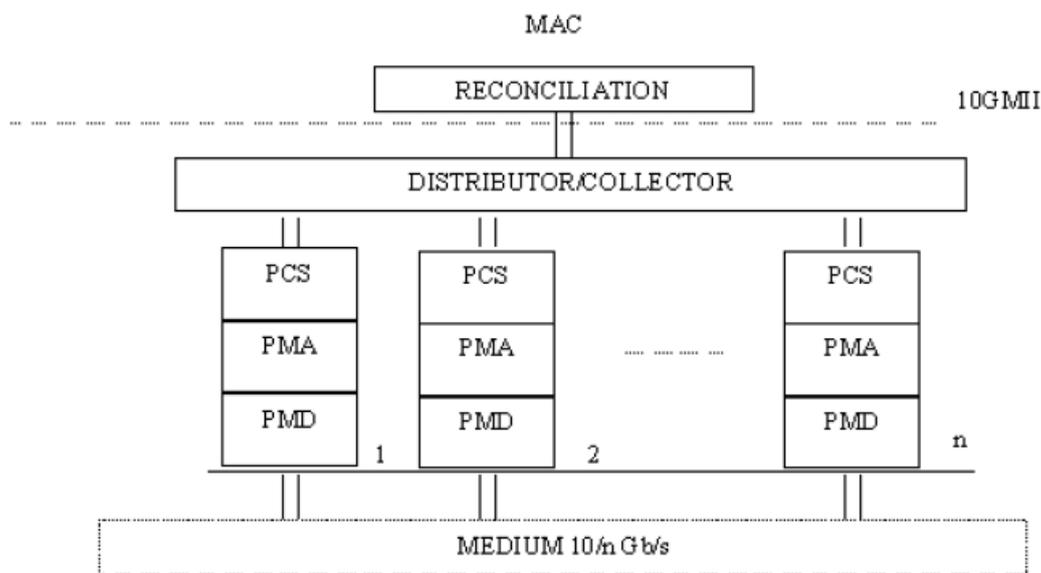


Figura B. 13. Implementación Paralela de 10 Gigabit Ethernet

En la implementación paralela, se tienen múltiples canales físicos, por ejemplo implementar n sub-canales para usar cableado paralelo o multiplexación WDM. Para transmisión, el distribuidor multiplexa los datos recibidos del nivel MAC en n flujos de datos. Cada flujo es entregado a un modulo PCS. Cada modulo PCS codifica el flujo de datos recibido y envía la señal codificada al nivel PMA para que sean serializados. Después de la serialización, cada modulo PMD transmite cada flujo de datos serializados a una tasa de 10/n Gbps. Para la recepción, se realiza el proceso contrario.

La principal ventaja de la implementación paralela es que la velocidad de operación de los módulos PCS/PMA es baja, lo cual posibilita el uso de dispositivos económicos. La desventaja es que se necesita un modulo adicional Distribuidor / Colector que puede ser sensible al jitter, y el uso de varios circuitos lógicos y equipos de láser. Existen dos técnicas que soportan múltiples canales, una es cableado paralelo y la otra es WDM.

4.2.7. TÉCNICAS DE CODIFICACIÓN.

A continuación se presentan algunas técnicas de codificación tenidas en cuenta para el estándar de 10 Gigabit Ethernet.

- **8B/10B.**

Este código fue inventado por la IBM para dispositivos y aplicaciones de bajo costo. Con una proporción entrada/salida de 8/10, este código mejora la fiabilidad de la transmisión en algún grado. Uno de sus principales beneficios es su propiedad de balance en DC. También permite la construcción de caracteres especiales para comandos, sincronización, y delineación. El algoritmo de codificación/decodificación para este código es simple y puede llevarse a cabo con hardware económico. Aparte de los beneficios mencionados anteriormente, este código tiene una ventaja importante, fue adoptado por el estándar de 1 Gigabit Ethernet, lo cual lo convierte en una opción muy atractiva. El uso de la codificación 8B/10B puede aportar una verdadera compatibilidad entre 1 Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet, permitiendo una fácil integración entre redes Ethernet con un bajo costo, esfuerzo, y tiempo en la evolución de la tecnológica.

El principal inconveniente de esta técnica de codificación es el 25% de overhead y la disminución de la eficacia del ancho de banda. Es decir, se necesita una línea con una tasa de 12.5 Gbps para llevar a cabo una transmisión de 10 Gbps con codificación 8B/10B. Para una implementación serial, ésta es una desventaja significativa porque actualmente hay un número más grande de dispositivos que pueden soportar 10 Gbps, pero muy pocos soportan 12.5 Gbps.

- **64B/66B.**

En esta técnica la codificación se realiza construyendo tramas de 66 bits a partir de tramas de 64 bits, para esto se adiciona un preámbulo de dos bits, lo cual permite formar dos clases de tramas: tramas de datos y tramas con códigos de control.

Un preámbulo con valor de “01” identifica una trama con 64 bits de datos.



Figura B. 14. Trama de datos

Un preámbulo con un valor de “10” identifica las tramas que contienen bits de control y datos. Estas tramas están conformadas por un campo TIPO de ocho bits y 56 bits de datos y control.

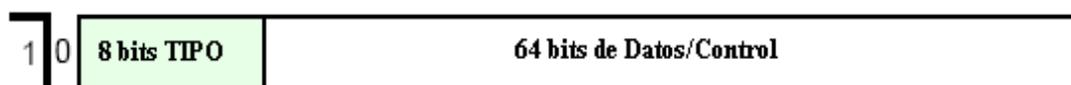


Figura B. 15. Trama de datos y Control

Por medio del campo TIPO se determina que octetos de la trama son datos y cuales son códigos de control.

Preámbulos con valores iguales a “00” o “11” son inválidos y generan como salida un código de error.

La principal ventaja de esta técnica de codificación es la disminución del overhead en comparación con 8B/10B (3% aprox.) lo cual hace posible su utilización en aplicaciones LAN y WAN. Adicionalmente también permite la construcción de caracteres especiales para comandos, sincronización, y delineación.

- **SCRAMBLING.**

Esta técnica de codificación tiene sus principales aplicaciones en SONET/WAN. Virtualmente no tiene ningún overhead y posee una mejor eficiencia del ancho de banda. La implementación de este código también es simple y puede realizarse por hardware. Sin embargo, este código no garantiza el balance DC y no permite la construcción caracteres especiales. El costo de los dispositivos utilizados en este esquema de codificación es típicamente alto, lo cual hace que esta técnica sea poco atractiva para LAN. Un argumento valido para usar el esquema de codificación scrambling es poder obtener una integración de las técnicas de señalización de las redes Ethernet LAN, WAN y MAN adoptando una señalización única desde SONET. Sin embargo, no existe compatibilidad de esta técnica con el estándar de 1 Gigabit Ethernet IEEE 802.3z. Es probable que la norma defina diferentes especificaciones para LAN y MAN/WAN.

- **PAM 5.**

Esta técnica de codificación fue adoptada en el estándar 1000 BASE-T. Este utiliza una señalización de múltiples niveles de amplitud para incrementar el número de bits por baudio, en líneas de pares trenzados se alcanza 2 bits por baudio. Para fibra, sin embargo, se necesita más trabajo y estudios sobre el impacto del ISI, SNR, y no-linealidad sobre el esquema de señalización de múltiples niveles de amplitud. La señalización PAM-5 tal vez no puede viajar muy lejos en la fibra, y los dispositivos actuales no pueden soportar este tipo de señalización. Hasta que estas preocupaciones se contesten rigurosamente, la codificación PAM-5 no competirá con los esquemas 8B/10B y scrambling.

- **16B/18B.**

Este código tiene beneficios similares a 8B/10B pero con menos overhead, 12.5% comparado con el 25% de overhead de 8B/10B. Sin embargo, este código no es compatible con el nivel físico del estándar IEEE 802.3z ni con SONET, por lo cual es la técnica menos atractiva.

- **FORWARD ERROR CORRECTION.**

La técnica Forward Error Correction (FEC) permite la corrección de algunos datos que llegan dañados al receptor. Estos códigos logran bajar sustancialmente la tasa de errores (BER) a través de un overhead adicional, por ejemplo, con un overhead del 6% en un código FEC se puede lograr una BER de 10^{-14} a partir de una BER de entrada de 10^{-4} . Los códigos FEC más populares son los códigos BCH y RS. Esta técnica puede ser utilizada en conjunto con la codificación 8B/10B o scrambling.

4.3. 10 GIGABIT ETHERNET MEDIA INDEPENDENT INTERFACE (10GMII).

La Interfaz 10 Gigabit Ethernet Independiente del Medio (10GMII) provee la interfaz entre el nivel MAC y el nivel físico. Esta interfaz permite que la capa MAC pueda ser utilizada con varias implementaciones del nivel físico. La propuesta actual para 10GMII se ilustra en la siguiente figura.

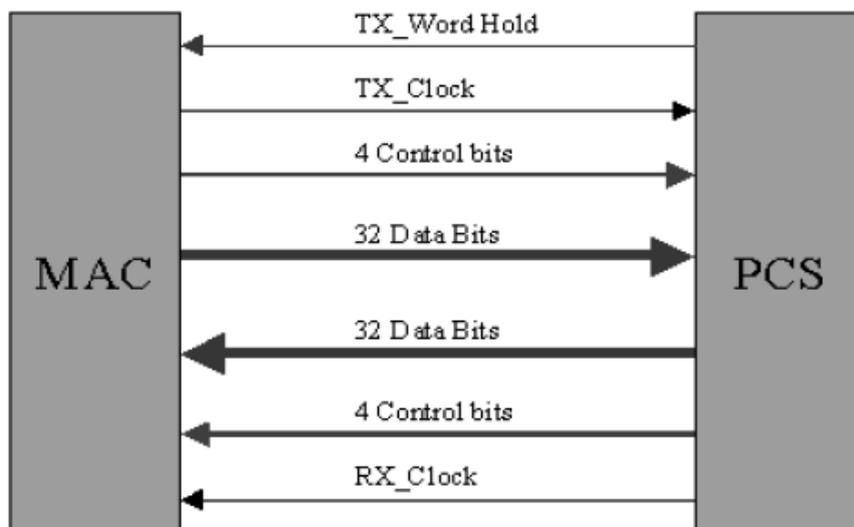


Figura B. 16. 10 GMII

La línea marcada como TX_Word Hold provee el soporte para el mecanismo de pacing orientado a palabra. Los caminos de 32 bits proveen las funciones de transmisión y recepción cada uno con 4 bits de control (uno por byte). Los bits de control se fijan a "1" para delimitadores o caracteres especiales y "0" para datos. Los delimitadores y caracteres especiales incluyen:

- **IDLE:** se envía durante las pausas entre paquetes o cuando no hay datos para transmitir
- **SOP:** señala el comienzo de cada paquete
- **EOP:** indica el fin de cada paquete
- **ERROR:** se envía cuando se detecta un error en la señal recibida o cuando se necesita colocar el error en la señal transmitida.

Los delimitadores y caracteres especiales habilitan la sincronización apropiada para las operaciones de multiplexación y demultiplexación. Esta interfaz es escalable en velocidad y tamaño, lo cual le permite soportar las implementaciones serial y paralela del nivel físico. La siguiente figura muestra la ubicación de esta interfaz dentro de la tecnología.

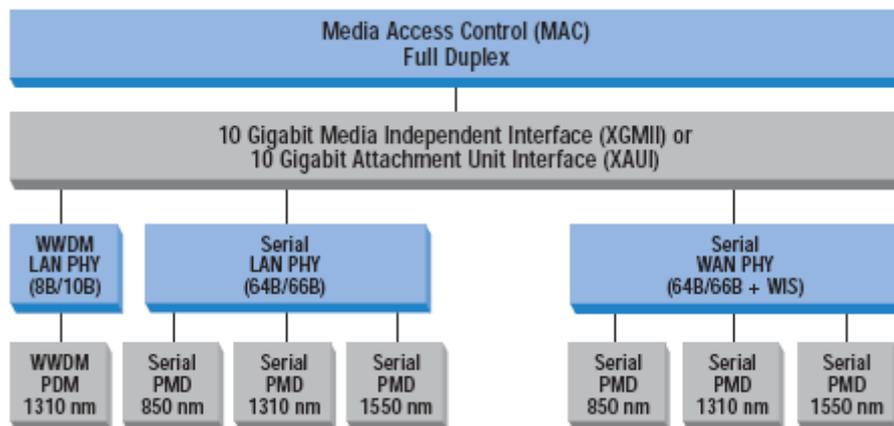


Figura B. 17. Elementos funcionales de 10 Gigabit Ethernet

4.4. NIVEL MAC

El nivel de control de acceso al medio de 10 Gigabit Ethernet es similar al nivel MAC de las tecnologías Ethernet anteriores. Este utiliza las mismas direcciones MAC y formato de trama, pero no soporta el modo de operación Half Duplex. Este nivel soporta una tasa de datos de 10 Gbps o menor, utilizando el mecanismo de pacing para adaptación de tasa y control de flujo.

4.4.1. FULL DUPLEX

En el estándar Ethernet, se definen dos modos de operación: modo Half Duplex y Full Duplex. El modo Half Duplex fue definido desde la versión original de Ethernet. En este modo los datos son transmitidos utilizando el protocolo de Acceso al Medio por Detección de Portadora con Detección de Colisiones (CSMA/CD) sobre un medio compartido. Su simplicidad contribuyó al rápido éxito del estándar Ethernet. Las principales desventajas de Half Duplex son la eficiencia y la limitación de las distancias. En este modo la distancia máxima del enlace es limitada por el tamaño mínimo de trama MAC. Esta restricción reduce drásticamente la eficiencia en transmisiones con altas tasas de bits. Por ejemplo, la técnica de extensión de portadora se usa para asegurar el tamaño mínimo de trama de 512 bytes en Gigabit Ethernet para lograr una distancia de enlace razonable. En tasas de transmisión de 10 Gbps, el modo Half Duplex no es una opción atractiva. Actualmente no existe un mercado para el modo de operación Half Duplex sobre estas velocidades de transmisión. La mayoría de enlaces con estas tasas de transmisión son punto a punto sobre fibra óptica, en los cuales el modo de operación preferido es Full Duplex. Era de esperarse que el estándar para 10-Gigabit Ethernet especifique sólo el modo de operación Full Duplex. En Full Duplex, no hay ninguna disputa por el medio. La entidad de la capa MAC puede transmitir cuando quiera, esperando siempre que su estación par esté lista para recibir los datos. La distancia del enlace esta limitada por las características del medio físico, los dispositivos utilizados y la modulación empleada.

4.4.2. MECANISMO DE PACING.

El mecanismo de Pacing le permite a las entidades del nivel MAC soportar tasas de transmisión, por ejemplo, de 1 Gbps o 10 Gbps para LAN y 9.584640 Gbps para WAN. Para lograr esto, el nivel MAC debe tener la capacidad de pausar la transmisión de datos por un periodo de tiempo apropiado para proporcionar control de flujo o adaptación de tasa. Se tienen bajo consideración dos técnicas para el mecanismo de Pacing. La primera es el mecanismo de espera palabra por palabra y el segundo es Inter-Frame GAP (IFG). En la técnica de palabra por palabra, la entidad del nivel MAC envía una palabra de 32 bits y pausa por un periodo de tiempo predefinido en un requerimiento del nivel físico. En la técnica IFG, el IFG es extendido por un periodo de tiempo predefinido con o sin requerimiento del nivel físico. La principal desventaja de la técnica IFG es que se necesita un buffer grande de datos ya que el algoritmo opera entre tramas. Mientras la técnica de palabra por palabra tiene como ventajas soportar cualquier técnica de codificación, necesitar un buffer de datos menor, y que el tamaño del buffer es independiente de la velocidad del enlace.

4.5. NIVEL DE ENLACE LOGICO

Uno de los principales objetivos al desarrollar el estándar de 10 Gigabit Ethernet es utilizar el mismo formato de trama MAC especificado en los anteriores estándares Ethernet. Lo cual permite una integración natural entre 10 Gigabit Ethernet y las redes Ethernet existentes, sin necesidad de implementar funciones de fragmentación, reensamblaje o traducción de direcciones, obteniendo una conmutación más rápida. Ya que solo se opera en el modo Full Duplex, la distancia del enlace no es afectada por el tamaño de la trama MAC. El tamaño mínimo de la trama puede ser 64 octetos al igual que en los estándares anteriores de Ethernet. No se necesita la técnica de extensión de portadora.

4.6. INTERCONEXIÓN DE 10 GIGABIT ETHERNET CON REDES WAN

Desde hace mucho tiempo, la tecnología de red más ampliamente utilizada en redes de área extensa (WANs) es SONET/SDH. Con el crecimiento de Ethernet hoy en día dentro de redes de área metropolitana (MANs) existe la necesidad de interconectar redes Ethernet LANs y MANs para estas poder prevalecer con redes SONET. Con el advenimiento de 10 Gigabit Ethernet, la comunidad de trabajo entre OC-192 SONET y 10GE tienen abierta la posibilidad para simplificar la interfaz. A continuación se describe como los nodos 10GE pueden fácilmente interconectarse con redes OC-192 SONET.

Existen dos tipos de interfaz 10GE PHY especificados en el estándar IEEE 802.3ae por el grupo de trabajo 10GE: la interfaz LAN PHY y la interfaz WAN PHY.

La interfaz LAN PHY codifica el flujo de datos de 10Gbps del nivel MAC a una señal de 10.3125 Gbps usando el Physical Coding Sublayer (PCS) 64B/66B. La interfaz WAN PHY usa la misma operación PCS en modo de adaptación de velocidad para asegurar que el flujo de datos de salida corresponderá a la capacidad de transporte de carga útil de una señal SONET OC-192 (o equivalente en SDH a un STM-64). La

interfaz WAN PHY también incorpora el WAN Interfaz Sublayer (WIS) para proveer una función simplificada de trama SONET, así como también el complemento de MIBs compatibles SONET/SDH. La salida de la WIS es una señal compatible de trama OC-192. La única diferencia entre LAN PHY y WAN PHY es la subcapa WIS. Ambos comparten el mismo PCS y las subcapas Physical Medium Attachment (PMA) y Physical Medium Dependent (PMD). En esta forma, el costo beneficio de las economías de escala aplica a ambos tipos de interfaz.

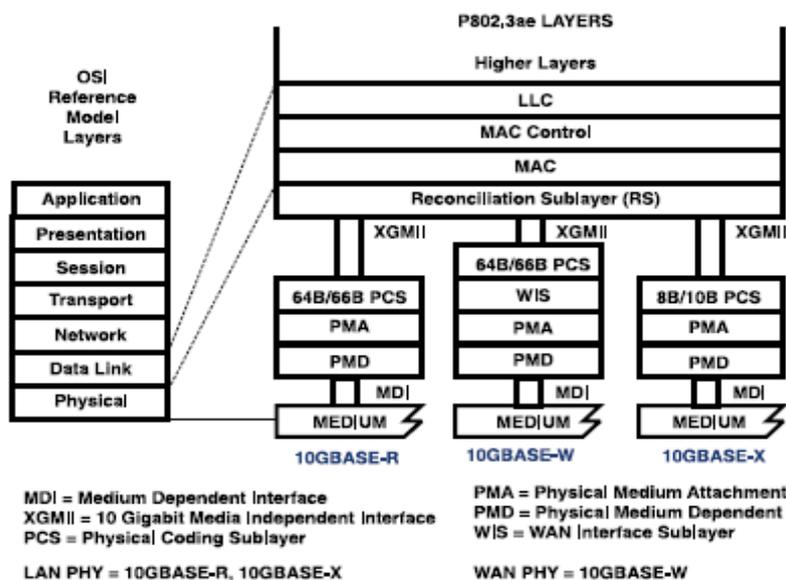


Figura B. 18. Componentes de WAN PHY y LAN PHY

4.6.1. FACTORES QUE MOTIVARON LA 10GE WAN PHY

Las generaciones anteriores de los estándares Ethernet de la IEEE 802.3 (10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps) no estaban cercanos a la velocidad de bits de la interfaz tradicional de los equipos de transporte en redes de área extensa, como son DS-3 (45 Mbps), OC-3 (155 Mbps), OC-12 (622 Mbps), y OC-48 (2.5 Gbps). Por necesidad, se introdujo una pieza extra de equipo en la red para convertir velocidades Ethernet (incluyendo conversión de protocolo) a aquellas aceptadas por los equipos de transporte.

10GE ofreció el potencial para una solución Ethernet alineada con las velocidades 9.953280 Gbps del backbone OC-192. Por primera vez en la historia de Ethernet, ninguna velocidad adicional correspondiente al equipo sería requerida para conectarse con la WAN. Redes Ethernet extremo a extremo podrían ser construidas a mucho más bajo costo.

El reto en definir la 10GE WAN PHY fue lograr un balance entre la compatibilidad con la base instalada de los equipos OC-192 mientras aún se encontraba un criterio de viabilidad económica del grupo de trabajo P802.3ae. Para lograr esto, la subcapa WIS provee un formato de trama OC-192 soportando solamente las características SONET arriba requeridas para el aislamiento de fallas. Esta simplificación evita funciones y costos innecesarios.

Para asegurar que las Interfaces ópticas WAN PHY se beneficiarían de altos volúmenes y bajos costos típicos de Ethernet, las fibras ópticas de 1310 nm y 1550 nm (ó PMDs) se conservaron semejantes a las de la interfaz LAN PHY. Con las fibras ópticas de 1310 nm y 1550 nm apuntaron a alcanzar hasta enlaces de 10 Km. y 40 Km. respectivamente, ellas interoperarán con fibras ópticas OC-192 para 1310 nm y 1550 nm respectivamente.

4.6.2. 10GE WAN PHY: INTERCONEXIÓN CON REDES WAN

A finales de los años 90, muchos de los backbone de área extensa fueron actualizados a velocidades de línea OC-192. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) también emergió durante este periodo.

En el borde de las redes de área extensa, nació una nueva clase de equipo: El traductor de longitud de onda o transponder. Este equipo convierte las señales metropolitanas desde longitudes de onda ópticas de 1310 nm de alcances relativamente más cortos (ej. <40 Km.) a alcances más largos.

Una señal 10GE WAN PHY puede ser conectada directamente al transponder. Como los transponders están basados en regeneradores, la sección overhead es adicionada por defecto. La sección overhead es usada en el interior del backbone SONET para gestión (ej. Datacomm, channel, orderwire). Una conexión Ethernet extremo a extremo puede ahora ser establecida sin la necesidad de un equipo que intervenga para realizar conversión de protocolo o modificar la velocidad de los datos, reduciendo de esta manera el costo de la red.

Durante el proceso de estandarización de 10 GE, se necesitó un termino general para referirse al conjunto de funciones intrínsecamente provistas por un transponder desde una perspectiva 10GE. Aunque algo inapropiado, el termino Ethernet Line Termination Equipment (ELTE) fue seleccionado. Esto es importante para distinguir el ELTE como un conjunto de funciones intrínsecas para un equipo existente más bien que como un nuevo dispositivo standalone.

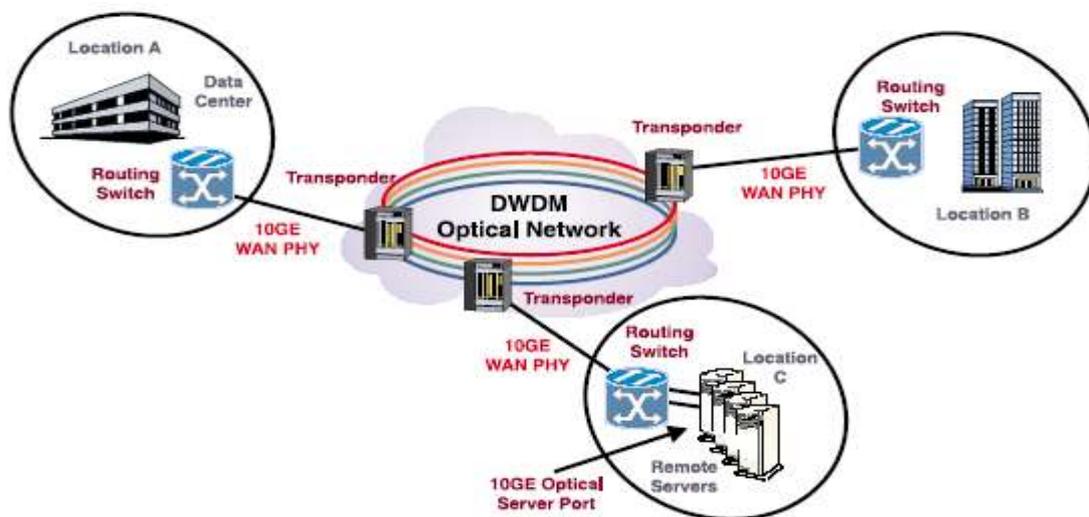


Figura B. 19. Interconexión de 10GE WAN PHY con redes DWDM

4.6.3. EVOLUCION DE LAS REDES METROPOLITANAS Y DE AREA EXTENSA

Con el creciente desarrollo de los equipos DWDM en el backbone de las redes de área extensa y también de las redes de área metropolitana, la ANSI y la ITU-T comenzaron a trabajar en estándares para definir un método común para gestionar sistemas de longitud de onda múltiple – La red de transporte óptico (OTN).

Una nueva generación de equipos transponder que es compatible con OTN esta comenzando a surgir. Desde entonces una de las señales cliente OTN definida es la velocidad OC-192, una señal 10GE WAN PHY puede ser conectada directamente a un transponder OTN. El transponder OTN “envuelve” la señal cliente con una trama y overhead OTN, por eso frecuentemente es escuchado el termino “digital wrapper” (envoltura digital). Esta trama y overhead adicional aumenta la velocidad de línea cerca del 7%, entonces una envoltura OC-192 corre a 10.709 Gbps. En la interfaz 10GE LAN PHY, con una velocidad de línea de 10.3125 Gbps, no esta definida una señal cliente de la OTN.

Como el crecimiento de tráfico en el backbone llena a las longitudes de onda de OC-192 disponibles, será necesaria la siguiente generación de sistemas de velocidad de línea. El esfuerzo esta ya en vías de ejecución en ANSI y la ITU-T para definir un formato OC-768. Para una interfaz 10GE WAN PHY (o cualquier señal SONET) atravesar una red SONET multiplexada, los tiempos de handoff son acomodados por punteros de ajuste SONET. La interfaz 10GE WAN PHY dirige esta aplicación futura especificando que la recepción WAN PHY soporta un mecanismo para procesamiento de puntero.

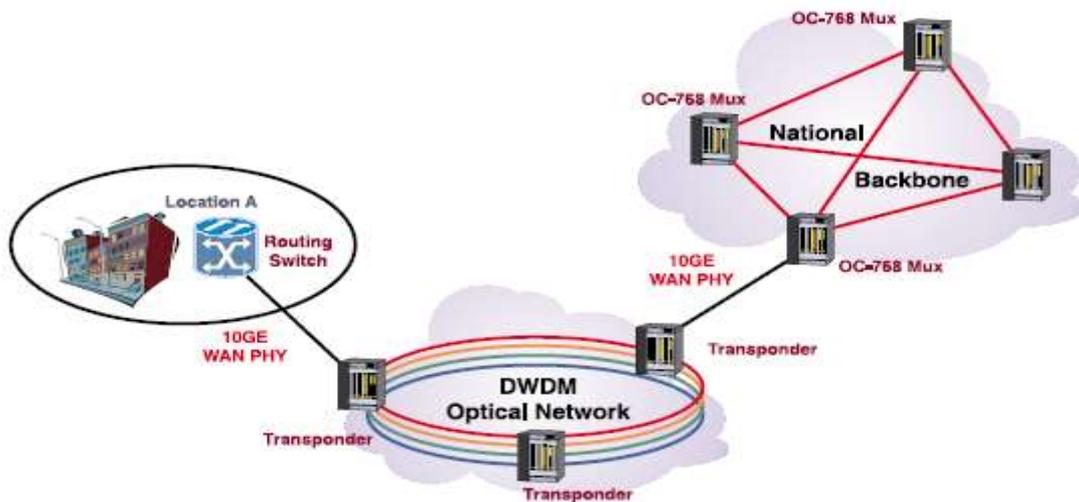


Figura B. 20. Interconexión de 10GE WAN PHY con el Backbone OC-768

En conclusión, con la convergencia de Ethernet y SONET a 10 Gbps, la Interfaz 10GE WAN PHY definida por el grupo de trabajo IEEE P802.3ae habilitará la conectividad Ethernet extremo a extremo mediante:

- La adherencia directa de la Interfaz 10GE WAN PHY a los transponders SONET/SDH de hoy, proporcionando acceso a la base instalada de DWDM.

- La adherencia directa de la Interfaz 10GE WAN PHY a los transponders emergentes ITU OTN, proporcionando acceso a la próxima era de infraestructura de área extensa.
- La adherencia directa de la Interfaz 10GE WAN PHY a una interfaz tributaria OC-192, proporcionando acceso a los sistemas futuros OC-768.